

**PRZECIWBAKTERYJNE WŁAŚCIWOŚCI MIEDZI  
I JEJ STOPÓW  
W SYSTEMACH HVAC&R**



**Biała Księga**  
*Copper Development Association Inc.*  
i  
*International Copper Association, Ltd.*

**Al Lewis  
C.W. Keevil**

**Copyright © 2004, International Copper Association, Ltd.**

**A1327-XX/04  
Copper Development Association Inc.**

**Druk w U.S.A.**

# **Przeciwbakteryjne właściwości miedzi i jej stopów w systemach HVAC&R**

**Biała Księga**  
*Copper Development Association Inc.*  
i  
*International Copper Association, Ltd.*

*Autorzy:*

**Al Lewis**  
*Environmental Marketing & Communications Inc.*

**C.W. Keevil**  
*University of Southampton*  
*School of Biological Sciences*

*Oraz:*

**F. Kane, H. Stillman, H. Michels, S. Baker, W.R. Arnold i R. Dwyer**  
*Copper Development Association Inc. / International Copper Association, Ltd.*  
260 Madison Avenue  
Nowy Jork, NY 10016  
212-251-7200  
[www.copper.org](http://www.copper.org) / [www.copperinfo.com](http://www.copperinfo.com)

**Dodatkowe informacje - Harold T. Michels:**  
[hmichels@cda.copper.org](mailto:hmichels@cda.copper.org)

## Spis treści

- I. **WSTĘP**
- II. **PROBLEMY ZDROWIA PUBLICZNEGO ZWIĄZANE Z SYSTEMAMI NAWILŻANIA POWIETRZA, URZĄDZENIAMI CHŁODZĄCYMI I SYSTEMAMI HVAC**
  - i. Bakterie przenoszone drogą wodną oraz przez systemy nawilżania powietrza
  - ii. Biofilmy
  - iii. *Legionella*
  - iv. Prątki
- III. **PRZECIWBAKTERYJNE WŁAŚCIWOŚCI MIEDZI**
  - i. Definicja przeciwbakteryjnego działania miedzi
  - ii. Molekularne mechanizmy przeciwbakteryjnego działania miedzi
- IV. **WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWBAKTERYJNE MIEDZI METALICZNEJ ORAZ POWIERZCHNI POKRYWANYCH STOPAMI MIEDZI**
  - i. Przeciwbakteryjne działanie mosiądzu obserwowane w środowisku szpitalnym
  - ii. Mikrobiologiczne badania na miedzi, stopach miedzi i stali nierdzewnej
  - iii. Aerozole bakterii na miedzi i stali nierdzewnej
- V. **OBECNE ZASTOSOWANIA MIEDZI HIGIENICZNEJ**
  - i. Zastosowania w rolnictwie
  - ii. Powierzchnie i farby przeciwbakteryjne
  - iii. Zastosowania związków miedzi higienicznej w medycynie
  - iv. Wyroby użytkowe wykonane z miedzi
- VI. **MIKROORGANIZMY W SYSTEMACH HVAC**
- VII. **UZASADNIENIE ZASTOSOWANIA MIEDZI HIGIENICZNEJ W SYSTEMACH HVAC**
  - i. Możliwości zastosowania miedzi w higienicznych systemach HVAC
  - ii. Filtry z miedzi przeciwbakteryjnej w systemach HVAC
  - iii. Radiatory i węzownica z miedzi przeciwbakteryjnej w systemach HVAC
  - iv. Miedź przeciwbakteryjna w dzielonych systemach klimatyzacyjnych
  - v. Miedź przeciwbakteryjna w przewodach systemów HVAC
    1. Rozwiązanie 1 – miedź w aerozolach
    2. Rozwiązanie 2 – galwanizacja powierzchni stalowych
    3. Rozwiązanie 3 – farby z domieszką miedzi
    4. Rozwiązanie 4 – nowoczesne związki żywiczne
- VIII. **ZAŁĄCZNIK:**  
**Miedź – nie tylko jej właściwości przeciwbakteryjne, ale również miedź jako pierwiastek niezbędny dla ludzi, zwierząt i roślin**
  - i. Miedź niezbędna w pokarmie
  - ii. Metaboliczny niedobór miedzi
  - iii. Wymagane dawki miedzi w pokarmie
  - iv. Pokarmy zawierające miedź

# I.

## WSTĘP

Zanim odkryto istnienie mikroorganizmów, obywatele wczesnego Imperium Rzymskiego używali miedzi w celu poprawienia higieny publicznej. Zaobserwowali oni, że woda dostarczana w przewodach z miedzi jest bezpieczna do picia i że naczynia i sztucce miedziane zapobiegały rozprzestrzenianiu się chorób. Dużo później, po odkryciu drobnoustrojów i po tym jak w oparciu o teorię infekcji zauważono związek przyczynowy pomiędzy bakteriami i innymi mikroorganizmami a infekcjami i chorobami, naukowcy zaczęli dostrzegać dodatkowe korzyści wynikające z przeciwbakteryjnych właściwości miedzi. Dzisiaj, przeciwbakteryjne właściwości miedzi są powszechnie wykorzystywane między innymi przy produkcji środków grzybobójczych, farb przeciwbrostowych, leków przeciwbakteryjnych, produktów do higieny jamy ustnej, medycznych środków higienicznych, antyseptyków.

Dzisiaj, przy powszechnej świadomości narażenia na działanie toksycznych mikroorganizmów w nowoczesnych budynkach, istnieje duże oczekiwanie poprawy warunków higienicznych w systemach ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji powietrza (systemy HVAC), które uważa się za przyczynę ponad 60% wszystkich przypadków występowania tzw. syndromu chorych budynków\*. Zastosowanie działającej przeciwbakteryjnie miedzi zamiast materiałów biologicznie obojętnych w węzownicy, radiatorach, filtrach oraz instalacjach wodnych w wymiennikach ciepła zaleca się jako pewny i oszczędny sposób pomagający kontrolować wzrost pleśni, bakterii i grzybów, które znakomicie się rozwijają w ciemnych i mokrych elementach systemów HVAC.

Zdolność miedzi do hamowania wzrostu patogennych mikroorganizmów, w zestawieniu z wieloma innymi właściwościami miedzi o dużym znaczeniu konstrukcyjnym w systemach HVAC\*\* sprawia, że naprawdę warto rozpatrzyć wykorzystanie higienicznych właściwości miedzi do budowy elementów systemów HVAC. W niniejszym opracowaniu omówiono najważniejsze badania naukowe oraz aspekty technologiczne, aby określić problemy zdrowia publicznego związane z systemami nawilżania powietrza oraz przedstawić higieniczne właściwości związków miedzi i jej stopów. W pracy przedstawiono kluczowe badania naukowe i opinie techniczne, by zdefiniować problemy zdrowia publicznego, wynikające ze stosowania systemów nawilżania powietrza i wykazać higieniczne właściwości miedzi i jej stopów. Niniejsze opracowanie podaje również bieżące zastosowania higieniczne miedzi, opisuje środowisko mikrobiologiczne w systemach HVAC oraz higieniczne wskazania do zastosowania miedzi, stopów miedzi oraz związków miedzi w elementach systemów HVAC.

\* Christopher Collett & Associates Ltd., specjaliści ds. jakości powietrza w pomieszczeniach, Surrey, British Columbia, Kanada, tel.: (604) 535-4215, <http://chris.collett.net/sick-buildings.htm>.

\*\*Wymiana ciepła oraz inne korzystne właściwości miedzi stosowanej w elementach systemów HVAC, pomimo dużego znaczenia, nie są omawiane w niniejszej opracowaniu.

## II.

### PROBLEMY ZDROWIA PUBLICZNEGO ZWIĄZANE Z SYSTEMAMI NAWILŻANIA POWIETRZA, URZĄDZENIAMI CHŁODZĄCYMI ORAZ HIGIENICZNYMI SYSTEMAMI OGRZEWANIA, WENTYLACJI I KLIMATYZACJI POWIETRZA (systemami HVAC)

Przed zbadaniem potencjalnych korzyści dla zdrowia publicznego wynikających z włączania produktów z miedzi do urządzeń zasilających w wodę oraz kontrolujących temperaturę, ważne jest krótkie przedstawienie niektórych mikrobiologicznych problemów związanych ze stosowaniem tych systemów, szczególnie w budynkach użyteczności publicznej. Niniejszy rozdział opisuje niektóre patogeny stanowiące problem oraz związane z nimi problemy konstrukcyjne stanowiące potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego.

#### **Bakterie przenoszone drogą wodną i systemy nawilżania powietrza**

W celu określenia ilościowego ryzyka dla zdrowia ludzkiego stwarzanego przez bakterie heterotroficzne występujące w wodach naturalnych, jak i w wodzie do picia przeprowadzono badanie metodą płytkową (HPC) (Rusin *i in.*, 1997). Nie uzyskano jednak jednoznacznych dowodów na to, że ogół bakterii heterotroficznych (HPC) stanowi zagrożenie dla zdrowia publicznego. Tylko nieliczne są patogenami oportunistycznymi. Wykorzystując zalecane przez Państwową Akademię Nauk czterostopniowe szacowanie ryzyka, identyfikację ryzyka, model dawka-odpowiedź oraz ekspozycję przez picie, uzyskano cechy charakterystyczne ryzyka, które określają szacunkowo prawdopodobieństwo infekcji osób spożywających różne ilości poszczególnych bakterii heterotroficznych HPC.

