

Porównanie strat ciśnienia filtrów powietrza w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych na przykładzie modułowej centrali klimatyzacyjnej

Comparison of pressure losses of air filters in laboratory and real conditions on the example of a modular air-handling unit

Marek Borowski¹, Piotr Życzkowski², Rafał Łuczak², Michał Karch²

¹dr hab. inż. prof. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Górnicztwa i Geoinżynierii, Kraków, Polska

²dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Górnicztwa i Geoinżynierii, Kraków, Polska

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów straty ciśnienia generowanej przez filtry powietrza zainstalowane w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej. Przyczynkiem do podjęcia badań był problem związany z krótszym okresem pomiędzy kolejnymi wymianami zestawów filtrów, niż to wynika z deklaracji producenta centrali oraz dostawcy filtrów. Poza tym wzrost oporów przepływu powietrza na filtrach powoduje zmniejszenie ilości powietrza dostarczanego do strefy przebywania ludzi, co objawia się obniżeniem komfortu higienicznego, jaki zgłaszają użytkownicy pomieszczeń obiektu.

Analizie poddano parametry filtrów wstępnych, plisowanych klasy G3 oraz filtrów kieszeniowych klasy F5, pracujących w zestawie (G3+F5). Badaniom poddano filtry, o różnej długości czasu pracy w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej, określone umownie jako: czyste (0M), średnio zabrudzone (3M) oraz bardzo zabrudzone (6M). Pomiarów dokonano w warunkach rzeczywistych pracy centrali klimatyzacyjnej oraz w laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Wyniki pomiarów przedstawiono w sposób graficzny oraz przeprowadzono ich dyskusję, uwzględniając parametry nominalne podawane przez producenta centrali klimatyzacyjnej oraz dostawcę filtrów powietrza.

Abstract

The article presents the results of measurements of pressure loss generated by air filters installed in the supply part of the air-handling unit. The reason for undertaking the research was a problem related to a shorter period between subsequent exchanges of filter sets than it is required by the declaration of the manufacturer of the central office and the filter supplier. In addition, the increase in airflow resistance on the filters causes the amount of air supplied to the occupant zone to be mixed, which results in a decrease in hygienic comfort, as reported by users of the premises of the facility.

The parameters of pre-filter, pleated class G3 and F5 class pocket filters working in a set (G3 + F5) were analyzed. The tests were carried out on filters with different length of working time in the supply part of the air-handling unit, named conventionally as: clean (0M), medium soiled (3M) and very soiled (6M). The measurements were made in the real conditions of the air-handling unit's work and in the laboratory of the AGH University of Science and Technology in Krakow.

The results of the measurements were presented graphically and their discussion was carried out, taking into account the nominal parameters given by the manufacturer of the air-handling unit and the supplier of air filters.

Słowa kluczowe: filtracja powietrza, filtr wstępny, filtr plisowany, filtr kieszeniowy, klasa filtra, strata ciśnienia filtra

Keywords:

air filtration, pre-filter, pleated filter, pocket filter, filter class, filter pressure loss,

1. Wstęp

W ciągu ostatniej dekady zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach zostały uznane na całym świecie za publiczne zagrożenia dla zdrowia. Zanieczyszczenia transportowane systemami wentylacji i klimatyzacji wpływają na zdrowie osób przebywających w pomieszczeniach, do których się dostają i wywołują różnego rodzaju dolegliwości (od bólów głowy po depresję i zaburzenia krążenia). Wpływają również, poprzez zwiększenie oporów przepływu powietrza, na efektywność pracy instalacji oraz jej energochłonność. Przyczyną obniżenia efektywności pracy instalacji wentylacyjnej może być niewłaściwy dobór filtrów, sposób montażu, szczelność instalacji, uszkodzenia mechaniczne filtrów oraz znaczne zanieczyszczenie powierzchni filtracyjnej [2, 5].

Stosowanie filtrów powietrza w układach wentylacji i klimatyzacji ma za zadanie oczyszczenie powietrza z cząstek stałych zawieszonych w powietrzu. Zastosowanie różnego rodzaju filtrów jest najprostszą formą odseparowania cząstek pyłu z powietrza wentylacyjnego. Filtry powietrza służą zapewnieniu odpowiedniej jakości powietrza użytkownikom przebywającym w pomieszczeniach zamkniętych [3]. W układach klimatyzacji oczyszczany jest strumień powietrza doprowadzanego systemem przewodów do pomieszczeń, jak również strumień powietrza wywiewanego, który może być zawracany do obiektu lub poddawany procesom odzysku ciepła [4]. Takie oczyszczanie powietrza w centralach klimatyzacyjnych stanowi ochronę elementów wyposażenia centrali w szczególności wymienników ciepła przed zabrudzeniem. Filtry stosowane w instalacjach wentylacyjnych dla zapewnienia ochrony przed zanieczyszczeniami, mogą prowadzić do nieprawidłowości w działaniu instalacji i uszkodzenia poszczególnych jej komponentów [6]. Podstawowym celem oczyszczania powietrza nawiewanego jest zapewnienie odpowiedniej jakości i czystości powietrza. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów straty ciśnienia generowanej przez filtry powietrza stosowane w centrali klimatyzacyjnej. Analizowano pracę filtrów plisowanych G3 i kieszeniowych F5 w układzie pojedynczym oraz w zestawie (G3+F5). Powodem podjęcia badań było gwałtowne osadzenie się pyłów na filtrach powietrza w centrali klimatyzacyjnej, co objawiało się wzrostem straty ciśnienia na filtrach do wartości zadanej w centrali wentylacyjnej. Powodowało to konieczność wymiany filtrów w krótszym czasie, niż to zaleca producent centrali oraz dostawca filtrów. Taka sytuacja związana z częstszą wymianą filtrów powodowała wzrost kosztów eksploatacyjnych centrali klimatyzacyjnej. Przeprowadzone badania poziomu zanieczyszczeń pyłami PM 2,5 i PM 10 na zewnątrz i wewnątrz obiektu nie wskazywały na przekroczenie dopuszczalnych stężeń.

