

## Karolina PERZ, Aleksandra REWOLIŃSKA, Grzegorz KINAL

e-mail: karolina.perz@put.poznan.pl

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, Poznań

# Skuteczność filtracji sprężonego powietrza

## Wstęp

Sprężone powietrze jest medium energetycznym szeroko wykorzystywanym w wielu gałęziach przemysłu. W wielu z nich (np. w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, elektronicznym, czy w lakiernictwie) szczególnie istotnym parametrem sprężonego powietrza jest jego czystość [Olberska i in., 2006; Perz i in., 2014]. Aby odpowiednio przygotować powietrze do wykorzystania w procesie technologicznym należy określić rodzaje zanieczyszczeń, które mogą mieć wpływ na jakość końcowego produktu. Należą do nich cząstki stałe, cząstki wody i oleju (zarówno w formie pary jak i aerozolu), a wg normy [ISO8573-1, 1985] w zależności od wielkości tych cząstek określana jest klasa czystości powietrza, poczynając od najbardziej rygorystycznej klasy 0, aż do klasy 9. Użytkownik medium powinien określić wymaganą w danym procesie jakość powietrza. Czystość sprężonego powietrza w instalacji zapewniają filtry i osuszacze [Perz, 2009; 2011; 2013]. Dobór odpowiednich elementów uzdatniających zależy od oczekiwanej klasy czystości powietrza.

W pracy opisano badania obserwacyjne filtrów sprężonego powietrza po określonym czasie eksploatacji.

## Ocena przydatności filtra

Podstawowymi kryteriami oceny materiałów filtracyjnych są skuteczność filtracji i opór przepływu. Zależą one od struktury przegrody filtracyjnej (wymiarów geometrycznych włókien, kształtu, gęstości) i wielkości jej powierzchni, od parametrów sprężonego powietrza (prędkości przepływu, temperatury i ciśnienia) oraz od zanieczyszczeń (rozmiaru, gęstości, kształtu, rodzaju, składu chemicznego). Przy założeniu stałych parametrów powietrza zewnętrznego i niezmiennych w czasie parametrów zanieczyszczeń można powiedzieć, że skuteczność filtracji i opór przepływu powietrza będzie funkcją parametrów związanych z budową filtra. Z uwagi na fakt, iż sprężarka powietrza pracuje w cyklu włącz-wyłącz, występują w układzie zmienne wartości strumienia powietrza, a co za tym idzie prędkość przepływu powietrza również jest zmienna. Zatem skuteczność filtracji  $\varphi$  oraz spadek ciśnienia  $\Delta P$  podczas przepływu powietrza będą zależę od następujących parametrów:

$$\varphi, \Delta P = f(d_{wf}, b, \beta, v_F) \quad (1)$$

gdzie:

$d_{wf}$  – średnica włókna filtra,

$b$  – grubość warstwy filtrującej,

$\beta$  – gęstość upakowania warstwy filtracyjnej,

$v_F$  – prędkość przepływu powietrza.

Przyjęto, że grubość włókna i początkowa grubość warstwy filtracyjnej jest niezmienna dla określonego rodzaju filtra. Również gęstość upakowania włókniny filtracyjnej jest stała. Zatem w najkorzystniejszym przypadku nowy filtr spełnia najlepiej swoje zadanie dla którego został zainstalowany odnośnie skuteczności filtracji, a opór przepływu przyjmuje określoną wartość początkową. Powoduje to generowanie założonych wstępnie minimalnych spadków ciśnienia i określone minimalne zużycie energii przez sprężarkę.

