

Tadeusz DZIUBAK¹

PROBLEMY USUWANIA PYŁU Z FILTRÓW POWIETRZA SILNIKÓW SPALINOWYCH POJAZDÓW SPECJALNYCH

Scharakteryzowano systemy filtracji powietrza wlotowego pojazdów eksploatowanych w warunkach dużego zapylenia powietrza. Wyjaśniono celowość bieżącego usuwania z osadnika zatrzymanego przez cyklony pyłu. Scharakteryzowano eжекcyjny system odsysania pyłu z osadnika odpylacza bezwładnościowego. Przedstawiono wpływ stopnia odsysania m_0 na charakterystyki skuteczności i oporu przepływu odpylaczy bezwładnościowych. Przeanalizowano przyczyny mniejszej skuteczności odpylania multicyklonu, niż pojedynczych cyklonów, z których jest on zbudowany. Opracowano metodykę badań eksperymentalnych równomierności odsysania pyłu z pojedynczych cyklonów multicyklonu. Przeprowadzono pomiary wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z pojedynczych cyklonów multicyklonu filtru powietrza.

THE PROBLEMS OF DUST EXTRACTION FROM AIR FILTERS OF SPECIAL VEHICLE ENGINES

Inlet air filtration systems of vehicles exploited at large air dustiness conditions are characterized. The purposefulness of current sucking-off of the dust stopped by cyclones expediency is explained. An ejective system of dust extraction from a cyclonic deduster has been discussed. The influence of rate of extraction m_0 on the characteristics of purification efficiency and flow drag of cyclonic dedusters has been presented. The authors have analyzed the reasons for lower efficiency of multicyclone extraction versus the extraction of an individual cyclone, from which a multicyclone is composed. There has been worked out a methodology of experimental research of dust extraction uniformity from individual cyclones of a multicyclone. The extracted streams Q_{SC} from individual cyclones of a multicyclone in the air cleaner have been measured.

1. WSTĘP

Samochody ciężarowe, pojazdy specjalne, w tym pojazdy wojskowe (transportery, czołgi, bojowe wozy piechoty) eksploatowane są w warunkach znacznie większego zapylenia powietrza niż samochody osobowe i dlatego do filtracji powietrza wlotowego do silnika stosuje się filtry dwustopniowe, gdzie pierwszym stopniem filtracji jest najczęściej

¹ Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna, 00-908 Warszawa, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, tel./fax. (+48) 22-6837121, tdziubak@wat.edu.pl

multicyklon (kilkadziesiąt jednakowych ustawionych obok siebie cyklonów o średnicach wewnętrznych nie przekraczających $D = 40$ mm), a drugim najczęściej przegroda porowata w postaci cylindrycznego wkładu papierowego.

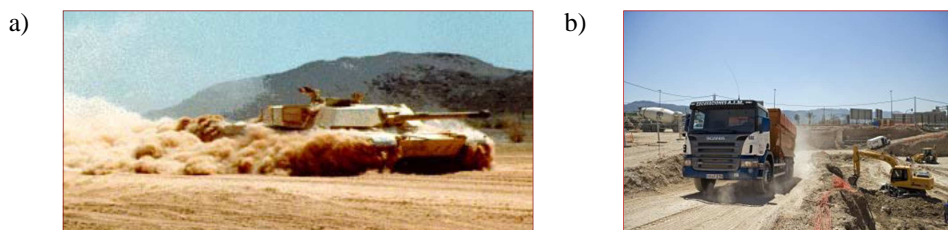
Zatrzymany przez multicyklon pył jest gromadzony w wspólnym dla wszystkich cyklonów osadniku pyłu, skąd należy go systematycznie usuwać. W starszych rozwiązaniach filtrów powietrza czynność tę wykonuje kierowca podczas obsługiwanego. We współczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych filtrów powietrza usuwanie pyłu z osadników następuje samoczynnie poprzez rozszczelniające się gumowe stożki, a w warunkach dużego zapylenia wykorzystuje się zjawisko ejekcyjnego odsysania pyłu z osadnika strumieniem powietrza Q_s . Proces ejekcyjnego odsysania pyłu z multicyklonu jest problemem złożonym i do końca nierozpoznanym. Liczne badania wykazały, że efektywność działania filtrów bezwładnościowych zależy nie tylko od właściwego doboru ich parametrów konstrukcyjnych i przepływowych, ale w równym stopniu od sposobu odprowadzenia odseparowanego pyłu. Celowe są więc prace nad doskonaleniem organizacji systemu odsysania pyłu z osadnika multicyklonu, które spowodują wzrost skuteczności multicyklonu, a tym samym zmniejszenie masy pyłu napływającego wraz z powietrzem na drugi stopień filtracji. W efekcie, przy ograniczonej chłonności przegrody porowatej, wydłuży się czas użytkowania filtru.

2. SYSTEMY FILTRACJI POWIETRZA WLOTOWEGO DO SILNIKÓW SPALINOWYCH POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Zadaniem układu zasilania powietrzem silnika spalinowego jest dostarczenie do cylindrów silnika powietrza w odpowiednich ilościach i o odpowiednich parametrach (czystości) w taki sposób, aby zapewnić prawidłowy przebieg spalania paliwa i zminimalizować zużycie elementów silnika.

W samochodach osobowych (eksploatacja przy małym stężeniu zapylenia powietrza) stosowane są filtry jednostopniowe z porowatą przegrodą papierową. Wkład filtracyjny wykonany jest wtedy w postaci panelu, natomiast powietrze do filtru zasysane jest najczęściej bezpośrednio z otoczenia czerpnię usytuowaną z przodu pojazdu.

