

# Metody dezynfekcji stosowane do usuwania zanieczyszczenia pałeczkami *Legionella* z instalacji wodociągowych w zakładach opieki zdrowotnej

## Disinfection methods used to remove contamination with bacteria of *Legionella* genus from water supply systems in health care facilities

RENATA MATUSZEWSKA, AGNIESZKA STANKIEWICZ

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny w Warszawie

Występowanie bakterii z rodzaju *Legionella* w wodzie zasilającej instalacje wodociągowe zakładów opieki zdrowotnej może być bezpośrednią przyczyną zakażeń szpitalnych. Stąd też do oceny i zarządzania ryzykiem związanym z występowaniem tych bakterii w instalacjach wodociągowych oraz urządzeniach wodnych w placówkach ochrony zdrowia powinien być opracowywany plan bezpieczeństwa wody. Plan ten powinien stanowić integralną część programu kontroli zakażeń szpitalnych. Oprócz systematycznie prowadzonych działań technicznych mających na celu kontrolę czynników sprzyjających występowaniu i namnażaniu się pałeczek *Legionella* istotną rolę, zarówno zapobiegawczą, jak i interwencyjną, mają procesy dezynfekcji.

W pracy przedstawiono metody dezynfekcji systemowej (hiperchlorowanie, dwutlenek chloru, elektrolityczna metoda z jonami srebra i miedzi) oraz metody dezynfekcji punktowej (promieniowanie UV, mikrofiltracja) stosowane do usuwania zanieczyszczenia bakteriami z rodzaju *Legionella* z instalacji wodociągowych w szpitalach.

**Słowa kluczowe:** woda, *Legionella*, szpital, zakłady opieki zdrowotnej, dezynfekcja

The presence of *Legionella* in water supply systems of the health care facilities may be a direct cause of nosocomial infections. Therefore, to assess and manage the risks associated with the presence of these bacteria in water systems and water utilities in health care facilities, a Water Safety Plan should be developed. This plan should be an integral part of the hospital infection control. In addition to the regularly conducted technical measures aimed at controlling the factors contributing to the occurrence and reproduction of *Legionella*, the disinfection processes play an important role in both prevention and intervention.

This paper presents systemic methods of disinfection (hyperchlorination, chlorine dioxide, copper-silver ionization) and the point disinfection methods (UV, microfiltration) used to remove contamination with bacteria of *Legionella* genus from water supply systems in hospitals.

**Key words:** water, *Legionella*, hospital, health care facilities, disinfection

© Hygeia Public Health 2017, 52(3): 226-233

www.h-ph.pl

Nadesłano: 27.05.2017

Zakwalifikowano do druku: 10.07.2017

**Adres do korespondencji / Address for correspondence**

dr Renata Matuszewska

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny

ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa

tel. 22 542 13 74, e-mail: rmatuszewska@pzh.gov.pl

## Wprowadzenie

Problematyka narażenia pacjentów szpitalnych na zakażenia mikroorganizmami chorobotwórczymi poprzez systemy zaopatrzenia w wodę lub urządzenia wodne, skłania do podejmowania odpowiednich działań zaradczych, a w przypadku stwierdzenia zagrożenia przeprowadzania dezynfekcji wody i instalacji wodnych. Wśród mikroorganizmów występujących w wodzie, związanych z zakażeniami szpitalnymi, istotne znaczenie zdrowotne mają bakterie z rodzaju *Legionella*. W zakładach opieki zdrowotnej (ZOZ), głównym rezerwuarem, w którym pałeczki te mogą występować i namnażać się, są instalacje wodociągowe

wody ciepłej i zimnej, w tym takie elementy, jak zbiorniki do magazynowania, kurki czerpalne, sitka prysznicowe [1, 2]. Ponadto bakterie *Legionella* mogą kolonizować również inne instalacje i urządzenia wodne występujące w szpitalach, w tym systemy klimatyzacyjne, nawilżacze, urządzenia stosowane w balneoterapii oraz aparaturę medyczną (np. nebulizatory, respiratory, dializatory) itp. [1, 3, 4]. Dlatego też zapewnienie bezpiecznych, tj. wolnych od zanieczyszczenia bakteriami *Legionella* (jak również innymi mikroorganizmami) instalacji i urządzeń wodnych powinno być jednym z priorytetowych działań przede wszystkim ze względu na wysokie ryzyko

wystąpienia zakażenia u pacjentów. Właściwa ocena działania systemu wodnego, wskazanie jego punktów krytycznych, systematyczny monitoring parametrów mikrobiologicznych oraz fizykochemicznych wody, jak również regularna dezynfekcja powinny w znacznym stopniu zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia zachorowania na legionellozę.

Kolonizacji instalacji wodociągowych przez bakterie *Legionella*, sprzyjają czynniki fizyko-chemiczne, takie jak podwyższona temperatura wody (25-45°C), korozja materiałów konstrukcyjnych instalacji, zaburzenia ciśnienia wody, niskie stężenie środka dezynfekcyjnego, zastoiny wody oraz czynniki biotyczne (obecność innych mikroorganizmów, biofilm) [1, 4-7]. Pałeczki *Legionella* występują zarówno w formie wolnej – planktonicznej (komórki zawieszane w wodzie), jak również w formie związanej z biofilmem tworzącym się na powierzchniach wewnętrznych, kontaktujących się z wodą we wszystkich elementach instalacji wodnej, takich jak: przewody, armatura, urządzenia [4-7]. Występowanie *Legionella* w biofilmie sprawia, że usuwanie tych bakterii z instalacji wodnych jest niezmiernie trudne i nie zawsze skuteczne przy użyciu tradycyjnie stosowanych metod dezynfekcji. Biofilm stanowi barierę, która utrudnia kontakt czynnika dezynfekującego, a tym samym wpływa na obniżenie skuteczności procesu dezynfekcji.