Z grupy bakterii heterotroficznych HPC występujących w wodzie do picia często izolowane są mikroorganizmy należące do następujących rodzajów: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Aeromonas* oraz *Xanthomonas*. Inne bakterie często spotykane to *Legionella* i *Mycobacterium*. We wszystkich wymienionych rodzajach występują gatunki, które są patogenami oportunistycznymi, mogącymi wywoływać poważne choroby. Na przykład trzy niefermentujące, Gram-ujemne pałeczki najczęściej izolowane w laboratoriach klinicznych to (1) *Pseudomonas aeruginosa*, (2) *Acinetobacter* oraz (3) *Xanthomonas maltophilia*. *P. aeruginosa* są główną przyczyną infekcji szpitalnych o wysokim współczynniku śmiertelności. Gatunki *Aeromonas* jest czasami przyczyną infekcji ran, a *A. hydrophila* jest uważana za bakterię wywołującą biegunkę. *A. hydrophila* może być izolowany z biofilmów wody do picia (Mackerness *i in.*, 1993; Rogers *i in.*, 1994a,b). Niepokój społeczny dotyczący zdolności do przeżycia tego mikroorganizmu w wodzie został potwierdzony przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska poprzez umieszczenie *A. hydrophila* na Liście Substancji Zanieczyszczających (U.S. EPA, 1998).

*Acinetobacter* może być izolowany z biofilmów z wody do picia i jest coraz częściej uznawany za ważny patogen oportunistyczny (Rogers *i in.*, 1994a,b). Gatunki wykazują wzrastającą odporność na szereg antybiotyków i mogą wywoływać poważne infekcje ran, zapalenie płuc oraz rzadką formę zapalenia opon mózgowych nabytego w środowisku szpitalnym jak i pozaszpitalnym. W jednym z badań u 24 pacjentów w

okresie czterech miesięcy doszło do ogólnoustrojowych infekcji *Acinetobacter calcoaceticus* (Smith i Massanari, 1977). Uznano, że źródłem infekcji w sześciu przypadkach były nawilżacze powietrza w nieogrzewanych pomieszczeniach przy łóżkach pacjentów. Epidemię powstrzymano usuwając nawilżacze. Podobnie, McDonald i in. (1998), wykazał że warunki środowiska powodujące wzrost zagęszczenia urządzeń klimatyzacyjnych mogą przyczyniać się do rozprzestrzeniania się drogą powietrzną bakterii *Acinetobacter*, poprzez zanieczyszczone nimi aerozole i powodować wzrost ryzyka szpitalnego zakażenia układu krwionośnego (tzn. w środowisku szpitalnym). Rusin i in. (1997) doszedł do ogólnego wniosku, że zebrane dowody świadczą o tym, że konkretne bakterie spośród bakterii HPC obecne w wodzie do picia oraz urządzeniach uzdatniających powietrze mogą powodować infekcje zarówno w szpitalach jak i poza nimi.

Powyższa obserwacja została potwierdzona poprzez niedawne badanie niemowląt cierpiących na infekcje w oddziałach intensywnej opieki po operacjach serca: 67 z 311 niemowląt (21,5%) dostało zapalenia płuc po operacji serca i wyizolowano 79 patogenne szczepy bakterii (Tan i in., 2004). Wśród wyizolowanych bakterii najczęściej występującymi były Gram-ujemne laseczki (GNB) (68 szczepów, 86,1%), następnie grzyby (6 szczepów, 7,6%) i Gram-dodatnie ziarniaki (5 szczepów, 6,3%). Głównymi laseczkami Gram-ujemnymi były *Acinetobacter baumannii* (11 szczepów, 13,9%) oraz *Pseudomonas aeruginosa* (10 szczepów, 12,7%). Inne powszechnie występujące laseczki Gram-ujemne to *Flavobacterium meningosepticum* (7 szczepów, 8,9%), *Klebsiella pneumoniae* (7 szczepów, 8,9%), *Escherichia coli* (6 szczepów, 7,6%) i *Xanthomonas maltophilia* (5 szczepów, 6,2%). Najpowszechniejszymi ziarniakami Gram-dodatnimi były *Staphylococcus aureus* (2 szczepy, 2,5%) oraz *Staphylococcus epidermidis* (2 szczepy, 2,5%). Często występującymi grzybami były *Candida albicans* (5 szczepów 6,3%). Podobnie, zapalenie płuc związane przyczynowo ze stosowaniem wentylatorów jest najczęstszą infekcją występującą na oddziałach intensywnej opieki. Jest ona wywoływana przedłużającą się hospitalizacją i w dużym stopniu doprowadza do śmierci pacjenta. Namidura i in. (2004) odkrył, że najczęściej wyizolowanymi bakteriami były *Pseudomonas aeruginosa* (33,9%), *Staphylococcus aureus* (30,0%), *Acinetobacter baumannii* (26,1%) oraz gatunki *Enterobacter* (4,3%). *A. baumannii* występowała częściej niż w latach wcześniejszych.

## **Biofilmy**

Osiadanie mikroorganizmów prokariotycznych na granicy faz powietrze/płyn, płyn/płyn i ciało stałe/płyn w środowisku wodnym (Ellwood, 1982), następnie późniejsze dojrzewanie do heterogennej lecz wysoce uporządkowanej społeczności biofilmów, na których żerowały mikroorganizmy eukariotyczne, stanowi ważny krok w ewolucji życia na ziemi (Keevil, 1999). Biofilmy są wszechobecne zarówno w środowisku naturalnym jak i sztucznym i istnieją pomimo, a często jako reakcja na ekstremalne temperatury, pH, potencjał redoks, składniki odżywcze i toksyczne molekuly takie jak metale ciężkie, przemysłowe zanieczyszczenia organiczne i biocydy. Inaczej niż bardziej powszechne kultury jednogatunkowe *in vivo*, biofilmy występujące w środowisku zwykle składają się ze złożonych zbiorowisk mikroorganizmów i mogą wykazywać wysoką różnorodność gatunkową bakterii tlenowych jak i beztlenowych, archeonów, grzybów, pełzaków, pierwotniaków i nicieni (Keevil i in., 1989a). Niepokojąca dla nowoczesnego społeczeństwa jest groźba, że mikroorganizmy patogene dla zwierząt i/lub człowieka mogą przeżywać i nawet dobrze się rozwijać w takich ekosystemach. Wody do picia są uzdatniane zgodnie z normami Unii Europejskiej oraz Światowej Organizacji Zdrowia, tak aby zapobiegać rozprzestrzenianiu się patogenów oraz bakterii wskaźnikowych; jednak, w zamierzeniach woda ta nie ma być sterylna, a zatem zawiera szeroką gamę mikroorganizmów (Geldreich i in., 1972).

Powstawanie biofilmu obejmuje szereg dynamicznych procesów zarówno odwracalnego jak i nieodwracalnego, osiadania, kolonizacji i dojrzewania, aktywnego uwalniania lub biernego odrywania się oraz żerowania drapieżników (Ellwood *i in.*, 1982; Costerton *i in.*, 1987). Pozornie stały stan jest osiąganym przez biofilmy w wodach do picia i naturalnych, gdzie liczba odnawialnych zdolnych do życia bakterii waha się pomiędzy  $10^5$ - $10^7$  na  $\text{cm}^2$ , w zależności od dostępności pokarmu, odporności na zerwanie i właściwości fizyczno-chemicznych podłoża (Keevil *i in.*, 1989). Z drugiej strony liczba bakterii zdolnych do życia uzyskiwanych z fazy planktonicznej to zwykle zaledwie  $10$ - $10^3$  na ml. Biorąc zatem pod uwagę ilość kilometrów głównych sieci dystrybucji i rur w instalacjach doprowadzających wodę do picia ze stacji uzdatniania do kranów, biofilm stanowi o wiele ważniejszy środowiskowy rezerwuar mikroorganizmów niż faza wodna.

Większość tak zwanych biofilmów jest w rzeczywistości nadzwyczaj heterogeniczna, ale wysoce zorganizowana w swojej strukturze z wieloma kanałami wodnymi penetrującymi podłoże, które umożliwiają dostęp substancji odżywczych, a więc i antybiotyków, a także dezynfektantów (Rogers *i in.*, 1991; Lawrence *i in.*, 1991). "Biofilm" składa się z niejednorodnej warstwy podstawowej, o grubości  $5$ - $10$   $\mu\text{m}$ , pokrytej kominami (stylikami) i palczastymi strukturami mikrokolonii zwykle na wysokość  $100$ - $200$   $\mu\text{m}$  ponad powierzchnię podłoża. Różnorodność morfologiczna i kolorystyczna komórek wewnątrz kominów świadczy o ścisłych powiązaniach fizjologicznych współistniejących gatunków (Keevil, 1995). Oczywiście jest wiele kanałów wodnych, ale ewentualne przestrzenie pomiędzy wzniesieniami zależą od właściwości fizyczno-chemicznych podłoża oraz jego uwarunkowań warstwy błoniastej, dostępności pokarmu oraz aktywności żerujących drapieżników. W środowisku bogatym w pokarm biofilm może zwiększyć swą grubość i gęstość, przy jednoczesnym zwężeniu kanałów wodnych co przypomina gąbkę posiadającą właściwości prądów konwekcyjnych. Ta struktura może uzewnętrzniać się pod wpływem produkcji dużych ilości egzopolimerycznego żelu wewnątrz kanałów. Powierzchnia tak zwanego biofilmu może znosić reaktywność biocydów takich jak chlor, chroniąc autochtoniczne i patogenne komórki znajdujące się poniżej. Dyfuzja może nie być limitowana ze względu na dostępność poprzez kanały wodne, które penetrują podłoże. Ta zdolność do penetracji może wyjaśniać jak mniej aktywna monochloroamina wydaje się być lepszym resztkowym dezynfektantem niż chlor służącym do kontroli biofilmu mikroorganizmów (LeChevallier *i in.*, 1988; Keevil *et al.*, 1990).

