

## Substancje czynne używane do biostabilizacji polimerów i tworzyw

### The active substances used in biostabilization of polymers and plastics

Michalina Falkiewicz-Dulik\*, Mateusz Kowalczyk

Pracownia Mikrobiologii Przemysłowej, Instytut Przemysłu Skórzanego oddział w Krakowie,  
ul. Zakopiańska 9, 30-418 Kraków, \*email: mfalkiewicz@ips.krakow.pl

#### Streszczenie

Materiały polimerowe zostały szeroko rozpowszechnione w różnych dziedzinach przemysłu. Związana z tym konieczność ochrony mikrobiologicznej wymusza biostabilizację polimerów i tworzyw. W pracy opisano wymagania stawiane biocydom, przeznaczonym do ochrony mikrobiologicznej polimerów, oraz podano normy określające metody badań aktywności mikrobiologicznej polimerów i trwałości działania biobójczego w czasie użytkowania wyrobów. W tabeli przedstawiono substancje czynne najczęściej stosowane do ochrony wybranych polimerów. Powszechnie stosowane są zabezpieczenia polimerów przed adhezją drobnoustrojów do powierzchni, a także zasiedlaniem przez nie wyrobów. Stosowanie biocydów do tworzyw sztucznych zapobiega ich przebarwianiom, problemom z utrzymaniem czystości mikrobiologicznej powierzchni, spowalnia starzenie. W niniejszej pracy omówiono naturalne polimery przeciwbakteryjne.

#### Summary

Polymeric materials have been widely used in various fields of industry. Associated with this necessity of its microbiological protection forces the biostabilization of polymers and plastics. This paper describes requirements biocide designed to protect the microbial polymers and provides standard methods for testing the activity of microbial polymers and durability of biocidal effects during the use of these products. In the table there are shown active substances most commonly used to protect the selected polymers. Substances protecting against microbial adhesion to surfaces of polymers are commonly used, and also against the microbial colonization of products. The use of biocides for plastics protects from its discolouration, problems with maintaining the microbiological purity of surface and slows down aging. In this paper natural antibacterial polymers have been discussed.

---

**Słowa kluczowe:** tworzywa sztuczne, polimery bioaktywne, biostabilizacja, substancje czynne, drobnoustroje.

**Key words:** plastics, bioactive polymers, biostabilization, active substances, microorganisms.

---

#### 1. Wprowadzenie

Polimery od dekad zastępują w różnych aplikacjach metale, szkło, drewno i inne materiały w związku ze swoimi dobrymi właściwościami fizykochemicznymi, a także czynnikami ekonomicznymi. Przykładem są choćby termoplastyczne polimery – poliolefiny, obecnie niezastąpione w produkcji opakowań, m.in. ze względu na swoje właściwości hydrofobowe i odporność biologiczną. Poza tym materiały polimerowe występują niemal w każdej branży: tekstylnej, artykułach wyposażenia domu, elektronice, medycynie itp. Zakres ich zastosowań jest bardzo szeroki, przy czym wciąż wzrastają wymagania stawiane tym materiałom. Powoduje to konieczność ich ciągłego rozwoju poprzez dodanie nowych funkcji, pewnych właściwości aktywnych, np. działania biostatycznego lub biobójczego, dającego ochronę mikrobiologiczną wyrobom z nich wykonanych. Polimery antymikrobowe mają za zadanie zapobiegać

namnażaniu bakterii oraz wzrostowi grzybów na ich powierzchni, a zarazem ochraniać użytkowników przed negatywnym wpływem mikroorganizmów, także patogennych. Drobnoustroje mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie użytkowników, jak również destrukcyjny na wyroby powodując straty ekonomiczne związane z niszczeniem produktów. Zagadnienie obejmujące ochronę mikrobiologiczną polimerów jest obszarem intensywnych badań ze względu na potrzeby opracowania nowych rozwiązań do praktycznych zastosowań [1].

