



## **Analiza efektywności mikrobiologicznej filtrów powietrza z warstwą nanosrebra**

*Mariusz Skwarczyński, Ewelina Skwarczyńska-Kalamon  
Politechnika Lubelska*

### **1. Wstęp**

Głównym zadaniem systemów wentylacji i klimatyzacji jest prawidłowe kształtowanie komfortu cieplnego poprzez regulację parametrów takich jak: temperatura, wilgotność względna, prędkość powietrza przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej jakości powietrza charakteryzującej się niską liczbą mikroorganizmów oraz zanieczyszczeń chemicznych. Światowa Organizacja Zdrowia szacuje, że 50% zanieczyszczeń biologicznych obecnych wewnątrz pomieszczeń pochodzi z systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Powodem tak wysokiej liczby zanieczyszczeń mikrobiologicznych może być zanieczyszczenie środowiska zewnętrznego jak również sama instalacja wentylacyjna w szczególności w miejscach, w których może dochodzić do wystąpienia punktu rosy np. chłodnice, filtry powietrza oraz tłumiki, które nie wymienione w odpowiednim momencie stają się źródłem wtórnego zanieczyszczania przewodów wentylacyjnych. Hugenholtz i Fuerst (1992) zbadali, że nawet w przypadku czystych instalacji, ilość bakterii osiąga wartość  $10^7$  jtk/dm<sup>3</sup>. Badania Maus i in., (2001) potwierdzają obecność bakterii w filtrach powietrza. Oprócz nieszkodliwych mikroorganizmów, w filtrach występuje wiele chorobotwórczych gatunków. Wśród nich znajdują się: *Pseudomonas aeruginosa* i *Legionella pneumophila*. Komórki bakteryjne lub ich fragmenty obecne we wdychanym powietrzu mogą powodować problemy zdrowotne. Chorobotwórcze bakterie znajdujące się w powietrzu, najczęściej powodują choroby płuc i skóry. Szczególnie niebezpieczna jest obecność bakterii gramujemnych, ponieważ produkują one endotoksyny, które występują w bło-

nie zewnętrznej u części bakterii. Endotoksyny uwalniane są do otoczenia podczas aktywnego wzrostu komórek. Łebkowska oraz Miałkiewicz-Peska (2011) analizowały wpływ antybakteryjnego azotanu srebra ( $\text{AgNO}_3$ ) na przeżywalność bakterii w polipropylenowych filtrach powietrza, w sprzyjających warunkach temperatury, wilgotności oraz przy dostępności składników odżywczych.

Jako materiał testowy używano hydrofobowe filtry wykonane z polipropylenu. Maksymalne opory przepływu wynosiły 210 Pa przy strumieniu powietrza wynoszącym  $5,7 \text{ m}^3/\text{h}$ . W badaniu zastosowano pięć szczepów bakterii: *Micrococcus luteus*, *M. roseus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas luteola* i *P. putida*. Badania wykazały, że bakterie mogą przetrwać w filtrach polipropylenowych. Zjawisko to zaobserwowano w filtrach inkubowanych w powietrzu o dużej wilgotności względnej (70%, 80%), a także w filtrach pracujących w typowej wilgotności (40-45%). Wyniki badań wykazały, iż gram-dodatnie bakterie *M. luteus* przeżywały w filtrach powietrza i zachowały zdolność rozmnażania.

Aby ograniczyć wzrost bakterii w filtrach powietrza konieczne jest utrzymanie urządzeń, instalacji wentylacyjnej w czystości. Kurz zdeponowany wewnątrz filtrów może służyć jako źródło składników odżywczych, pod warunkiem wystąpienia odpowiedniej wilgotności względnej. W celu uniknięcia zanieczyszczenia filtrów powietrza przez bioaerozole stosowane są filtry antybakteryjne.

