

Działanie przeciwbakteryjne tworzywa sztucznego z powłoką modyfikowaną substancjami czynnymi

Antibacterial activity of the plastic with a active substances modified coating

Michalina Falkiewicz - Dulik*

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Przemysłu Skórzanego

Streszczenie

Praca badawcza obejmowała badania mikrobiologiczne tworzywa polietylenu, pochodzącego ze strukturalnej rury spiralnej dwuwarstwowej z wewnętrzną powłoką (HDPE), modyfikowaną antybakteryjnie. Badaniem objęto dwie próby kontrolne bez wykończenia biocydowego (próba 1 i 3) oraz trzy próby z powłoką modyfikowaną antybakteryjnie: próba 2 zawierająca preparat nanosrebra 2% wagowych tworzywa (w/t), próba 4 zawierająca pirytionian cynku 1% w/t, próba 5 z zawartością pirytionianu cynku 2% w/t. Badania i ocena właściwości antybakteryjnych materiałów tworzywowych zostały wykonane według normy ISO 22196. Badania wykonano w odniesieniu do dwóch bakterii: *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli*. Tworzywo PE z powłoką modyfikowaną nanocząsteczkami srebra nie wykazało właściwości antybakteryjnych względem stosowanych bakterii testowych. Obie próby tworzywa HDPE modyfikowane pirytionianem cynku wykazały silną aktywność przeciwbakteryjną. Dodatek 1% w/w preparatu PZT (pirytionianu cynku) wystarczająco zabezpiecza właściwości antybakteryjne tworzywa PE.

Abstract

The research work included microbiological tests of a polyethylene material that came from a structural two-layer spiral pipe with an internal coating (HDPE), antibacterial modified. Two control attempts without biocidal finish (attempts 1 and 3) and three attempts with antibacterial coating: attempt 2 containing 2% w/t nanosilver preparation, attempt 4 containing zinc pyrithione 1% w/t and attempt 5 containing zinc pyrithione 2% w/t have been tested. Tests and assessment of antibacterial properties of plastic materials were carried out according to ISO 22196. The tests were performed on two bacteria: *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. The PE material with the coating modified with silver nanoparticles did not show antibacterial properties against the test bacteria used. Both tests of HDPE plastic that were modified with zinc pyrithione showed strong antibacterial activity. The addition of 1% w/w PZT (zinc pyrithione) preparation sufficiently protects the antibacterial properties of PE plastic.

Słowa kluczowe: tworzywa sztuczne, modyfikacja antybakteryjna, tworzywo aktywne mikrobiologicznie

Keywords: plastics, antibacterial modification, microbiologically active plastic

* autor korespondencyjny: mgr inż. Michalina Falkiewicz - Dulik: m.falkiewicz@ips.krakow.pl

1. Wprowadzenie

Zakres zastosowania materiałów polimerowych z ochroną mikrobiologiczną, tj. dodatkowo wzbogaconych o właściwości antymikrobowe, jest bardzo rozległy, obejmuje wiele gałęzi przemysłu. Do najważniejszych należą: branża medyczna, tekstylna, opakowaniowa, systemy filtracji wody, klimatyzacja. Klimatyzacja kanałowa składa się z systemu kanałów, które rozprowadzone są w obiekcie w różnych pomieszczeniach. Przechodzą one przez ściany oraz stropy. Kanały mogą mieć różny kształt: okrągły albo prostokątny. Jeśli domowa instalacja wentylacyjna zostanie wyposażona w system nawilżania wewnętrznego lub klimatyzator kanałowy – wówczas może powstać niebezpieczeństwo rozwoju drobnoustrojów wewnątrz kanałów wentylacyjnych. W przypadku obu wspomnianych rozwiązań do ich wnętrza wprowadzana jest wilgoć lub powstaje ona w wyniku skraplania pary wodnej na schłodzonych ściankach przewodu wentylacyjnego po przejściu przez klimatyzator. Drobin kurzu mają wówczas możliwość „przyklejenia się” do ścianek kanału wentylacyjnego i mogą stać się pożywką dla bakterii. W trakcie eksploatacji instalacje wentylacyjne kumulują zanieczyszczenia, które z biegiem czasu stają się niebezpieczne dla zdrowia ludzi przebywających w wentylowanych pomieszczeniach. Z tego względu nieodzownym elementem konserwacji instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych jest ich okresowe czyszczenie i ewentualna dezynfekcja.