Materiał polimerowy antymikrobowy to taki, który posiada zdolność zabijania mikroorganizmów poprzez działanie w podłożu, z którego uwalniają się śmiertelne dla mikroorganizmów jony czy cząsteczki [2]. Zazwyczaj składa się z matrycy polimerowej oraz środka antymikrobowego chemicznie związanego z matrycą. Polimery takie mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach, do głównych zalicza się

wyroby z branży medycznej, opakowania do żywności i środki higieny osobistej. Dobór odpowiedniego środka lub środków nadających odporność mikrobiologiczną wymaga zastanowienia się nad kilkoma aspektami, szczególnie należy wziąć pod uwagę:

- właściwości fizyczne i chemiczne danego polimeru;
- cel i warunki, w których ma być wykorzystywany (wilgotność, temperatura, warunki pH);
- właściwości substancji czynnej (brak toksyczności, stabilność termiczną, powinowactwo - możliwość włączenia w matrycę danego polimeru poprzez wiązanie chemiczne);
- dobrą mieszalność ze wszystkimi powszechnie używanymi plastifikatorami, nośnikami organicznymi i rozcieńczalnikami;
- brak reakcji z kluczowymi dodatkami i oddziaływania na gotowe wyroby;
- ustalenie dawki optymalnej – minimalne stężenie hamujące rozwój mikroorganizmów zasiedlających dany materiał;
- szeroki zakres działania przeciwdrobnoustrojowego zabezpieczający wyroby z tworzyw sztucznych przed niepożądaną przyczepnością drobnoustrojów, utratą koloru, powstawaniem zapachu i przedwczesnym uszkodzeniem pod wpływem drobnoustrojów;
- wysokoefektywne działanie przeciwdrobnoustrojowe;
- dobra stabilność na działanie ultrafioletu, zapewniająca długoterminową ochronę wyrobu, nawet przy zastosowaniu na zewnątrz;
- dostępność w postaci ciekłej i form stałych (np. masterbacze, granulaty, puder, proszek, płatki itp.), przystosowany do każdej technologii i każdego sprzętu (nie może powodować korozji części metalowych urządzeń);
- parametry technologiczne procesów przetwórstwa tworzywa (temperatura, pH, itp.);
- aspekty finansowe (certyfikacja, obciążenie finansowe w porównaniu z oczekiwanymi korzyściami) [1, 2].

Stosowanie substancji biobójczych do ochrony materiałów powinno być kontrolowane w zakresie stosowanej dawki oraz przeznaczenia wyrobu finalnego. Nadużywanie jakiegokolwiek środka bakteriobójczego lub grzybobójczego nie powinno mieć miejsca, aby nie spowodować negatywnego wpływu na środowisko, a także wytworzenia odporności mikroorganizmów na dany środek [1]. W skali światowej, zakażenia spowodowane przez działalność bakterii, wirusów i grzybów, stanowią 1/4 rocznych zgonów [3]. Ponieważ mikroorganizmy występują wszędzie i mogą być przenoszone w powietrzu, wodzie, pożywieniu itp., niezbędna jest kontrola i postępowanie

prewencyjne, aby zapobiec ich negatywnej działalności. Niestety, szeroko rozpowszechnione i nieodpowiedzialne korzystanie z antybiotyków oraz dezynfektantów doprowadziło do rozwoju szczepów opornych, powodując trudności w leczeniu spowodowanych przez nie infekcji [3].

## 2. Metody badań aktywności mikrobiologicznej polimerów

Metodologia badania aktywności antymikrobowej jest bardzo ważna ze względu na konieczność oceny bezpieczeństwa materiału jak i efektywności modyfikacji mikrobiologicznej tworzywa [4].

Badanie w przypadku polimerów opiera się m.in. na obserwacji aktywności mikroorganizmów (głównie bakterii i pleśni), a dokładniej ich zdolności do przetrwania w warunkach działania na nie dodanych do polimerów związków chemicznych o określonym stężeniu i w określonym czasie.

Metody oceny aktywności polimerów i tworzyw sztucznych wobec drobnoustrojów można podzielić na dwie grupy – statyczne i dynamiczne. Do pierwszej zaliczymy test dyfuzji na płytkach z agarem, który jest badaniem jakościowym, łatwym do przeprowadzenia i najlepszym w przypadku dużej ilości próbek. Jego zadaniem jest ocena aktywności antymikrobowej uwalniających się z materiałów dodanych wcześniej substancji czynnych. Polega na zasianiu mikroorganizmów testowych na płytkach z podłożem agarowym, umieszczenie na nich próbki materiału o określonym wymiarze, inkubacji płytek w odpowiedniej temperaturze oraz obserwacji. Obserwuje się m.in. strefy zahamowania wzrostu wokół próbki oraz wzrost na podłożu pod próbką i na próbce od strony podłoża.