Celem badania było określenie efektywności mikrobiologicznej tkaniny filtracyjnej pokrytej nanosrebrem na przeżywalność trzech szczepów bakterii: *Micrococcus luteus* DSM 20030, *Bacillus subtilis* KKP 362, *Pseudomonas fluorescens* KKP1141. Szczepy te występują powszechnie w środowisku wewnętrznym i są bezpieczne do celów badawczych.

## 2. Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono dla włóknin syntetycznych klasy F5, F7 oraz F9. Parametry charakteryzujące poszczególne typy mat filtracyjnych zamieszczono w tabeli 1.

Badania przeprowadzono zgodnie z metodą wyznaczania efektu antybakteryjnego obróbek stosowanych do tkanin, zawartą w normie PN-EN ISO 20645:2006 „Płaskie wyroby włókiennicze. Wyznaczenie aktywności antybakteryjnej. Metoda dyfuzji na płytce z agarem”.

**Tabela 1.** Parametry mat filtracyjnych**Table 1.** Technical parameters of air filter mats

Parametry	Mata filtracyjna o klasie filtracji		
	F5	F7	F9
skład włókien	100% PP	100% PP	100% PP
gęstość powierzchniowa [g/m <sup>2</sup> ]	300	85	190
grubość [mm]	20-22	1,10	2,2-2,6
przepustowość powietrza (przy 100 Pa) [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·s)]	0.895	0.530	0.260-0.320
początkowy spadek ciśnienia [Pa]	28	60	100-120

Podczas badań zastosowano następującą aparaturę:

- inkubator, umożliwiający utrzymanie temperatury  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ,
- autoklaw, przystosowany do pracy w warunkach 205 kPa i  $121^\circ\text{C}$ ,
- łaźnia wodna utrzymująca temperaturę  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ ,
- szklane szalki Petriego o średnicy wewnętrznej 9 cm.

Z badanego materiału, każdej z trzech klas filtrów (F5, F7, F9) przygotowano próbki w kształcie koła o średnicy 30 mm. Następnie impregnowano każdą z próbek przez jedną godzinę w preparacie bakteriobójczym. Nanopreparat zawierał komponent nanosrebrowy otrzymany w postaci koloidalnej, zawierający nanocząsteczki srebra skompleksowane alkoholem poliwinylowym w obecności azotanu sodu przy pH 5.5 przy czym komponent nanosrebrowy modyfikowany był w obecności kwasu azotowego glikolem polietylenowym oraz nadtlenkiem wodoru. Mokre próbki materiału filtracyjnego suszone były przez 4 dni w komorze laminarnej w temperaturze  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ . W czasie suszenia filtry były obracane, w celu równomiernego wysuszenia próbek. Badania prowadzono na próbkach materiałów filtracyjnych po 1, 3, 7, 14 oraz 30 dniach od wyschnięcia.

Próbki robocze umieszczano na płytkach z dwuwarstwowym agarem TSA. Dolną warstwą była pożywka bez bakterii, zaś górną agar TSA z zaszczepionym odpowiednim szczepem bakterii. Badano obie strony wyrobu: górną i dolną. Przygotowano pożywkę TSA (firma BTL), która składała się z następujących składników: pepton K, pepton SP, chlorek sodu, agar. Naważkę 16 g rozpuszczono w 400 ml wody destylowanej i sterylizowano w autoklawie w temperaturze  $121^\circ\text{C}$  (przy 205 kPa)

przez 15 minut. Przed sterylizacji pożywka w temperaturze 20°C miała pH równe  $7,3 \pm 0,2$ .

Do badań zastosowano trzy szczepy bakterii:

- gram dodatnie: *Micrococcus luteus* DSM 20030, *Bacillus subtilis* KKP 362,
- gram- ujemne: *Pseudomonas fluorescens* KKP 1141.