Faktem jest, że bardzo popularnych do dzisiaj kanałów wentylacji grawitacyjnej nigdy się nie czyści, ani nie mają one żadnej możliwości filtracji wchodzącego do nich powietrza. Często za to zaopatrywane są w odpowiednią ilość wilgoci pochodzącej z kropel deszczu wpadających od góry do kominów wentylacji grawitacyjnej. Problemem w użytkowaniu klimatyzatorów są drobnoustroje wywołujące choroby. Schładzane powietrze, z którym mamy bezpośredni kontakt (płyny pracują w obiegach zamkniętych), jest nośnikiem kurzu, pyłków roślin, a także materiału mikrobiologicznego.

Wilgotne środowisko jest idealne do rozwoju mikroorganizmów, co niesie niebezpieczeństwo przekroczenia dopuszczalnych poziomów koncentracji drobnoustrojów patogennych, jeśli systemy klimatyzacyjne nie są regularnie czyszczone i konserwowane. Nawet przy odpowiedniej eksploatacji mogą pojawić się komplikacje, ponieważ podczas czyszczenia kanałów i urządzeń w systemach klimatyzacyjnych, chłodniczych i grzewczych szkodliwe mikroorganizmy mogą ponownie uwalniać się do środowiska [1].

Badania prowadzone w różnych krajach wskazują, że koncentracja zanieczyszczeń w powietrzu wewnętrznym jest większa niż w środowisku na zewnątrz [2-4]. Jakość powietrza wewnętrznego jest istotnym parametrem wpływającym na dobre samopoczucie i zdrowie człowieka. Szacuje się, że dorosły człowiek spędza około 80% czasu w zamkniętych pomieszczeniach (dom, stanowisko pracy), a około 6% czasu w środkach transportu [5-7]. W powietrzu budynków biurowych może żyć około kilkadziesiąt gatunków bakterii, ponad 400 gatunków grzybów pleśniowych oraz kilkanaście gatunków grzybów powodujących gnicie drewna i materiałów drewnopodobnych [8]. Źródłem zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza w pomieszczeniach są materiały gromadzone w budynkach oraz powietrze przenikające z zewnątrz, przez systemy wentylacyjno – klimatyzacyjne lub powietrze atmosferyczne. Głównym źródłem zanieczyszczeń bakteryjnych w budynkach są ludzie oraz pył pochodzenia organicznego. Bakterie zasiedlają również urządzenia klimatyzacyjne, wykładziny, zawilgocone drewno wewnątrz budynków. Głównym źródłem zanieczyszczeń grzybami jest powietrze atmosferyczne. Zarodniki, konidia i strzępki grzybnii unoszące się w powietrzu pochodzą od grzybów rosnących na żywych lub obumarłych częściach roślin, ale też z gleby, nawozów, rynien dachowych, tapet, skóry oraz innych substancji organicznych. Źródłem zarodników grzybów mogą być również materiały znajdujące się wewnątrz budynku, np. drewno, ściany i okna, resztki żywności, materiały organiczne, pył i kurz zawarty w szczelinach podłóg, ścian i sufitów, a także w nawilżaczach powietrza.

Mikroorganizmy, szczególnie bakterie i grzyby, zawarte w powietrzu wewnętrznym mogą być przyczyną niekorzystnych objawów chorobowych [9-11]. Bakterie mogą być przyczyną chorób alergicznych, szczególnie gdy w pomieszczeniach wartość wilgotności względnej powietrza przekracza 80%. Długotrwały kontakt ludzi z bakteriami Gram-ujemnymi tworzącymi endotoksyny, które są składnikiem ich ścian komórkowych wywołuje u człowieka wysoką temperaturę, trudności w oddychaniu, zmianę liczby leukocytów we krwi, hipoglikemię, hipotensję i wstrząs. Wśród bakterii występujących w powietrzu przeważają gatunki z rodzaju *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Micrococcus* i *Streptomyces* (promieniowce). Grzyby pleśniowe są przyczyną wielu groźnych zachorowań, takich jak: dermatozy skórne i głębokie, alergie, schorzenia układu oddechowego, mikitoksydozy, zatrucia związkami lotnymi wytwarzanymi przez grzyby, choroby nowotworowe. Niebezpieczeństwa zdrowotne związane z obecnością w powietrzu grzybów pleśniowych wynikają również z ich zdolności do tworzenia mikitoksyn i związków lotnych. Wdychanie powietrza z fragmentami grzybni grzybów, które wytwarzają mikitoksyny, powoduje u człowieka wystąpienie objawów zatrucia w postaci zapalenia skóry, bólu głowy, biegunek oraz zaburzenia mechanizmów immunologicznych.