Jeśli chodzi o metody dynamiczne, stosuje się np. metodę dynamicznego wytrząsania, która jest badaniem ilościowym i daje dokładniejsze wartości, jednak jest bardziej czasochłonna. Polega ona na rozcieńczeniu inkubowanej hodowli mikroorganizmu w sterylizowanym buforze, do uzyskania koncentracji w granicach  $1.5-3.0 \times 10^5$  CFU/ml. Następnie 1g badanego materiału jest umieszczany w 50 ml takiego roztworu oraz wytrząsany przez 1 godzinę. Finalnie, 1 ml z wytrząsanego roztworu zostaje przeniesiony na płytkę z agarem odżywczym, inkubowany, a następnie zlicza się kolonie, które przetrwały. Aktywność antymikrobowa liczona jest procentowo w zestawieniu z próbką kontrolną [1].

Powszechnie, do badań aktywności przeciwdrobnoustrojowej polimerów i tworzyw, stosowane są normy:

I. PN-EN ISO 846 Tworzywa sztuczne - Ocena działania mikroorganizmów:

- jakościowa ocena oddziaływania mikroorganizmów na tworzywa sztuczne w wyniku dwóch różnych procesów:
    - oddziaływania bezpośredniego: deterioracji, czyli niszczenia tworzyw, które stanowią pożywkę do wzrostu mikroorganizmów;
    - oddziaływania pośredniego: wpływu produktów metabolizmu mikroorganizmów, tj. odbarwienie czy, w dalszej kolejności, deterioracja,
  - szczepy *Aspergillus*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *GlIOClaDIum*, *Chaetomium* i inne.
  - II. JIS Z 2801:2000 Antimicrobial products – Test for antimicrobial activity and efficacy:
    - ilościowe oznaczenie aktywności przeciwbakteryjnej i przeciwgrzybowej materiałów hydrofobowych,
      - szczepy bakterii *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Penicillium*, *Aureobasidium* lub inne
      - bezpośredni kontakt badanej próbki z zawiesiną drobnoustrojów
      - inkubacja próbek w komorze klimatycznej w określonej temperaturze i wilgotności
      - metoda wymaga użycia neutralizatora.
  - III. ASTM E2180-07 Standard Test Method for Determining the Activity of Incorporated Antimicrobial Agent(s) In Polymeric or Hydrophobic Materials:
    - metoda ilościowa - ocena działania biobójczego
    - bakterie gram-dodatnie, gram-ujemne, drożdże i/lub pleśnie
    - bezpośredni kontakt badanej próbki z zawiesiną drobnoustrojów
    - inkubacja próbek w komorze klimatycznej w określonej temperaturze i wilgotności
    - metoda wymaga użycia neutralizatora.
  - IV. ASTM E2149-10 Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions:
    - wyznaczanie aktywności przeciwdrobnoustrojowej materiałów metodą ilościową oraz ich badanie pod kątem wymywania środka aktywnego,
    - kompleksowa, obejmująca trzy etapy metoda oceny wymywania środka przeciwdrobnoustrojowego z badanej próbki do środowiska płynnego,
    - test dyfuzyjny + test jakościowy oraz ilościowy supernatant (Supernatant jest górną, płynną warstwą (fazą), którą możemy wyodrębnić przez wirowanie lub strącanie).
  - V. ASTM G21-09 Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi:
    - testy oceny odporności materiałów na działanie grzybów,
    - szczepy *Aspergillus*, *Penicillium*, *Aureobasidium* lub inne,
    - bezpośredni kontakt drobnoustrojów i badanej próbki,
    - inkubacja próbek w komorze klimatycznej w określonej temperaturze i wilgotności.
  - VI. ASTM D5590-00(2005) Standard Test Method for Determining the Resistance of Paint Films and Related Coatings to Fungal Defacement by Accelerated Four-Week Agar Plate Assay:
    - 4-tygodniowe testy oceny oporności materiałów na działanie grzybów i pleśni ,
    - szczepy *Aspergillus*, *Penicillium*, *Aureobasidium* lub inne,
    - bezpośredni kontakt drobnoustrojów i badanej próbki w obecności składników odżywczych
    - inkubacja próbek w komorze klimatycznej w określonej temperaturze i wilgotności,
    - w ramach metody ASTM D5590 próbki badane są pod kątem wymywania środka przeciwdrobnoustrojowego.
  - VII. ISO 22196 Plastics – Measurement of antibacterial activity on plastics surfaces:
    - metoda ilościowa - ocena działania biobójczego
    - bakterie gram-dodatnie, gram-ujemne
    - bezpośredni kontakt badanej próbki z zawiesiną drobnoustrojów,
    - inkubacja próbek w komorze klimatycznej w określonej temperaturze i wilgotności.
  - VIII. ASTM E1428-99 Standard Test Method for Evaluating the Performance of Antimicrobials in or on Polymeric Solids Against Staining by *Streptovorticillium reticulum* (A Pink Stain Organism):
    - ocena odporności polimerów na barwienie wywołane obecnością *Streptovorticillium reticulum*.
  - IX. ASTM C1338-08 Standard Test Method for Determining Fungi - Resistance of Insulation Materials and Facings:
    - ocena odporności materiałów na działanie grzybów i pleśni w przypadku materiałów izolacyjnych i uszczelek [5, 6].
- 3. Substancje czynne używane do biostabilizacji polimerów i tworzyw**
- W Tabeli 1 zamieszczono listę najbardziej odpowiednich biocydów stosowanych w ochronie wybranych polimerów i tworzyw.