Na każdą wysterylizowaną szalkę Petriego rozlano ok. 10 ml agaru bez bakterii i pozostawiono do zżelowania. Przygotowano agar na górną warstwę, schłodzono w łaźni wodnej do temperatury 45°C. 150 ml agaru zaszczerpiono hodowlą bakterii o stężeniu  $1-5 \times 10^8$  jtk/cm<sup>3</sup>. Na każdą szalkę Petriego wiano ok. 5 cm<sup>3</sup> zaszczerpionego agaru. Płytki pozostawiono na 1 h. Następnie na pożywce rozłożono próbki filtrów o średnicy 30 mm. Następnie płytki inkubowano przez 24 h w temperaturze 37°C dla bakterii *Micrococcus luteus* i *Bacillus subtilis* oraz 30°C dla *Pseudomonas fluorescens*.

Poziom aktywności antybakteryjnej nanosrebra oceniany był poprzez ustalenie występowania wzrostu bakterii bądź jego braku w strefie kontaktu agaru z próbką roboczą filtra oraz określenie wymiaru strefy hamowania wokół próbki roboczej, w przypadku gdy występowała. Analizę wykonano w trzykrotnym powtórzeniu.

Szerokość strefy hamowania określana była na podstawie wzoru 1 zamieszczonego w normie PN-EN ISO 20645:2006.

$$H = \frac{D-d}{2} \text{ [mm]} \quad (1)$$

gdzie:

H – szerokość strefy hamowania [mm],

D – łączna średnica próbki roboczej i szerokości stref hamowania [mm],

d – średnica próbki roboczej [mm].

Po pomiarze strefy hamowania próbki robocze zdejmowano z podłoża oraz oceniano wzrost bakterii w strefie kontaktu na spodniej stronie.

Oceny antybakteryjnego efektu próbki roboczej dokonywano zgodnie z tabelą 2.

**Tabela 2.** Antybakteryjny efekt obróbki antybakteryjnej (PN-EN ISO 20645:2006)

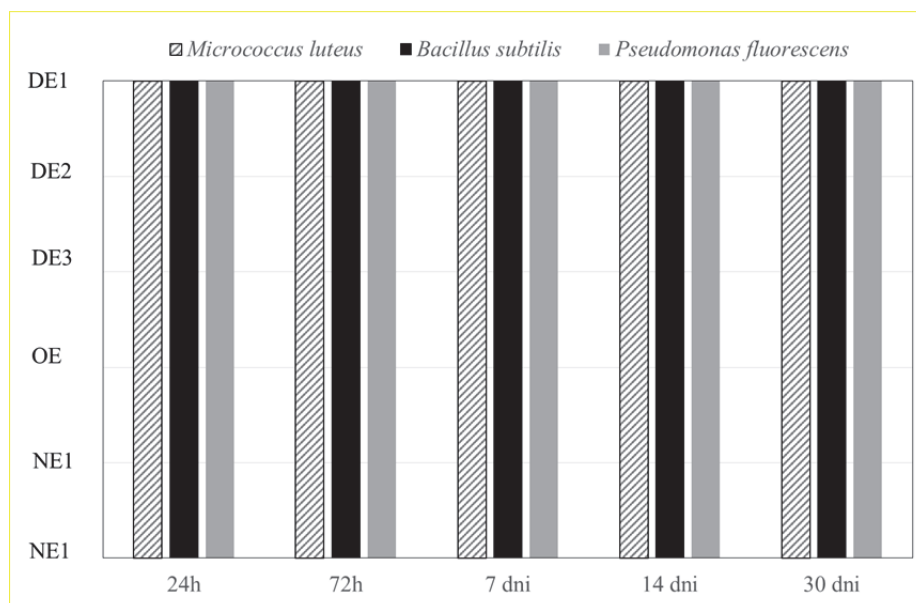
**Table 2.** Antibacterial effect of antimicrobial treatment (PN-EN ISO 20645:2006)