2. Procesy filtracji powietrza

Mechanizmy filtracyjne to zjawiska fizyczne, których wystąpienie prowadzi do zatrzymania cząstek w filtrze lub na jego powierzchni. Oddzielenie cząstek pyłu ze strumienia przepływającego gazu oraz zatrzymanie ich na powierzchni lub pomiędzy elementami

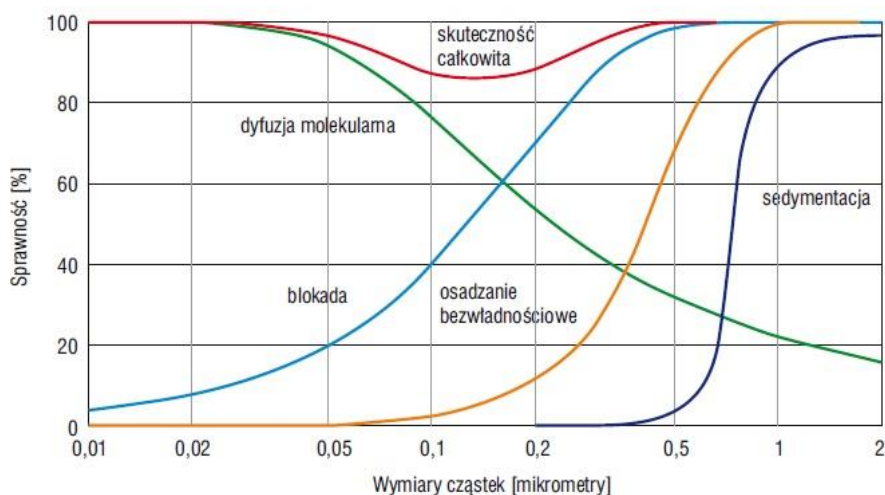
filtracyjnymi zależy m.in. od średnicy włókien filtracyjnych, średnicy cząstek i prędkości ich przepływu oraz od rozkładu cząstek pyłu przed materiałem filtracyjnym.

Do podstawowych mechanizmów filtracyjnych należą [1, 7]:

- dyfuzja molekularna,
- bezpośrednie zaczepienie,
- osadzanie bezwładnościowe (inercyjne),
- blokada (intercepcja),
- oddziaływanie elektrostatyczne.

Proces oczyszczania gazu jest wynikiem złożonych zjawisk zachodzących w urządzeniu filtracyjnym, które prowadzą do usunięcia cząstek pyłu z gazu i osadzenia ich na powierzchni materiału filtracyjnego. Pozostając dostatecznie długo w obszarze działania różnorodnych sił i zjawisk, cząstki pyłu mogą osadzać się na powierzchni filtracyjnej w wyniku bezpośredniego zderzenia lub mogą być do niej kierowane wskutek działania mechanizmów filtracyjnych. Zjawiska te mogą oddziaływać pojedynczo lub w odpowiedniej kombinacji.

Wpływ mechanizmów filtracyjnych i wielkości cząstek zanieczyszczeń na przebieg zmienności skuteczności osadzania pyłów w filtrze dokładnym, przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Skuteczność zatrzymywania cząstek przez filtry powietrza związana z występowaniem mechanizmów filtracyjnych [9]

Fig.1. The effectiveness of particle retention by air filters associated with the presence of filtration mechanisms [9]

Do opisu i oceny procesu filtracji powietrza wykorzystuje się wskaźniki filtracyjne, do których należy skuteczność filtracji, chłonność pyłowa filtra, pole powierzchni filtracyjnej, prędkość i strumień przepływu powietrza oraz opór przepływu powietrza i klasa filtra [1]. Wskaźniki filtracyjne stosowanych w systemach wentylacyjnych filtrów podają normy PN-EN ISO 16890:2017-01 części od 1 do 4, pt. "Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Określanie parametrów filtracyjnych" oraz PN-EN ISO 29463:2018-11 „Wysokoskuteczne filtry powietrza (HEPA i ULPA)” (część 1-5). Stowarzyszenie Eurovent publikuje również kodeks dobrych praktyk Eurovent 4/23 (2017 r.), który dotyczy wyboru klas filtrów powietrza według EN ISO 16890 do ogólnych zastosowań wentylacyjnych. Publikacja zawiera porównanie ocenianych klas tych samych filtrów według wycofanej normy PN-EN 779 i obowiązującej PN-EN ISO 16890, na podstawie rzeczywistych danych testowych. Porównanie klas filtrów zostało opracowane przy użyciu danych z programu „Eurovent Certified Performance” obsługiwanego przez Eurovent Certita Certification dla

filtrów powietrza do wentylacji ogólnej. Oznaczenia filtrów według normy EN779 oraz EN16890 zawiera tabela 1.

