



Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* jako szkodliwe czynniki biologiczne w środowisku pracy

dr hab. n. med. i n. o zdr. inż. Agata Stobnicka-Kupiec^a (ORCID: 0000-0003-1212-0651)



Fot. Amaviael/Bigstockphoto

Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* mogą stanowić szkodliwe czynniki biologiczne na stanowiskach pracy pracowników z różnych grup zawodowych, w tym pracowników służby zdrowia, oczyszczalni ścieków i przedsiębiorstw wodno-kanalizacyjnych, rolnictwa, produkcji żywności, zakładów przemysłu metalurgicznego oraz laboratoriów mikrobiologicznych i kontroli jakości w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym i spożywczym. Narażenie na bakterie z rodzaju *Pseudomonas* może się stać przyczyną różnych chorób i dolegliwości zdrowotnych, które obejmują zarówno zakażenia skóry i dróg moczowych czy stany zapalne płuc, jak i reakcje immunotoksyczne wywołane wdychaniem toksyn (endo- i egzotoksyn) produkowanych przez te drobnoustroje. Głównymi elementami prewencji tych zagrożeń powinny być rzetelna ocena ryzyka zawodowego oraz stosowanie odpowiednich środków profilaktycznych.
Słowa kluczowe: *Pseudomonas*, szkodliwe czynniki biologiczne, bioaerozol, powierzchnie

Bacteria of the genus *Pseudomonas* as harmful biological factors in the occupational environment

Bacteria of the *Pseudomonas* genus can be present as harmful biological agents in the workplaces of various professional groups, including healthcare, sewage treatment plants, water and sewage companies, agriculture workers, food production, metallurgy industry plants, as well as microbiological laboratories and quality control in the pharmaceutical, cosmetic and food industries. Exposure to *Pseudomonas* bacteria can lead to various diseases and health issues, including skin infections, urinary tract infections, pneumonia, as well as immunotoxic reactions through inhalation of the toxins they produce (including both endo- and exotoxins). The main elements of prevention for these hazards should include a thorough assessment of occupational risks and the use of appropriate preventive measures.

Keywords: *Pseudomonas*, harmful biological agents, bioaerosol, surfaces

^a Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, kontakt: agsto@ciop.pl.

Wstęp

Bakterie *Pseudomonas* sp. to Gram-ujemne, bezwzględnie tlenowe, katalazododatnie, biegunowo urzęsione bakterie, które przyjmują kształt prostych lub nieznacznie wygiętych pałeczek. Są w stanie rozkładać wiele węglowodorów, w tym aromatycznych oraz ich pochodnych. Bakterie te są szeroko rozpowszechnione w środowisku. Mogą występować w glebie, na powierzchni roślin, w wodzie, ściekach i powietrzu. Ich wymagania odżywcze są niewielkie, a niektóre szczepy środowiskowe mogą rosnąć w temperaturze od 5°C do 45°C. Jest to jeden z najbardziej zróżnicowanych rodzajów bakterii, który obejmuje ponad 600 gatunków [1]. Charakterystyczną cechą niektórych gatunków należących do tego rodzaju jest zdolność do wytwarzania barwników – błękitnozielonej piocyaniny czy fluoryzującej piowerdyny [1]. Dla człowieka najistotniejsze znaczenie kliniczne ma pałeczka ropy błękitnej (*Pseudomonas aeruginosa*), która jest patogenem oportunistycznym, zdolnym wywołać ostre i przewlekłe zapalenia płuc, zakażenia łóżyska naczyniowego, układu moczowego, skóry i tkanek miękkich. Pozostałe gatunki z rodzaju *Pseudomonas* (*Ps. fluorescens*, *Ps. syringae*, *Ps. stutzeri*, *Ps. putida*, *Ps. oleovorans*) wywołują u ludzi przede wszystkim reakcje immunologiczne na skutek wdychania endotoksyn, czyli kompleksów lipopolisacharydowych uwalnianych po rozpadzie (lizie) komórki. Niemniej w piśmiennictwie przedmiotu istnieją doniesienia na temat wywoływania u ludzi zakażeń również przez inne gatunki *Pseudomonas* sp. Przykładowo *Ps. oleovorans* mogą być przyczyną zapalenia płuc, opon mózgowo-rdzeniowych, sepsy i zapalenia wsierdza u ludzi, a *Ps. fluorescens* – zapalenia płuc i sepsy [2–7]. Według piśmiennictwa przedmiotu w ostatnich latach odnotowuje się także przypadki stanów

chorobowych wywoływanych przez inne gatunki z rodzaju *Pseudomonas*, w tym *Ps. luteola*, *Ps. oleovorans*, *Ps. oryzae*, *Ps. putida* czy *Ps. stutzeri*, zwłaszcza u osób z obniżoną odpornością lub występującymi chorobami przewlekłymi [8–13].