Biofilmy występują we wszystkich systemach dystrybucji wody i kanalizacyjnych w temperaturach poniżej  $60^\circ\text{C}$  (Whipple, 1972; Keevil, 1989b). To ogólna informacja zasada prawdopodobnie również odnosi się do systemów nawilżających HVAC. Kontrola ogólnej zdolności formowania biofilmów prawdopodobnie zredukowałaby szerzenie się infekcji oportunistycznych (*np.* *Pseudomonas* oraz *Aeromonas*, grzyby) oraz ogólnie endotoksyn produkowanych przez obecne gatunki Gram-ujemne. Jeśli systemy HVAC są w stanie uwalniać aerozole, kontrola biofilmów w takich systemach prawdopodobnie mogłaby zmniejszać ich potencjalny wpływ na powstawanie tzw. Zespołu Chorego Budynku.

### Legionella

Legionelloza jest to grupa chorób układu oddechowego wywołanych przez pałeczki *legionellae*. Zaproponowano zaliczenie do rodzaju *Legionella* 43 obowiązujące gatunki oraz podobne do *Legionella* patogeny pełzaków (Adeleke *i in.*, 2001). Około połowa gatunków *Legionella* związanych z chorobami ludzi obejmuje *L. anisa*, *L. bozemanii*, *L. cininatiensis*, *L. dumoffii*, *L. feelei*, *L. lansingensis* oraz *L. parisiensis*. *L. pneumophila*, główny czynnik etiologiczny w chorobie legionistów, wywołuje 4-20% przypadków zapalenia płuc nabyte w środowisku pozaszpitalnym i jest drugą lub trzecią najczęstszą przyczyną zapalenia płuc,



wymagającą hospitalizacji. Jednak ze względu na trudności w wyizolowaniu tej bakterii od osobników zainfekowanych oraz w leczeniu, które wyeliminowałoby ją zanim jej obecność może być zweryfikowana, te dane liczbowe mogą być zaniżone w stosunku do występowania tego patogenu. Gatunek *L. pneumophila* obejmuje 16 serotypów, wszystkie związane są z chorobą, lecz serotyp I wydaje się najważniejszy ze względu na wywołanie 50% wszystkich zakażeń pałeczkami *L. pneumophila*. Chociaż uważa się, że większość infekcji powstaje poprzez wdychanie kropelek aerozoli wodnych, *L. longbeachae* wywołała chorobę legionistów w Australii, Japonii i USA poprzez inhalację ziemią doniczkową (Steele, 1990; Koide, 1999).

**Tabela 1. Ważniejsze wybuchy choroby legionistów w USA**

Rok	Zachorowania	Śmiertelne	Przyczyna
1976	221	34	Choroba legionistów spowodowana zanieczyszczonym systemem klimatyzacji hotelowej podczas konwencji Legionu Amerykańskiego w Filadelfii.
1985	14	3	Choroba legionistów na bankiecie kościelnym w Michigan
1989	34	2	Choroba legionistów spowodowana zanieczyszczonym nawilżaczem powietrza w sklepie detalicznym w Louisiana
1998	45		Gorączka Pontiac przypisywana basenowi z biczami wodnymi w hotelu w Wisconsin
1999	24		22 przypadki gorączki Pontiac i 2 przypadki choroby legionistów zanotowane w hotelu w Georgii
2000			Wybuch zakażenia <i>Legionella longbeachae</i> wywołanego ziemią doniczkową w Stanie Kalifornia, Oregon i Washington.
2000	20		Gorączka Pontiac wywołana poprzez basen z biczami wodnymi w hotelu w Wisconsin.
2000	15		Choroba legionistów związana z narażeniem zawodowym przez stawy osadowe w Minnesocie.
2001	10	1	Choroba legionistów spowodowana zanieczyszczeniem chłodni kominowej w fabryce samochodów w Cleveland, Ohio.
2002	16		Choroba legionistów w więzieniu w Connecticut.
2002	117		Gorączka Pontiac wywołana przez <i>Legionella anisa</i> zanotowana wśród klientów restauracji w Tennessee.
2004	66		Gorączka Pontiac wśród gości z Teksasu, którzy zatrzymali się w hotelu w Oklahomie.

Choroba legionistów to ostre piorunujące zapalenie płuc charakteryzująca się niskim współczynnikiem zakaźności ataku, ale wywołująca w przybliżeniu 12% zachorowań śmiertelnych (Fraser, 1977; Brenner, 1979). Gorączka Pontiac to łagodna, gorączka pozapłucna o wysokim współczynnikiem zakaźności, która była pierwszy raz rozpoznana w Miejskim Ośrodku Zdrowia, w mieście Pontiac, w Stanie Michigan w lipcu 1968 (Glick, 1978). Gorączka Lochgoilhead to łagodna gorączka pozapłucna, atypowa infekcja wywołująca duszności i długotrwałą gorączkę, którą w kompleksie rekreacyjnym w Lochgoilhead w Szkocji w 1987 roku wywołała *L. micdadei* (Goldberg, 1989). Większość przypadków ma charakter sporadyczny i niemożliwy do wykrycia przyczyny. *Legionellae* są ważną przyczyną zapalenia płuc zanotowanych zarówno w środowisku szpitalnym (do 50%), jak i pozaszpitalnym (1–15%) (Lieberman *i in.*, 1996; Butler i Breiman, 1998). **Tabela 1** przedstawia krótką chronologię głównych incydentów choroby legionistów w USA. Wyraźnie widać, że istnieje związek tych zachorowań ze środowiskiem budowy i wyposażeniem, prowadzącym do powstawania aerozoli, takim jak chłodnie kominowe, nawilżacze powietrza, urządzenia nawilżające oraz wanny z masażem wodnym. W rzeczywistości w środowisku naturalnym bakterie *legionellae* są obecne wszędzie,

żyjąc w glebie i wodzie we współzyciu z innymi bakteriami i pierwotniakami szczególnie w biofilmach. Systemy wodne nie są ani zaprojektowane, ani utrzymywane w taki sposób, aby zachować sterylność i mogą być kolonizowane przez *legionellae*. Może to doprowadzić ostatecznie do zagrożenia zdrowia publicznego jeśli bakterie *legionellae* namnożą się (zwykle przy temperaturze wody 20–50°C) a następnie utworzą aerozole (kropelki o średnicy <5 µm stanowią problem ponieważ są one łatwo wdychane głęboko do płuc). Konstrukcja systemów HVAC dobrze pasuje do takiego scenariusza i będzie omówiona w dalszej części niniejszego opracowania. Ewolucja mechanizmów obronnych służących unikaniu skutków pożerania przez pelzaki i wewnątrzkomórkowemu namnażaniu w środowisku naturalnym dała im zdolność do unikania śmierci w makrofagach oraz rozmnażaniu wewnątrz ich komórek.

**Tabela 2. Występowanie bakterii *Legionella* w systemach zasilania wodą**

Instalacja wodna	% +	Miejsce / uwagi	Bibliografia
<u>Instalacje zasilania wodą w dzielnicy mieszkaniowej</u>			
Woda do picia	3–33	USA	Rusin 1997
Wody gruntowe	83	24 próbki z 12 studni	Riffard 2001
Krany z wodą pitną (domy prywatne i instytucje)	61	96% było <1000 CFU/ml	Atlas 1999
Domy jednorodzinne	6	Kanada	Marrie 1994
Domy wielorodzinne	25	Kanada	Marrie 1994
Grzejniki wodne	21–79	Europa	Tiefenbrunner 1993
<u>Prysznice, wanny z hydromasażem i fontanny</u>			
Baseny z hydromasażem	2	Singapur	Heng 1997
Fontanny dekoracyjne	15–19	Singapur	Heng 1997
Prysznice	8–92	Europa	Tiefenbrunner 1993
<u>Instalacje wody ciepłej i gorącej</u>			
Chłodnie kominowe	51	USA	Miller 1993
Chłodnie kominowe	36	Singapur	Heng 1997
Chłodnie kominowe	47	Finlandia	Kusnetsov 1997
Chłodnie kominowe	90	Wykrywanie metodą łańcuchową reakcją polimerazy (PCR)	Koide 1993
Szpital	47	Francja (Paryż)	Nahapetian 1991
Szpital	68	Niemcy poł.-wsch.	Lück 1993
Szpital	70	Saksonia	Habicht 1988
Ośrodki zdrowia	50	Niemcy poł.-wsch.	Lück 1993
Gabinety dentystyczne	58	Niemcy poł.-wsch.	Lück 1993
Budynki publiczne	85	Niemcy poł.-wsch.	Lück 1993
Hotele	18	Saksonia	Habicht 1988
Prywatne gospodarstwa domowe	65	Głównie < 100 CFU/ml	Lück 1993
Budynki mieszkalne	30	Głównie w prysznicach	Zacheus 1994