TABELA 1. Klasy filtrów powietrza według PN-EN 779 i PN-EN ISO 16890 [8]
TABLE 1. Air filter classes according to PN-EN 779 and PN-EN ISO 16890 [8]

Klasa filtra zgodna z PN-EN 779	Klasa filtra zgodna z PN-EN ISO 16890
G2	ISO coarse $\geq 30\%$
G3	ISO coarse $\geq 45\%$
G4	ISO coarse $> 60\%$
M5	ePM10 $\geq 50\%$
M6	ePM2,5 $\geq 50\%$
F7	ePM1 $\geq 50\%$
F8	ePM1 $\geq 70\%$
F9	ePM1 $\geq 80\%$

W systemach wentylacji i klimatyzacji, najczęściej wykorzystuje się filtry z włókien poliestrowych, szklanych, poliuretanowych i włókien lateksowych. Stosowane są także maty filtracyjne wykonane z włókien syntetycznych i włókien szklanych [1].

3. Charakterystyka filtrów zastosowanych w centrali klimatyzacyjnej

Badania filtrów przeprowadzono dla modułowej centrali klimatyzacyjnej, która jest przeznaczona do stosowania w obiektach użyteczności publicznej oraz mieszkalnych, jak również w obiektach przemysłowych. Analizowana centrala nawiewno-wywiewna, w której skład wchodziły: filtry powietrza, wymiennik krzyżowy, nagrzewnica, chłodnica i zespół wentylatorów, zapewniała uzdatnianie powietrza o strumieniu 15 000 m³/h, przy sprężu wentylatora nawiewnego wynoszącym 2200 Pa. Przy tak wysokim sprężu wentylatora instalacja klimatyzacyjna może zostać zaliczona do wysokociśnieniowych.

W centrali klimatyzacyjnej zastosowano filtry powietrza klasy G3 - plisowany jako wstępny oraz F5 – kieszeniowy jako zasadniczy. Podstawowe parametry filtrów wstępnego i zasadniczego, przyjęte przy doborze centrali klimatyzacyjnej, przedstawiono w tabeli 2 i 3.

TABELA 2. Parametry filtrów powietrza klasy G3 w centrali klimatyzacyjnej
TABLE 2. Parameters of G3 class air filters in the air-handling unit

Klasa:	G3	Długość kieszeni [mm]:	24,0
Czysty Δp [Pa]:	31	Powierzchnia filtra [m ²]:	6,1
Brudny Δp [Pa]:	150	Komórki szt. x [mm]:	4 x 592,0 x 592,0
Wydatek powietrza [m ³ /h]:	15 000		2 x 592,0 x 287,0

Widok czystego filtra kasetowego G3 stosowanego w centrali klimatyzacyjnej pokazano na rysunku 2.



Rys.2. Widok filtra klasy G3
Fig.2. A view of the G3 class filter

TABELA 3. Parametry filtrów kieszeniowych powietrza w centrali klimatyzacyjnej
TABLE 3. Parameters of air pocket filters in the air-handling unit

Klasa:	F5	Długość kieszeni [mm]:	600,0
Czysty Δp [Pa]:	26	Powierzchnia filtra [m ²):	21,30
Brudny Δp [Pa]:	200	Komórki szt. x [mm]:	4 x 592,0 x 592,0
Wydatek powietrza [m ³ /h]:	14 770		2 x 592,0 x 287,0

Wygląd czystego filtra kieszeniowego F5 stosowanego w centrali klimatyzacyjnej pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Widok filtra kieszeniowego F5 (M5)
Fig. 3. Pocket filter view F5 (M5)

Z uwagi na zagrożenia jakie stwarza zanieczyszczone powietrze nawiewane do pomieszczeń, instalacja wentylacyjna musi być utrzymywana w należytym stanie technicznym, podlegać okresowej konserwacji i należy zadbać o właściwy dobór filtrów powietrza i ich okresową wymianę [5].

Dostawca filtrów wskazuje, że maksymalna strata ciśnienia na zanieczyszczonym filtrze G3, kiedy należy dokonać jego wymiany wynosi 150 Pa, natomiast na zanieczyszczonym filtrze F5(M5) wynosi 200 Pa. Przewiduje również, że wymiana filtrów wstępnych G3 będzie następowała po 3 miesiącach pracy a filtrów F5(M5) po 6 miesiącach pracy.

Ponieważ opory przepływu powietrza na filtrach szybko wzrastały, konieczna była wymiana filtrów w czasie krótszym od deklarowanego przez dostawcę, co wiązało się z wysokimi kosztami wymiany filtrów. Dlatego też postanowiono przeprowadzić badania

filtrów o różnej długości czasu pracy w centrali klimatyzacyjnej, w celu określenia przyczyn częstych ich wymian.

4. Pomiary parametrów pracy filtrów w centrali klimatyzacyjnej

Metodyka wykonanych pomiarów polegała na pomiarze różnicy ciśnień dla zestawu filtrów (G3+F5) i strumienia objętości powietrza w przewodzie doprowadzającym powietrze do centrali przy różnych ustawieniach obrotów wirników wentylatorów (połączonych równolegle), przez co uzyskano kilka różnych wydajności centrali klimatyzacyjnej. Różnicę ciśnień przed i za filtrem pomierzono manometrem Kimo CP100 (zakres pomiarowy 0-2000Pa, dokładność pomiaru ciśnienia $\pm 1,5\%$ wartości mierzonej $\pm 3\text{Pa}$), natomiast prędkość powietrza wyznaczano za pomocą termoanemometru TA410 firmy TSI Airflow (zakres pomiarowy 0-20m/s, dokładność pomiaru prędkości $\pm 5\%$ wartości mierzonej ± 1 cyfra, nie mniej niż 0.025m/s).