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne występujące w pomieszczeniach są jednym z wielu czynników szkodliwych i uciążliwych prowadzących do powstania i występowania „zespołu budynku chorego” (z ang. SBS - *Sick Building Syndrome*). Według badań światowych nawet w 70% badanych obiektów pracownicy skarżyli się na trzy podstawowe symptomy SBS tj. suchość oczu, suchość gardła i ból głowy [12-14]. W ciągu ostatnich lat nastąpił dynamiczny wzrost liczby obiektów budowlanych przeznaczonych na mieszkania, biurowce, obiekty sportowe i inne obiekty użytku publicznego. Ze względu na wpływ bioaerozoli na zdrowie człowieka zagwarantowanie wysokiej jakości powietrza w obiektach jest sprawą bardzo ważną.

W Polsce nie ma nadal odpowiednich aktów prawnych, norm dotyczących szkodliwości czynników biologicznych. Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN zaproponował wartości dopuszczalnych stężeń najbardziej powszechnych kategorii mikroorganizmów i endotoksyny bakteryjnej w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej (Tabela 1).

Rozwiązaniem opisanych problemów może być zastosowanie polimerów modyfikowanych antybakteryjnie. Do konstrukcji kanałów wentylacyjnych zostaje wykorzystana płyta polietylenowa kaszerowana. Polietylen to polimer etenu, organicznego związku chemicznego będącego jednym z podstawowych surowców przemysłu petrochemicznego. Polietylen wysokiej gęstości (HDPE) otrzymuje się w wyniku polimeryzacji niskociśnieniowej. Jest tworzywem mlecznobiałym. W sprzedaży są również dostępne półprodukty z PE 300 w kolorze czarnym. Kolor czarny uodparnia tworzywo PE na oddziaływanie promieniowania UV, co w połączeniu z wysoką udarowością w zakresie niskich temperatur sprawia, że materiał PE jest powszechnie wykorzystywany do budowy urządzeń narażonych na działanie czynników atmosferycznych.

Tabela 1. Propozycje dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów i endotoksyny w powietrzu [14] (CFU/m³ – jednostki tworzące kolonię, EU – jednostki endotoksyczne)

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej
Bakterie mezofilne	5000 CFU/m ³
Bakterie gram-ujemne	200 CFU/m ³
Termofilne promienioyce	200 CFU/m ³
Endotoksyna bakteryjna	5 ng/m ³ (50 EU/m ³)

HDPE znajduje zastosowanie w branży chemicznej i budowlanej, a także w rolnictwie i inżynierii ochrony środowiska.

Tworzywo PE wykorzystuje się do budowy:

- silosów o różnym przeznaczeniu,
- zbiorników chemicznych,
- odstożników i kompostowników,
- separatorów oleju,
- domowych oczyszczalni ścieków,
- instalacji wodnych o szerokim zastosowaniu,
- elementów instalacji rurowych, w szczególności o niestandardowych kształtach i rozmiarach, oraz rur preizolowanych.

2. Cel i zakres badań

Celem pracy było zbadanie aktywności przeciwbakteryjnej tworzywowych rur z polietylenu stosowanych do konstrukcji kanałów wentylacyjnych. Praca badawcza obejmowała badania właściwości bakteriobójczych tworzywa z powłoką modyfikowaną antybakteryjnie. Było to tworzywo ze strukturalnej rury spiralnej dwuwarstwowej z wewnętrzną powłoką z polietylenu o wysokiej giętkości (HDPE).

Praca przedstawia wyniki badań wykonanych we współpracy Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytut Przemysłu Skórzanego w Krakowie z Katedrą Mikrobiologii Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie.