Celem tego artykułu jest omówienie problemu narażenia pracowników z różnych grup zawodowych na bakterie z rodzaju *Pseudomonas* wraz ze wskazaniem ich potencjalnego wpływu na zdrowie pracowników oraz działań prewencyjnych mających za zadanie ograniczenie i eliminację skutków zdrowotnych przez nie powodowanych.

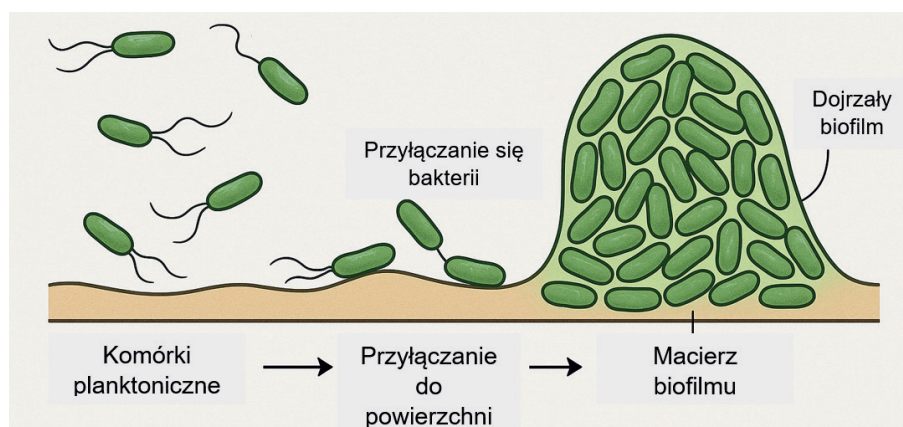
Czynniki wirulencji

Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* produkują liczne substancje ułatwiające ich wnikanie do komórek gospodarza, takie jak lipaza, proteiny, hemolizyny, kolagenaza, egzotoksyna A [14]. Istotny jest także fakt, że *Pseudomonas* sp. mają zdolność tworzenia biofilmu, który obecnie uważany jest za jeden z kluczowych czynników wirulencji i przetrwania, efektywnie chroniący komórki bakterii zarówno przed działaniem układu immunologicznego, jak i przed stosowanymi chemioterapeutykami. W przypadku pałeczki ropy błękitnej wymienia się szeroką gamę czynników wirulencji – takich jak: pile, wić, proteaza alkaliczna, elastaza, egzotoksyna A (ExoA), fosfolipaza A, proteaza IV, egzotoksyny S (ExoS), T (ExoT), U (ExoU) i Y (ExoY), lipopolisacharyd, alginian, piocyanina, piowerdyna, układy sekrecyjne, czynniki „wyczuwania obecności” (*quorum-sensing molecules*, QS), a także zdolność tworzenia biofilmu [15, 16]. Biofilm bakteryjny jest zbiorowiskiem komórek bakteryjnych tworzących mikrokolonie, które są otoczone polisacharydową macierzą (matriks). Uproszczony schemat formowania biofilmu przedstawiono

na rysunku (zob. rys). Ważnym składnikiem struktury biofilmu jest pozakomórkowa substancja polisacharydowa EPS, stanowiąca ok. 90% całej masy biofilmu (pozostałe 10% stanowi masa bakteryjna). EPS jest zbudowana z glikoprotein, lipidów, zewnątrzkomórkowego DNA, polisacharydów, białek i lipopolisacharydów. Biofilm może powstawać na powierzchniach biotycznych, np. biofilm na błonach śluzowych lub brzegach ran oparzeniowych, albo na powierzchniach abiotycznych, np. na powierzchni aparatury medycznej, narzędzi czy instalacji sanitarnych. Badania epidemiologiczne wskazują, że biofilm bakteryjny odpowiada za ok. 80% zakażeń u ludzi i zwierząt [17]. Biofilmy bakteryjne są odporne na działanie licznych czynników zewnętrznych, takich jak środki dezynfekcyjne, leki, promieniowanie UV, i na czynniki odpornościowe pochodzące z organizmu gospodarza. Niezmiernie istotny jest fakt, że bakterie wchodzące w skład biofilmu wykazują wysoką oporność na chemioterapeutyki. Badania wskazują, że bakterie tworzące biofilm mogą być nawet 100-krotnie bardziej odporne na działanie różnych substancji przeciwbakteryjnych [18]. W przypadku *Pseudomonas aeruginosa* rosnącego w biofilmie kluczowym czynnikiem zwiększającym oporność bakterii na antybiotyki jest wspomniany wcześniej alginian, który nie pozwala na zniszczenie struktury biofilmu [19].