Zanieczyszczenie pałeczkami *Legionella* instalacji wodociągowych, jak i urządzeń zasilanych wodą oraz aparatury medycznej w szpitalu może być przyczyną zakażeń [1, 3]. Obecność tych bakterii w wodzie jest szczególnie niebezpieczna dla pacjentów wysokiego ryzyka, zwłaszcza dla osób z niedoborami odporności, leczonych z powodu nowotworów złośliwych, leczonych systemowo wysokimi dawkami glikokortykosteroidów, z przewlekłymi chorobami dróg oddechowych, jak również dla chorych na cukrzycę, ze schyłkową niewydolnością nerek, poddawanych zabiegom chirurgicznym [5, 8]. Obszary szpitala, które szczególnie powinny podlegać monitoringowi pod względem kontroli występowania bakterii *Legionella* w środowisku wodnym, to m.in. oddziały intensywnej opieki medycznej, transplantologii, onkologii [1, 5].

Dawka infekcyjna w przypadku zakażeń pałeczkami *Legionella* nie jest do tej pory ściśle określona. Dane szacunkowe wskazują, że w przypadku skażenia wody bakteriami *Legionella* w liczbie  $10^3$ - $10^5$  jtk/l mogą wystąpić zachorowania sporadyczne, natomiast przy liczbie przekraczającej  $10^5$  jtk/l można spodziewać się wybuchu epidemii legionellozy.

Zakażenie bakteriami *Legionella* następuje poprzez wdychanie skażonego aerozolu wodnego lub przez aspirację tych mikroorganizmów z błon śluzowych gardła. Choroba nie przenosi się natomiast z człowieka na człowieka [3, 8, 9].

Występowanie bakterii z rodzaju *Legionella* w instalacjach i urządzeniach wodnych ZOZ, w tym szpitali, ma istotne znaczenie dla zdrowia publicznego, co znajduje potwierdzenie w danych epidemiologicznych. W USA w latach 2011-2012 według danych CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*), spośród 21 epidemii związanych z występowaniem *Legionella* w instalacjach wodnych – 14 (67%) miało związek z ZOZ. Spośród zgłoszonych w tym okresie przypadków zachorowań, aż 60% stanowiły przypadki zakażeń szpitalnych [10]. Z kolei dane *European Legionnaires' Disease Surveillance Network* (ELDSNet) wskazują, że wśród 6941 przypadków zachorowań na legionellozę zgłoszonych w 2014 r. przez 29 krajów europejskich, 7% stanowiły przypadki zachorowań związane z pobytem w ZOZ [11].

Ze względu na powszechne zasiedlanie pałeczkami *Legionella* sztucznych rezerwarów wodnych, takich jak instalacje wodociągowe, urządzenia, aparatura medyczna, w szczególności wytwarzająca aerozol wodny, istnieje realne zagrożenie zakażenia ludzi przebywających w szpitalu. Tym samym niezmiernie ważne jest prowadzenie odpowiednich działań mających na celu ograniczenie występowania i namnażania się tych bakterii w środowisku szpitalnym. Niezależnie od rodzaju systemu dystrybucji wody, obszar działań powinien obejmować nie tylko rozwiązania techniczne, kontrolę czynników sprzyjających rozwojowi bakterii z rodzaju *Legionella*, ale przede wszystkim procesy czyszczenia i dezynfekcji będące podstawą do kontroli zakażeń tymi bakteriami.

### Kontrola czynników sprzyjających rozwojowi bakterii z rodzaju *Legionella* i rozwiązania techniczne

Podstawowym narzędziem w ocenie i zarządzaniu ryzykiem związanym z występowaniem zanieczyszczeń mikrobiologicznych, w tym bakterii z rodzaju *Legionella* w wodzie i instalacjach oraz urządzeniach wodnych w placówkach ochrony zdrowia powinien być plan bezpieczeństwa wody (*Water Safety Plan* – WSP) [12, 13]. Plan ten powinien stanowić integralną część programu kontroli zakażeń szpitalnych i obejmować następujące elementy:

- ocenę systemu dystrybucji wody i podjęte na tej podstawie środki kontrolne, mające przeciwdziałać kolonizacji przez bakterie *Legionella*, jak dezynfekcja wody, utrzymanie reżimu temperaturowego i płukanie instalacji);
- monitorowanie stanu systemu wodnego i prawidłowości stosowania środków kontrolnych;
- zarządzanie i komunikację (decyzje dotyczące postępowania i procedur naprawczych).

Ocena instalacji wodnej w obiekcie powinna być przeprowadzana przez zespół osób mających kwalifikacje i doświadczenie techniczne w dziedzinie zaopa-

trzenia w wodę, jak również specjalistów z dziedziny mikrobiologii i osoby przeszkolone w zakresie przeciwdziałania zakażeniom wewnątrzszpitalnym, zdolnych wskazać obszary zwiększonego zagrożenia. Opisuując elementy systemu wodnego i ich stan, należy zwrócić szczególną uwagę na te z nich, które były wskazywane, jako źródła zakażeń bakteriami *Legionella* – instalacje wodociągowe wody zimnej i ciepłej, wieże chłodnicze i skraplacze wyparne, urządzenia do terapii układu oddechowego, nawilżacze powietrza, baseny porodowe i *whirlpoole* stosowane w hydroterapii. Powyższe dane należy rozpatrywać w powiązaniu z rodzajem świadczonych usług zdrowotnych i stanem zdrowia korzystających z nich osób, dokonując na tej podstawie oceny i wskazania największych zagrożeń. Za właściwą eksploatację i konserwację sieci wodociągowej odpowiedzialny jest właściciel budynku. Wszystkie prowadzone prace obsługowe i konserwacyjne, powinny być zapisywane (np. w protokołach kontroli) [14].