3. Przedmiot i metodyka badań

3.1. Opis materiału badawczego

Warstwa tworzywa PE od wewnętrznej strony rur została zmodyfikowana na trzy sposoby. W pierwszym przypadku wprowadzono 2% wagowych preparatu Sanitized PE 1 AM 00001, firmy Clarchem Polska, który zawierał nanocząsteczki srebra (PAGT) na nośniku LLD PE (liniowy polietylen niskiej gęstości).

W następnym kroku wykonano 2 próby modyfikacji tworzywa z użyciem preparatu Clarpol Sanitized PE 1 AM 00002, firmy Clarchem Polska, zawierającym piritonian cynku na nośniku LLD PE (PZT). Próby tworzywa polietylenu modyfikowanego antybakteryjnie zawierały 1 i 2% wag. preparatu PZT [15-20].

Badaniom poddano próby modyfikowanego tworzywa oraz próby kontrolne:

1. próba 1 – próba kontrolna bez wykończenia biocydowego,
2. próba 2 – próba z powłoką modyfikowaną zawierającą środek antybakteryjny PAgT 2% wagowych tworzywa (w. t.),
3. próba 3 – próba kontrolna bez wykończenia biocydowego,
4. próba 4 – próba zawierająca środek antybakteryjny PZT 1% w. t.,
5. próba 5 – próba zawierająca środek antybakteryjny PZT 2% w. t.

Badania mikrobiologiczne wykonano w odniesieniu do dwóch bakterii:

1. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, gram dodatniej,
2. *Escherichia coli* ATCC 25922, gram ujemnej.

Ocenę działania przeciwbakteryjnego tworzyw sztucznych poddanych obróbce przeciwbakteryjnej przeprowadzono zgodnie z normą ISO 22196 [21].

Metodykę badań dostosowano do rodzaju testowanego materiału i charakteru wzrostu wybranych drobnoustrojów. Przetestowano modyfikowane próby tworzywa sztucznego pod względem zdolności ilościowego hamowania wzrostu mikroorganizmów, sprawdzając zarówno właściwości bakteriostatyczne (hamujące wzrost), jak i bakteriobójcze (zabijające bakterie) w ciągu 24 godzinnego okresu kontaktu.

3.2. Przygotowanie zawiesin bakterii

Zawiesiny komórek bakterii wszystkich badanych szczepów przygotowano z 24-godzinnych hodowli prowadzonych na agarze bulionowym w temperaturze $35\pm 1^{\circ}\text{C}$. Wzrost bakterii zawieszano w jałowym płynie fizjologicznym i doprowadzano do stężenia 6×10^8 CFU/ml (2 w skali McFarlanda) na podstawie pomiarów densytometrycznych. Tak przygotowaną zawiesinę rozcieńczano w pożywce hodowlanej do uzyskania zalecanego końcowego stężenia 6×10^5 CFU/ml i zaszczepiano próbki badanego materiału zgodnie z metodyką zawartą w normie.

3.3. Przeprowadzenie hodowli

Część próbek obu materiałów sflukiwano roztworem SCDLP tuż po zaszczepieniu, a pozostałe przeznaczono do inkubacji w temperaturze $35\pm 1^{\circ}\text{C}$, wilgotności względnej 90% przez 24 godziny i sflukiwano po zadany czas. Sflukane z próbek hodowle bakterii poddawano dalszej analizie w celu ustalenia liczby przeżywających na danym materiale komórek. Po wykonaniu serii dziesięciokrotnych rozcieńczeń wykonano posiew rozcieńczonych próbek na podłoża hodowlane ogólne i wybiórcze dla bakterii testowych i poddawano inkubacji w temperaturze $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ przez 48 godzin.

Po hodowli zliczano wyrosłe kolonie bakteryjne i przeliczano na liczbę przeżywających na danym materiale bakterii [CFU/cm²] zgodnie z metodyką zawartą w normie. Badania zostały wykonane w dwóch powtórzeniach dla każdej próby badawczej/każdego materiału. Szacowanie poziomów aktywności przeciwdrobnoustrojowej, obserwowanej w badanych próbkach zostało wykonane na podstawie równania (1):

$$R = (U_t - U_0) - (A_t - U_0) = U_t - A_t, \quad (1)$$

gdzie:

R – oznacza działanie przeciwbakteryjne;

U_0 – to średnia wspólnego logarytmu liczby żywych bakterii w komórkach/cm², które zostały odzyskane z niemodyfikowanych próbek testowych natychmiast po zaszczepieniu;

U_t – to średnia wspólnego logarytmu liczby żywych bakterii w komórkach/cm², które zostały odzyskane z niemodyfikowanych próbek po 24 godzinach;

A_t – jest średnią wspólnego logarytmu liczby żywych bakterii w komórkach/cm², które zostały odzyskane z poddanych obróbce próbek testowych po 24 godzinach.