Dane od W.F. McCoy, kontakty osobiste

Bakterie *Legionellae* są powszechne w środowisku słodkowodnym oraz rozpowszechnione w instalacjach wodnych. Dane badawcze z takich instalacji wskazują na bliski związek tego patogenu oportunistycznego z ludźmi w miejscu zamieszkania (**Tabela 2**). Dobry projekt i rutynowe działania konserwacyjne są ważne w celu kontroli bakterii *legionellae* oraz ich związku z biofilmami, produktami korozyjnymi oraz strefami zastoju w instalacji. W rzeczywistości dekontaminacja zasiedlonych instalacji jest wskazywana jako sposób na przerwanie wybuchów chorób oraz zapobieganie ponownemu wystąpieniu sporadycznych przypadków. W dwóch planowanych badaniach w szpitalach, częstość z jaką *L. pneumophila* została wyizolowana od pacjentów cierpiących na zapalenie płuc została zredukowana z 16,3% do 0,1% przez okres 6 lat; od pacjentów z osłabioną odpornością współczynnik izolacji spadł z 76% do 0,8% przez okres 10 lat (Grosserode *i in.*, 1993; Junge-Mathys & Mathys, 1994). Bakterie *Legionellae* są względnie odporne na chlorowanie i podwyższone temperatury i wymagają utrzymywania temperatury wody zimnej w instalacjach na poziomie <20°C, a wody gorącej >55–60°C. Odporność *Legionella* na chlor jest jeszcze bardziej potęgowana poprzez wnikanie organizmów do komórek pelzaków lub poprzez wzrost w biofilmach (Kuchta *i in.*, 1993). Nie jest zatem zaskakujące, że *legionellae* są często spotykane w wodzie chlorowanej spełniającej mikrobiologiczne standardy dla wody do picia. Alternatywne metody uzdatniania wody obejmują wykorzystanie naświetlanie promieniami UV, monochloraminy, ozonu oraz jonów metali (miedź i srebro), z różnym skutkiem, w zależności od rodzaju instalacji. Korzyści wynikające z włączania miedzi lub jednego z jej stopów w instalacje jest omówiony w dalszej części niniejszego opracowania.

## Prątki

Szpitalne wybuchy oraz pseudo-wybuchy infekcji spowodowane prątkami atypowymi (pozagruźliczymi) (NTM), takimi jak kompleks *Mycobacterium avium* (MAC) i *M. avium-intracellulare* (MAI), są znane od ponad 20 lat i nadal stanowią problem. Liczba przypadków chorób płucnych związanych z *M. avium* szybko rośnie i zbliża się do poziomu zachorowalności na *M. tuberculosis* w niektórych rejonach. Rezerwuarem dla występowania tych infekcji jest zwykle miejska i (często osobny) szpitalna instalacja zasilania wodą. Prątki atypowe *Nontuberculous mycobacteria* wyodrębniono z 12 (92%) na 13 rezerwuarów, z 45 (82%) na 55 domach, ze wszystkich 31 (100%) budynków komercyjnych i ze wszystkich 15 (100%) szpitali (Aronson *i in.*, 1999). Gatunki prątków, o których mowa są nadzwyczaj wytrzymałe, mogą się rozwijać w wodzie miejskiej oraz destylowanej, znakomicie funkcjonują w temperaturach 45°C i większych, a także są odporne na działanie związków organicznych zawierających rtęć, chloru, 2% stężenia formaldehydu i alkaliczne roztwory aldehydu glutarowego, oraz innych powszechnie stosowanych dezynfektantów. Wyższa liczba szczepów *M. avium* uzyskanych z wody szpitalnej oraz ich bliski związek ze szczepami klinicznymi wskazuje na potencjalne zagrożenie rozprzestrzenienia się szpitalnego. Rzeczywiście wyciągnięto wniosek, że woda do picia jest ważnym źródłem występowania infekcji *M. avium* (Aronson *i in.*, 1999).

*M. avium* jest mikroorganizmem środowiskowym, który jest przystosowany do życia zarówno w środowisku (głównie w wodzie i glebie) jak i jego żywicielami mogą być ptaki, ryby a także ssaki. Wśród ludzi infekcja *M. avium* jest rozpoznawana w pacjentów z obniżoną odpornością, na przykład cierpiących na przewlekłe choroby płuc oraz nabyty zespół niedoboru odpornościowego (AIDS). Jeśli chodzi o ten ostatni, infekcja *M. avium* jest główną przyczyną śmierci (Fordham von Reyn *i in.*, 1996; Ristola *i in.*, 1999). Od niedawna wskazuje się na inne populacje, które są zagrożone zachorowaniami na chorobę wywołaną *M. avium*. W większości przypadków, ludzie nabywają *M. avium* drogą pokarmową gdzie dochodzi do kontaktu tej bakterii z błoną śluzową jelita i przeniknięcie przez nią (Sangari *i in.*, 1999). Niektóre prątki jednak łatwo porywane są z cząsteczkami wody tworzącymi aerozole z wody (Parker *i in.*, 1983), a wdychane w postaci drobnych cząsteczek są również ważną przyczyną chorób płuc (Hoffner, 1994). U pięciu zdrowych ludzi

rozwinęły się choroby układu oddechowego, którym towarzyszyły zapalenie oskrzeli, gorączka i objawy podobne do objawów grypy po skorzystaniu z ciepłej kąpieli w wodzie zawierającej *M. avium* (Embil *i in.*, 1997). Objawy i wyniki badań wyraźniej wskazywały na nadwrażliwość na zapalenie płuc niż na infekcję.

Istnieje niewiele dowodów na to, że atypowe prątki tworzą biofilmy, ale badania laboratoryjne na patogenach oportunistycznych, *M. fortuitum* i *M. chelonae*, wykazują, że jest to możliwe na rurze z polietylenu o wysokiej gęstości używanej do dystrybucji wody (Hall-Stoodley *i in.*, 1999). Z pięćdziesięciu biofilmów zlokalizowanych w oczyszczalniach ścieków oraz w domowych instalacjach wodnych w Niemczech i Francji pobrano próbki i w 90% z tych próbek wykryto gatunki prątków (Schulze-Robbecke *i in.*, 1992). Świadczy to o powszechnym występowaniu prątków w biofilmach oraz o tym, że na granicy faz ciała stałe/płyn, szczególnie na plastikowych powierzchniach, mogą gromadzić się prątki. W innym badaniu, bakteriami *M. chelonae* zostały zaszczerpione rury PCV i po 8 tygodniach utworzyły rozwinęła kolonię (Vess *i in.*, 1993).

Podsumowując, powyższe badania wskazują na to, że instalacje wodne mogą być siedliskiem dla szerokiego spektrum oportunistycznych i szkodliwych patogenów. Ponadto, stosowanie nieodpowiednich materiałów konstrukcyjnych oraz niskiej jakości rozwiązań projektowych prowadzi do powstania ryzyka uwalniania aerozoli i powoduje, że instalacje, takie jak systemy HVAC, stanowią potencjalne wysokie ryzyko dla zdrowia ludzi.

Oprócz samych instalacji wodnych, musimy przyjrzeć się innym częściom systemów klimatyzacyjnych. Patogeny w kondensatach mogą dostawać się do ludzi poprzez bezpośredni kontakt ze skroplinami lub poprzez wdychanie ze względu na uwalnianie aerozoli. Z tego względu, oprócz konieczności zbadania korzyści płynących z zastosowania miedzi w instalacjach wodnych, musimy również zbadać korzyści dla środowiska zewnętrznego tzn. inne elementy systemów HVAC, włącznie z orurowaniem, filtrami i radiatorami na przewodach wymienników ciepła.

### III.

## PRZECIWBAKTERYJNE WŁAŚCIWOŚCI MIEDZI

Miedź odgrywa ważną, a czasami również zaskakującą rolę w poprawie zdrowia publicznego. Jej właściwości przeciwbakteryjne pomagają zwalczać infekcje w domach, w pracy i w szpitalach a także w przypadkach chorób upraw rolnych.

W tym rozdziale zacytowano badania naukowe dotyczące wpływu miedzi na mikroorganizmy oraz przedstawiono kompleksowe mechanizmy molekularne odpowiedzialne za działanie miedzi. Te obserwacje stały się podstawą przeprowadzonych badań właściwości przeciwbakteryjnych miedzi metalicznej oraz powierzchni stopów miedzi w środowisku zewnętrznym oraz w chłodzonym powietrzu, co zostało opisane w następnym rozdziale. Na podstawie wyników tych badań wyciągnięto wnioski, stanowiące podstawę do poinformowania producentów elementów do systemów HVAC, wytwórców oraz klientów o właściwościach miedzianych elementów systemów HVAC (miedziana wężownica, miedziane radiatory, filtry piankowe z miedzi oraz przewody kryte miedzią) wpływających na poprawę jakości powietrza wewnątrz nowoczesnych budynków.

Warto zauważyć, że oprócz przeciwbakteryjnych właściwości miedzi hamujących rozwój mikroorganizmów, jest ona jednocześnie pierwiastkiem mineralnym, który jest absolutnie niezbędny dla dobrego zdrowia ludzi, zwierząt i roślin. W załączniku przedstawiono dyskusję na temat niezbędności miedzi w pożywieniu, zapotrzebowaniu pokarmowym na miedź, symptomach niedoboru pokarmowego miedzi oraz o żywności zawierającej odpowiednie ilości miedzi przyswajalnej.

### Definicja działania przeciwbakteryjnego miedzi

Poniższe definicje są stosowane w niniejszym opracowaniu do opisu wpływu miedzi na mikroorganizmy. (Definicje te są przyjęte z publikacji Black, J.G. (1966) *Microbiologia: Zasady i zastosowania*. Trzecie wydanie. Prentice Hall str. 332–352.)

**Substancje bakteriostatyczne/grzybostatyczne:** środki “-statyczne” hamują wzrost mikroorganizmów w sposób inny niż zabijając je; środki -statyczne ograniczają wzrost mikroorganizmów i mogą inaktywować je.