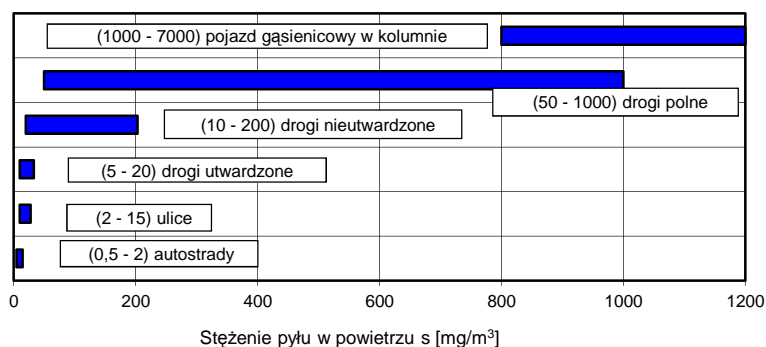
Samochody ciężarowe, pojazdy czołowe, maszyny robocze, pojazdy specjalne i pojazdy wojskowe, a w tym głównie czołgi, bojowe wozy piechoty eksploatowane są najczęściej w warunkach dużego zapylenia powietrza (rys. 1).



Rys. 1. Zapylenie powietrza: a) jazda czołgu po poligonie [8], b) na placu budowy

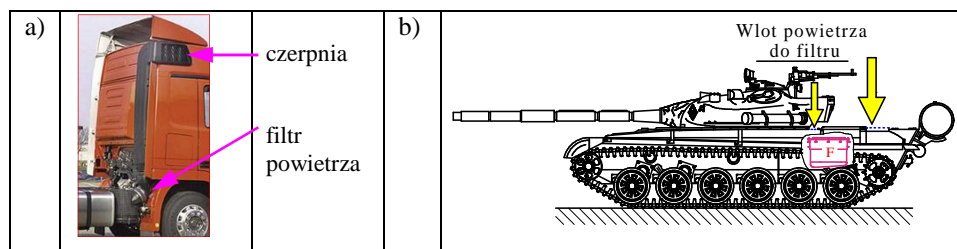
W przeciętnych warunkach eksploatacji pojazdów stężenie zapylenia powietrza podawane jest głównie w zależności od rodzaju nawierzchni dróg i rodzaju poruszających

się pojazdów lub pracujących maszyn (rys. 2) [1, 2, 5]. Pojazdy te wyposażone są w filtry realizujące dwustopniową filtrację powietrza. Pierwszym stopniem filtracji jest wtedy multicyklon lub monocyklon, a drugim ustawiona za nim szeregowo przegroda porowata.



Rys. 2. Maksymalne wartości stężenia zapylenia powietrza w zależności od rodzaju podłoża

W samochodach ciężarowych, ze względu na duże gabaryty wynikające z umieszczenia w filtrze powietrza dużej (około 15-20 m²) powierzchni papieru filtracyjnego, lokalizuje się je najczęściej z tyłu kabiny kierowcy (blisko silnika), nisko nad jezdnią, mocując je do ramy lub kabiny (rys. 3a). Zapewnia to łatwy dostęp podczas prac obsługowych. W wojskowych pojazdach gąsienicowych (czołgi, transportery, bojowe wozy piechoty) filtry powietrza umieszcza się wewnątrz szczelnego pancerza (rys. 3b). Pobór powietrza przez filtr następuje wtedy z przestrzeni przedziału napędowego, dokąd napływa z otoczenia przez specjalny otwór w pancerzu.

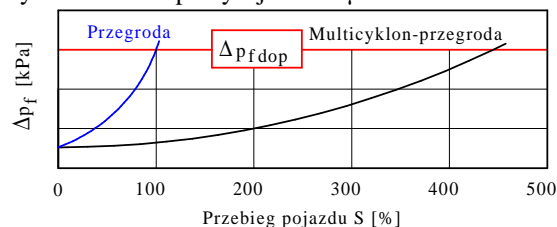


Rys. 3. Lokalizacja filtra powietrza a) w samochodzie ciężarowym, b) w pojeździe wojskowym (czołg T-72)

Sensowność stosowania filtrów dwustopniowych polega na wstępnym odseparowaniu w odpylaczu bezwładnościowym ziaren pyłu o większej masie i „pozostawieniu” w strumieniu powietrza ziaren pyłu o mniejszych rozmiarach i masie oraz odfiltrowaniu w przegrodowym (najczęściej z wkładem papierowym) filtrze powietrza mniejszych ziaren, co wydłuża czas użytkowania systemu filtracji powietrza w silniku do osiągnięcia dopuszczalnej wartości oporu przepływu filtra powietrza Δp_{filop} – rys. 4.

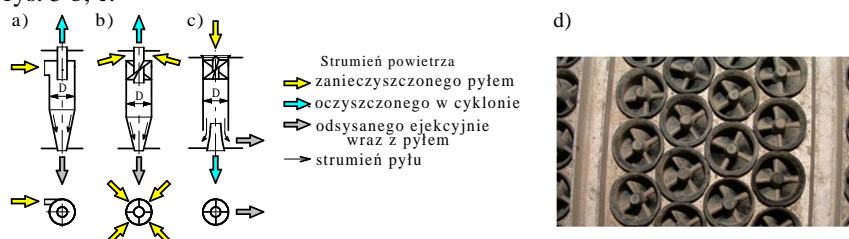
Multicyklon to zespół kilku lub kilkudziesięciu, a nawet kilkuset cyklonów o średnicach wewnętrznych nie przekraczających $D = 40$ mm (rys. 4), nazywanych też minicyklonami rozmieszczonych równolegle obok siebie, końcami umocowanymi we

wspólnych płytach sitowych – dolnej i górnej. Cyklony charakteryzują się zdolnością odseparowania z dużych strumieni powietrza znacznej masy pyłu ze skutecznością do 96% i dokładnością zatrzymywania ziaren powyżej $15 \div 35 \mu\text{m}$.