Wartość działania przeciwbakteryjnego może posłużyć do scharakteryzowania skuteczności środka przeciwbakteryjnego [21].

4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań ilościowych bakterii *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus*, przeżywających na testowanych materiałach tworzywowych z powłoką modyfikowaną nanocząstkami srebra zebrano w tabeli 2. Wyniki badań ilościowych bakterii *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus*, przeżywających na testowanym tworzywie modyfikowanym pirytionianem cynku w ilości 1% w. t. zestawiono w tabeli 3, a na modyfikowanym w ilości 2% w. t. zebrano w tabeli 4. Zgodnie z zaleceniami normy aktywność antybakteryjną szacowano na podstawie równania (1).

Tabela 2. Badania właściwości antybakteryjnych tworzywa z powłoką modyfikowaną nanocząsteczkami srebra względem bakterii *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* [22]

Oznaczany parametr	Próba 1 bezpośrednio po zaszczepieniu		Próba 2 bezpośrednio po zaszczepieniu		Próba 1 bezpośrednio po 24 godzinach inkubacji		Próba 2 bezpośrednio po 24 godzinach inkubacji	
	<i>Escherichia coli</i>							
Liczba bakterii [cfu/cm ²]	1,25x10 ⁴	5,13 x10 ⁴	5,00x10 ³	5,25x10 ³	1,30x10 ⁸	8,62x10 ⁷	8,75x10 ⁷	7,76x10 ⁷
Logarytm dziesiętny z liczby bakterii	4,10	4,71	3,70	3,72	8,11	7,94	7,94	7,89
Średnia							$A_t = 7,92$	
							$R = 8,02 - 7,92 = 0,11$	
	<i>Staphylococcus aureus</i>							
Liczba bakterii [cfu/cm ²]	6,58x10 ³	6,23x10 ³	7,83x10 ³	6,20x10 ³	1,83x10 ⁷	9,20x10 ⁶	3,64x10 ⁷	4,32x10 ⁷
Logarytm dziesiętny z liczby bakterii	3,82	3,79	3,89	3,79	7,26	6,96	7,56	7,64
Średnia	$U_0 = 3,81$		$U_0 = 3,84$		$U_t = 7,11$		$A_t = 7,60$	
							$R = 7,11 - 7,60 = -0,49$	

Na podstawie uzyskanych wyników określono właściwości antybakteryjne tworzyw wobec testowanych bakterii:

- badane tworzywo z powłoką modyfikowaną nanocząsteczkami srebra (Próba 2) nie wykazuje właściwości antybakteryjnych względem stosowanych bakterii testowych,
- wartości współczynników R wyznaczone w badaniach wykazują, że badane tworzywo modyfikowane pirytionianem cynku (Próba 4 i 5) posiada silne właściwości antybakteryjne względem stosowanych bakterii testowych tj. *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli*.

Tabela 3. Badania właściwości antybakteryjnych tworzywa modyfikowanego 1% pirytionianem cynku względem bakterii *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* [22] (*logarytm dziesiętny z liczby bakterii obliczono dla założenia, że liczba bakterii [cfu/cm²] byłaby równa 1)