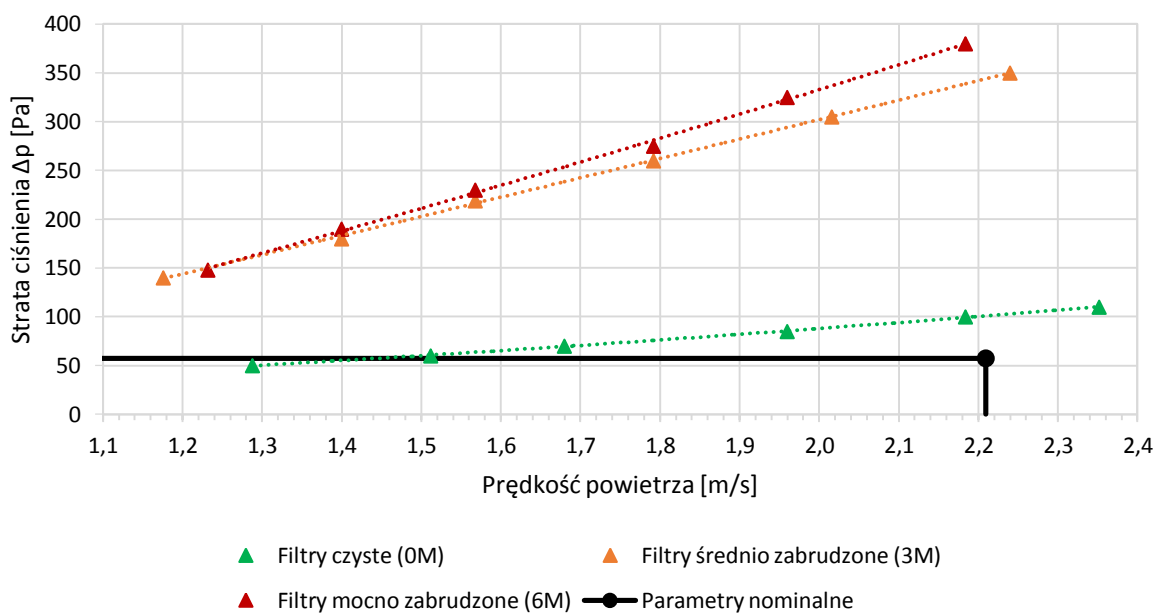
Badania przeprowadzono w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej w dwóch wariantach:

- 1) Jednorazowo: filtry czyste od dostawcy (0M), średnio zabrudzone (po 3 miesiącach pracy – 3M) i mocno zabrudzone (po 6 miesiącach pracy – 6M) w celu określenia wpływu długości czasu pracy filtrów na wielkość zatrzymywanych zanieczyszczeń powietrza i generowanych strat ciśnienia. Badania wykonano w rzeczywistych warunkach w centrali klimatyzacyjnej oraz w celu porównania, w warunkach laboratoryjnych.
- 2) Czterokrotnie: filtry czyste, które zostały zamontowane w centrali klimatyzacyjnej w odstępach tygodniowych (0T, 1T, 2T, 3T) w celu określenia szybkości wzrostu oporów przepływu powietrza przez filtry. Badania wykonano w rzeczywistych warunkach w centrali klimatyzacyjnej w obiekcie.

4.1. Jednorazowe pomiary filtrów w centrali klimatyzacyjnej

Dla pierwszego wariantu pomiarów, na rysunku 4, przedstawiono zmiany strat ciśnienia powietrza Δp [Pa] na filtrach czystych (0M), średnio zabrudzonych (3M) oraz mocno zabrudzonych (6M), w zależności od prędkości przepływu powietrza przez filtry [m/s]. Natomiast punktem w kolorze czarnym zaznaczono parametry nominalne tj. wartość 57 Pa odpowiadającą sumie nominalnych oporów dla filtra plisowanego G3 i filtra kieszeniowego F5 (dla wydajności centrali klimatyzacyjnej 15 000 m³/h, oraz prędkość powietrza w przewodzie dolotowym równym 2,2 m/s), podawane przez producenta dla filtrów czystych.

Z analizy wynika, że filtry czyste mają prawie dwukrotnie wyższą stratę ciśnienia, niż to wynika z deklaracji dostawcy. Przekracza ona minimalnie 100 Pa i jest znacząco większa od danych podawanych przez producenta centrali klimatyzacyjnej (31 Pa dla filtra G3 i 26 Pa dla filtra F5) oraz dostawcy filtrów (35 Pa dla filtra G4 i 25 Pa dla filtra F5). Natomiast filtry zabrudzone, niezależnie od długości czasu pracy w centrali, charakteryzują się wysokimi oporami przepływu powietrza, które dochodzą do 380 Pa. Po dłuższym czasie pracy filtrów nie obserwuje się większej różnicy pomiędzy wartościami spadku ciśnienia na filtrach średnio zabrudzonych i mocno zabrudzonych, co oznacza, że filtry utraciły zdolność do akumulowania zanieczyszczeń pyłowych.