Lekooporność bakterii z rodzaju *Pseudomonas*

Narastająca oporność bakterii na antybiotyki i środki przeciwdrobnoustrojowe wciąż stanowi aktualny problem zarówno dla zdrowia publicznego, jak i wielu sektorów gospodarki, w tym medycyny i weterynarii, rolnictwa oraz różnych gałęzi przemysłu. W porównaniu z innymi mikroorganizmami szczepy *Ps. aeruginosa* charakteryzują się bardzo wysoką opornością wielolekową i opornością na środki przeciwbakteryjne. Bakterie te wykazują naturalną (zwaną także własną) oporność na szeroką gamę zróżnicowanych strukturalnie antybiotyków; dotyczy to części antybiotyków β-laktamowych (aminopenicyliny wraz z ich połączeniami z inhibitorami β-laktamazy, cefalosporyny I i II generacji), chloramfenikolu, trimetoprimu i tetracyklin. Niektóre szczepy *Ps. aeruginosa* są odporne na wszystkie antybiotyki, w tym karbapenemy. Szczepy te określane są mianem wielolekoopornych – MDR (ang. *multi drug resistant*) *Ps. aeruginosa* [20]. U podstaw zjawiska lekooporności leżą:



Rys. Schemat tworzenia się biofilmu bakteryjnego (opracowanie własne)
Fig. Schematic diagram of bacterial biofilm formation (own work)

mechanizmy niskiej przepuszczalności błony zewnętrznej bakterii, aktywność molekularnych pomp, zdolnych do aktywnego pozbywania się antybiotyku z komórek, oraz chromosomowo kodowane enzymy, zdolne do inaktywacji określonych leków [21]. Dodatkowo, poza naturalnymi mechanizmami oporności, pałeczka ropy błękitnej, podobnie jak inne bakterie, nabywa oporność ze środowiska zewnętrznego. Odpowiedzialny za nabywanie nowych cech jest horyzontalny transfer genów (HGT), do którego dochodzi głównie za pomocą plazmidów. W wyniku HGT bakteria zdobywa enzymy inaktywujące, działające głównie na β-laktamy i aminoglikozydy. Doniesienia naukowe z ostatnich lat wskazują także, że niektóre szczepy *Ps. aeruginosa* wykazują oporność na powszechnie stosowane środki dezynfekcyjne (w tym na nadtlenek wodoru, podchloryn sodu, chloraminy, ozon i jod) oraz antyseptyki (oktenidynę i chlorheksydynę), a środki na bazie chloru mogą wręcz promować oporność drobnoustrojów na środki przeciwbakteryjne i antybiotyki [22–26]. W ostatnich latach odnotowywane są ponadto przypadki oporności na antybiotyki wśród innych gatunków należących do rodzaju *Pseudomonas*. Wykazano, że badane szczepy *Ps. fluorescens* były odporne na szereg antybiotyków, m.in. na gentamycynę, doksycyklinę, chloramfenikol i sulfametoksazol [27]. Podobnie bakterie *Ps. oleovorans* wykazywały oporność na działanie antybiotyków, takich jak sulfametoksazol, chloramfenikol czy kwas klawulanowy [28]. W związku z tym zwalczanie bakterii z rodzaju *Pseudomonas* staje się coraz większym wyzwaniem – tak w praktyce klinicznej, jak i w zapewnieniu higienicznych i bezpiecznych warunków pracy.