**Substancje przeciwbakteryjne:** substancje “przeciwbakteryjne” (chemiczne lub fizyczne) mogą uniemożliwić rozwój mikroorganizmów poprzez niektóre działania hamujące lub poprzez wprost zabicie ich.

**Substancje bakteriobójcze/grzybobójcze:** środki “-bójcze” niszczą mikroorganizmy w niskiej koncentracji i/lub redukują czas kontaktu lub też pozostają w stałym związku (interakcji), tak że mikroorganizmy przestają funkcjonować normalnie; takie środki mają na mikroorganizmy działanie subletalne; całkowita inaktywacja funkcjonalnie odpowiada zabiciu organizmu (0% przeżycia).

**Odkażanie (Sanityzacja):** to oczyszczenie obiektów lub powierzchni w miejscach publicznych z mikroorganizmów patogennych, prowadzące do podwyższonej higieny.

**Powierzchnia higieniczna:** Powierzchnia higieniczna hamuje rozwój mikroorganizmów i może całkowicie inaktywować niektóre organizmy.

**Dezynfekcja:** dezynfekcja to proces redukcji liczby organizmów patogenicznych na obiektach lub w materiałach, w taki sposób że nie stanowią one żadnego zagrożenia chorobami.

W odpowiednich warunkach miedź wykazuje właściwości substancji przeciwbakteryjnej, działając jako środek –statyczny (biostatyczny) lub –bójczy (biobójczy) o skuteczności i szybkości działania zależnej od warunków otaczających, stężenia jonów miedzi oraz rodzaju mikroorganizmów. Wiele gatunków szkodliwych bakterii, pleśni, glonów i grzybów jest inaktywowanych a inne mają 0 przeżywalności. Ta właściwość sprawia, że zastosowanie miedzi jako powierzchni higienicznej jest uzasadnione.

W niektórych badaniach przywoływanych w niniejszym opracowaniu autorzy używają słowa “zabijanie” w odniesieniu do skutku działania przeciwbakteryjnego miedzi w stosunku do niektórych mikroorganizmów. W niniejszym opracowaniu słowo “zabijać” jest zastąpione słowem “inaktywować”, które jest preferowane i dokładniejszym określeniem używanym obecnie przez badaczy do opisu działania przeciwbakteryjnego miedzi. (Keevil *i in.* 2000; Wilks i Keevil, 2003a,b).

### **Molekularne mechanizmy przeciwbakteryjnego działania miedzi**

Miedź jest pierwiastkiem przejściowym w Układzie Okresowym. Struktura jego zewnętrznej powłoki elektronowej, a szczególnie możliwość łatwego oddawania lub przyjmowania elektronu, jest przyczyną wielu przydatnych właściwości miedzi, włącznie z przewodnictwem cieplnym i elektrycznym, a także właściwości elektrochemicznych wykorzystywanych w systemach biologicznych. Jej jon oddający elektrony (utleniony) określany jest jako  $Cu^{2+}$ , a jej jon przyjmujący elektrony (zredukowany) jako  $Cu^{1+}$ . Wśród pierwiastków przejściowych w Układzie Okresowym, zdolność miedzi do oddawania lub przyjmowania elektronu jest bardzo duża, co oznacza że ma ona wysoki potencjał elektrochemiczny (oksydacyjno-redukcyjny, lub redoks).

Mikroorganizmy wykorzystują enzymy zawierające miedź do ułatwienia przeprowadzania ważnych życiowych reakcji chemicznych. Dla celów niniejszego opracowania, to elektrochemiczny potencjał miedzi umożliwia wolnemu jonowi miedzi oddziaływanie na białka bakteryjne, czego następstwem jest hamowanie ich aktywności i nadaje miedzi jej przeciwbakteryjne cechy.

Od wielu lat naukowcy próbują rozszyfrować złożone chemiczne i molekularne mechanizmy odpowiedzialne za przeciwbakteryjne właściwości miedzi. W roku 1973 badacze w Battelle Columbus Laboratories (Dick, R.J. *i in.*) przeprowadzili kompleksowy przegląd literatury, technologii i patentów dotyczących historii poznania “bakteriostatycznych i odkażających właściwości miedzi i powierzchni pokrytych stopami miedzi” i jednoznacznie wykazali, że miedź w bardzo niewielkich ilościach może kontrolować wiele rodzajów pleśni, grzybów, glonów i szkodliwych mikroorganizmów. Spośród 312 odniesień badawczych z okresu 1892–1973, poniżej przytoczono badania dotyczące przeciwbakteryjnego wpływu miedzi na mikroorganizmy, o których wiadomo, że występują w elementach konstrukcji systemów HVAC:

- Miedź w stężeniach powyżej 0,01 g/ml inhibuje *Actinomucor elegans*, *Aspergillus niger*, *Bacterium linens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Brevibacterium erythrogenes*, *Candida utilis*, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus niveus*, *Saccharomyces mandshuricus* oraz *Saccharomyces cerevisiae* (Chang i Tien, 1969).

- całkowita inhibicja *Torulopsis utilis* przy stężeniu 40 mg/l miedzi (Avakyan i Rabotnova, 1966).
- inhibicja *Tubercle bacillus* przez miedź w postaci prostych kationów lub kompleksach anionowych w stężeniach 1:5.000 do 1:50.000 (Feldt, brak roku).
- Rozwój *Achromobacter fischeri* i *Photobacterium phosphoreum* jest inhibowany przez miedź metaliczną (Johnson, Carver, Harryman, 1942).
- Podział komórek *Paramecium caudatum* jest redukowany przez płytki miedziane umieszczone na przykrywkach płytek Petriego zawierających wymoczkę i pożywkę (Oivin i Zolotukhina, 1939).
- Wirus Polio (zapalenia rogów przednich rdzenia) jest inaktywowany w wyniku 10 minutowej ekspozycji na miedź z kwasem askorbinowym (Colobert, 1962).

W innej pracy (Thurman and Gerba, 1989) badano niektóre przeciwbakteryjne mechanizmy miedzi oraz przywołano ponad 120 innych badań nad skutecznością oddziaływania jonów miedzi na mikroorganizmy. Autorzy zauważają, że przeciwbakteryjne mechanizmy są bardzo skomplikowane i zachodzą na wiele sposobów, zarówno wewnątrz komórek jak i w przestrzeniach międzykomórkowych. Sugerują oni następnie, że miedź ma szerokie zastosowania jako dezynfektant.

Niektóre przykłady molekularnych mechanizmów wspomnianych przez Thurmana i Gerba oraz innych autorów zamieszczono poniżej:

- Jeśli białka zostaną zkompleksowane lub zmienione tak, że nie są one już w stanie wypełniać swoich normalnych funkcji, prowadzi to do inaktywacji komórek lub wirusów.
- Kompleksy miedzi tworzą rodniki, które inaktywują wirusy (Kuwahara *i in.*, 1986; Vasudevachari i Antony, 1982).
- Metale, takie jak miedź, mogą zaburzać strukturę i funkcje enzymów poprzez wiązanie się z grupą tiolową lub innymi grupami w cząsteczkach białek (Sterritt and Lester, 1980).
- Inaktywacja jest spowodowana potencjałem oksydacyjnym jonu. Obiektem inaktywacji mogą być białka lub kwasy nukleinowe (Lund, 1963).
- Metale przejściowe (włącznie z miedzią) wspomagają szkodliwe działanie w rodników nadtlenkowych. Powtarzające się reakcje typu redoks na makrocząsteczkach w danym miejscu generują rodniki OH<sup>-</sup>, powodując w ten sposób "wielokrotne uszkodzenie miejscowe" w tych miejscach (Samuni *i in.*, 1983, 1984).
- Cu<sup>2+</sup> może tworzyć białka chelatowe (kompleksy białkowe związane z miedzią) poprzez łączenie z białkowymi grupami karboksylowymi i aminowymi, powodując w ten sposób inaktywację białek (Martin, 1986).
- Kationy dwuwartościowe, takie jak Cu<sup>2+</sup>, podczas chelatowania z grupą fosforanową, mogą wywierać nacisk na strukturę białkową, który spowoduje pękanie wiązań wodorowych wewnątrz podwójnej spirali DNA, w ten sposób otwierając ją. Jeśli spirala kwasu nukleinowego danego mikroorganizmu jest ustabilizowana lub zdestabilizowana przez wiązanie chelatowe z jonem metalu, replikacja lub transkrypcja może zostać zmieniona, powodując w ten sposób inaktywację drobnoustroju.

- $\text{Cu}^{2+}$  wykazuje szczególne powinowactwo do DNA a może wiązać i zaburzać strukturę helikalną poprzez wiązania krzyżowe wewnątrz i pomiędzy niciami DNA (Ueda *i in.*, 1980).
- $\text{Cu}^{2+}$  może zespałać informacyjny RNA i w ten sposób odgrywać pewną rolę dezynfekcyjną wobec wirusów. (Hutchinson, 1985).
- $\text{Cu}^{2+}$  wykazuje silne powinowactwo do miejsc O<sup>-</sup>, N<sup>-</sup>, lub S<sup>-</sup> w białkach.  $\text{Cu}^+$  wykazuje silne powinowactwo do miejsc N<sup>-</sup> i S<sup>-</sup>. (Buffle, 1984).
- Dezynfekcja poprzez kompensowanie z metalami jest ważna gdyż umożliwia przejście przez błonę komórkową lub kapsyd drobnoustroju, aby dotrzeć do ważnych białek. (Thurman i Gerba, 1989).
- Miedź może wejść w reakcje z lipidami, powodując peroksydację i otwierając kanały w błonie komórkowej, obniżając w ten sposób integralność komórki (Manzl *i in.*, 2004).
- Badania nad komórkami *Escherichia coli* uszkodzonymi przez miedź wykazały uszkodzenie łańcucha oddechowego przynajmniej w jednym miejscu (Domek *i in.*, 1984) które jest związane z osłabionym metabolizmem komórkowym (Domek *i in.*, 1987).