Symbol	Strefa hamowania, [mm]	Wzrost	Opis	Ocena
DE1	> 1	brak	strefa hamowania powyżej 1 mm, brak wzrostu	dobry efekt
DE2	1-0	brak	strefa hamowania do 1 mm, brak wzrostu	
DE3	0	brak	brak strefy hamowania, brak wzrostu	
OE	0	słaby	brak strefy hamowania, tylko niektóre kolonie ograniczone, wzrost prawie całkowicie wstrzymany	ograniczona efektywność
NE1	0	średni	brak strefy hamowania, wzrost obniżony do połowy w porównaniu do kontrolnego	niewystarczający efekt
NE2	0	silny	brak strefy hamowania, brak obniżenia wzrostu w porównaniu do kontrolnego, lub tylko lekkie obniżenie wzrostu	

### 3. Wyniki badań i dyskusja

Niemal we wszystkich przypadkach próbek materiału filtracyjnego F5 ułożonego stroną górną na podłożu wystąpiła strefa hamowania dookoła próbki roboczej. Wyjątek stanowił przypadek *5GB (7 dzień)* gdzie zahamowanie wzrostu bakterii *Bacillus subtilis* wystąpiło jedynie w miejscu kontaktu próbki roboczej z podłożem.

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki antybakteryjnego efektu obróbki antybakteryjnej dla materiału filtracyjnego klasy F5.



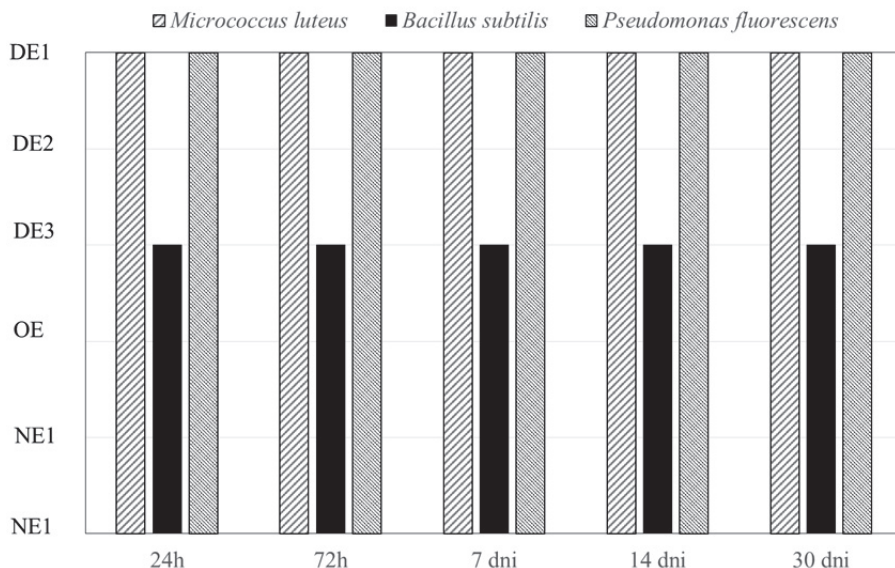
**Rys. 1.** Efekt antybakteryjny filtra klasy F5

**Fig. 1.** Antibacterial effect on filter class F5

Preparat z nanosrebrem działał hamująco na rozwój bakterii *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* pod materiałem filtracyjnym klasy F5 ułożonym stroną zarówno górną jak i dolną na podłożu. Efekt antybakteryjny utrzymywał się przez 30 dni od wyschnięcia filtra.

W przypadku materiału filtracyjnego klasy F7 zahamowanie wzrostu bakterii *Bacillus subtilis* występowało jedynie w miejscu kontaktu próbki roboczej z podłożem w przypadku 30 dni od wyschnięciu materiału filtracyjnego. W pozostałych przypadkach dookoła próbek roboczych wystąpiła strefa hamowania.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki antybakteryjnego efektu antybakteryjnego dla materiału filtracyjnego klasy F7.