Podstawowym działaniem kontroli i zapobiegania namnażaniu się bakterii *Legionella* w wewnętrznych instalacjach wodociągowych jest utrzymywanie reżimu temperaturowego, tzn. temperatura wody ciepłej w podgrzewaczu powinna być wyższa niż 60°C, a w kurkach czerpalnych, co najmniej 50°C (rekomendowane 55°C). Temperatura wody ciepłej cyrkulacyjnej powinna wynosić co najmniej 50°C. Z kolei w przypadku wody zimnej, temperatura w warunkach dystrybucji i przechowywania powinna być niższa niż 20°C [1, 14, 15]. Drugim działaniem jest utrzymanie tzw. reżimu płukania systemu wodnego, polegającego na spuszczeniu wody z kurków czerpalnych. Zabieg ten ogranicza powstawanie zastoin wody w instalacji oraz zapewnia dostęp środka dezynfekcyjnego do wszystkich punktów instalacji. W prawidłowych warunkach, spuszczana woda ciepła powinna osiągać temperaturę, co najmniej 50°C w ciągu 1 min., a temperatura wody zimnej w ciągu 2 min. spuszczenia nie powinna być wyższa niż 20°C [15].

Podczas przeglądu eksploatowanych wewnętrznych instalacji wodociągowych szczególną uwagę należy zwracać m.in. na to, aby:

- instalacje wody zimnej i ciepłej były odpowiednio izolowane, w celu zapewnienia właściwych temperatur;
- likwidować wszystkie tzw. ślepe odcinki instalacji;
- zapobiegać procesom korozji i tworzenia złożeń, osadów oraz eliminować czynniki sprzyjające powstawaniu biofilmu;
- dążyć do stosowania samoopóźniających się przewodów prysznicowych;
- unikać stosowania baterii z mieszaczami, baterii bezdotykowych (tzw. baterie sensoryczne) – zwłaszcza w obszarach, gdzie przebywają pacjenci wysokiego ryzyka;

- systematycznie prowadzić zabiegi czyszczenia i dezynfekcji [12, 14].

### Czyszczenie i dezynfekcja instalacji wodociągowych

W przypadku podejrzenia wystąpienia zachorowań na legionellozę lub wykrycia obecności pałeczek *Legionella* w wodzie, w zależności od stopnia skażenia należy podjąć odpowiednie działania. O zabiegach czyszczenia, płukania i dezynfekcji należy pamiętać w przypadku wyłączenia systemów na dłużej niż 1 miesiąc oraz jeśli zostały wymienione instalacje bądź były prowadzone inne prace techniczne mogące doprowadzić do zanieczyszczenia sieci. Wskazane jest też, aby nie rzadziej niż co 3 miesiące natryski (przewody i główki prysznicowe) były również poddawane zabiegom sanityzacyjnym. Dobór właściwej metody czyszczenia i dezynfekcji instalacji wody ciepłej, jak i zimnej, jest problematyczny. Powinien on być poprzedzony rozpatrzeniem parametrów technicznych istniejącej instalacji, m.in. jej długości, rozgałęzień, zastosowanych materiałów konstrukcyjnych, grubości warstwy powstałego biofilmu, osadów i rdzy. Ważna jest też temperatura wody, jaką można osiągnąć i jej skład chemiczny. Nie można przy tym pominąć rachunku kosztów, zarówno doraźnych, jak i inwestycyjnych, związanych z zastosowaniem wybranej metody oraz skuteczności jej działania w horyzoncie czasowym krótko- i długookresowym [5, 12, 13].

### Hiperchlorowanie

Jedną z najczęściej stosowanych metod dezynfekcji wody i instalacji wodnych w ZOZ jest dezynfekcja chemiczna oparta na związkach chloru, głównie wodnego roztworu podchlorynu sodu lub podchlorynu wapnia. Podchloryn sodu można doprowadzać do instalacji pompami dawkującymi lub dozownikami kroplowymi albo wytwarzać na miejscu podczas elektrolizy solanki. Chlor jest dobrym środkiem dezynfekującym, ponieważ posiada wysoki potencjał utleniający, o ile stosuje się go w wodach o bardzo małej mętności. Skuteczność tej metody dezynfekcji jest zależna od wielu czynników, m.in. od pH (przy pH=8,0 działanie dezynfekujące wolnego chloru ulega znacznemu ograniczeniu, przy pH>8,5 praktycznie ustaje). Proces dezynfekcji uzależniony jest też od temperatury (w temp. 15-20°C udział aktywnego chloru spada w ciągu doby o ok. 1 g/l). Wpływ na dezynfekcję ma również ilość związków organicznych, związków nieorganicznych rozpuszczonych w wodzie (szczególnie jonów amonowych), jak również obecność osadów, złożeń biofilmu, które mogą znacznie obniżyć skuteczność dezynfekcji. Hiperchlorowanie może być zastosowane w sposób ciągły, przy czym stężenie wolnego chloru powinno wynosić 1-2 mg/l

lub metodą szokową poprzez aplikację takiej dawki, tak by stężenie wolnego chloru w punktach dystalnych instalacji wodnej wynosiło 20-50 mg/l (czas dezynfekcji 1-2 godz.) [13, 16-19]. Podczas dezynfekcji, pH wody powinno być niższe niż 7,6. Po zakończeniu dezynfekcji całą instalację wodną należy przepłukać, aż do osiągnięcia stężenia wolnego chloru w wodzie na poziomie 0,1-0,3 mg/l, zgodnego z wymaganiami, jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do spożycia [20].