Kontakt z bakteriami *Pseudomonas* sp. w środowisku pracy

Drogą transmisji bakterii z rodzaju *Pseudomonas* w środowisku pracy może być zarówno bioaerazol, jak i kontakt z zanieczyszczonymi tymi drobnoustrojami powierzchniami. Wskazanie konkretnego źródła tych bakterii jest uzależnione od grupy zawodowej i czynności wykonywanych na stanowisku pracy. Bakterie *Pseudomonas* sp. są szeroko rozpowszechnione zwłaszcza w miejscach o wysokiej wilgotności i tam, gdzie występuje materiał organiczny, np. ścieki. Głównymi źródłami tych bakterii są systemy wodne i instalacje sanitarno-higieniczne, gdzie może dochodzić do tworzenia biofilmów. W przemyśle spożywczym i farmaceutycznym

Tabela 1. Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* oraz grupy narażonych na nie pracowników
Table 1. Bacteria of the genus *Pseudomonas* and groups of workers exposed to them

Narażona grupa zawodowa	Gatunek bakterii (nazwa łacińska)							
	<i>Ps. aeruginosa</i>	<i>Ps. fluorescens</i>	<i>Ps. syringae</i>	<i>Ps. putida</i>	<i>Ps. stutzeri</i>	<i>Ps. oleovorans</i>	<i>Ps. oryzae</i>	Inne gatunki z rodzaju <i>Pseudomonas</i>
Pracownicy przemysłu farmaceutycznego i kosmetycznego, gdzie wytwarza się lub stosuje biopreparaty	x	x		x				x
Pracownicy medycznych ośrodków badawczych	x	x		x				x
Pracownicy ochrony zdrowia (oddziałów zakaźnych)	x	x		x				x
Pracownicy laboratoriów mikrobiologicznych i diagnostycznych	x	x		x				x
Pracownicy stacji sanitarno-epidemiologicznych	x	x		x				x
Pracownicy przemysłu drzewnego (pracownicy tartaków)		x	x	x	x			x
Pracownicy zawodów związanych z pracą pod wodą (nurkowie)	x	x		x	x	x	x	x
Pracownicy przemysłu metalurgicznego narażeni na mgłę olejową		x		x	x	x	x	x
Pracownicy laboratoriów rolniczych związanych z fitopatologią i hodowlą roślin		x	x	x	x		x	x
Pracownicy przemysłu spożywczego zatrudnieni w spichrzach zbożowych		x	x	x	x		x	x
Pracownicy mieszalni pasz		x	x	x	x			x
Magazynierzy zatrudnieni przy przechowywaniu produktów roślinnych i zwierzęcych		x	x	x	x		x	x
Rolnicy zajmujący się produkcją roślinną i/lub zwierzęcą		x	x	x	x			x
Hodowcy bydła		x	x	x	x			x
Pracownicy przemysłu włókienniczego, gdzie jako surowca używa się włókien naturalnych (bawełny, lnu, konopi)		x	x	x	x			x
Pracownicy zakładów gospodarki odpadami	x	x	x	x	x		x	x
Pracownicy kompostowni	x	x	x	x	x		x	x
Pracownicy zakładów oczyszczania ścieków	x	x	x		x	x	x	x
Pracownicy przedsiębiorstw wodno-kanalizacyjnych	x	x	x		x	x	x	x

mikroorganizmy te mogą zasiedlać powierzchnie produkcyjne i urządzenia, prowadząc do skażenia gotowych produktów. W sektorze ochrony zdrowia, zwłaszcza w szpitalach i laboratoriach, pałeczki *Pseudomonas* sp. mogą kolonizować sprzęt medyczny, środki dezynfekcyjne i dłonie personelu, stając się przyczyną zakażeń szpitalnych. W środowisku pracy pracowników branży rolniczej i ogrodniczej bakterie te mogą bytować w glebie, na roślinach i w systemach nawadniających. Pałeczki *Pseudomonas* sp. kolonizują także

ciecze chłodząco-smarujące stosowane w przemyśle metalurgicznym, w których mogą zarówno tworzyć biofilmy, jak i wchodzić w skład emitowanej w trakcie procesu technologicznego mgły olejowej. Obecność tych drobnoustrojów w powietrzu, jako składników bioaerozoli, stanowi potencjalne zagrożenie dla zdrowia pracowników, zwłaszcza w miejscach o ograniczonej wentylacji. Źródłem tych bakterii może być także zakażony człowiek lub zakażone zwierzę. Zestawienie bakterii z rodzaju *Pseudomonas* oraz

Tabela 2. Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* oraz przyporządkowane im grupy zagrożenia, źródła występowania w środowisku pracy, drogi przenoszenia, wywoływane skutki zdrowotne oraz metody profilaktyki zakażeń
 Table 2. Bacteria of the genus *Pseudomonas* and their assigned risk groups, sources of occurrence in the work environment, routes of transmission, health effects and methods of infection prevention