Widać wyraźnie, że niektóre mechanizmy molekularne, włącznie z katalityczną reakcją utleniania i redukcji, reakcjami zachodzącymi w błonie komórkowej, hamującymi transport elektronu oraz wiązania DNA w celu niedopuszczenia do rozkręcania, zostały rozpoznane jako nadające miedzi jej właściwości przeciwbakteryjne. Miedź, podobnie jak żelazo, jest metalem przejściowym, który może generować rodniki tlenu poprzez reakcję Fentona. Warto zauważyć, że, szczególnie w odniesieniu do ewentualnego wykorzystania przeciwbakteryjnych właściwości miedzi w elementach higienicznych systemów HVAC, mechanizmy przeciwbakteryjne znane dla środowiska wodnego są również ewidentne w powietrzu, szczególnie w środowisku wilgotnym (mokrym).

Bez względu na to jakie dokładnie istnieją mechanizmy molekularne i jak one współfunkcjonują, należy z całą mocą zaznaczyć, że literatura jednoznacznie potwierdza, że miedź ma w środowisku wodnym i w wilgotnym powietrzu właściwości przeciwbakteryjne.



## IV.

### PRZECIWBAKTERYJNE WŁAŚCIWOŚCI MIEDZI METALICZNEJ I POWIERZCHNI POKRYTYCH STOPAMI MIEDZI

Po opisanu mechanizmów kryjących się za przeciwbakteryjnymi właściwościami miedzi, warto teraz skupić się na działaniu przeciwbakteryjnym miedzi metalicznej i powierzchni pokrytych stopami miedzi. Te powierzchnie wyraźnie wykazują skuteczną kontrolę mikroorganizmów, stwarzając w ten sposób możliwość stosowania miedzi i powierzchni pokrytych stopami metalicznej miedzi do celów higienicznych. Ponieważ działanie przeciwbakteryjne miedzi i stopów miedzi jest widoczne w pokojowych jak i w chłodnych temperaturach, metale te są w stanie zwalczyć mikroorganizmy znakomicie rozwijające się w systemach HVAC i innych podobnych środowiskach.

#### Przeciwbakteryjne właściwości mosiądzu zaobserwowane w środowisku szpitalnym

Wygląd może być często mylący, zwłaszcza jeśli chodzi o populacje mikroorganizmów. Na przykład klamki do drzwi ze stali nierdzewnej (12% Cr) lub panele popychowe na drzwiach szpitalnych mogą wyglądać na czyste i lśnić, ale mogą one również być niewidzialnym inkubatorem milionów mikroorganizmów. Z drugiej strony, mosiężne (67% Cu, 33% Zn) lub miedziane okucia mogą się dezynfekować w ciągu kilku godzin.

W pewnej pracy naukowej na temat tempa wzrostu paciorkowców i gronkowców na stali nierdzewnej i mosiądzu opublikowanej 21 lat temu w *Diagnostic Medicine*, Kuhn (1983) zaobserwował duży wzrost na stali nierdzewnej organizmów Gram-dodatnich i szeregu organizmów Gram-ujemnych, włącznie z *Proteus*. Jedynie na mosiężnych klamkach do drzwi wzrost tych organizmów był nieznaczny. Na tej podstawie autor postawił wniosek, że "bakteriobójczy jest mosiądz, a nie stal nierdzewna."

Hodowlami bulionowymi *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* grupy D oraz *Pseudomonas* zostały inokulowane stal nierdzewna, mosiądz, aluminium i miedź w celu porównania ich właściwości przeciwbakteryjnych. Według Kuhna wyniki były "szokujące." W ciągu ośmiu dni na aluminium i stali nierdzewnej zaobserwowano duży rozwój wszystkich gatunków mikroorganizmów. Alarmująca była obserwacja, że większość mikroorganizmów pozostawała na tych metalach po trzech tygodniach, kiedy zakończono badanie. Z drugiej strony, rozwój mikroorganizmów na miedzi i mosiądzu był niewielki lub nie było go wcale. W rzeczywistości miedź najwidoczniej natychmiast zaczęła sama się dezynfekować, a efekty były widoczne w ciągu piętnastu minut. Świeżo przetarty mosiądz zdezynfekował się w ciągu jednej godziny. Nieczyszczone próbki mosiądzu zostały zdezynfekowane w okresie do siedmiu godzin, w zależności od wielkości zaszczepu oraz stanu powierzchni.

Ze względu na skuteczność przeciwbakteryjną miedzi i mosiądzu, Kuhn zaproponował, żeby szpitale nie wymieniały swoich starych przedmiotów mosiężnych. Ponadto, mając dowody świadczące o czymś odwrotnym (tzn. brak właściwości przeciwbakteryjnych) w odniesieniu do stali nierdzewnej i aluminium, autor zaproponował, żeby jeśli szpitale mają klamki do drzwi ze stali nierdzewnej lub aluminiowe czy też panele popychowe, te materiały powinny być pokryte mosiądzem lub dezynfekowane codziennie, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń.

Warto wspomnieć, że eksperymenty Kuhna dotyczące właściwości przeciwbakteryjnych były przeprowadzane w powietrzu – środowisku, w którym działają systemy HVAC. Prace Kuhna można zatem cytować na poparcie higienicznych korzyści elementów systemów HVAC wykonanych z miedzi.

### **Badania mikroorganizmów przeprowadzone na miedzi, stopach miedzi i stali nierdzewnej**

Przeprowadzono również inne badania dotyczące właściwości przeciwbakteryjnych miedzi w porównaniu do aluminium i stali. We wczesnych eksperymentach rozpuszczona miedź i powierzchnie z miedzi wykazywały zdolność hamowania niepatogennych szczepów *E. coli* i patogenów ACDP Kategorii 2/3 takich jak *Legionella pneumophila*. Z drugiej strony, powierzchnie plastikowe i ze stali nierdzewnej nie hamowały rozwoju tych mikroorganizmów (Schoenen i Schlomer, 1989).

Wykorzystując wysoko powtarzalny laboratoryjny model instalacji wody do picia, Rogers *i in.* (1994a,b) wykazał, że biofilmy o wysokiej różnorodności gatunkowej były w stanie rozwijać się przez wiele miesięcy na wielu plastikowych i metalowych podłożach. Ponadto, *L. pneumophila* przeżywa i rozwija się w biofilmach, nawet w temperaturach do 50°C na powierzchniach z plastiku, ale nie na powierzchniach z miedzi (Tabela 3). Autorzy byli w stanie zestawić w tabeli dane wskazujące hierarchię aktywności przeciwbrobstowej, w której miedź jest najlepszym materiałem a niektóre powierzchnie z metalu i plastiku są wyraźnie najgorsze (Tabela 4). *L. pneumophila* była w stanie rozwinąć się na materiałach, które są powszechnie stosowane w instalacjach zasilania zimnej i ciepłej wody takich jak: stal miękka, stal nierdzewna, polipropylen, polietylen, niepolimeryzowany polichlorek winylu (uPVC), chlorowany polichlorek winylu (cPVC), a także środki do łączenia, lateks oraz kopolimer etylenu z propylenem.

**Tabela 3. Kolonizacja rur mikroflorą wodną oraz *Legionella pneumophila***

Temp.	Materiał	Mikroflora	<i>L. pneumophila</i>
20°C	Miedź	2,2 x 10 <sup>5</sup>	0
	Polibutylen	5,7 x 10 <sup>5</sup>	665
	cPVC	1,8 x 10 <sup>5</sup>	2130
40°C	Miedź	8,1 x 10 <sup>4</sup>	2000
	Polibutylen	1,2 x 10 <sup>6</sup>	112000
	cPVC	3,7 x 10 <sup>5</sup>	68000
50°C	Miedź	2,3 x 10 <sup>4</sup>	0
	Polibutylen	3,2 x 10 <sup>6</sup>	890
	cPVC	1,2 x 10 <sup>5</sup>	60
60°C	Miedź	4,5 x 10 <sup>2</sup>	0
	Polibutylen	4,3 x 10 <sup>4</sup>	0
	cPVC	5,2 x 10 <sup>3</sup>	0

*Dane dotyczą kolonii powstających na cm<sup>2</sup>*

Ten rozwój kolonii na różnych materiałach stosowanych przy konstrukcji instalacji wodnych może być częściowo związany z faktem, że takie materiały jak plastik i guma mogą aktywnie przyspieszać rozwój mikroorganizmów (Zobell i Beckwith, 1944; Burman *i in.*, 1977). Materiały takie mogą zawierać ftalany alkilowe jako zmiękczacze, butylohydroksytoluen jako antyutleniacz, stearyniany jako smary oraz sulfidy jako stabilizatory gorąca. Rzeczywiście *L. pneumophila* była również w stanie zasiedlić biofilm powstały na pokrytej farbą bitumiczną żelaznej rurze zasilającej, stosowanej do dystrybucji wody o temperaturze 25°C, dzięki czemu być może dostarczono potrzebnych odżywczych związków organicznych bezpośrednio do bakterii *legionellae* lub pośrednio do zespołu biofilmu, który następnie produkował metabolity wtórne (Mackerness *i in.*, 1993; Keevil, 1999). Stal miękka i nierdzewna prawdopodobnie ułatwia rozprzestrzenianie się *L. pneumophila* w biofilmach wodnych, gdzie jej ilość w stosunku do całej kultury bakteryjnej wzrosła ze zwykłego poziomu 1% do 9% ponieważ ten patogen ma wysokie zapotrzebowanie na żelazo (James *i in.*, 1995, 1997).