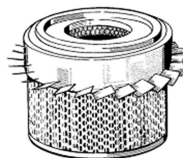
Rys. 4. Zmiana oporu przepływu jednostopniowego (przegrodowego) i dwustopniowego (multicyklon-przegroda) filtra powietrza w zależności od przebiegu pojazdu S

W cyklonie wyniku zawirowania strumienia zanieczyszczonego powietrza ziarna pyłu (cząstki aerozolowe) pod wpływem siły bezwładności (zachowując swój ruch zbliżony do prostoliniowego, przy czym ich gęstość jest blisko 2500 razy większa od gęstości powietrza) zostają odrzucone na ścianki, po których zsuwają się do umieszczonego niżej zbiornika zanieczyszczeń. Strumień gazu można wprowadzić w ruch obrotowy wskutek styczności doprowadzenia go do części cylindrycznej (rys. 5a) lub wskutek przepływu przez nieruchomy element zawirowujący (zawirowywacz), którego łopatki mają zarys linii śrubowej – rys. 5 b, c.



Rys. 5. Rodzaje cyklonów: a) zwrotny z wlotem stycznym, b) zwrotny z wlotem osiowym, c) przelotowy, d) fragment multicyklonu cyklonów przelotowych

Monocyklon to zespół łopatek zamocowanych obwodowo wewnątrz obudowy filtra (rys. 6a) lub na zewnętrznej ścianie wkładu filtracyjnego (rys. 6b) mający na celu zawirowanie strumienia powietrza wlotowego i nadanie siły bezwładności ziarnom pyłu w wyniku czego następuje zmiana ich kierunku ruchu i wytrącenie z powietrza. Monocyklony charakteryzują się: skutecznością odpylania $\phi = 50 \div 70\%$ i dokładnością zatrzymywania ziaren powyżej $d_z = 40 \div 50 \mu\text{m}$.



Rys. 6. Monocyklon: a) zamocowany do obudowy filtra powietrza, b) stanowiący całość z wkładem filtracyjnym

Zatrzymany przez multicyklon pył jest gromadzony w wspólnym dla wszystkich cyklonów osadniku pyłu, skąd należy go systematycznie usuwać (rys. 7).

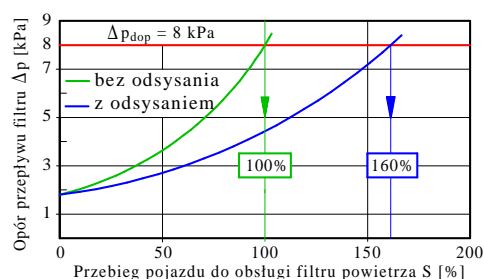


Rys. 7. Usuwanie pyłu z osadników filtrów powietrza: a) samochodu Jelcz 317, b) Mann-Hummel [11], c) czołgu T-72

Nieprzestrzeganie zasady systematycznego usuwania przez kierowcę pyłu z osadnika powoduje w efekcie jego całkowite zapełnienie, co skutkuje spadkiem skuteczności filtracji ϕ_f i wzrostem oporów przepływu Δp_f filtru powietrza.

W przeciętnych warunkach eksploatacji (po 20 000 km przebiegu) wraz z powietrzem silnik samochodu osobowego zasysa około 60 g pyłu. Silniki samochodów ciężarowych i pojazdów specjalnych są eksploatowane w warunkach znacznie większego zapylenia powietrza niż samochody osobowe. Do silnika czołgu o pojemności skokowej $V_S=38,8 \text{ dm}^3$ jadącego z prędkością $v=20 \text{ km/h}$ po drogach poligonowych przy stężeniu zapylenia $s=1 \text{ g/m}^3$ dostaje się wraz z powietrzem wlotowym w ciągu 1000 km przebiegu ponad 170 kg pyłu, z czego około 96% zatrzymuje multicyklon. Magazynowanie w osadniku multicyklonu tak dużej masy pyłu nie jest wskazane ze względu na:

- konieczność stosowania osadnika o dużej pojemności, co zwiększa gabaryty filtru i utrudnia jego usytuowanie w pojeździe,
- występowanie powtórnego zassania pyłu podczas wstrząsów pojazdu,
- całkowite zapełnienie osadnika – porywanie pyłu i spadek skuteczności cyklonów,
- niepotrzebne obciążenie konstrukcji filtru dodatkową masą.



Rys. 8. Zmiana oporu filtru powietrza z efekcyjnym usuwaniem pyłu z osadnika i bez usuwania [11]

Z tego względu w multicyklonach silników pojazdów eksploatowanych w warunkach dużego zapylenia powietrza stosuje się ciągle usuwanie (poprzez odsysanie) z osadnika

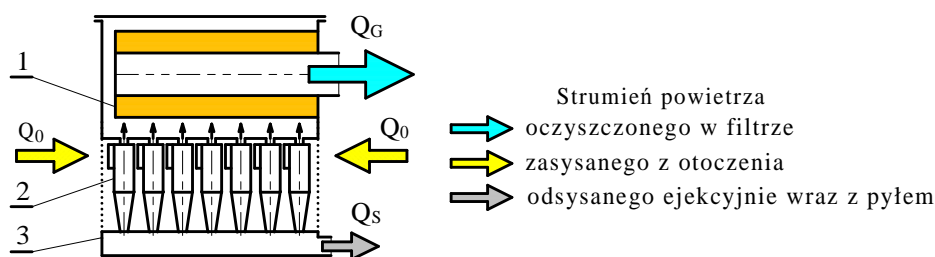
gromadzonego tam pyłu. Efektem stosowania odsysania jest podwyższenie skuteczności odpylania multicyklonu, a tym samym wydłużenie czasu filtru powietrza do osiągnięcia dopuszczalnej wartości oporu przepływu Δp_{fdop} – rys. 8

3. PROBLEMY USUWANIA PYŁU Z KOMORY OSADNIKA ODPYLACZA BEZWŁADNOŚCIOWEGO

Odsysanie pyłu odbywa się dzięki wytworzeniu strumienia powietrza Q_S , stanowiącego część strumienia powietrza wlotowego (zanieczyszczonego) Q_0 do multicyklonu (rys. 9).

$$Q_0 = Q_G + Q_S, \quad (1)$$

gdzie: Q_G - strumień powietrza wylotowego z filtru - wlotowego do silnika.