Oznaczany parametr	Próba 3 bezpośrednio po zaszczepieniu		Próba 4 bezpośrednio po zaszczepieniu		Próba 3 bezpośrednio po 24 godzinach inkubacji		Próba 4 bezpośrednio po 24 godzinach inkubacji	
	<i>Escherichia coli</i>							
Liczba bakterii [cfu/cm ²]	7,78x10 ³	9,34 x10 ⁴	1,10x10 ⁴	6,34x10 ³	3,46x10 ⁷	3,01x10 ⁷	5,08x10 ³	2,34x10 ³
Logarytm dziesiętny z liczby bakterii	3,89	3,97	4,04	3,80	7,53	7,47	3,71	3,37
Średnia	$U_0 = 3,93$		$U_0 = 3,92$				$A_t = 3,54$	
	$R = 7,51 - 3,54 = 3,97$							
<i>Staphylococcus Aureus</i>								
Liczba bakterii [cfu/cm ²]	6,43x10 ³	6,50x10 ³	3,17x10 ⁴	2,42x10 ³	1,11x10 ⁷	1,57x10 ⁷	nie wykryto	nie wykryto
Logarytm dziesiętny z liczby bakterii	3,81	3,74	3,50	3,38	7,04	7,20	-0,22*	-0,22*
Średnia			$U_0 = 3,44$		$U_t = 7,12$		$A_t = -0,22$	
	$R = 7,12 - (-0,22) = 7,34$							

W odniesieniu do wyników badań prowadzonych zgodnie z normą ISO 22196 [21], przyjmuje się, że aktywność antybakteryjna badanego materiału może być uznana dla wartości współczynnika $R > 2$. W przypadku obu modyfikacji preparatem zawierającym pirytionian cynku, zarówno w stężeniu 1% i 2% w/w., wystąpiła całkowita eliminacja bakterii *Staphylococcus aureus* i bardzo silna redukcja liczby bakterii *Escherichia coli*. Wprowadzenie preparatu w stężeniu 1% w/w. wydaje się wystarczające do zapewnienia właściwości antybakteryjnych tworzywa. Warunki walidacyjne przeprowadzonego badania zostały spełnione.

Tabela 4. Badania właściwości antybakteryjnych tworzywa modyfikowanego 2% pirytionianem cynku względem bakterii *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* [22]

Oznaczany parametr	Próba 3 bezpośrednio po zaszczepieniu		Próba 5 bezpośrednio po zaszczepieniu		Próba 3 bezpośrednio po 24 godzinach inkubacji		Próba 5 bezpośrednio po 24 godzinach inkubacji	
	<i>Escherichia coli</i>							
Liczba bakterii [cfu/cm ²]	7,78x10 ³	9,34 x10 ³	9,16x10 ³	6,12x10 ³	3,46x10 ⁷	3,01x10 ⁷	3,61x10 ²	2,19x10 ²
Logarytm dziesiętny z liczby bakterii	3,89	3,97	3,96	3,78	7,53	7,47	2,56	2,34
Średnia	$U_0 = 3,93$		$U_0 = 3,87$				$A_t = 2,45$	
					$R = 7,51 - 2,45 = 5,06$			
<i>Staphylococcus aureus</i>								
Liczba bakterii [cfu/cm ²]	6,43x10 ³	5,5x10 ³	1,41x10 ⁴	9,87x10 ³	1,11x10 ⁷	1,57x10 ⁷	nie wykryto	nie wykryto
Logarytm dziesiętny z liczby bakterii	3,81	3,74	4,15	3,99	7,04	7,20	-0,22*	-0,22*
Średnia					$U_t = 7,12$		$A_t = -0,22$	
					$R = 7,12 - (-0,22) = 7,34$			

5. Wnioski

- 1) Tworzywo HDPE z powłoką modyfikowaną nanocząsteczkami srebra nie wykazuje właściwości antybakteryjnych względem stosowanych bakterii.
- 2) Obie próby tworzywa HDPE modyfikowane pirytionianem cynku wykazały silną aktywność przeciwbakteryjną.
- 3) Dodatek 1% w/w preparatu PZT wystarczająco zabezpiecza właściwości antybakteryjne tworzywa HDPE.

Zabezpieczone mikrobiologicznie tworzywo HDPE może znaleźć zastosowanie na rury przeznaczone do transportu powietrza wymagającego dezynfekcji w środowisku narażonym na działanie drobnoustrojów odpowiedzialnych za mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza, a także na korozję mikrobiologiczną w systemach wentylacyjnych, rekuperacyjnych oraz gruntowych powietrznych wymienników ciepła (GPWC).