Tabela 1. Biocydy używane do polimerów i tworzyw [4].

Lp.	Rodzaj tworzywa	Zastosowanie	Rodzaj stosowanego biocydu
1	ABS (kopolimer akrylonitrylobutadienowo-styrenowy)	Armatura łazienkowa	Microban
		Zastosowania w ochronie zdrowia	Nanosrebro
		Rury	Ftalocyjanina miedzi
2	Akryle	Kopolimery	· Akrylowe oligomery i kopolimer eteru 2,4,4-trichloro-2-hydroksydifenylowego · Kopolimer octanowy 2,4-dichlorofenylometakrylanu winylu
		Protezy zębowe	Dwutlenek tytanu powlekany apatytem (fotokatalizator)
		Uszczelniacze	· 1,2-benzizotiazolin-3-on · Karbaminian 3-jodo-2propynylbutylowy · 2-n-oktylo-4-izotiazolin-3-on
		Farby	· 1,2-benzizotiazolin-3-on · Karbendazym (benzimidazol-2-ylokarbaminian) · 5-chloro-2-metylo-4-izotiazolin-3-on · 2-metylo-4-izotiazolin-3-on · 2-fenylofenolan sodu · Ekstrakt z pestek granata · Olejek z drzewa herbacianego
3	Alkohol poliwinylowy	Hydrożele	Dichlorek parakwatu
		Nanowłókna	Chitozan czwartorzędowany
4	Guma	Guma naturalna	Estry kwasu borowego
		Zastosowania ogólne	· 1, 2-benzizotiazolin-3-on · Nanocząsteczki tlenku tytanu
5	Kopolimery etylenowo-propylenowe	Filtry nawiewów powietrza	· Kwas karbolowy
6	Poliamid	Włókna	· Cienkie warstwy srebra · Sulfonowana czwartorzędowa polietylenoimina
		Membrany do odwróconej osmozy wody morskiej	· 2,2 dibromo-3-nitrylo-propionamid · Chloraminy · Wolny chlor · Ozon · Nanocząsteczki srebra
7	Polichlorek winylu	Polichlorek winylu	· Nanocząsteczki miedzi · 4,5-dichloro-2-n-oktyloizotiazolin-3-on · 2-n-oktylo-izotiazolin-3-on · Tebukonazol · Zawarty w zeolitach 2-n-oktylo-4-izotiazolin-3-on · Pirytionian cynku
		Zastosowania medyczne	Azotan srebra

Tabela 1. Biocydy używane do polimerów i tworzyw [4] cd..