Rys. 9. Zasada odsysania pyłu z osadnika multicyklonu filtru dwustopniowego pojazdu specjalnego: 1 – przegroda porowata, 2 – multicyklon, 3 – osadnik pyłu

Strumień odsysania Q_S przepływając przez komorę osadnika unosi przedostające się tam ziarna pyłu, a następnie odprowadzany jest przewodami na zewnątrz pojazdu. Do wytwarzania strumienia odsysania stosuje się powszechnie specjalne wentylatory lub dmuchawy. Wadą tego rodzaju urządzeń jest konieczność ich napędzania, zwykle za pomocą silnika elektrycznego lub rzadziej, przez przekładnię mechaniczną, od wału korbowego silnika. Charakterystyki wentylatora zależą wtedy silnie od prędkości obrotowej silnika, a w konsekwencji od zakresu pracy silnika. Z góry również zdeterminowane jest usytuowanie wentylatora przy silniku, w miejscu niekoniecznie dostosowanym do położenia odpylacza. Ponadto wymagana ciągłość działania wentylatora pociąga za sobą wysokie wymagania odnośnie do trwałości napędu. Napęd elektryczny wentylatora stanowi znaczące obciążenie układu wytwarzającego energię elektryczną dla potrzeb pojazdu. Wentylator z napędem elektrycznym stosowany jest do odsysania pyłu z osadnika filtru powietrza czołgu Leopard 2 [10]. Oba opisane urządzenia obciążają energetycznie silnik – pobierają od niego moc.

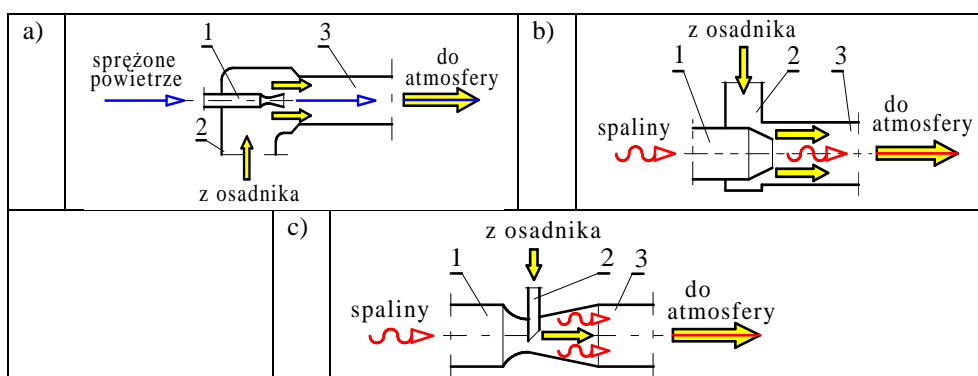
Z tego względu w rozwiązaniach wielu filtrów powietrza do wytworzenia strumienia odsysania jako urządzenie wymuszające przepływ stosuje się odpowiednie eiektryki wykorzystujące energię strumienia sprężonego powietrza [1, 11] lub energię spalin wypływających z układu wylotowego silnika [6, 7].

Zadaniem eiektryki jest wymuszenie lub zintensyfikowanie przepływu strumienia odsysania pomiędzy dwiema przestrzeniami, stanowiącymi zwykle termodynamiczne układy otwarte. Charakterystyczną cechą eiektryki jest występowanie dwóch strumieni,

między którymi następuje wzajemne przekazywanie pędu. Strumień zwany aktywnym dysponuje większą wartością wektora pędu, a jego zwrot jest ściśle określony. Zwrot wektora drugiego strumienia (pasywnego) jest zwykle taki sam. Ze względu na różne sposoby doprowadzania strumieni: aktywnego i pasywnego spotyka się różne konfiguracje ejektorów (rys. 10).

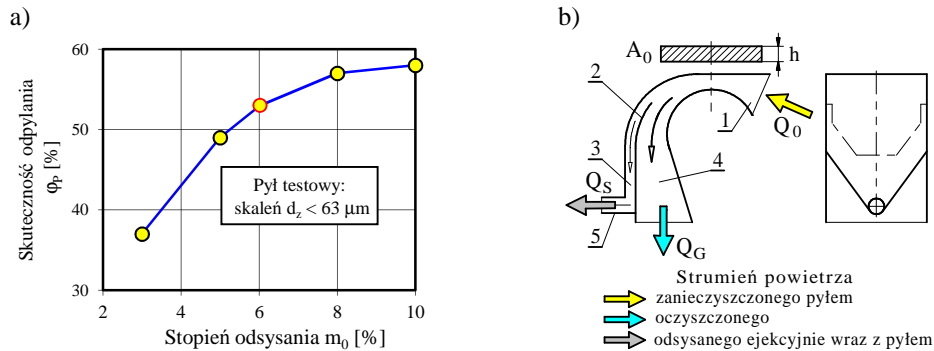
Jednak najbardziej racjonalną metodą wymuszenia strumienia odsysania jest ejectionowanie go do strumienia spalin wypływających z silnika. Przedstawiona na rysunku 10b konfiguracja ejektora jest zastosowana w układzie ejectionowego odsysania zanieczyszczeń z osadnika filtra powietrza czołgów T-72 i PT-91 oraz w pojazdach specjalnych zbudowanych na podwoziach tych czołgów, a także w bojowym wozie piechoty BWP-1. Miarą intensywności odsysania pyłu z osadnika multicyklonu (cyklonu) jest stopień odsysania m_0 definiowany zwykle jako stosunek wielkości strumienia Q_S w układzie odsysania do wielkości strumienia wylotowego z multicyklonu (cyklonu) Q_G - wlotowego do silnika [2, 3, 7, 9, 12, 13]:

$$m_0 = \frac{Q_S}{Q_G} 100\% . \quad (2)$$



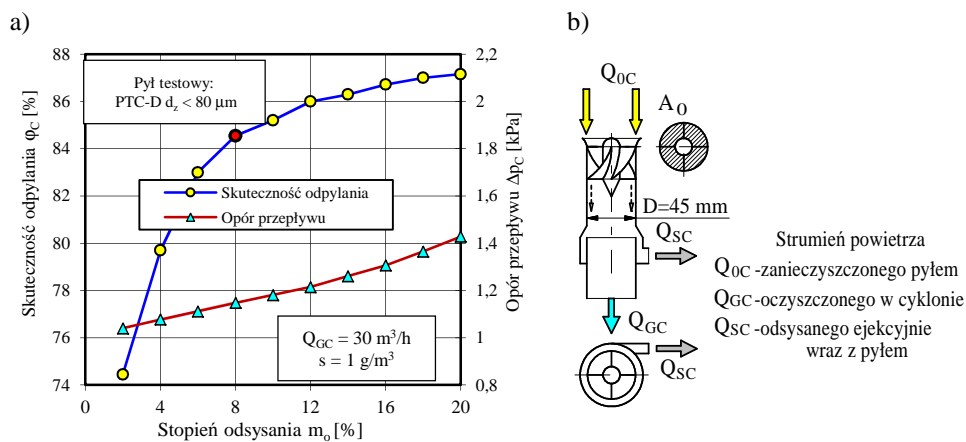
Rys. 10. Stosowane konfiguracje ejektorów w układach odsysania do wymuszenia strumienia ejectionowego: a) sprężonym powietrzem, b i c) spalinami: 1 – kanał dolotowy strumienia aktywnego, 2 – kanał dolotowy strumienia pasywnego, 3 – komora mieszania

Autorzy nielicznych pracach poświęconych badaniom wpływu stopnia odsysania m_0 na efektywność odpylania są zgodni, że zwiększanie wartości m_0 powoduje intensywny wzrost skuteczności odpylania φ , ale tylko do pewnej granicy [1-5]. Dla bezwładnościowego odpylacza promieniowego jest to wartość (6-8)% (rys. 11) [3], a dla multicyklonu wykonanego przez Pall Corporation 10% [1]. Dalszy wzrost m_0 nie powoduje już istotnego wzrostu skuteczności.



Rys. 11. Wpływ stopnia odsysania m_0 na skuteczność odpylania promieniowego odpylacza bezwładnościowego (a), schemat funkcjonalny odpylacza (b): 1 - wlot powietrza zanieczyszczonego, 2 - separator, 3 - kanał odsysania, 4 - kanał główny, 5 - rurka odsysająca, h - wysokość kanału odpylacza [3]

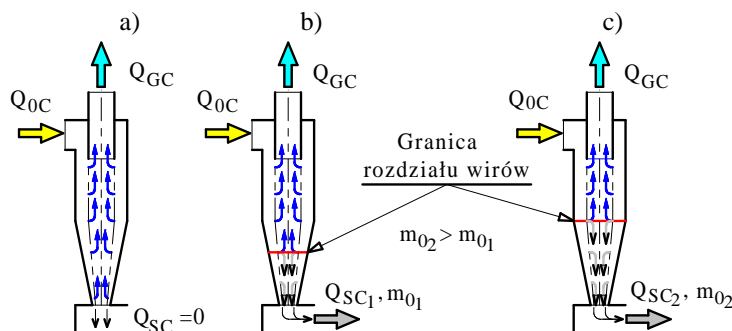
Istotny wzrost skuteczności odpylania cyklonu przelotowego z wlotem osiowym następuje przy zmianie stopnia odsysania m_0 w zakresie 0÷8% (rys. 12). Zwiększanie strumienia Q_s powodującego wzrost stopnia odsysania powyżej wartości $m_0 = 8\%$ niewiele poprawia skuteczność odpylania cyklonu.



Rys. 12. Wpływ stopnia odsysania pyłu m_0 na skuteczność odpylania i opór przepływu cyklonu przelotowego z wlotem osiowym (a), schemat funkcjonalny cyklonu przelotowego z wlotem osiowym (b)

Wytworzenie w cyklonie strumienia odsysania Q_{SC} powoduje, że strumień powietrza wlotowego Q_{0C} , który ruchem śrubowym (wir zewnętrzny) przemieszcza się do dna części stożkowej cyklonu nie zawraca w całości w kierunku wylotu cyklonu jako strumień zwrotny - wir wewnętrzny. W obszarze dna części stożkowej cyklonu powstaje wir promieniowy od ściany do osi cyklonu, a następnie ku otworowi wlotowemu do osadnika.

W efekcie pewna część strumienia powietrza o wartości Q_{SC} (rys. 13b) oddziela się i wypływa ze strefy części stożkowej cyklonu otworem upustowym do osadnika pyłu, porywając ze sobą odseparowane ziarna pyłu większych rozmiarów, co powoduje wzrost skuteczności odpylania cyklonu.



Rys. 13. Przepływ strumieni powietrza przez cyklon zwrotny z wlotem stycznym: a) bez odsysania, b, c) z odsysaniem

Wzrost wartości strumienia odsysania Q_{SC} (stopnia odsysania m_0) powoduje, że umowna granica rozdzielająca oba wiry znajduje się w coraz większej odległości od otworu upustowego (rys. 13), a obszar objęty strumieniem odsysania jest coraz większy. Jednocześnie następuje wzrost prędkości osiowej strumienia w obszarze dna części stożkowej cyklonu, co skutkuje wzrostem prędkości (w kierunku osadnika) ziaren pyłu znajdujących się w tej strefie. Stąd udział liczbowy większych ziaren pyłu w strumieniu wylotowym oraz ich rozmiar systematycznie maleje [5], a skuteczność odpylania cyklonu ma coraz większą wartość

W istniejących konstrukcjach cyklonów i odpylaczy multicyklonowych optymalny stopień odsysania zawiera się w przedziale $m_0 = 8...15\%$ [1, 2, 7, 12, 13].