Na szczęście jednak *L. pneumophila* jest wrażliwa na miedź i może się jedynie rozwijać w biofilmach na starych powierzchniach pokrytych miedzią w niewielkich ilościach. Chociaż łączna mikroflora heterotroficzna biofilmów na miedzi zmniejszyła się 70-krotnie w porównaniu do stali węglowej, a ilość *legionellae* zmniejszyła się ponad 600-krotnie. Ta właściwość miedzi była również zauważalna przy różnych wzrostach temperatury, i tak nie wykryto żadnych bakterii *legionellae* w biofilmach na miedzi przy temperaturze 20°C, podczas gdy znaczne ich ilości wykryto na polibutylenie i cPVC. Maksymalne zasiedlenie miało miejsce w temperaturze 40°C kiedy wykryto niewielkie ilości *legionellae* w biofilmach na miedzi, ale bardzo duże ilości tych bakterii pojawiły się na tych dwóch powierzchniach z tworzywa sztucznego. W stosunku do całkowitej liczby wyhodowanych bakterii jako uzyskana liczba *legionellae* wzrosła z <2% na miedzi do 18% na cPVC, co stanowi znaczny wzrost. Pomimo to, większe ilości *legionellae* uzyskiwano z biofilmów na polibutylenie ponieważ na tym materiale rozwinął się 3-krotnie większy biofilm niż na cPVC. Zgodnie z niektórymi sposobami postępowania zaleca się dla obniżenia przeżywalności *legionellae*, utrzymywanie instalacje ciepłej wody w temperaturze powyżej 50°C. Taka praktyka wydawałaby się dopuszczalna tam gdzie materiały z miedzi zostały zainstalowane, ale pomimo tego wciąż uzyskiwano duże ilości *legionellae* z biofilmów na polibutylenie, w nieco mniejszym stopniu, z cPVC. W rezultacie wydawałoby się bardziej uzasadnione używanie instalacji z gorącą wodą przy wyższych temperaturach. Na poparcie tego wniosku służy fakt, że nie wykryto żadnych *legionellae* w niewielkich biofilmach rozwiniętych na żadnym z tych trzech materiałów przy temperaturze 60°C.

Te badania laboratoryjne były następnie poparte bezpośrednimi obserwacjami rur zasilających instalacji wodnych w niemieckich szpitalach: jedynie z 2% powierzchni miedzianych uzyskano *L. pneumophila*, przy odpowiednio wykazanych zawartościach patogenu 65% i 90% z powierzchni polietylenowych i żelaznych (Pongratz *i in.*, 1994). Jest to kolejnym potwierdzeniem związku *legionellae* z powierzchniami z żelaza i właściwościami inhibitorowymi powierzchni z miedzi, które wydawałyby się korzystniejsze dla zdrowia publicznego. Zastosowanie miedzi w instalacji wodnej lub elementach systemów HVAC byłaby szczególnie korzystna w środowisku szpitalnym, gdzie wielu pacjentów ma osłabioną odporność i są zatem bardziej podatni na infekcje oportunistycznymi patogenami.

**Tabela 4. Porównanie materiałów na instalacje wodne na osiadanie i podłoże do kolonizacji przez *L. pneumophila* w temperaturze 30°C w wodzie do picia o średniej twardości**

Materiały	Maksymalne zasiedlenie		Tempo zasiedlania	
	nie- <i>Legionellae</i>	<i>L. pneumophila</i>	nie- <i>Legionellae</i>	<i>L. pneumophila</i>
Miedź	70	0,7	1,0	1,0
Szkle	150	1,5	2,1	2,1
Polibutylen	180	2,0	2,6	2,9
Stal nierdzewna	210	10,0	3,0	14,3
Stal				
Polietylen	960	23,0	13,7	33,0
uPVC	1070	11,0	15,3	15,7
cPVC	1700	78,5	24,3	112,1
Stal	4900	450,0	70,0	642,0
Kopolimer etylenu z propylenem	27000	500,0	386,0	714,0
Lateks	89000	550,0	1271	785,0

<sup>a</sup>Jednostki, na których rozwinęły się kolonie: 10<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup>. Tempo powstawania kolonii to jednostki wzrostowe – jednostki tworzące kolonie (CFU) wszystkich mikroorganizmów flory lub *legionellae* uzyskane z każdego materiału porównanego do danych dla miedzi.

Wcześniejszy przegląd literatury traktującej o prątkach sugerował, że mogłyby one rozwijać swoje kolonie na różnych materiałach do instalacji wodnych. Niestety istnieje bardzo niewiele informacji w literaturze naukowej na temat badań nad prątkami na poziomie równie szczegółowym jak opublikowane informacje na temat bakterii *Legionella* rozwijających się w biofilmach na powierzchni materiałów na instalacje wodne. Wiadomo jednak, że niektóre prątki są podatne na rozpuszczalne sole miedzi (Falkinham *i in.*, 1984), co może świadczyć o tym, że będą one również hamowane w biofilmach na rurach miedzianych i innych powierzchniach. Rzeczywiście Schulze-Robbeke *i in.* (1992) udało się wykazać, że było mniej prątków na powierzchniach pokrytych miedzią w porównaniu do powierzchni z tworzyw sztucznych w zakładach uzdatniania wody, domowych instalacjach wodnych i akwariach. W obliczu rosnącego zagrożenia prątkami dla zdrowia publicznego, to zagadnienie należy obecnie dokładnie zbadać.

Obiecujące wyniki zastosowania miedzi z *L. pneumophila* skłoniły Keevil *i in.* (2000) do zbadania właściwości miedzi do hamowania rozwoju *Verocytotoxigenic Escherichia coli* (VTEC) O157, silnego patogenu wywołującego hemolityczne zapalenie okrężnicy, hemolityczny zespół mocznicowy (poważna choroba nerek), a nawet prowadzić do śmierci. VTEC uważa się za poważne zagrożenie dla zdrowia publicznego ponieważ wniknięcie zaledwie 10 organizmów jest uważane za wystarczające do wywołania infekcji.

W tym przypadku również wyniki badania wykazały, że miedź i mosiądz są bakteriobójcze, a stal nierdzewna nie.

Autorzy odkryli, że *E. coli* O157, w stanie wysuszonym, potrafi przetrwać na stali nierdzewnej przez długie okresy czasu w chłodnych i pokojowych temperaturach. Przy 20°C, organizmy VTEC zostały zaobserwowane po 34 dniach. Przy 4°C organizmy te zaobserwowano w okresie do 60 dni. Te wyniki jasno

potwierdzają, że stal nierdzewna jest potencjalnym źródłem krzyżowego skażenia, chyba że jest poddawana codziennej dezynfekcji.

Z drugiej strony, miedź inaktywuje organizmy VTEC w ciągu zaledwie 4 godzin przy 20°C, a w temperaturze 4°C w ciągu 14 godzin. Mosiądz (mosiądz alfa+beta składający się w 60% z Cu i w 40% z Zn) inaktywował te bakterie w ciągu 4 dni przy 20°C, a przy 4°C w ciągu 12 dni.

Te dowody były dla autorów wystarczające, aby wyciągnąć wniosek, że miedź i jej stopy zapobiegają długotrwałej obecności śmiertelnych bakterii. Według autorów naturalna zdolność miedzi do hamowania rozwoju patogennych VTEC może okazać się źródłem znaczących korzyści dla zdrowia publicznego.

W następnym badaniu, będącym rozwinięciem poprzedniego, Wilks i Keevil (2003a,b) wykazali, że stopy miedzi zapobiegają długotrwałej obecności *Listeria monocytogenes*. Na podstawie raportu z 1999 opracowanego przez Centrum Kontroli i Zapobiegania Chorób w USA, ten silny patogen jest odpowiedzialny za drugi co do wielkości wskaźnik śmiertelności (20%) i najwyższy wskaźnik hospitalizacji (90%) spośród wszystkich chorób wywołanych przez monitorowane patogeny przenoszone drogą pokarmową.

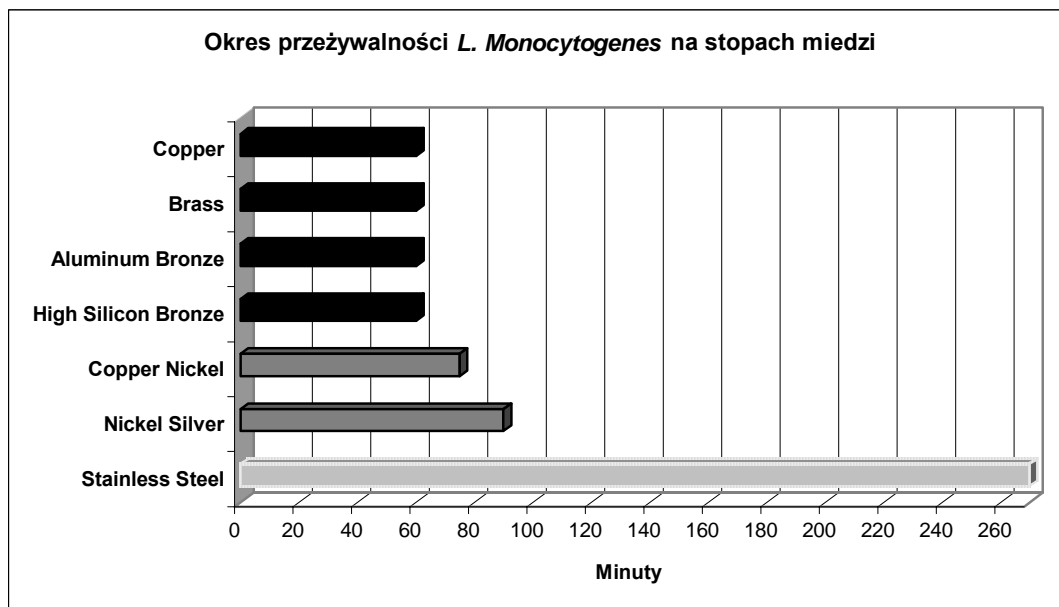
Wilks i Keevil (2003a,b) przebadali 28 stopów metali, włącznie z siedmioma stopami miedzi. *L. monocytogenes* przeżyła, w formie wysuszonej, przez kilka dni na stali nierdzewnej w temperaturze 20°C w warunkach aerobowych (**Rysunek 1**). Wskaźniki inaktywacji były o wiele wyższe na stopach miedzi.