8	Polietylen	Siatki na cytrusy	Tiabendazol
		Folia spożywcza	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bezwodnik benzoesowy</li> <li>· Nizyna</li> </ul>
		Folia LLDPE	2-metylotio-4-etyloamino-6-tert-butylamino-triazyno-1,3,5 (terbutryna) – 750 ppm
		Folia wielowarstwowa	Nanokompozyt srebra i polietylenu
		Ośłony do rur	Eter 2,4,4-trichloro-2-hydroksydifenylowy
		Folia kurczliwa do pakowania papryki i sera	1-(2-(2,4-dichlorofenyl)-2-(2-propenylloksy)etylo)-1H-imidazol (imazalil)
9	Polimetakrylan metylu	Szkló akrylowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Chitozan</li> <li>· Tiocyjanian miedzi</li> <li>· Tlenek miedzi</li> <li>· Czwartorzędowe amoniowe związki</li> <li>· Tolilofluanid</li> </ul>
10	Polipropylen	Materiały konstrukcyjne	1, 2-benzizotiazolin-3-on
		Polipropyleny	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nanocząsteczki miedzi</li> <li>· Nanocząsteczki srebra</li> <li>· Srebro w postaci proszku</li> </ul>
		Cienkie folie	Dwutlenek tytanu
11	Polistyren	Polistyren	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1,2-benzizotiazolin-3-on</li> <li>· Medetomidyna</li> </ul>
12	Polisulfony	Membrany	Nanocząsteczki srebra
		Odwrócona osmoza	Powlekanie związkami srebra
13	Poliuretan	Cewniki	Chitozan
		Powłoki	Dwusiarczek nonylofenolowy
		Cewniki Foley'a	Gentamycyna oraz fluorochinolony
		Membrany wykonane z włókien	Czwartorzędowanie zaszczipionych grup pirydynowych za pomocą bromku heksylu
		Poliuretany mikroporowate	Szczepienie 2,2,5,5-tetrametyloimidozalidin-4-onu
		Zastosowania militarne	Czwartorzędowe związki amonowe
		Farby	Uwalniacz formaldehydowy na bazie glikolu i chlorometyloizotiazolon
		Artykuły plastikowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 4,5, -dichloro-2-n-oktylo-4-3-izotiazolon-3-on</li> <li>· 2-n-oktylo-4-izotiazolin-3-on</li> </ul>
		Poliester poliuretanowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nanocząsteczki złota</li> <li>· Nanocząsteczki srebra</li> </ul>
		Powłoki samo-dekontaminujące	Czwartorzędowe bromowe sole amoniowe funkcjonalizowane grupami diolowymi
14	Poliwęglan	Narzędzia medyczne	Oparte o związki srebra

Tabela 1. Biocydy używane do polimerów i tworzyw [4] cd..

15	Silikony	Powłoki	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Benzoesan sodu</li> <li>· Kwas zosterowy</li> </ul>
		Zastosowania w dentystyce	N-chloramina
		Zastosowania ogólne	Silanole
		Narzędzia medyczne	Triklosan
		Ochrona zapraw murarskich	2,3,5,6-tetra-chloro-4-metylosulfonylo-pirydyna
		Uszczelniacze	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 4,5-dichloro-2-n-oktylo-4-izotiazol-3-on</li> <li>· 4,5-dichloro-2-cykloheksylo-3-izotiazolinon</li> <li>· 2-n-oktylo-4-izotiazol-3-on</li> </ul>
16	Uszczelniacze i kleje	Acetoksyłowe uszczelniacze silikonowe	4,5-dichloro-2-n-oktylo-4-izotiazolin-3-on
		Uszczelniacze akrylowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 5-chloro-2-metylo-4-izotiazolin-3-on</li> <li>· 2-metylo-4-izotiazolin-3-on</li> <li>· 2-n-oktylo-4-izotiazolin-3-on</li> </ul>
		Uszczelniacze i kleje na bazie wody	2-metylo-4-izotiazolin-3-on oraz 1,2-benzizotiazolin-3-on w stosunku 1: 1
17	Żywice alkidowe	Farby	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Azol oraz butylokarbaminian</li> <li>· jodopropargilowy</li> <li>· Nanocząsteczki srebra</li> </ul>
18	Żywice epoksydowe	Powłoki	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Zeolit zawierający srebro</li> <li>· Podlegający polimeryzacji monomer oparty na akrylanie bromofenyłowym</li> </ul>
		Powłoki do zastosowań morskich	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Smoła węglowa</li> <li>· Benzoesan żelaza</li> <li>· Sea-Nine 211N (30% roztwór 4,5-dichloro-2-n-oktylo-4-izotiazolin-3-onu)</li> </ul>