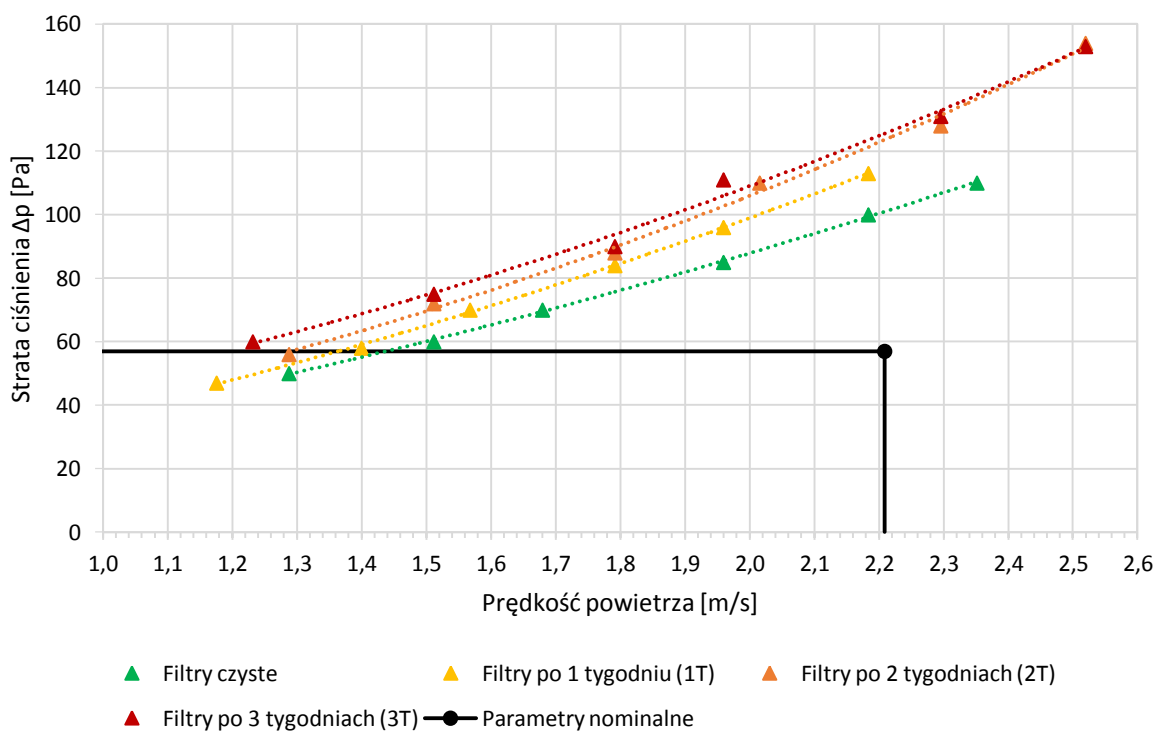


Rys.4. Strata ciśnienia powietrza filtrów pracujących w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej

Fig. 4. Pressure loss of the filters in the supply of the air-handling unit

4.2. Badania filtrów w odstępach tygodniowych w centrali klimatyzacyjnej

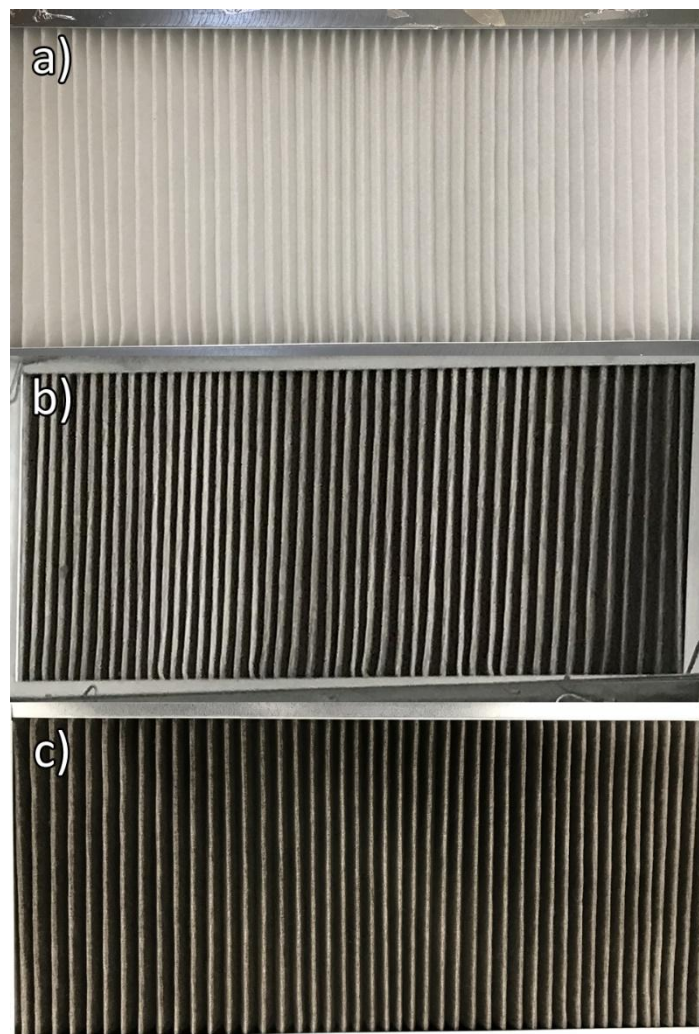
W celu określenia szybkości wzrostu oporów przepływu powietrza, przeprowadzono badania filtrów w odstępach tygodniowych. Wyniki pomiarów strat ciśnienia w funkcji przepływu przedstawiono na rysunku 5. Również i w tym przypadku punktem w kolorze czarnym zaznaczono nominalne parametry pracy filtrów, podawane przez producenta centrali klimatyzacyjnej. Należy stwierdzić, że początkowa różnica straty ciśnienia filtrów czystych i zmierzonych dla wartości nominalnych wynosiła 45 Pa. Po pierwszym tygodniu pracy centrali klimatyzacyjnej skumulowany wzrost ciśnienia na filtrach dla nominalnej prędkości przepływu powietrza wyniósł 14,2 Pa, po kolejnym tygodniu dodatkowo 22,7 Pa i w ostatnim tygodniu 25,0 Pa.