Szkodliwy czynnik biologiczny	Bakterie (tlenowe pałeczki Gram-ujemne) <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (pałeczka ropy błękitnej)	Bakterie (tlenowe pałeczki Gram-ujemne) <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Bakterie (tlenowe pałeczki Gram-ujemne) <i>Pseudomonas</i> spp. (<i>Ps. syringae</i> , <i>Ps. stutzeri</i> , <i>Ps. putida</i> , <i>Ps. oleovorans</i> , <i>Ps. luteola</i> , <i>Ps. mendocina</i>)
Grupa zagrożenia	2	1	1
Występowanie	Gleba, woda, rośliny, pył organiczny, zwierzęta, ludzie	Gleba, woda, rośliny, produkty roślinne, pył organiczny, mgła olejowa, powietrze	Gleba, woda, rośliny, produkty roślinne, pył organiczny, powietrze, mgła olejowa
Przenoszenie	Bezpośrednie (m.in. przez wodę, zakażone instrumenty szpitalne), pokarmowe, powietrzno-kropelkowe	Powietrzno-pyłowe, powietrzno-kropelkowe	Powietrzno-pyłowe, powietrzno-kropelkowe
Skutki zdrowotne dla człowieka	Oportunistyczne (często wewnątrzszpitalne) zakażenia dróg moczowych, zapalenia płuc, zakażenia skóry (ropnie), zapalenie wsierdza. Zakażenia ran, stany zapalne dróg oddechowych, zakażenia dróg moczowych, źródło toksyn	Reakcje immunotoksyczne wywołane wdychaną toksyną, alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych	Reakcje immunotoksyczne wywołane wdychaną toksyną
Profilaktyka	Środki ochrony indywidualnej, dezynfekcja	Środki ochrony indywidualnej, dezynfekcja, redukcja zapylenia	Środki ochrony indywidualnej, dezynfekcja, redukcja zapylenia

Tabela 3. Przykładowe środki systemowe, techniczne, organizacyjne, ochrony indywidualnej i profilaktyki medycznej, zalecane w przypadku stanowisk pracy, na których występuje narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne, w tym bakterie z rodzaju *Pseudomonas* sp. (opracowanie własne)
 Table 3. Examples of systemic, technical, organizational, personal protective and medical preventive measures recommended for workplaces where there is exposure to harmful biological factors, including bacteria of the *Pseudomonas* sp. genus (own study)

Działania systemowe
Oddzielne przechowywanie odzieży prywatnej i roboczej.
Działania techniczne
<ul style="list-style-type: none"> • Zapewnienie wyposażenia do mycia i dezynfekcji rąk, • odpowiednia klimatyzacja/wentylacja pomieszczeń, • okresowe czyszczenie systemów klimatyzacyjnych/wentylacyjnych wraz z wymianą filtrów powietrza.
Działania organizacyjne
<ul style="list-style-type: none"> • Oznaczenie miejsc pracy, • ograniczenie dostępu osób nieuprawnionych, • procedury higieniczne dotyczące pracowników (mycie i dezynfekcja rąk), • procedury okresowego czyszczenia oraz dezynfekcji powierzchni i urządzeń.
Środki ochrony indywidualnej
<ul style="list-style-type: none"> • Ochrona rąk (rękawice), • ochrona twarzy (maseczki, okulary), • odzież ochronna.
Profilaktyka medyczna
<ul style="list-style-type: none"> • Nadzór i opieka lekarza medycyny pracy, • prowadzenie dokumentacji badań profilaktycznych, • zapewnienie profilaktyki poekspozycyjnej (np. przenośna lub stacjonarna myjka do przemywania oczu).

stanowisk pracy, na których mogą występować jako szkodliwe czynniki biologiczne, przedstawiono w tab. 1 [29].

Ocena ryzyka

Ocena ryzyka zawodowego jest kluczowym elementem zarządzania bhp, mającym na celu identyfikację zagrożeń występujących w miejscu pracy oraz ocenę

prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Zebranie informacji na temat występowania bakterii z rodzaju *Pseudomonas* w środowisku pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach, gdzie występuje narażenie na te szkodliwe czynniki biologiczne, jest niezbędne w celu przeprowadzenia prawidłowej i pełnej oceny ryzyka zawodowego, a co za tym idzie – zmniejszenia ryzyka zakażenia. Warunki ochrony pracowników przed zagrożeniami powodowanymi przez