## Obiekt obserwacji i badań

Zanieczyszczenie powietrza zasilającego powoduje wzrost kosztów związanych ze zwiększeniem ciśnienia roboczego sprężarki. Ciśnienie robocze w instalacji zależy od budowy filtra, a przede wszystkim od rodzaju warstw filtracyjnych składających się na

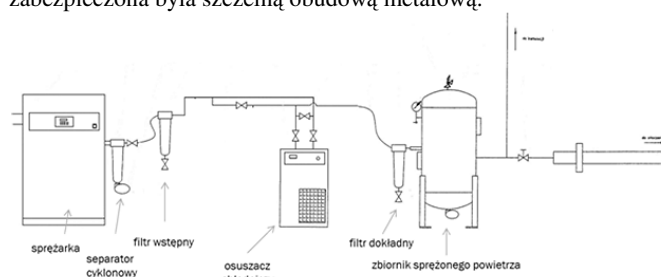
wymienny wkład. Odpowiedni dobór materiałów tworzących warstwę filtracyjną powinien zapewniać właściwą jakość powietrza przy stosowanym najmniejszym spadku ciśnienia i zapewnić jak najmniejszy spadek wydajności.

Filtr będący przedmiotem badań był typowym filtrem o budowie przedstawionej na rys. 1.



Rys. 1 Budowa typowego filtra sprężonego powietrza 1 – wzmocniona stal, 2 – zabezpieczenie papierowe, 3 – epoksydowe nakładki uszczelniające, 4 – wzmocnione włókno szklane, 5 – podwójna warstwa drenażowa złożona z warstwy papierowej i warstwy pianki poliuretanowej, 6 – podwójne pierścienie uszczelniające, 7 – odprowadzenie oczyszczonego powietrza, 8 – spust kondensatu. [AtlasCopco, 2015]

Materiał filtracyjny w tym filtrze tworzyły cztery warstwy wzmocnione warstwą perforowanej stali. Część zewnętrzną filtra stanowiła podwójna warstwa pianki poliuretanowej i warstwa papierowa z włókien celulozowych. Kolejną część filtracyjną stanowiło wzmocnione włókno szklane. Część wewnętrzną składała się z warstwy papierowej, która pozwalała uniknąć bezpośredniego kontaktu materiału filtracyjnego i stalowego rdzenia filtra. Całość zabezpieczona była szczelną obudową metalową.



Rys. 2 Schemat instalacji sprężonego powietrza [Perz, 2013]

**Instalacja.** Filtry były eksploatowane w rzeczywistej instalacji sprężonego powietrza (Rys. 2). Zastosowano w niej sprężarkę śrubową, a przed sprężarką zainstalowano filtry wstępne pyłowe. Dalejszą część instalacji służyła do uzdatnienia powietrza – za sprężarką zainstalowano separator cyklonowy, którego zadaniem było oddzielenie mieszaniny wodno-olejowej od powietrza. Kolejnym elementem był filtr wstępny, który oddzielał wstępnie większe cząstki zanieczyszczeń stałych, oleju i wody. W dalszym etapie uzdatniania wykorzystano osuszacz chłodniczy. Dalej zastosowano badany filtr dokładny, którego zadaniem było oczyszczenie powietrza z resztek

cząstek stałych (maksymalna wielkość cząstek wynosiła 1  $\mu\text{m}$ , co odpowiada klasie czystości 2 wg normy [ISO 8573/1]. W przypadku, gdy istniała potrzeba uzyskania sterylnej powietrza, przed urządzeniem instalowano filtr z węglem aktywnym.

**Metodyka.** Badania polegały na obserwacji poszczególnych warstw filtra w powiększeniu. Obserwacji poddano pięć filtrów eksploatowanych w porównywalnych warunkach. Filtry zamontowane były w sieci sprężonego powietrza jako ostatni stopień filtracji i eksploatowane były przez 1 rok (wg zaleceń producenta).