Rys. 5. Strata ciśnienia na filtrach powietrza w kolejnych tygodniach ich pracy w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej

Fig. 5. Pressure loss on air filters in the following weeks in the supply section of the air handling unit

Rysunek 6 przedstawia stan zanieczyszczenia filtrów kasetowych nowych (0T) oraz zabrudzonych po tygodniu pracy (1T) a także po dwóch tygodniach (2T) wykorzystania pracy w centrali klimatyzacyjnej. Można zauważyć, że następuje znaczny wzrost zabrudzenia filtrów w krótkim czasie jego eksploatacji. Próba określenia np. chłonności pyłowej filtra (g/m^2), nie wykazała jednoznacznie istotnego przyrostu ilości zatrzymanego pyłu na filtrze.



Rys. 6. Widok filtra G3: a) czysty (0T), b) po jednym tygodniu (1T), c) po dwóch tygodniach (2T)

Fig. 6. The G3 filter view: a) clean (0T), b) after one week (1T), c) after two weeks (2T)

5. Pomiary parametrów filtrów w laboratorium

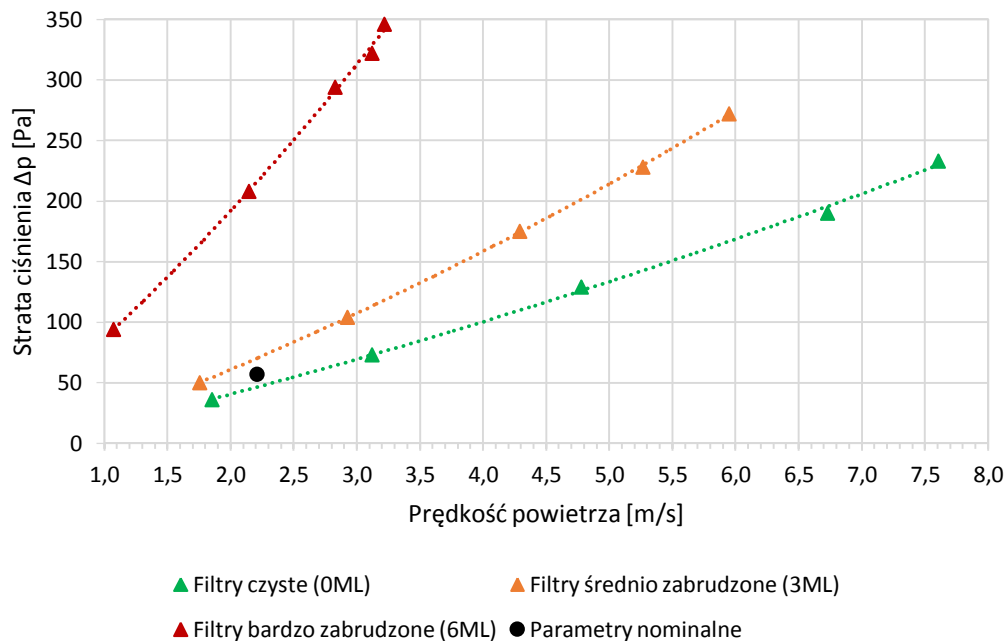
W celu porównania wyników z warunków rzeczywistych, przebadano filtry, z pierwszego wariantu, w warunkach laboratoryjnych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Badania obejmowały zarówno pomiary pojedynczych filtrów jak i zestawów filtrów (G3 + F5), przy czym badaniom poddano filtr o wymiarach 592,0 x 592,0, co odpowiada 1/5 powierzchni filtra w centrali klimatyzacyjnej. W badaniach laboratoryjnych zachowano prędkości powietrza jakie zarejestrowano w centrali klimatyzacyjnej. Natomiast strumień powietrza przepływający odpowiada strumieniowi powietrza w centrali klimatyzacyjnej jak dla jednej sekcji (komórki). Do badań zainstalowano wentylator, który wytwarzał maksymalne podciśnienie dochodzące do 400 Pa. Zatem instalacja pracowała na parametrach odpowiadających niskociśnieniowej.

Pomiary w laboratorium (oznaczone literą L) wykonano dla filtrów czystych (0ML), średnio zabrudzonych (3ML) oraz mocno zabrudzonych (6ML), dla których wykonano pomiary w warunkach rzeczywistych w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej.