Powyższa tabela obejmuje polimery i tworzywa używane do następujących zastosowań:

- w przemyśle obuwniczym (np. ochrona podeszew i klejów na bazie wody, wkładki do obuwia)
- we włókiennictwie (do ochrony włókien na wyroby funkcjonalne itp.)
- w medycynie (np. protezy zębowe, narzędzia medyczne, cewniki itp.)
- do opakowań żywności (np. folie spożywcze, siatki na cytrusy, opakowania ze szkła akrylowego)
- w przemyśle budowlanym (np. ochrona zapraw murarskich i uszczelniaczy, uszczelki, rur, osłon do rur, armatury łazienkowej)
- do zastosowań militarnych
- dla przemysłu morskiego (np. powłoki zabezpieczające kadłuby statków przed tworzeniem biofilmu i korozją, membrany do odwróconej osmozy wody morskiej)

- do klimatyzacji (filtry nawiewów powietrza)
- i innych branż

W kolumnach 4 i 5 tabeli, biorąc pod uwagę zastosowania polimerów, podano dla danego tworzywa najbardziej odpowiednie substancje czynne biologicznie przedstawiając ich nazwy w języku polskim i angielskim.

#### 4. Naturalne polimery przeciwbakteryjne

Pomimo dużej ilości syntetycznych środków używanych do zabezpieczania mikrobiologicznego materiałów (triklosan, metale i ich sole itp.), są one nadal powodem do obaw odnośnie ich potencjalnych skutków ubocznych. Istnieje zatem duże zapotrzebowanie na polimery antymikrobowe oparte na dodatkach przyjaznych środowisku i polimery naturalne.

Chitozan (CAS 9012-76-4) i jego pochodne stosowane są ostatnio jako biomateriał do dużej liczby aplikacji,

zaczynając od przemysłu farmaceutycznego, poprzez kosmetyczny, biomedyczny, spożywczy, rolniczy, papierniczy i tekstylny [7]. Nierozpuszczalny liniowy polisacharyd pozyskiwany jest z egzoszkieletów skorupiaków i insektów, alg morskich, a także niektórych ścian komórkowych grzybów, został najszerzej zbadany w dziedzinie biomedycznej. Charakteryzuje się szerokim spektrum działania, jest efektywny zarówno w stosunku do bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych, a także pleśni i drożdży, z tym że bakterie wykazują mniejszą wrażliwość na antymikrobowe właściwości chitozanu niż grzyby [7].

Serycyna (klej jedwabny, CAS 96690-41-4) to makromolekularne białko wytwarzane przez jedwabniki podczas produkcji jedwabiu, stanowi 25-30% białka jedwabiu. To białko, które cementuje dwa włókna fibroinowe, jest usuwane podczas produkcji surowego jedwabiu (proces odgumowania). Według ostatnich doniesień literaturowych, materiały wykonane z PET z dodatkiem serycyny w ilości 4% redukują liczbę bakterii *Proteus vulgaris* na poziomie 51% oraz *S. aureus* na poziomie 38% [7].

Garbniki. Naturalne i rozpuszczalne w wodzie polifenole (np. garbniki) pozyskiwane są z roślin zielonych oraz z drewnianych części roślin. Według dostępnych badań, garbniki wykazują szerokie działanie antymikrobowe względem bakterii i grzybów (m.in. *S. aureus*, *E. coli*, *K. pneumoniae*) [7].

Aloes (CAS 8557-69-03) - ekstrakt z rośliny *Aloe vera* posiada właściwości antymikrobowe względem *S. aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Candida albicans*. Aloes jest stosowany w praktyce medycznej jak substancja wspomagająca gojenie ran, a także w celach kosmetycznych. W roślinie *Aloe vera* występują różne polisacharydy, spośród których acemannan nadaje cechy aktywności antymikrobiologicznej. Doniesienia literaturowe dotychczas prowadzonych badań przez Wasif i innych [7] informują, że ekstrakt *Aloe vera* może znaleźć zastosowanie w przemyśle włókienniczym do wykończenia antymikrobowego tkanin bawełnianych techniką pad-dry-cure przy użyciu środka sieciującego – glioksal [7].