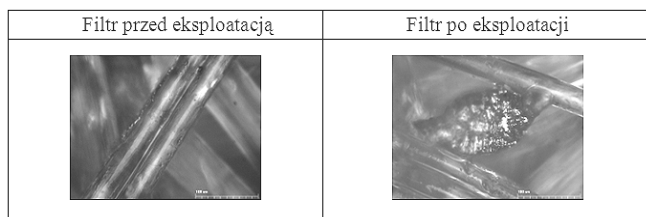
Ocenę zanieczyszczeń powierzchni filtrów przeprowadzono z wykorzystaniem metalograficznego mikroskopu optycznego firmy ZEISS pracującego w układzie odwróconym, wyposażonego w kamerę oraz współpracującego z komputerem i systemem komputerowej analizy obrazu *MultiScan*.

## Wyniki i dyskusja

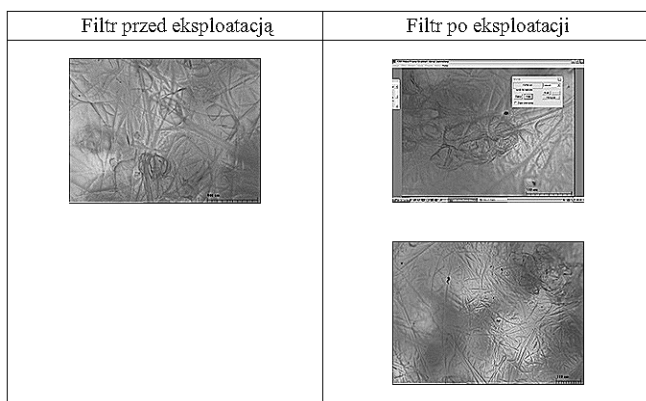
Wyniki badań obserwacyjnych poszczególnych warstw filtracyjnych przedstawiono w tab. 1 - 4.

Typowe zanieczyszczenia w sprężonym powietrzu stanowią cząstki stałe (kurz, produkty zużycia, cząstki rdzy, itp.), cząstki wilgoci i cząstki oleju. W badanych filtrach nie zauważono cząstek wilgoci, ponieważ przed filtrami zainstalowano osuszacz chłodniczy, który w istotny sposób wyeliminował problem występowania wody w instalacji.

Tab. 1 Zanieczyszczenia stałe na warstwie z włóknem szklanym



Tab. 2 Zanieczyszczenia stałe na warstwie papierowej

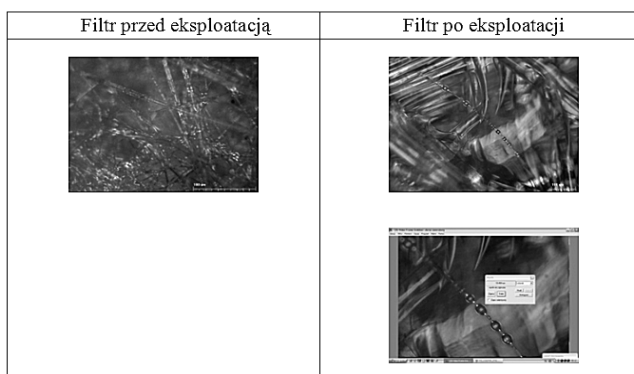


Pojawiające się na filtrach cząstki stałe przedstawione na zdjęciach (Tab. 1 i 2) były najczęściej produktami zużycia (cząstki metaliczne) i cząstkami rdzy pochodzącymi najprawdopodobniej z wewnętrznej części metalowego rurociągu. Cząstki miały wielkość od 1,5 do ok. 10  $\mu\text{m}$ , choć sporadycznie zdarzały się też pojedyncze, większe zanieczyszczenia (Tab. 2). Było to wynikiem zamontowania w instalacji filtra wstępnego, wychwytyjącego większe zanieczyszczenia (do ok. 10  $\mu\text{m}$ ). Nie zauważono zwiększonej ilości pyłu, kurzu i zanieczyszczeń pochodzenia atmosferycznego, ponieważ przed sprężarką zamontowano również filtry pobieranego powietrza.