Metodyka wykonanych pomiarów była podobna jak w pomiarach w centrali klimatyzacyjnej i polegała na pomiarze różnicy ciśnień przed i za filtrem za pomocą manometru CP100 a strumień objętościowy powietrza wyznaczono na podstawie pomiaru

prędkości powietrza mierzonej anemometrem skrzydełkowym Testo 410 Pomiarów dokonano dla różnych ustawień wydajności wentylatora zabudowanego w instalacji badawczej.

Rezultaty pomiarów uzyskane dla zestawu filtrów (G3 + F5) przedstawiono na rysunku 7. Z analizy wynika, że straty ciśnienia dla filtrów czystych pomierzone w warunkach laboratoryjnych są zbliżone do podawanych przez dostawcę filtrów. Ze względu na możliwości zakres prędkości dla pomiarów laboratoryjnych był znacznie szerszy.



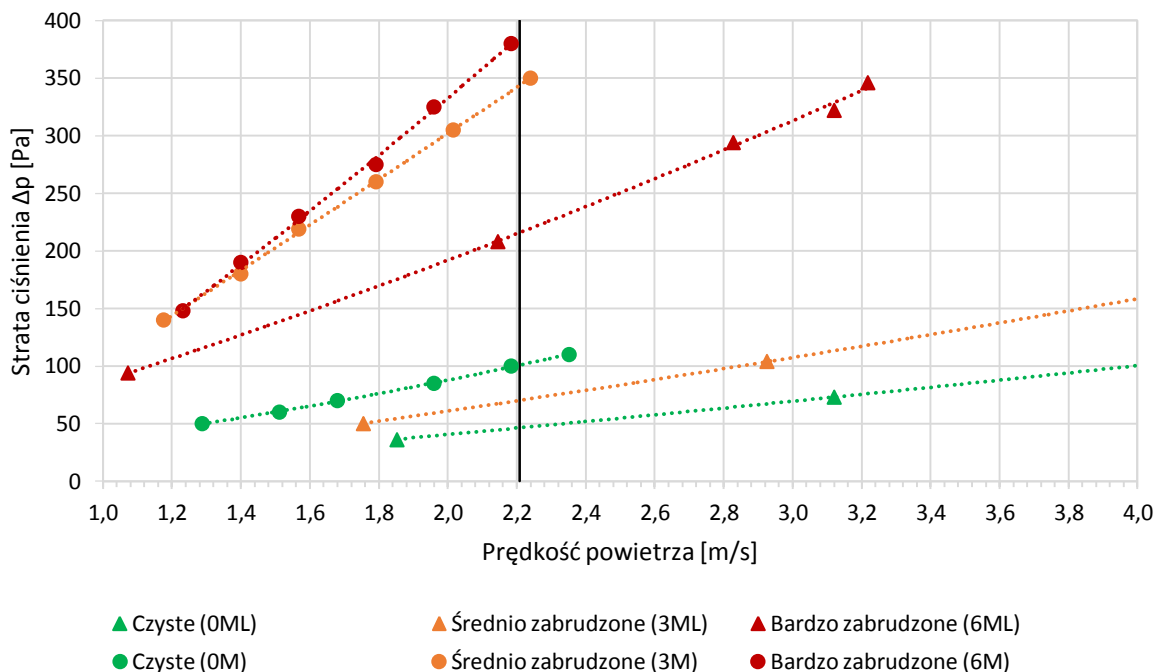
Rys. 7. Strata ciśnienia powietrza dla zestawu filtrów (G3 + F5) w laboratorium
Fig. 7. Pressure loss for the filter set (G3 + F5) in the laboratory

6. Dyskusja wyników pomiarów

Porównanie pomiarów laboratoryjnych i pomiarów w centrali klimatyzacyjnej zestawiono na rysunku 8. Pionową linią zaznaczono prędkość nominalną powietrza występującą w centrali klimatyzacyjnej. Z rysunku wynika, że wartości strat ciśnienia na filtrach podczas pomiarów w laboratorium są zdecydowanie niższe, niż podczas pomiarów, gdy filtry były zmontowane w centrali klimatyzacyjnej. Dla filtrów czystych różnica ta wynosi około 50 Pa, dla filtrów średnio zabrudzonych blisko 250 Pa, a dla bardzo zabrudzonych około 160 Pa. Różnice są spowodowane warunkami pracy filtrów w centrali klimatyzacyjnej. Ze względu na rozwiązanie konstrukcyjne w centrali klimatyzacyjnej wentylatory wytwarzają spręż, który wynosi 2200 Pa. Tak wysoka wartość podciśnienia wytwarzanego przez wentylatory wpływa na materiał filtracyjny, powodując zmniejszenie jego właściwości filtracyjnych. Utrata zdolności filtracyjnych objawia się podniesioną stratą ciśnienia na filtrach.

W trakcie badań stwierdzono, że nawet przy niewielkich ilościach pyłów zatrzymywanych na filtrach, występuje mechanizm zatrzymywania i wbijania pyłów w materiał filtracyjny, powodując jego szybkie zmniejszenie możliwości filtracyjnych.

Obliczenia związane z obciążeniem pyłem dla bardzo brudnych filtrów wynosiło maksymalnie: 97,2 g/m². Są to niskie wartości jak na tak silne zabrudzenie filtrów o stosunkowo krótkim czasie pracy w centrali klimatyzacyjnej.