Nizyna (CAS 1414-45-5) - szeroko stosowanym związkiem przeciwbakteryjnym, szczególnie w dziedzinie opakowań do żywności jest nizyna (CAS 1414-45-5), policykliczny peptyd składający się z 34 aminokwasów [8]. Nizyna wytwarzana jest w procesie fermentacji przez bakterie kwasu mlekowego *Lactococcus lactis*. Wykazuje działanie wyłącznie w odniesieniu do bakterii Gram-dodatnich (*Bacillus*, *Clostridium*, *Lactobacillus*) oraz niektórych bakterii z grupy coli.

Własności nizyny były badane w połączeniu z polietylenem (PE) z dodatkiem lub bez kwasu etylenodiaminotetraoctowego (EDTA), jak również jako dodatek do mieszanek z PE i PEO. Aktywność

antybakteryjną tego związku wykazano w odniesieniu do *Brochothrix thermosphacta*, w największym stopniu w przypadku mieszanek PE i PEO, a następnie w przypadku PE z EDTA. Folie PE były pokrywane roztworami hydroksypropylometylocelulozy z dodatkiem nizyny. Badane próbki PE o niskiej gęstości, także pokryte nizyną, wykazały aktywność wobec bakterii *Micrococcus luteus* i *Listeria monocytogenes*. Uwalnianie nizyny okazało się być zależne od warunków pH i temperatury. Liu wraz z współpracownikami wprowadził nizynę do PLA albo przez rozproszenie lub współwytłaczanie. Oba systemy hamowały wzrost bakterii *Lactobacillus plantarum* i *L. monocytogenes* [8].

Nizyna była także chemicznie wiązana z kopolimerami trójblokowymi PEO-b-PPO-b-PEO, zmodyfikowanymi tak, aby możliwe było dołączenie peptydu. Antybakteryjne właściwości kopolimeru zmodyfikowanego nizyną były potwierdzone w testach mikrobiologicznych wobec bakterii *Pediococcus pentosaceus*. Eksperymenty pokazały, że nizyna związana z modyfikowanym kopolimerem wykazała aktywność podobną do obserwowanej dla próbek w przypadku polimeru zwyczajnie mieszanego. Ten nieoczekiwany wynik jest częściowo wyjaśniony przez tworzenie kompleksu zawierającego nizynę przyłączoną do powierzchniowo czynnych miceli PEO-b-PPO-b-PEO, która zostaje w nich uwięziona, a zatem zachowuje swoją aktywność mikrobiologiczną [8].

## 5. Literatura

1. Sedlarik V., Antimicrobial Modifications of Polymers, Biodegradation - Life of Science, Dr. Rolando Chamy (Ed.), InTech, 2013, 188-204.
2. Alamri A.; El-Newehy M.; Al-Deyab S., Biocidal polymers: synthesis and antimicrobial properties of benzaldehyde derivatives immobilized onto amine-terminated polyacrylonitrile, Chemistry Central Journal 2012, 6:111, 1-13.
3. Xue Y.; Xiao H.; Zhang Y., Antimicrobial Polymeric Materials with Quaternary Ammonium and Phosphonium Salts, International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16, 3626-3655.
4. Falkiewicz-Dulik M.; Janda K.; Wypych G., Handbook of Biodegradation, Biodeterioration and Biostabilization, Chem Tec Publishing, Canada, 2015, 299-347.
5. Falkiewicz-Dulik M.: Ochrona spodów obuwicznych przed korozją mikrobiologiczną. [w:] Materiały VIII Konferencji „Otrzymywanie, zastosowanie i analiza wodnych dyspersji i roztworów polimerów”. Szczyrk, 2005, 125-128.
6. Falkiewicz-Dulik M., Pawlik B., Macura A. B., Sadowski T.: Rola sanityzacji spodów obuwia w zapobieganiu rozprzestrzeniania się zakażeń

- wewnątrzszpitalnych. Mikologia Lekarska. 2007, 14 (2): 99-103.
7. Varesano A.; Vineis C.; Aluigi A.; Rombaldoni F., Antimicrobial polymers for textile products, Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances, A. Mendez-Vilas (Ed.), Formatex 2011, 99-110.
  8. Fernandez-Garcia M., Polymeric Materials with Antimicrobial Activity, Progress in Polymer Science, 2012, 37, 281-339.