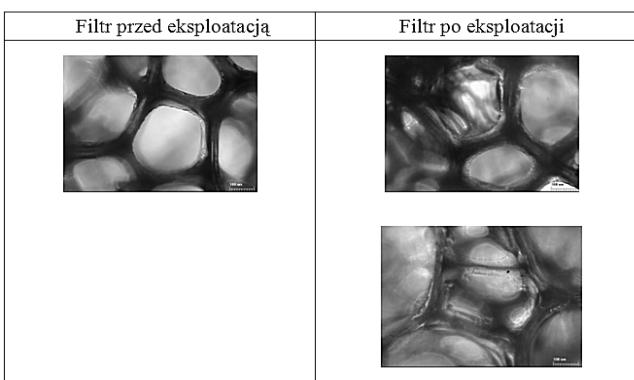
Na warstwie papierowej filtra można było zauważyć znaczne ilości oleju – cała powierzchnia filtra była pokryta tłustym filmem olejowym (Tab. 2).

W warstwie z włókna szklanego, która nie była tak chłonna jak warstwa papierowa, można było zaobserwować specyficzne ułożenie cząstek oleju w postaci łańcucha cząstek (Tab. 3).

Tab. 3 Zanieczyszczenia w postaci cząstek oleju na warstwie z włóknem szklanym



Tab. 4 Zanieczyszczenia w postaci cząstek oleju na warstwie pianki poliuretanowej



W warstwie pianki poliuretanowej sporadycznie pojawiały się zanieczyszczenia stałe. Były to zanieczyszczenia znacznych rozmiarów ze względu na wielkość porów pianki poliuretanowej wynoszących średnio 100  $\mu\text{m}$ , najczęściej w postaci długich włókien. Ze względu na dużą chłonność tej warstwy filtracyjnej najczęściej występującym zanieczyszczeniem był olej, który skutecznie wypełniał pory i utrudniał przepływ powietrza (Tab. 4). Cząstek wilgoci w żadnej warstwie nie zaobserwowano.

## Podsumowanie i wnioski

Chłonność przegrody filtracyjnej oraz skład granulometryczny pyłu, który na nią napływa decyduje o czasie pracy filtra powietrza. Pojawienie się zanieczyszczeń na filtrze wpływa istotnie na opór przepływu strumienia powietrza przez filtr.

Zwiększenie oporów przepływu wpływa na zwiększenie zapotrzebowania mocy sprężarki i dlatego konieczne jest monitorowanie spadków ciśnienia powietrza na filtrze w czasie eksploatacji.

Równie istotne jest rozpoznanie rodzaju zanieczyszczeń pojawiających się w instalacji – szczególnie w przypadku przemysłu spożywczego i farmaceutycznego, gdzie powietrze ma bezpośredni kontakt z produktem i pojawienie się oleju w sprężonym powietrzu jest niedopuszczalne.

## LITERATURA

- AtlasCopco, (2016). *Filtry sprężonego powietrza* (06.2016) <http://www.atlascopco.pl/plpl/products/uzdatnianie-powietrza-i-gaz%C3%B3w/3507124/1520773/>
- ISO 8573-1, (2010). *Compressed air-Part 1: Contaminants and purity classes*
- Olberska K., Duszyński J., Lewicki P.P., (2006). Sprężone powietrze w zakładach spożywczych – uzdatnianie. *Przem. Spoż.*, 60(9), 33-35
- Perz K., (2009). Możliwości wykorzystania ciepła odpadowego w przemyśle spożywczym. *Inż. Ap. Chem.*, 48(2), 110-111
- Perz K., (2011). Zanieczyszczenia sprężonego powietrza stosowanego w przemyśle spożywczym. *Inż. Ap. Chem.*, 50(2), 44-45
- Perz K., (2013). Koncepcja budowy stanowiska do badań parametrów sprężonego powietrza. *Inż. Roln.*, 17(1), 149-159
- Perz K., Rewolińska A., Grześkowiak K., (2014). Wyznaczanie strat ciśnienia w instalacji sprężonego powietrza. *Inż. Ap. Chem.*, 53(2), 101-102