szkodliwe czynniki biologiczne oraz rodzaje środków niezbędnych do zapewnienia ochrony zdrowia i życia pracowników narażonych na działanie tych czynników (w tym zakres stosowania tych środków oraz warunki i sposób monitorowania stanu zdrowia narażonych pracowników) są szczegółowo określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia [30]. Zgodnie z tym aktem normatywnym każdy pracodawca jest zobowiązany do dokonania oceny ryzyka, na które jest lub może być narażony pracownik, z uwzględnieniem klasyfikacji i wykazu szkodliwych czynników biologicznych określonych w załączniku nr 1 do rozporządzenia. Należy pamiętać, że prawidłowe i pełne przeprowadzenie oceny ryzyka wymaga zebrania aktualnych informacji dotyczących zarówno warunków pracy, jak i narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne w trakcie wykonywania konkretnych czynności zawodowych. Na podstawie wyników oceny ryzyka pracodawca powinien wdrożyć odpowiednie środki ochrony i procedury bezpieczeństwa. Ocenę ryzyka zawodowego należy przeprowadzać regularnie i okresowo weryfikować, aby uwzględniać zmiany w organizacji pracy, technologii i przepisach prawnych, oraz wykonać powtórnie w sytuacji:

- zmiany warunków pracy, które mogą prowadzić do zwiększonego zagrożenia dla zatrudnionych osób (w przypadku podejrzenia lub stwierdzenia zanieczyszczenia miejsca pracy);
 - wystąpienia infekcji lub choroby pracowników, która może mieć związek z wykonywanymi czynnościami;
 - uzyskania od lekarza zakładowego zalecenia kontroli miejsca pracy.
- Zestawienie bakterii należących do rodzaju *Pseudomonas* wraz ze wskazanymi skutkami zdrowotnymi dla człowieka oraz metodami profilaktyki zakażeń przedstawiono w tab. 2 [29].

Działania prewencyjne na stanowiskach pracy

Wszelkie działania profilaktyczne, które służą ochronie pracowników przed szkodliwymi czynnikami biologicznymi, w tym bakteriami z rodzaju *Pseudomonas*, powinny się opierać na zintegrowanej strategii prewencyjnej STOP, łączącej w sobie kluczowe elementy zmian, obejmujące zmiany systemowe, techniczne i organizacyjne oraz środki ochrony indywidualnej (przykładowe środki i działania prewencyjne przedstawiono w tab. 3). Prawidłowa ochrona przed tymi zagrożeniami powinna zatem bazować przede wszystkim na przestrzeganiu ogólnie przyjętych

zasad epidemiologiczno-sanitarnych z uwzględnieniem systemów GHP (ang. *good hygiene practice*). Do podstawowych działań prewencyjnych należy zaliczyć: higienę rąk, stosowanie środków ochrony indywidualnej (odzieży ochronnej, rękawic ochronnych), systematyczne czyszczenie oraz dezynfekcję systemów klimatyzacyjnych, urządzeń, narzędzi i powierzchni, jak również profilaktykę medyczną. Nie bez znaczenia jest także edukacja pracowników. Organizowanie regularnych szkoleń dotyczących zasad higieny pracy i procedur postępowania w przypadku kontaktu z czynnikami biologicznymi oraz udostępnianie niezbędnych materiałów edukacyjnych mają kluczowe znaczenie w zapobieganiu potencjalnym zakażeniom. Ponadto ważnym elementem prewencji jest regularne monitorowanie stanu zdrowia pracowników, w tym wykonywanie badań profilaktycznych i wczesne wykrywanie ewentualnych objawów chorobowych związanych z narażeniem na czynniki biologiczne.

Jednym z nowoczesnych kierunków działań prewencyjnych w zakresie ograniczenia występowania szkodliwych czynników biologicznych m.in. w środowisku pracy jest wykorzystanie bakteriofagów – wirusów specyficznie infekujących bakterie – jako naturalnych czynników biokontroli populacji drobnoustrojów patogennych i niepożądanych. Zastosowanie fagów ma uzasadnienie zwłaszcza w środowiskach, gdzie konwencjonalne środki dezynfekcyjne i antybiotyki tracą skuteczność wskutek narastającej oporności szczepów lub tworzenia biofilmów. Badania wykazały, że preparaty fagowe mogą skutecznie degradować biofilmy tworzone przez bakterie *Pseudomonas aeruginosa* [31]. Włączenie preparatów fagowych do systemów higienizacji powierzchni i instalacji technicznych może stanowić perspektywiczne uzupełnienie istniejących strategii prewencyjnych, pozwalając na ograniczenie narażenia zawodowego na bakterie.