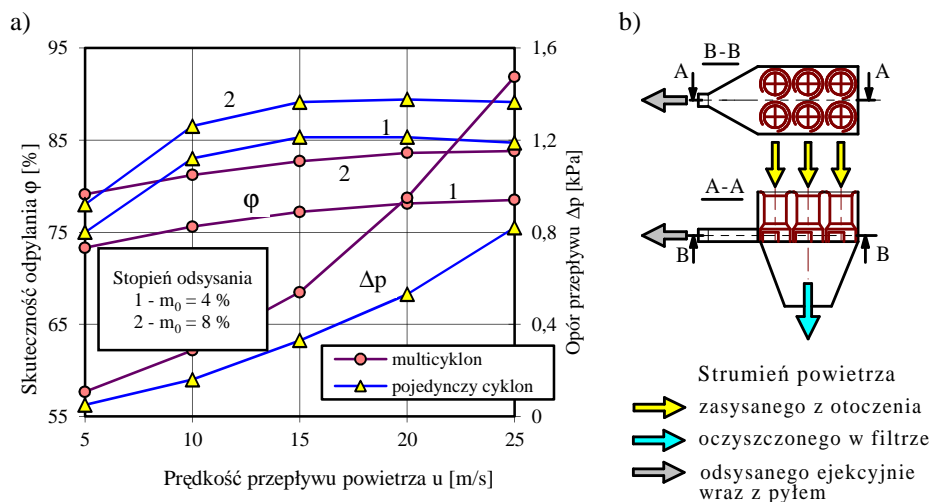
Z analizy dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych multicyklonów i ich układów odsysania pyłu z osadnika wynika, że jeżeli osadnik pyłu obejmuje swym zasięgiem kilkadziesiąt cyklonów, a odsysanie pyłu z osadnika następuje dwoma lub jednym króćcem, to występuje wtedy [1, 3, 5]:

- zróżnicowanie wartości strumienia odsysania z poszczególnych cyklonów,
- wzajemne oddziaływanie zawirowanych strumieni wypływających z cyklonów i wpływających do wspólnej komory osadnika pyłu,
- możliwość przepływów zwrotnych w cyklonach będących na obrzeżu multicyklonu.

W tych cyklonach multicyklonu, w których stopień odsysania m_0 ma małą wartość, wynikający stąd wzrost ich skuteczności jest nieznaczny. Z kolei cyklony, w których proces odpylania zachodzi przy znacznie większej wartości stopnia odsysania m_0 niż wartość optymalna, nie uzyskują proporcjonalnie większych wartości skuteczności odpylania.

Liczba cyklonów, w których proces odpylania zachodzi przy optymalnej wartości stopnia odsysania m_0 jest niewielka. To powoduje, że parametry pracy multicyklonu, przy zachowaniu średnio tych samych cech przepływu i tej samej wartości stopnia odsysania, bywają znacznie gorsze od parametrów pracy pojedynczych cyklonów, z których jest on

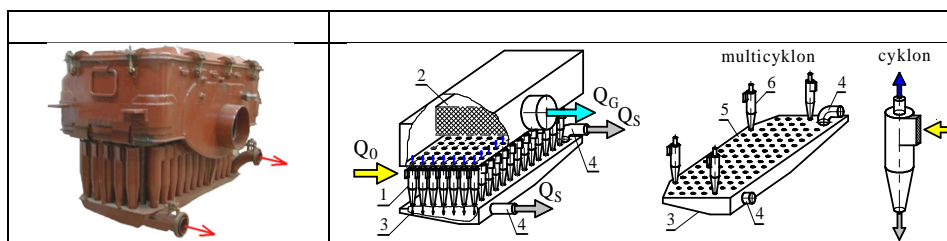
zbudowany. Może to być przyczyną mniejszej skuteczności odpylania multicyklonu, niż wynikałoby to z zastosowanego stopnia odsysania dla pojedynczych cyklonów (rys. 14).



Rys. 14. Charakterystyki skuteczności odpylania $\phi = f(v_0)$ oraz oporu przepływu $\Delta p = f(v_0)$ cyklonu przelotowego z wlotem osiowym i odpylacza multicyklonowego dla różnych stopni efektywnego odsysania m_0 (a), schemat funkcjonalny odpylacza multicyklonowego (b) [4]

4. BADANIA EKSPERYMENTALNE RÓWNOMIERNOŚCI ODSYSANIA PYŁU Z POJEDYNCZYCH CYKLONÓW

Badania miały na celu określenie wpływu konstrukcji multicyklonu i jego osadnika pyłu na wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z pojedynczych cyklonów multicyklonu filtru powietrza pojazdu specjalnego T-72, którego konstrukcję przedstawiono na rysunku 15. Multicyklon zbudowany jest z pionowo ustawionych cyklonów zwrotnych z wlotem stycznym o średnicy wewnętrznej $D=40$ mm, których liczba wynosi 96 szt.



Rys. 15. Filtr powietrza pojazdu specjalnego T-72: a) widok ogólny, b) schemat konstrukcyjny filtru: 1 – multicyklon, 2 – przegroda porowata, 3 – osadnik, 4 – króćce odsysania, 5 – płyta mocująca cyklony, 6 – cyklony

Odsysanie pyłu z osadnika multicyklonu, będącego pustą wewnątrz komorą o kształcie zbliżonym do płaskiego prostopadłościanu, realizowane jest punktowo dwoma króćcami odsysania (rys. 15). Rozmieszczenie cyklonów w różnej odległości od otworów wylotowych króćców odsysania ma niewątpliwie wpływ na relację między strumieniami odsysania i wylotowym w poszczególnych cyklonach.

4.1. Zakres i metodyka badań

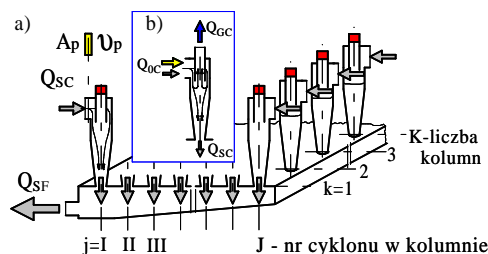
Zakres badań obejmował określenie wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z pojedynczych skrajnych cyklonów multicyklonu filtru powietrza. Nie jest możliwe określenie wartości strumieni Q_{SC} z cyklonów znajdujących się w środkowej części multicyklonu zaproponowaną metodą. Badania wykonano w warunkach, gdy przez osadnik multicyklonu przepływa kolejno strumień odsysania Q_S o wartościach wynikających ze stopni odsysania $m_0 = 4, 8$ i 16% i nominalnego zapotrzebowania powietrza przez silnik $Q_{Sil} = Q_G = 3400 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1,22 \text{ kg/s}$).