W przypadku usuwania zanieczyszczenia bakteriami *Legionella*, metoda hiperchlorowania nie zawsze jest w pełni skuteczna, gdyż bakterie te wykazują dużą tolerancję na wolny chlor. Ponadto w mniejszym stopniu wolny chlor oddziałuje na struktury biofilmu, w których może występować *Legionella* [18]. Dlatego też prawdopodobnie w niektórych przypadkach obserwuje się stosunkowo krótkotrwałą (1-2 miesiące) redukcję liczby bakterii *Legionella*, po czym następuje ich wzrost do liczby wyjściowej [18, 19]. Stosowanie chloru i jego związków w procesach dezynfekcji wody w wielu przypadkach jest niezastąpione, np. gdy nie jest możliwe przeprowadzenie dezynfekcji termicznej. Należy jednak pamiętać, że hiperchlorowanie ma też ujemne strony, ponieważ w trakcie tej dezynfekcji mogą powstawać produkty uboczne, np. związki halogenowe o właściwościach kancerogennych, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia użytkowników wody pochodzącej z instalacji wodociągowej. Ponadto, aby nie dopuścić do ponownego namnażania się bakterii, wymagane jest stosowanie dużych dawek chloru, które zwiększają korozyjność instalacji wodnej, co nie jest zjawiskiem korzystnym [21, 22].

### **Metoda z zastosowaniem dwutlenku chloru**

W przypadku eliminacji bakterii z rodzaju *Legionella* z instalacji wodociągowych, za jedną z skuteczniejszych metod uważana jest dezynfekcja dwutlenkiem chloru (ditlenkiem chloru) [23]. Dwutlenek chloru jest bardziej stabilny od wolnego chloru, szczególnie w wyższych temperaturach ( $>30^{\circ}\text{C}$ ) oraz lepiej penetruje głębsze warstwy biofilmu. Charakteryzuje się on mniejszą korozyjnością niż wolny chlor dla instalacji wykonanych ze stali ocynkowanej. Zaletą dezynfekcji dwutlenkiem chloru jest również to, że nie następuje pogorszenie walorów smakowych i zapachu wody [16, 21, 24]. Dwutlenek chloru jest bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie, działa w szerokim zakresie pH (4 do 10), dzięki czemu w porównaniu z chlorem, szczególnie przy wysokich wartościach pH jest dużo skuteczniejszym środkiem dezynfekującym. Skuteczność dezynfekcji dwutlenkiem chloru nie zmienia się przy pH powyżej 8, podczas gdy skuteczność dezynfekcji wolnym chlorem w takich warunkach gwałtownie maleje [25]. Dwutlenek chloru nie

reaguje z amoniakiem (nie tworzy chloramin) oraz rakotwórczych trihalometanów (THM) i chlorofenoli. Produktami ubocznymi reakcji są chloryny i chlorany. Można go stosować do dezynfekcji szokowej lub ciągłej w celu usuwania zanieczyszczenia bakteriami *Legionella* oraz zapobiegania procesom powstawania biofilmu na wewnętrznej powierzchni instalacji wodnej. Dwutlenek chloru wytwarzany jest bezpośrednio w miejscu jego zastosowania (generator  $\text{ClO}_2$ ) i powstaje m.in. w wyniku reakcji chlorynu sodu z kwasem chlorowodorowym. Proponowana dawka dwutlenku chloru dozowana do instalacji wody ciepłej wynosi od 3-5 mg/l, a do instalacji wody zimnej 0,5-0,8 mg/l [19, 21]. Badania laboratoryjne wykazały, że resztkowe stężenie  $\text{ClO}_2$  powyżej 0,1 mg/l jest skuteczne w zwalczaniu *Legionella* w postaci planktonicznej, natomiast w przypadku usuwania biofilmu resztkowe stężenie  $\text{ClO}_2$  powinno być wyższe niż 0,5 mg/l. Wyniki zastosowań w praktyce wskazują, że w celu utrzymania stabilności biologicznej stężenie dwutlenku chloru, w najdalej położonych punktach instalacji wody, nie powinno być niższe niż 0,3 mg/l [13, 21]. Przy czym skuteczność dezynfekcji można zwiększyć poprzez systematyczne płukanie sieci, zapewniając tym samym dostęp środka dezynfekcyjnego do wszystkich punktów instalacji wodnej [26]. Dawka dwutlenku chloru stosowana do dezynfekcji wody, powinna być tak dobrana, aby mogły być spełnione wymagania dla wody przeznaczonej do spożycia, dotyczące sumy stężeń chlorynów i chloranów, nie większej niż 0,7 mg/l [20]. Należy pamiętać, że dezynfekcja przy pomocy dwutlenku chloru bardzo dobrze sprawdza się w przypadku wód o podwyższonym pH i wód zawierających związki amonowe. Nie powinno się jej przeprowadzać natomiast w instalacjach i urządzeniach wykonanych z miedzi [25].

### **Metoda elektrolityczna (jonizacja)**

Występowanie pałeczek *Legionella* w biofilmie tworzącym się na wewnętrznych powierzchniach instalacji wodnych sprawia, że w wielu przypadkach powszechnie stosowane metody dezynfekcji chemicznej oparte na związkach chloru okazują się niewystarczająco skuteczne. W takich przypadkach, znajdują zastosowanie metody alternatywne, m.in. elektrolityczna dezynfekcja przy użyciu urządzeń uwalniających jony srebra i miedzi.