Podsumowanie

Praca w narażeniu na szkodliwe czynniki biologiczne często wiąże się z ryzykiem bezpośredniego kontaktu z bakteriami z rodzaju *Pseudomonas* obecnymi w bioaerozolach i na zanieczyszczonych powierzchniach. Z tego względu bardzo istotne jest stosowanie odpowiednich środków profilaktycznych, uwzględniających zarówno przestrzeganie podstawowych procedur higienicznych oraz prowadzenie okresowej dezynfekcji powierzchni, jak i zapewnienie pracownikom środków ochrony indywidualnej

(półmasek filtrujących, rękawic ochronnych, odzieży ochronnej). Równie ważna jest profilaktyka medyczna, obejmująca nadzór lekarza medycyny pracy nad pracownikami. Należy także pamiętać o regularnym przeprowadzaniu oceny ryzyka związanego z narażeniem na działanie szkodliwych czynników biologicznych, co pozwoli zapewnić bezpieczne warunki pracy.

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr I.PN.01 pt. „Opracowanie metodyki biokontroli populacji bakterii w obróbkowych cieczach chłodzących stosowanych w przemyśle metalurgicznym za pomocą aktywnych bakteriofagów”. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

BIBLIOGRAFIA

[1] Jun S. i in., *Diversity of Pseudomonas Genomes, Including Populus-Associated Isolates, as Revealed by Comparative Genome Analysis*, „Applied and Environmental Microbiology”, 2016, 82: 375–383.

[2] Gautam L. i in., *Pseudomonas oleovorans Sepsis in a Child: The First Reported Case in India*, „Japanese Journal of Infectious Disease”, 2015, 7: 254–255; doi: 10.7883/jyoken.JJID.2014.174.

[3] Arikan K. i in., *Pseudomonas oleovorans Endocarditis in a Child: The First Reported Case*, „Journal of Pediatric Infection”, 2018, 12, 3: e115–e117; doi: 10.5578/jced.67267.

[4] Liu J. i in., *The First case of Pseudomonas oleovorans Sepsis in China: a case report*, preprint (version 1), 2023; doi: 10.21203/rs.3.rs-2373264/v1.

[5] Ishii H. i in., *Pseudomonas fluorescens pneumonia*, „International Journal of Infectious Diseases”, 2024, 140: 92–94; doi: 10.1016/j.ijid.2024.01.007.

[6] Liu X. i in., *Pneumonia caused by Pseudomonas fluorescens: a case report*, „BMC Pulmonary Medicine”, 2021, 21: 212; doi: org/10.1186/s12890-021-01573-9.

[7] Singh P., Montano A., Bostick A., *Rapid severe sepsis from Pseudomonas fluorescens/putida bacteremia due to skin and soft tissue infection – A case report*, „Annals of Medicine and Surgery”, 2021, 70: 102845; doi: org/10.1016/j.amsu.2021.102845.

[8] Ahmad S., Alzahrani A.J., Alsaed M., *Uncommon association: Pseudomonas luteola bacteremia in an immunocompetent individual with acute tonsillitis – A case report*, „IDCases”, 2023, 34: e01891; doi: 10.1016/j.idcr.2023.e01891.

[9] Hmida S.B. i in., *Pseudomonas luteola Infection: First Case Report of Urinary Tract Infection and Review of Literature*, „Electronic Journal of General Medicine”, 2021, 18(5): em313.

[10] Flores-Carrero A., Paniz-Mondolfi A., Araque M., *Nosocomial Bloodstream Infection Caused by Pseudomonas alcaligenes in a Preterm Neonate from Mérida, Venezuela*, „Journal of Clinical Neonatology”, 2016, 5(2): 131–133; doi: 10.4103/2249-4847.179932.

[11] Nei T. i in., *Two cases with bacteremia suspected to be due to relatively rare Pseudomonas (Flavimonas) oryzzihabitans*, „Journal of Infection and Chemotherapy”, 2015, 21, 10: 751–755; doi: 10.1016/j.jiac.2015.06.005.

[12] Mokhtar M.N. i in., *A rare case of Pseudomonas putida ventriculitis in intensive care unit: A case report*, „Frontiers in Medicine”, 2022, 9: 1058121; doi: 10.3389/fmed.2022.1058121.