**Rys. 2.** Efekt antybakteryjny filtra klasy F7

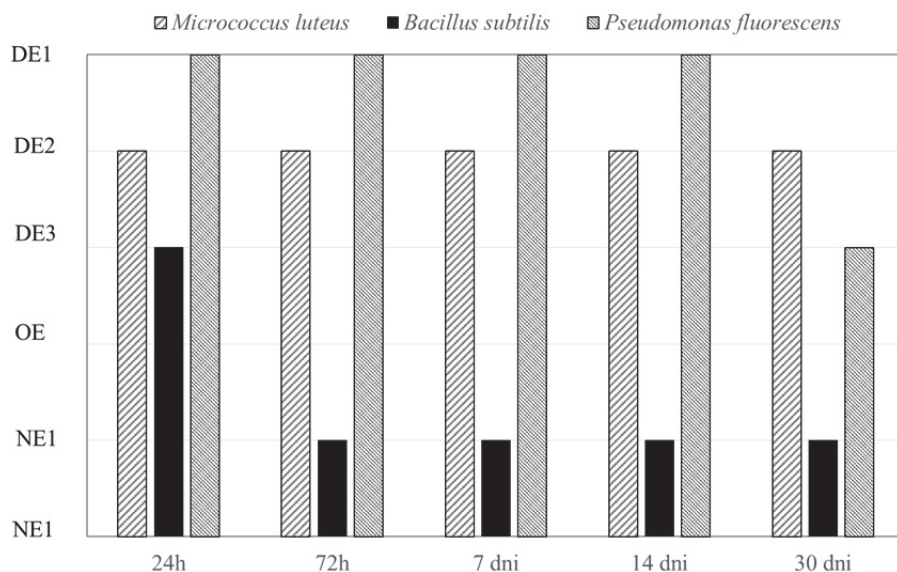
**Fig. 2.** Antibacterial effect on filter class F7

Niemal we wszystkich przypadkach próbek materiału filtracyjnego F7 ułożonego stroną dolną na podłożu wystąpiła strefa hamowania dookoła próbki roboczej. Wyjątek stanowiło zahamowanie wzrostu bakterii *Bacillus subtilis* jedynie w miejscu kontaktu próbki roboczej z podłożem.

Preparat z nanosrebrem działał hamująco na rozwój bakterii *Micrococcus luteus* i *Pseudomonas fluorescens* pod materiałem filtracyjnym klasy F7 ułożonym stroną zarówno górną jak i dolną na podłożu. Efekt antybakteryjny utrzymywał się przez trzydzieści dni od wyschnięcia.

W przypadku bakterii *Bacillus subtilis* nie tworzyła się strefa hamowania. Zahamowanie wzrostu obserwowane było jedynie w strefie kontaktu materiału filtracyjnego z podłożem.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki efektu antybakteryjnego dla materiału filtracyjnego klasy F9.



**Rys. 3.** Efekt antybakteryjny filtra klasy F9

**Fig. 3.** Antibacterial effect on filter class F9

Niewystarczający efekt czyli brak strefy hamowania, w przypadku bakterii *Bacillus subtilis* wystąpił już po 3 dniach od użycia próbki.

Powyższe wyniki potwierdzają badania przeprowadzone przez Łebkowską oraz Miałkiewicz-Peska (2011). Obecność związków srebra w filtrach powietrza wpływa hamująco na rozwój bakterii. Najbardziej odporne na działanie srebra są bakterie gram-dodatnie *Bacillus subtilis*.

Pokrycie filtrów powietrza substancją zawierającą srebro wpływa na zmniejszenie ilości bakterii rozwijających się w filtrach, dotyczy to zarówno bakterii gram-ujemnych jak i gram-dodatnich.

#### 4. Wnioski

Cząsteczki nanosrebra działają hamująco na rozwój bakterii *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis* oraz *Pseudomonas fluorescens*.