Bakteriostatyczne i bakteriobójcze oddziaływanie miedzi i srebra jest znane i wykorzystywane przez człowieka od stuleci [27, 28]. Zarówno miedź, jak i srebro, wobec różnych mikroorganizmów wykazują właściwości toksyczne [29]. Jony miedzi i srebra reagują z białkami enzymatycznymi, powodując ich uszkodzenie oraz inaktywację i tym samym zaburzając prawidłowe funkcjonowanie komórki bakteryjnej

[30]. Ponadto jony miedzi powodują destabilizację struktur zewnętrznych komórek bakterii i zwiększenie ich przepuszczalności dla różnych substancji, w tym również szkodliwych. Z kolei jony srebra wywołują efekt kurczenia się błony cytoplazmatycznej i odstawiania jej od ściany komórkowej oraz powodują kondensowanie DNA bakteryjnego, czego wynikiem jest utrata zdolności do replikacji i śmierci komórki [21, 31, 32]. Technologia elektrolitycznego wytwarzania jonów miedzi i srebra, oddziaływujących na mikroorganizmy występujące w wodzie i w biofilmie, wykorzystuje synergistyczne działanie jonów  $\text{Cu}^{2+}$  i  $\text{Ag}^+$  na komórkę bakteryjną. Dodatkowo naładowane jony miedzi wiążą się z ujemnie naładowanymi miejscami w ścianie komórkowej bakterii. Powoduje to jej destabilizację i zwiększenie przepuszczalności, która pozwala na wnikanie jonów srebra do wnętrza komórki, które z kolei zaburzają procesy wewnątrzkomórkowe, co prowadzi do śmierci komórki. Jony miedzi i srebra, podobnie jak dwutlenek chloru działają na biofilm, inaktywując mikroorganizmy z nim związane [33]. Uważa się, że akumulacja jonów wewnątrz biofilmu jest podstawą do długotrwałego efektu bakteriobójczego tej metody. Z obecnie dostępnych danych wynika, że jednym z ograniczeń skuteczności tej dezynfekcji jest wzrost wartości pH wody powyżej 8 [34, 35].

WHO oraz Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (*Environmental Protection Agency* – EPA lub USEPA) wskazują elektrolityczną metodę dezynfekcji do eliminacji i ograniczania występowania pałeczek *Legionella* w sieciach dystrybucji wody do picia w obiektach służby zdrowia oraz zamieszkania zbiorowego. W USA oraz krajach UE metoda ta znajduje zastosowanie do dezynfekcji ciepłej wody w szpitalach [36]. W przypadku usuwania zanieczyszczenia bakteriami *Legionella* rekomendowane stężenie jonów miedzi wynosi 0,20-0,80 mg/l, a jonów srebra 0,01-0,08 mg/l [21]. Przy czym zastosowanie nawet niższych stężeń do zwalczania *Legionella*, odpowiednio dla jonów miedzi 0,2-0,4 mg/l i jonów srebra 0,02-0,04 mg/l, okazywały się skuteczne [37, 38]. Stężenia obu jonów powinny podlegać regularnej kontroli: 1 raz w tygodniu jony miedzi, a co 2 miesiące jony srebra [21].

Według wytycznych WHO, dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia, określono maksymalną dopuszczalną wartość stężenia miedzi na poziomie 2,0 mg/l [12]. W większości krajów UE, w tym w Polsce, najwyższe dopuszczalne stężenie miedzi w wodzie jest określone na tym samym poziomie, jak w zaleceniach WHO [20, 39]. Z kolei w przypadku srebra, wytyczne WHO podają, że w wodzie do picia poddawanej dezynfekcji srebrem stężenie tego pierwiastka nie może przekraczać 50  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Przy czym bez ryzyka dla zdrowia, dopuszczalne stężenie wynosi 0,1 mg/l [12]. W przeciwieństwie do tych

uregulowań, Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, określa najwyższe dopuszczalne stężenie na poziomie 10-krotnie niższym, wynoszącym 0,01 mg/l [20, 39].

### **Metoda dezynfekcji termicznej z płukaniem**

Podniesienie temperatury wody ciepłej było jedną z pierwszych metod dezynfekcji stosowanych w celu usuwania i zapobiegania występowaniu bakterii z rodzaju *Legionella* w instalacjach wodnych szpitali [18, 40, 41]. W przypadku dezynfekcji termicznej należy podgrzać wodę w podgrzewaczach do temp. powyżej 70°C, w tym czasie wszystkie kurki czerpalne powinny być zamknięte, a pompa cyrkulacyjna powinna być cały czas włączona. Ten stan pracy instalacji powinien być utrzymywany, aż do uzyskania odpowiedniej temperatury w obiegu cyrkulacyjnym w punkcie zasilania podgrzewacza wodą. Następnie należy przeprowadzić dezynfekcję termiczną kurków czerpalnych (krany, prysznice) poprzez kolejne otwarcie i przepłukanie (przynajmniej przez 3-5 min.). Niezmiernie ważne jest, aby temperatura wody w kurkach położonych najdalej była jak najwyższa i aby czas płukania nie był zbyt krótki. Zaleca się, aby temperatura gorącej wody na końcach instalacji nie była niższa niż 60°C (60-65°C) [1, 14, 19]. Co do czasu płukania nie jest on jednoznacznie określony, wytyczne CDC, jak i zalecenia w niektórych krajach europejskich wskazują na czas dłuższy niż 5 min. [13, 19], z kolei wytyczne amerykańskie *Veterans Health Administration* (VHA) zalecają ok. 30 minut płukania [18, 42]. Podobnie, jak w przypadku innych metod dezynfekcji, należy proces ten okresowo powtarzać, aby zminimalizować rekolonizację sieci przez bakterie z rodzaju *Legionella*. Należy również pamiętać o zapewnieniu bezpieczeństwa osób korzystających z wody, aby nie doszło w tym czasie do poparzeń. W ocenie skuteczności tej metody wskazuje się na stosunkowo małą redukcję zanieczyszczenia, krótkotrwały efekt oraz małą przydatność zastosowania w obiektach o rozbudowanej sieci, gdzie trudno jest uzyskać temp. wody powyżej 60°C [19]. Mimo to, metoda dezynfekcji termicznej (przegrzanie wody połączone z płukaniem instalacji) uważana jest nadal przez niektórych ekspertów za metodę pierwszego wyboru, ponieważ przeprowadzenie jej nie wymaga żadnego specjalnego wyposażenia, dzięki czemu może być szybko stosowana szczególnie w przypadkach odkażania awaryjnego [43].