Literatura

- [1] Woźniak J.: *Klimatyzacja - wady i zalety*, Ładny Dom, 2012.
- [2] An H. A., Mainelis G., Yao M.: *Evaluation of a high – volume portable bioaerosol sampler in laboratory and field environments*, Indoor Air **14**, 2004, str. 385-393.
- [3] Agranovski I. E., Agranovski V., Reponen T., Willeke K., Grinshupun S. A.: *Development and evaluation of a new personal sampler for culturable airborne microorganisms*, Atmospheric Environment **36**, 2002, str. 889-898.
- [4] Ozonek J., Pawłowski A.: *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, Wydawnictwo PAN, Lublin 2009.
- [5] Wesołowski J.: *Rola jakości powietrza w pomieszczeniach w ogólnym narażeniu na czynniki szkodliwe w powietrzu. Spojrzenie z Kalifornii*, Ochrona Powietrza **1**, 1992, str. 1-6.
- [6] Ilgen E., Karfich N., Levsen K., Angerer J., Schneider P., Heirich J., Wichmann H. E., Dunemann L., Begerow J.: *Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment. Part I. Indoor versus outdoor sources, the influence of traffic*, Journal of Atmospheric Environment **35**, 2001, str. 1235-1252.
- [7] Righi E., Aggazzotti G., Fantuzzi G., Ciccarese V., Predieri G.: *Air quality and well – being perception in subejcts attending university libraries in Modena (Italy)*, Science of Total Environment **286**, 2002, str. 41-50.
- [8] Jankowska E., Pośniak M.: *Zespół chorego budynku. Ocena parametrów środowiska pracy*, Wydawnictwo CIOP-PIB, Warszawa 2007.
- [9] Lee J. H., Jo W. K.: *Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high – rise apartment buildings*, Environmental Research **101**, 2006, str. 11-17.
- [10] Jo W. K., Kang J. H.: *Workplace exposure to bioaerosols in peth shops, pet clinics and flower gardens*, Chemosphere **65**, 2006, str. 1755-1761.
- [11] Maus R. Goppelsroder A., Umhauer H.: *Survival of bacterial and mold spores in air filter media*, Atmospheric Environment **35**, 2001, str. 105-113.
- [12] Lagoudi A., Loizidou M., Santamouris M., Asimakopoulos D.: *Symptoms experienced, environmental factors and energy consumption in office buildings*, Energy and Buildings **24** (3), 1996, str. 237-243.
- [13] Engelhart S., Burchardt H., Neumann R., Ewers U., Exner M., Kramer M. H.: *Sick building syndrome in an office building formerli used by a pharmaceutical company: A case study*, Indoor Air **9**, 1999, str. 139-143.
- [14] Gołofit–Szymczak M., Skowroń J.: *Zagrożenia mikrobiologiczne w pomieszczeniach biurowych*, Bezpieczeństwo Pracy: Nauka i Praktyka **3**, 2005, str. 29-31.
- [15] Falkiewicz–Dulik M., Kowalczyk M.: *Substancje czynne używane do biostabilizacji polimerów i tworzyw*, Technologia i Jakość Wytrobów **61**, 2016, str. 47-54.
- [16] Fernandez–Garcia M.: *Polymeric materials with antimicrobial activity*, Progress in Polymer Science **37**, 2012, str. 281-339.
- [17] Sedlarik V.: *Antimicrobial modifications of polymers w: Biodegradation – Life of Science*, InTech Open, Croatia 2013.

- [18] Palza H.: *Antimicrobial polymers with metal nanoparticles*, International Journal of Molecular Sciences **16**, 2015, str. 2099-2116.
- [19] Varghese S., Elfakhri S., Sheel D. W., Sheel P., Bolton F. J., Foster H. A.: *Novel antibacterial silver-silica surface coatings prepared by chemical vapour deposition for infection control*, Journal of Applied Microbiology **115**, 2013, str. 1107-1116.
- [20] Falkiewicz-Dulik M., Janda K., Wypych G.: *Handbook of biodegradation, biodeterioration and biostabilization*, Chem Tec Publishing, Canada 2015.
- [21] ISO 22196 Plastics – *Measurement of antibacterial activity on plastics surfaces*.
- [22] Falkiewicz-Dulik M., Syguła-Cholewińska J., Lech T., Sawoszczuk T.: *Badania właściwości antybakteryjnych tworzywa z powłoką modyfikowaną*, Praca badawcza IPS, Kraków 2015.