Pokrycie tkaniny filtracyjnej cząsteczkami nanosrebra nadaje jej właściwości antybakteryjne. Zależą one od klasy filtra oraz od szczepu bakterii. Najlepsze działanie antybakteryjne wykazują filtry klasy F5, natomiast najmniej efektywny jest filtry klasy F9. Różnice te wynikają



z grubości materiału filtracyjnego. Filtr klasy F5 charakteryzuje się największą gęstością powierzchniową, która wynosi  $300 \text{ g/m}^2$ , w porównaniu do filtra F7 ( $85 \text{ g/m}^2$ ) oraz F9 ( $190 \text{ g/m}^2$ ), dlatego podczas namaczania w preparacie z nanosrebrem filtr F5 chłonie najwięcej substancji, a proces suszenia w tym przypadku przebiega najwolniej.

Filtry klasy F5 hamowały wzrost bakterii w strefie oraz w pobliżu krawędzi próbki roboczej przez trzydzieści dni od wyschnięcia próbki. Filtry klasy F7 hamowały wzrost bakterii *Micrococcus luteus* oraz *Pseudomonas fluorescens* pod filtrem oraz w strefie w pobliżu krawędzi próbki roboczej przez 30 dni od wyschnięcia. Natomiast wzrost bakterii *Bacillus subtilis* przez 30 dni hamowany był tylko w miejscu kontaktu filtru z podłożem.

Filtry klasy F9 tylko częściowo hamowały wzrost bakterii *Bacillus subtilis*. Filtry nasączone nanosrebrem najmniej hamująco działały na wzrost bakterii *Bacillus subtilis*. Są to bakterie gram-dodatnie bardziej odporne na działanie czynników zewnętrznych niż bakterie gram-ujemne, które mają cieńszą warstwę peptydoglikanu w ścianie komórkowej.

## Literatura

- Hugenholtz, P., Fuerst, J. A. (1992). Heterotrophic bacteria in air-handling system. *Appl Environ Microbiol*, 58, 3914-3920.
- Łebkowska, M., Miałkiewicz-Peska, E. (2011). Effect of Antimicrobial Air Filter Treatment on Bacterial Survival, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, nr. 19.
- Maus, R., Goppelsröder, A., Umhauer, H. (1997). Survival of bacteria in filter media. *Atmos Environ*, 31, 2305-2310.
- PN-EN ISO 20645: 2006, Płaskie wyroby włókiennicze. Wyznaczenie aktywności antybakteryjnej. Metoda dyfuzji na płytce z agarem.

## Analysis of the Microbial Efficiency of the Nanosilver Filter Materials

### Abstract

Indoor air quality is an important factor influencing the human health and well-being. It is just as important as the quality of the outdoor air, as people spend most of their lives staying indoors.

In order to improve the quality, it is vital to use the right filters that clean the air of chemical, physical and biological pollutants. Filtration efficien-

cy largely depends on the filter material. Currently, polyester fibers, glass, polyurethane and latex are used for the production of filter fabrics. One of the latest solutions are filter materials coated with nanosilver disinfectant.

Tests have been carried out in order to determine the microbiological efficiency of the nanosilver filter material (class F5, F7, F9) for the presence of the three most common strains of bacteria in the indoor air (*Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*). On the basis of results read 24, 72 hours and 7, 14 and 30 days after the drying-out of filters, the effect of the filter material treated with nanosilver on the growth of bacterial cells was established.

The results allowed to determine the effectiveness of filters with nanosilver. They inhibit the growth of bacteria, both gram positive and gram negative. They also provide better indoor air quality, restrict the amount of biological pollution by reducing the growth of microorganisms on the surface of the filters. Therefore, the filters with nanosilver have higher filtration efficiency. Moreover, they remain clean for a longer time compared to the air filters that are not covered by the antibacterial compound.

**Słowa kluczowe:**

nanosrebro, filtracja powietrza, filtry powietrza

**Keywords:**

nano silver, air ventilation filter, filtration