[13] Horcajada J.P. i in., *Pseudomonas stutzeri bloodstream infection is a prevailing community-onset disease with important mortality rates: results from a retrospective observational study in Australia*, „Infectious Diseases”, 2024, 56(8): 606–615; doi: 10.1080/23744235.2024.2333979.

[14] Wiśniewska A., *Pseudomonas aeruginosa – trudny przeciwnik lekarzy weterynarii*, „Życie Weterynaryjne”, 2023, 98(5): 299–304.

[15] Araos R., d’Agata E., *Pseudomonas aeruginosa and other Pseudomonas species*, „Principles and Practice of Infectious Diseases”, 2019, 2686–2699.

[16] Nolan C., Behrends V., *Sub-Inhibitory Antibiotic Exposure and Virulence in Pseudomonas aeruginosa*, „Antibiotic (Basel)”, 2021, 10: 1393.

[17] Czyżewska-Dors E., Dors A., Pomorska-Mól M., *Właściwości biofilmu bakteryjnego warunkujące oporność na antybiotyki oraz metody jego zwalczania*, „Życie Weterynaryjne”, 2018, 93: 765–771.

[18] Zhang Y., Hu Z., *Combined treatment of Pseudomonas aeruginosa biofilms with bacteriophages and chlorine*, „Biotechnology and Bioengineering”, 2013, 110: 286–295.

[19] Thi M.T.T., Wibowo D., Rehm B.H.A., *Pseudomonas aeruginosa Biofilms*, „International Journal of Molecular Sciences”, 2020, 21: 8671.

[20] *About Pseudomonas aeruginosa*, 12.06.2025 r., U.S. Centers for Disease Control and Prevention; <https://www.cdc.gov/pseudomonas-aeruginosa/about/index.html>.

[21] Lister P.D., Wolter D.J., Hanson N.D., *Antibacterial-Resistant Pseudomonas aeruginosa: Clinical Impact and Complex Regulation of Chromosomally Encoded Resistance Mechanisms*, „Clinical Microbiology Reviews”, 2009, 22: 582–610.

[22] Thomassen G.M.B. i in., *High Disinfectant Tolerance in Pseudomonas spp. Biofilm Aids the Survival of Listeria monocytogenes*, „Microorganisms”, 2023, 27, 11(6): 1414; doi: 10.3390/microorganisms11061414.

[23] Mitiku M., Ali S., Kibru G., *Antimicrobial drug resistance and disinfectant susceptibility of Pseudomonas aeruginosa isolates from clinical and environmental samples in Jimma University Specialized Hospital, Southwest Ethiopia*, „American Journal of Biomedical and Life Sciences”, 2014, 2: 40–45.

[24] Tong C. i in., *Chlorine disinfectants promote microbial resistance in Pseudomonas sp.*, „Environmental Research”, 2021, 199: 111296; doi: 10.1016/j.envres.2021.111296.

[25] Sanchez C.A. i in., *Highly Effective Biocides against Pseudomonas aeruginosa Reveal New Mechanistic Insights Across Gram-Negative Bacteria*, „ACS Infectious Diseases”, 2024, 8, 10(11): 3868–3879; doi: 10.1021/acinfed.4c00433.

[26] *Pathogen Safety Data Sheets: Infectious Substances – Pseudomonas spp.*, 5.05.2021 r., Government of Canada; <https://www.canada.ca/en/public-health/services/laboratory-biosafety-biosecurity/pathogen-safety-data-sheets-risk-assessment/pseudomonas.html>.

[27] Xiong Z. i in., *The multidrug-resistant Pseudomonas fluorescens strain: a hidden threat in boar semen preservation*, „Frontiers in Microbiology”, 2023, 14: 1279630; doi: 10.3389/fmicb.2023.1279630.

[28] Wang H. i in., *Isolation of Pseudomonas oleovorans Carrying Multidrug Resistance Proteins MdtA and MdtB from Wastewater*, „Molecules”, 2023, 28, 14: 5403; doi: 10.3390/molecules28145403.

[29] Dutkiewicz J. i in., *Biologiczne czynniki zagrożenia zawodowego – klasyfikacja, narażenie grupy zawodowej, pomiary, profilaktyka, ad punctum*, Lublin 2007.

[30] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (Dz.U. nr 81, poz. 716 z późn. zm.).

[31] Namonyo S. i in., *The effectiveness and role of phages in the disruption and inactivation of clinical P. aeruginosa biofilms*, „Environmental Research”, 2023, 234: 116586; doi: 10.1016/j.envres.2023.116586.