Wartości strumieni odsysania Q_S z osadnika multicyklonu dla przyjętych do badań stopni odsysania ($m_0 = 4, 8$ i 16%) obliczono z zależności:

$$Q_S = m_0 Q_G. \quad (3)$$

Wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z pojedynczych cyklonów multicyklonu filtru powietrza określono metodą pośrednią polegającą na pomiarzeniu wartości strumienia wlotowego Q_{OC} do cyklonu, który dla przypadku gdy, strumień wylotowy z cyklonu $Q_{GC} = 0$, przyjmuje wartość $Q_{OC} = Q_{SC}$. Przypadek taki zaistnieje wtedy, kiedy otwory wylotowe z wszystkich cyklonów multicyklonu zostaną zasłonięte, a z osadnika pyłu multicyklonu odsysany jest strumień Q_S będący sumą strumieni odsysanych Q_{SC} z pojedynczych cyklonów (rys. 16).

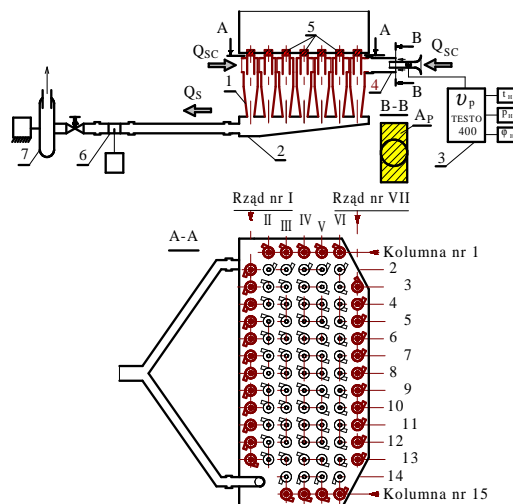
$$Q_S = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Q_{SC_{jk}} \quad (4)$$



Rys. 16. Przepływ strumienia Q_{SC} w cyklonie: a) podczas pracy, b) w czasie pomiaru. I, II, III, ..., j, ..., J – numer kolejnego cyklonu w kolumnie - liczba rzędów; 1, 2, 3, ..., k, ..., K – numer kolejnego cyklonu w rzędzie - liczba kolumn

Wartości strumieni Q_{SC} z pojedynczych cyklonów określano na specjalnym stanowisku (rys. 17) metodą pośrednią polegającą na pomiarze sondą wiatraczkową przyrządu Testo 400 prędkości przepływu powietrza w króćcu wlotowym cyklonu w przekroju poprzecznym o znanym polu powierzchni A_p stosując zależność:

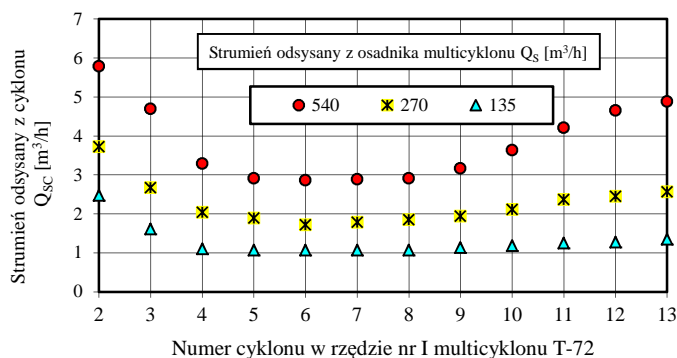
$$Q_{SC_{jk}} = v_{pjk} \cdot A_p \quad (5)$$



Rys. 17. Stanowisko do pomiaru wartości strumieni odsysanych z pojedynczych cyklonów multicyklonu: 1 – multicyklon, 2 – osadnik pyłu, 3 – przyrząd TESTO - 400, 4 – kanał pomiarowy, 5 – korki zamykające przepływ, 6 – przepływomierz, 7 – wentylator ssawny

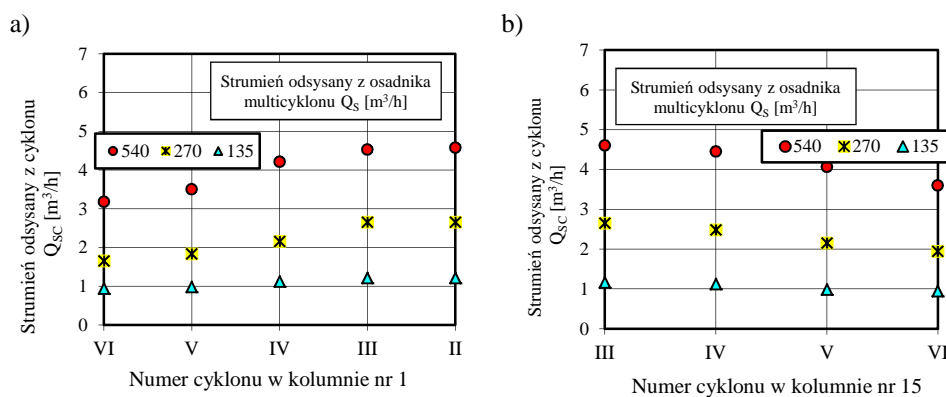
4.2. Analiza wyników badań

Strumienie odsysane Q_{SC} z pojedynczych cyklonów multicyklonu przyjmują bardzo zróżnicowane wartości (rysunki 18-20). Niezależnie od wartości strumienia odsysania Q_s , dla cyklonów, których wylot strumienia odsysania znajduje się blisko króćców odsysania z osadnika multicyklonu, wartości Q_{SC} są największe i zawierają się w zakresie $Q_{SC} = 2,5-5,95 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,89-2,13 \text{ g/s}$) rys. 18. Strumienie Q_{SC} odsysane z cyklonów środkowych badanego rzędu, a znajdujących się w pewnym oddaleniu od króćców odsysania, przyjmują wartości w granicach $Q_{SC} = 1,05 \div 2,95 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,38-1,06 \text{ g/s}$), a więc są o ponad 50 % mniejsze.