### **Promieniowanie UV**

W szpitalach do dezynfekcji wody w instalacjach wodociągowych może być stosowana również metoda dezynfekcji promieniowaniem ultrafioletowym (długości fal od 220 do 320 nm) [18, 21, 44].

Promieniowanie UV w porównaniu z metodami chemicznymi ma tę szczególną zaletę, że nie powstają uboczne produkty reakcji pogarszające walory smakowe wody. Istotnym aspektem zastosowania tej metody jest ograniczony zasięg przestrzenny, stąd metoda ta najczęściej stosowana jest punktowo lub jako uzupełnienie innych rozwiązań [21]. Ponadto na skuteczność dezynfekcji promieniami UV ma wpływ m.in. mętność, barwa i temperatura wody [18, 45]. Lepsze efekty uzyskuje się w wodzie cieplej o temp. 45-47°C niż w wodzie zimnej o temp. 13-16°C. Mętność dezynfekowanej wody nie może przekraczać 15 mg/dm<sup>3</sup>, a barwa 40 mg Pt/dm<sup>3</sup>. Instalacje do dezynfekcji UV składają się z komory promieniowania, przez którą przepływa dezynfekowana woda. Komory promieniowania wyposażone są w lampy (promienniki) UV umieszczone w rurach kwarcowych, w których promienie UV powstają w wyniku wyładowań elektrycznych. Przed tego typu urządzeniem zaleca się montować filtry zatrzymujące osady i żelazo. Zastosowanie lamp UV jest jednak dość ograniczone ze względu na konieczność zasilania elektrycznego oraz stosunkowo wysokie koszty i wymagania serwisowe. W obiektach służby zdrowia najczęstsze zastosowanie mają tzw. urządzenia przepływowe UV, które są montowane przed prysznicami, szczególnie na oddziałach, gdzie przebywają pacjenci wysokiego ryzyka [4, 5, 13].

### Mikrofiltracja i ultrafiltracja

Do zmniejszania i usuwania zanieczyszczenia bakteriami *Legionella* z instalacji wodociągowych w szpitalu można stosować różne metody dezynfekcji. Niekiedy, mimo podjętych wysiłków, woda może nadal zawierać niskie stężenie patogennych bakterii mogących powodować infekcje, szczególnie u pacjentów wysokiego ryzyka. W takich przypadkach można zastosować filtry, które montowane są punktowo na bateriach i prysznicach. Filtry te posiadają pory o odpowiedniej średnicy (0,2 μm), na których następuje mechaniczne zatrzymanie cząstek o wielkościach odpowiadających wymiarom komórek bakteryjnym, w tym bakteriom *Legionella*. Doświadczenia prowadzone w tym zakresie w wielu krajach potwierdzają wysoką skuteczność takiego rozwiązania [18, 19, 46]. Poddawana mikrofiltracji woda powinna być bezbarwna i klarowna. Przy ultra- i mikrofiltracji stosuje się generalnie membrany z włókien lumenizowanych lub membrany kapilarne, czasami membrany płaskie w modułach płytowych lub poduszkowych [25]. Nadają się one do płukania wstecznego, a co najważniejsze mają korzystną powierzchnię lub jej stosunek do objętości modułu. Filtry membranowe wymagają częstej wymiany, zgodnie z zaleceniami producenta. Zastosowanie punktowe filtrów membranowych jest

alternatywnym rozwiązaniem stosowanym do kontroli *Legionella* w ograniczonych obszarach szpitala (przede wszystkim oddziały intensywnej opieki medycznej, transplantologia) bez konieczności przeprowadzania dezynfekcji całego systemu wodnego, jak również stosowanym w przypadku występowania sytuacji alarmowych [13, 46].

### Podsumowanie

Zapewnienie dostępu do właściwej opieki medycznej, to jeden z czynników mających wpływ na zdrowie publiczne. Przy czym należy podkreślić, że równie istotne jest zapewnienie, aby środowisko, w którym przebywa pacjent oraz personel medyczny było bezpieczne. Dlatego też wszystkie działania mające na celu zapobieganie występowaniu zakażeń szpitalnych, w tym wywoływanych przez bakterie z rodzaju *Legionella*, mają charakter priorytetowy. Zgodnie z wytycznymi WHO oraz zaleceniami *European Working Group for Legionella Infection* (EWGLI) wszystkie sztuczne rezerwuary wodne, w których bakterie z rodzaju *Legionella* mogą występować i namnażać się, powinny być systematycznie nadzorowane. Zachowanie odpowiedniego reżimu sanitarnego oraz monitoring tzw. czynników ryzyka w tych systemach, powinno doprowadzić do znacznego zredukowania problemu zagrożeń zdrowotnych powodowanych przez pałeczki *Legionella* [1, 12, 14].