Rys. 8. Porównanie wyników pomiarów strat ciśnienia na zestawie filtrów (G3 + F5) w laboratorium oraz w warunkach rzeczywistych

Fig. 8. Comparison of the results of pressure loss measurements on the filter set (G3 + F5) in the laboratory and in real conditions

7. Wnioski

Stosowane w centralach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych filtry powietrza cechują się wieloma parametrami filtracyjnymi, z których bardzo istotne są klasa filtra, wynikająca z niej skuteczność filtracji oraz strata ciśnienia jaką generuje filtr powietrza lub zestaw filtrów.

Przedstawiona w artykule analiza zmienności straty ciśnienia powietrza zestawu filtrów plisowanych G3 + kieszeniowych F5, pokazuje, że dla nominalnej prędkości powietrza w centrali klimatyzacyjnej, równej 2,2 m/s tylko dla filtrów czystych zmierzona strata ciśnienia jest porównywalna do danych jakie podaje dostawca filtrów. Dla pomiarów wykonywanych w miejscu rzeczywistej pracy filtrów w centrali klimatyzacyjnej, straty ciśnienia były wyższe, niż podają producenci, niezależnie od stanu filtrów (czyste, średnio zabrudzone i bardzo zabrudzone). Wzrost oporów przepływu powietrza na filtrach powoduje zmniejszenie ilości powietrza dostarczanego do strefy przebywania ludzi, co objawia się obniżeniem jakości powietrza i komfortu w obiekcie.

Zastosowane w badanej centrali klimatyzacyjnej standardowe zestawy filtrów G3+F5, są dedykowane do instalacji niskociśnieniowych tj. maksymalnie do 1000 Pa. Już kilku dniowa praca filtrów w warunkach rzeczywistych, wykazała, że straty ciśnienia na filtrach szybko wzrastają, co w konsekwencji przekłada się na bardzo częste wymiany filtrów.

Mechanizm oddzielenia cząstek pyłu ze strumienia przepływającego powietrza oraz zatrzymanie ich na powierzchni zależy m.in. od średnicy włókien filtracyjnych, średnicy cząstek i prędkości ich przepływu. W badanym przypadku proces filtracji został zaburzony wysoką wartością podciśnienia wytwarzanego przez wentylatory w części nawiewnej centrali klimatyzacyjnej. Identyfikowany problem występował w części wywiewnej instalacji klimatyzacyjnej, powodując zmniejszenie usuwanej ilości powietrza ze strefy przebywania ludzi, co objawiało się pogorszeniem warunków komfortu higienicznego.

Wysoki spręż wentylatorów, który wynosi 2200 Pa, powoduje oddziaływanie na materiał filtracyjny przyczyniając się do zmniejszenia jego właściwości filtracyjnych. Utrata zdolności filtracyjnych, objawia się podniesioną stratą ciśnienia na filtrach. Rozwiązaniem problemu częstej wymiany filtrów mógłby być indywidualny dobór materiału filtracyjnego dla dedykowanych wartości podciśnień oddziałujących na zestaw filtrów.

W celu prawidłowego doboru układu filtracyjnego do centrali klimatyzacyjnej, należy zwrócić uwagę nie tylko na klasę filtrów, ale także na parametry przepływowe, tj. strumień objętościowy powietrza oraz jego prędkość, ale także na wartość podciśnienia lub nadciśnienia w jakim pracują filtry powietrza, w centrali klimatyzacyjnej, co pozwoli zapewnić ich efektywną pracę w zakresie 30-250 Pa.

Na podstawie analizy rozkładu krzywych strat ciśnienia dla bardzo zabrudzonych filtrów, można stwierdzić, że o całkowitej stracie ciśnienia powietrza zestawu filtrów (G3 i F5) decyduje strata ciśnienia, jaką generuje filtr wstępny G3. Dlatego decydujące znaczenie na całkowity okres pracy zestawu filtrów ma odpowiedni dobór filtra wstępnego.

LITERATURA:

- [1] Charkowska A. 2013. „Filtry powietrza w wentylacji i klimatyzacji. Definicje i klasyfikacja”. Rynek Instalacyjny 4/2013.
- [2] Guoliang Liu et al. 2017. „A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation”. *Sustainable Cities and Society* 32: 375–396.
- [3] Irwin M. Hutten. 2015. *Handbook of Nonwoven Filter Media*, 2nd Edition, Elsevier Ltd. Butterworth-Heinemann.
- [4] Jaszczur M., Borowski M., Karch M., Branny M. 2017: The study of the velocity field of the air flowing the swirl diffusers using PIV method. *EPJ Web of Conferences* ; ISSN 2101-6275. vol. 143, art. no. 02047, S. 1–4. *EFM 2016: Experimental Fluid Mechanics 2016: proceedings of the international conference* : November 15–18.2016, Mariánské Lázně, Czech Republic.
- [5] Jimin Kim et. al. 2019. “The effects of filters for an intelligent air pollutant control system considering natural ventilation and the occupants”. *Science of the Total Environment* 657: 410–419.
- [6] Legg Roger. 2017. *Air Conditioning System Design*. Elsevier Ltd. Butterworth-Heinemann.
- [7] Nietzold I. 1984. „Filtracja powietrza”. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- [8] PN-EN ISO 16890. Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej.
- [9] <http://www.helpfulhomeimprovement.com/house-improvement-avenue/air-purifier-technologies-hepa-filter>.