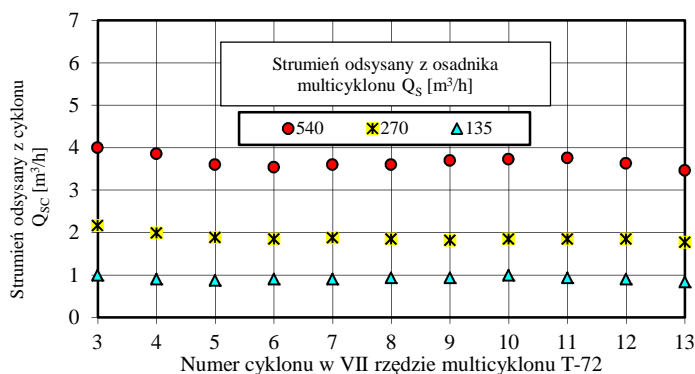
Rys. 18. Wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z pojedynczych cyklonów I-go rzędu multicyklonu pojazdu T-72

Wraz z oddalaniem się położenia cyklonów od czoła osadnika pyłu (od króćców odsysania) ku tylnej ścianie multicyklonu, następuje systematyczny spadek wartości strumieni odsysanych Q_{SC} (rys. 19).



Rys. 19. Wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z cyklonów multicyklonu T-72: a) kolumny nr 1, b) kolumny nr 15

W ostatnim (VII) rzędzie cyklonów, strumienie odsysane z pojedynczych cyklonów przyjmują wartości o połowę mniejsze (rys. 20) niż w rzędzie pierwszym (I) multicyklonu. Mniejsze są też różnice między maksymalnymi, a minimalnymi wartościami strumieni odsysanych Q_{SC} i dla $Q_S = 540$ m³/h (193 g/s), 270 m³/h (96,7 g/s), 135 m³/h (48,4 g/s) przyjmują odpowiednio wartości 11 %, 14 % i 16 %.



Rys. 20. Wartości strumieni odsysanych Q_{SC} z cyklonów VII-go rzędu multicyklonu T-72

5. PODSUMOWANIE

W multicyklonie zbudowanym z dużej liczby (100 sztuk i więcej) cyklonów mających wspólny osadnik pyłu, zastosowanie tylko dwóch króćców odsysających pył z osadnika, powoduje, że odległości otworów wylotowych strumieni odsysanych poszczególnych cyklonów od króćca układu odsysającego są niejednakowe, co stwarza w

naturalny sposób różnice między wartościami strumieni odsysanych z pojedynczych cyklonów i może mieć negatywny wpływ na skuteczność odpylania pojedynczych cyklonów i multicyklonu. Największe wartości strumieni odsysanych Q_{SC} występują, dla cyklonów znajdujących się najbliżej króćca odsysania pyłu z osadnika. Wraz z oddalaniem się położenia kolejnych cyklonów od króćca odsysania wartości strumieni odsysanych Q_{SC} systematycznie maleją i dla cyklonów będących najdalej przyjmują wartości o 35 - 50 % mniejsze.

Opracowana metodyka pomiarów strumieni Q_{SC} z pojedynczych cyklonów multicyklonu filtru powietrza będąca oryginalnym opracowaniem autora i może być stosowana do badania nierównomierności odsysania z osadników multicyklonów o podobnej konstrukcji i nie tylko o prostopadłościenną komorze osadnika pyłu, ale i o konstrukcji kołowej.

Kolejnym etapem doskonalenia organizacji systemu odsysania pyłu z osadnika multicyklonu jest zapewnienie równomierności odsysania z pojedynczych cyklonów, co niewątpliwie wpłynie na zwiększenie skuteczności odpylania multicyklonu.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Centisep Air Cleaner.: Materiały informacyjne firmy PALL Corporation, USA 2004.
- [2] Baczewski K., Hebda M.: Filtracja płynów eksploatacyjnych. MCNEMT, Radom 1991/92.
- [3] Dzierżanowski P., Miller Z.: Poszukiwania konstrukcyjnych sposobów podwyższania skuteczności bezwładnościowego odpylacza płaskiego. Biuletyn WAT, XL, 9 (469), 1991.
- [4] Dzierżanowski P.: Bezwładnościowy odpylacz modułowy. Biuletyn WAT, XXXV, 2 (402), 1986.
- [5] Dziubak T.: Analiza procesu filtracji powietrza wlotowego do silników pojazdów specjalnych. Rozprawa habilitacyjna. WAT Warszawa 2008.
- [6] Dziubak T.: Model osadnika pyłu multicyklonu filtru powietrza silnika pojazdu terenowego eksploatowanego w warunkach dużego zapylenia powietrza. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn PAN, Z. 2 (130) 2002.
- [7] Dziubak T.: Problemy odsysania pyłu z multicyklonu filtru powietrza silnika pojazdu mechanicznego eksploatowanego w warunkach dużego zapylenia powietrza. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn PAN, Z. 1(125), 2001.
- [8] Grafe T., Gogins M., Barris M., Schaefer J., Canepa R.: Nanofibers in Filtration Applications in Transportation. Filtration 2001 International Conference and Exposition, Chicago, Illinois, December 3-5, 2001.
- [9] Kim H. T., Zhu Y., Hinds W. C., Lee K.W.: Experimental study of small virtual cyclones as particle concentrators. Journal of Aerosol Science, Vol. 33, No 5, 2002.
- [10] Krapke P.: Die Entwicklung des LEOPARD – 2. Soldat und Technik, No 9, 1980.
- [11] Mann+Hummel Air Cleaners.: www.mann-hummel.com.
- [12] Рузаев И. Г., Стрыковский Ф.Р.: Исследование комбинированной системы очистки воздуха двигателей. Автомобильная промышленность, No 8, 1979.
- [13] Sage P. W., Wright M. A.: The Use of Bleeds to Enhance Cyclone Performance. Filtration & Separation, Vol. 23, No 1, 1986.