W Polsce od 1 stycznia 2008 r., zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2007 r., nr 61, poz. 417), w ZOZ zamkniętej należy wykonywać badania w kierunku wykrywania pałeczek *Legionella* w wodzie ciepłej. Również znowelizowane powyższe Rozporządzenie podtrzymuje ten obowiązek i wskazuje na konieczność prowadzenia systematycznego nadzoru występowania pałeczek *Legionella* w przedsiębiorstwach podmiotu wykonującego działalność leczniczą w rodzaju stacjonarne i całodobowe świadczenia zdrowotne [20]. W załączniku nr 8 do ww. Rozporządzenia podano zalecenia, jakie należy realizować w zależności od poziomu skażenia wody. Jednocześnie Rozporządzenie wskazuje, że w obszarach szpitala, gdzie ryzyko zachorowania na legionellozę jest bardzo wysokie (m.in. na oddziałach, w których przebywają pacjenci o obniżonej odporności, w tym objęci leczeniem immunosupresyjnym), pałeczki *Legionella* sp. powinny być nieobecne w próbce wody o objętości 1000 ml. Przepis ten określa również, kiedy należy przeprowadzać dezynfekcję. Postępowanie dezynfekcyjne (dezynfekcja termiczna lub chemiczna) powinno zostać ponadto podjęte zawsze:

1. w przypadku wyłączenia instalacji wodociągowej na dłużej niż 1 miesiąc;

2. jeśli instalacja lub jej część została wymieniona lub zabiegi konserwacyjne mogły prowadzić do jej zanieczyszczenia;
3. w instalacji wodociągowej w miejscu przebywania osób, u których wystąpiło podejrzenie lub stwierdzono zachorowanie na legionellozę [20].

Usuwanie zanieczyszczenia bakteriami z rodzaju *Legionella* z instalacji wodociągowych obiektów służby zdrowia nadal stanowi problem, stąd też wybór metody, która przyniosłaby najlepsze wyniki zawsze należy dostosować do rodzaju i stanu technicznego instalacji wewnętrznej. Ponadto należy podkreślić, że wdrożenie planów bezpieczeństwa wody uwzględ-

nijące systematyczny monitoring stopnia kolonizacji przez *Legionella* instalacji wodociągowej szpitali oraz obowiązek regularnego stosowania środków zapobiegawczych, w tym również dezynfekcji może stanowić podstawę do skutecznego zapobiegania występowania i namnażania się pałeczek *Legionella*.

*Źródło finansowania:* Praca nie jest finansowana z żadnego źródła.

*Konflikt interesów:* Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

## Piśmiennictwo / References

1. Bartram J, Chartier Y, Lee JV, et al. Legionella and the prevention of legionellosis. WHO, Geneva 2007.
2. Matuszewska R, Krogulska B. Problem występowania pałeczek *Legionella* w instalacjach i urządzeniach wytwarzających aerozol wodno-powietrzny w obiektach służby zdrowia w Polsce. Nowa Med 2009, 1: 56-60.
3. Boccia S, Laurenti P, Borrella P, et al. Prospective 3-years surveillance for nosocomial and environmental *Legionella pneumophila*: Implications for infection control. Infect Control Hosp Epidemiol 2006, 27(5): 459-465.
4. Lin YE, Stout JE, Yu VL. Prevention of hospital-acquired legionellosis. Curr Opin Infect Dis 2011, 24(4): 350-356.
5. Exner M, Kramer A, Lajoie L, et al. Prevention and control of health care – associated waterborne infections in health care facilities. Am J Infect Control 2005, 33(5 suppl 1): S26-S40.
6. Liu Z, Lin YE, Stout JE, et al. Effect of flow regimes on the presence of *Legionella* within the biofilm of a model plumbing system. J Appl Microbiol 2006, 101(2): 437-442.
7. Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, et al. Influence of plumbing materials on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in potable water systems. Appl Environ Microbiol 1994, 60(6): 1842-1851.
8. Fields BS, Benson RF, Besser RE. Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. Clin Microbiol Rev 2002, 15(3): 506-526.
9. Leoni E, Sacchetti R, Zanetti F, Legnani PP. Control of *Legionella pneumophila* contamination in respiratory hydrotherapy system with sulfurous spa water. Infect Control Hosp Epidemiol 2006, 27(7): 716-721.
10. Beer KD, Gargano JW, Roberts VA, et al. Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water – United States, 2011-2012. MMWR 2015, 64(31): 842-848.
11. European Centre for Disease Prevention and Control. Legionnaires' disease in Europe, 2014. ECDC, Stockholm 2016.
12. Guidelines for Drinking Water Quality 4th edition. WHO, Geneva 2011.
13. Borella P, Bargellini A, Marchegiano P, et al. Hospital – acquired *Legionella* infection: an update on the procedures for controlling environmental contamination. Ann Ig 2016, 28(2): 98-108.
14. The European Working Group for Legionella Infections. EWGLI Technical guidelines for investigation, control and prevention of travel associated Legionnaires' disease, September 2011, ver. 1.1. [https://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/healthtopics/legionnaires\\_disease/ELDSNet/Documents/EWGLI-Technical-Guidelines.pdf](https://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/healthtopics/legionnaires_disease/ELDSNet/Documents/EWGLI-Technical-Guidelines.pdf) (10.04.2017).
15. Responding to the detection of *Legionella* in healthcare premises. Guidance for PHE Health Protection Teams. Public Health England, London 2015.
16. Kim BR, Anderson JE, Mueller SA, et al. Literature review – efficacy of various disinfectants against *Legionella* in water systems. Water Res 2002, 36(18): 4433-4444.
17. Lin YE, Vidic RD, Stout JE, Yu VL. Legionella in water distribution systems. J Am Water Works Ass 1998, 90(9): 112-121.
18. Lin YE, Stout JE, Yu VL, Vidic RD. Disinfection of water distribution systems for *Legionella*. Semin Respir Infect 1998, 13(2): 147-159.
19. Marchesi I, Marchegiano P, Bargellini A, et al. Effectiveness of different methods to control *Legionella* in the water supply: ten-year experience in an Italian university hospital. J Hosp Infect 2011, 77(1): 47-51
20. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2015 r., poz. 1989).
21. Lin YE, Stout JE, Yu VL. Controlling *Legionella* in hospital drinking water: an evidence-based review of disinfection methods. Infect Control Hosp Epidemiol 2011, 32(2): 166-173.
22. Stout JE, Yu VL. Experiences of the first 16 hospitals using copper-silver ionization for *Legionella* control: implications for the evaluation of other disinfection modalities. Infect Control Hosp Epidemiol 2003, 24(8): 563-568.
23. Matuszewska R, Święcicka D, Bartosik M, Krogulska B. Ocena skuteczności zastosowania ditlenku chloru do eliminacji bakterii z rodzaju *Legionella* z instalacji wody ciepłej. GWiTS 2012, 11: 503-508.
24. Domańska M, Łomotowski J. Badania nad szybkością zaniku chloru i dwutlenku chloru w wodzie w sieci wodociągowej. Ochr Sr 2009, 31(4): 47-49.
25. Gimbel R, Jekel M, Ließfeld R. Podstawy i technologie uzdatniania wody. Tom 2. Projprzemeko, Bydgoszcz 2008.

26. Zhang Z, McCann C, Stout JE, et al. Safety and Efficacy of Chlorine Dioxide for Legionella Control in a Hospital Water System. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2007, 28(8): 1009-1012.
27. Borkow G, Gabbay J. Copper as a biocidal tool. *Curr Med Chem* 2005, 12(18): 2163-2175.
28. Unger C, Lück C. Inhibitory effects of silver ions on Legionella pneumophila grown on agar, intracellular in Acanthamoeba castellanii and in artificial biofilms. *J Appl Microb* 2012, 112(6): 1212-1219.
29. Zhao G, Stevens SE Jr. Multiple parameters for the comprehensive evaluation of the susceptibility of Escherichia coli to the silver ion. *Biomaterials* 1998, 19(1): 27-32.
30. Solioz M, Abicht HK, Mermod M, Mancini S. Response of Gram-positive bacteria to copper stress. *J Biol Inorg Chem* 2010, 15(1): 3-14.
31. Macomber L, Imlay JA. The iron-sulfur clusters of dehydratases are primary intracellular targets of copper toxicity. *Proc Natl Acad Sci USA* 2009, 106(20): 8344-8349.
32. Warnes SL, Keevil CW. Mechanism of copper surface toxicity in vancomycin-resistant enterococci following wet or dry surface contact. *Appl Environ Microbiol* 2011, 77(17): 6049-6059.
33. Shih HY, Lin YE. Efficacy of Copper-Silver Ionization in Controlling Biofilm and Plankton Associated Waterborne Pathogens. *Appl Environ Microbiol* 2010, 76(6): 2032-2035.
34. Lin YE, Vidic RD, Stout JE, Yu VL. Individual and combined effects of copper and silver ions on inactivation of Legionella pneumophila. *Water Res* 1996, 30(8): 1905-1913.
35. Lin YE, Vidic RD, Stout JE, Yu VL. Negative effect of high pH on biocidal efficacy of copper and silver ions in controlling Legionella pneumophila. *Appl Environ Microbiol* 2002, 68(6): 2711-2715.
36. Huang HI, Shih HY, Lee CM, et al. In vitro efficacy of copper and silver ions in eradicating Pseudomonas aeruginosa, Stenotrophomonas maltophilia and Acinetobacter baumannii: implications for on-site disinfection for hospital infection control. *Water Res* 2008, 42(1-2): 73-80.
37. Chen YS, Lin YE, Liu YC, et al. Efficacy of point-of-entry copper-silver ionisation system in eradicating Legionella pneumophila in a tropical tertiary care hospital: implications for hospitals contaminated with Legionella in both hot and cold water. *J Hosp Infect* 2008, 68(2): 152-158.
38. Kusnetsov J, Iivanainen E, Elomaa N, et al. Copper and silver ions more effective against legionellae than against mycobacteria in a hospital warm water system. *Water Res* 2001, 35(17): 4217-4225.
39. Dyrektywa Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. L z 1998, nr 330, poz. 32 z późn. zm.).
40. Best M, Yu VL, Stout JE, et al. Legionellaceae in the hospital water supply – Epidemiological link with disease and evaluation of the method of control of nosocomial Legionnaires' Disease and Pittsburgh pneumonia. *Lancet* 1983, 2(8345): 307-310.
41. Fisher-Hoch SP, Bartlett CL, Tobin JQ, et al. Investigation and control of an outbreak of legionnaires' disease in a district general hospital. *Lancet* 1981, 1(8226): 932-936.
42. Veterans Health Administration. Prevention of healthcare-associated Legionella disease and scald injury from potable water distribution systems. VHA Directive 1061, Transmittal Sheet. VHA, Washington 2014.
43. Chen YS, Liu YC, Lee SS, et al. Abbreviated duration of superheat and-flush and disinfection of taps for Legionella disinfection: Lessons learned from failure. *Am J Infect Control* 2005, 33(10): 606-610.
44. Hall KK, Giannetta ET, Getchell-White SI, et al. Ultraviolet light disinfection of hospital water for preventing nosocomial Legionella infection: a 13-year follow-up. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2003, 24(8): 580-583.
45. Liu Z, Stout JE, Tedesco L, et al. Efficacy of ultraviolet light in preventing Legionella colonization of a hospital water distribution system. *Water Res* 1995, 29(10): 2275-2280.
46. Sheffer PJ, Stout JE, Wagener MM, Muder RR. Efficacy of new point-of-use water filter for preventing exposure to Legionella and waterborne bacteria. *Am J Infect Control* 2005, 33(5 suppl 1): S20-S25.