Warto podkreślić, że stopy z zawartością miedzi ponad 90% wykazywały całkowitą inaktywację *L. monocytogenes* po zaledwie 60 minutach działania. "Srebrny" stop miedzi, zwany argentanem albo nowym srebrem (65% Cu, 18% Ni, 17% Zn) inaktywował wszystkie zdolne do życia bakterie po 90 minutach. W tym okresie stal nierdzewna nie wywarła żadnych skutków.

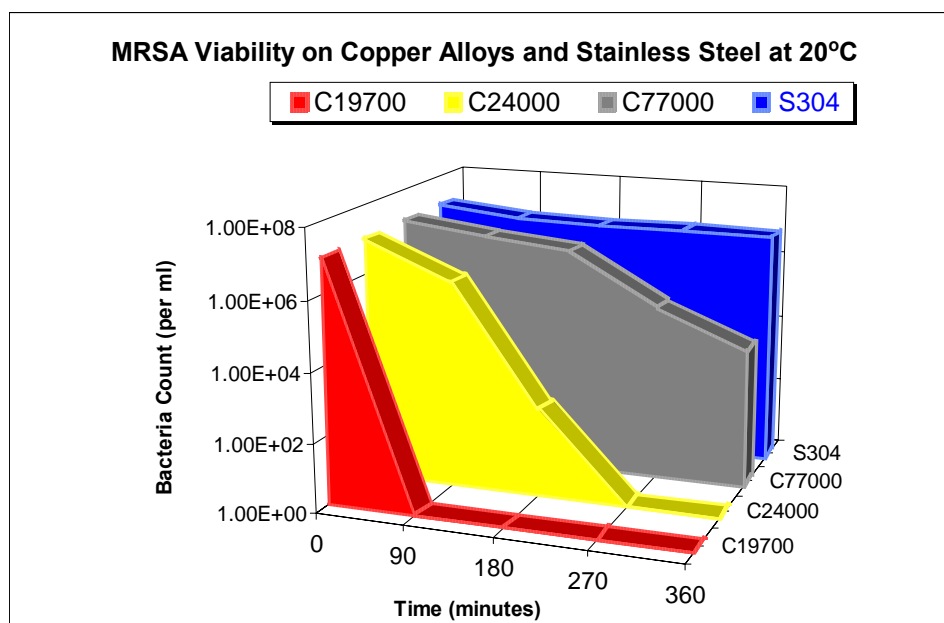
Jak wykazali niedawno Noyce i Keevil (2004) co ma olbrzymie znaczenie przy infekcjach szpitalnych, miedź może hamować rozwój metycyliny-opornego *Staphylococcus aureus* (MRSA). MRSA to organizm zjadliwy, w zasadzie odporny na wszystkie antybiotyki  $\beta$ -laktamowe (np. penicyliny, ampicyliny, cefalosporyny). Jest on określany jako "superbakteria", która może wywoływać infekcje skóry, kości i zagrażające życiu zakażenia krwi, jak również zapalenie płuc. Powszechny wśród osób w szpitalach i jednostkach służby zdrowia, gdzie jest on zwykle przenoszony przez personel medyczny, pacjentów i poprzez kontakt z bardzo zanieczyszczonym sprzętem i w środowisku powierzchni wokół osób zakażonych.

Według amerykańskiego Centrum Kontroli i Zapobiegania Chorób, infekcje szpitalne są na czwartym miejscu na liście najważniejszych przyczyn śmieci w Stanach Zjednoczonych, po ataku serca, raku i wylewach. MRSA znajduje się na drugim miejscu wśród infekcji odpornych na antybiotyki w USA, przy czym najczęściej występuje na oddziałach intensywnej opieki i w innych miejscach gdzie przebywają pacjenci hospitalizowani poza oddziałami intensywnej opieki. Niedawno rozpoznano, że pojawiają się nowe szczepy MRSA, które są odpowiedzialne za ważne wybuchy infekcji w środowisku pozaszpitalnym w USA i Australii.

Badanie porównało wskaźniki przeżywalności bakterii o znacznej śmiertelności na stali nierdzewnej, najczęściej stosowanym metalu w jednostkach służby zdrowia oraz na wybranych stopach miedzi (**Rysunek 2**). W temperaturze pokojowej, MRSA był w stanie przetrwać i zachować zdolność do życia w suchych depozytach



Rysunek 1. Okresy przeżywalności bakterii *Listeria monocytogenes* na różnych stopach miedzi i stali nierdzewnej w temperaturze pokojowej. Miedź, mosiądz, brąz aluminiowy oraz brąz wysokokrzemowy ograniczają przeżywalność do 60 minut, nieco dłuższą przeżywalność wykazują te bakteria ma miedzionikiel i argentan. Okres przeżywalności na stali nierdzewnej może trwać kilka dni.



Rysunek 2. Okresy przeżywalności metycylino-opornego gronkowca złocistego (MRSA) na trzech stopach miedzi i stali nierdzewnej (C304) w temperaturze pokojowej. C19700 (99% miedzi) ograniczona przeżywalność do 1,5 godz. C24000 (80% miedzi) wykazało znaczne ograniczenie przeżywalności po 3 godzinach i całkowity brak zdolności do życia po 4,5 godzinie. C77000 (55% miedzi) wykazało znaczne i trwałe ograniczenie przeżywalności po 4,5 godzinie. Okres przeżycia na stali nierdzewnej wynosił do 72 godzin.

na stali nierdzewnej (C304) przez okres do 72 godzin. Dla stopów miedzi – C77000 (55% miedzi), C24000 (80% miedzi) i C19700 (99% miedzi) – znaczne ograniczenia przeżywalności były widoczne odpowiednio po 4,5, 3 i 1,5 godzinie. Bakterie na żółtym mosiądzu stały się zupełnie niezdolne do przeżycia po 270 minutach, a na stopie z wysoką zawartością miedzi już po 90 minutach. Autorzy doszli do wniosku, że nowoczesne zastosowania stali nierdzewnej w środowisku szpitalnym jako powierzchni do pracy i elementy drzwi prawdopodobnie pogarsza już krytyczną sytuację dotyczącą przenoszenia i infekcji MRSA.

### **Aerozole bakterii na miedzi i stali nierdzewnej**

Po tym jak Robine *i in.* (2002) zauważyli, że powietrze jest jedną z najważniejszych dróg rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń zaproponowali nową metodę ekspozycji powierzchni na bakterie w postaci aerozolu. Warto zauważyć, że mechanizmy osiadania aerozoli bakteryjnych przypominają mechanizmy mające miejsce w środowisku rzeczywistym systemów HVAC.

Bakterią *Enterococcus faecalis*, która znakomicie się rozwija w środowisku wewnątrz pomieszczeń i często jest kojarzona z wybuchami infekcji w szpitalach, zaszczepiono powierzchnię ze stali nierdzewnej AISI 304 (materiał rozpowszechniony w budynkach i stosowany w różnych jednostkach ochrony zdrowia, który w ogóle nie zawiera miedzi), powierzchnię ze stali nierdzewnej zawierającej miedź (AISI 211+3Cu) oraz powierzchnię z czystej miedzi (99,99% Cu). W temperaturze 25°C i przy wilgotności 0% (0% RH), wskaźnik przeżywalności aerozolu bakteryjnego po 96 godzinach wynosił zaledwie 35% na czystej miedzi. W porównaniu ten sam wskaźnik na stali nierdzewnej bez zawartości miedzi był znacząco gorszy i wynosił 75%. Wskaźnik przeżywalności na stali nierdzewnej o niskiej zawartości miedzi wynosił 65%. Tak więc eksperyment ten również potwierdził bakteriobójcze właściwości miedzi. Ponieważ ten eksperyment przeprowadzono w środowisku zupełnego braku wilgotności (wilgoć 0%), co nie zdarza się w środowisku wewnątrz pomieszczeń, zostało wykazane przy bezwzględnie najniższym stopniu skuteczności bakteriobójczej miedzi, jest, która pomimo tego jest znacząco większa niż stali nierdzewnej.

Najlepsze właściwości bakteriobójcze osiągnięto przy wysokiej względnej wilgotności (100% RH), kiedy to po 24 godzinach miedź wykazywała całkowitą skuteczność bakteriobójczą (przeżywalność 0%). Po 25 godzinach na stali nierdzewnej przeżyło jednak w przybliżeniu 40% mikroorganizmów.

Autorzy zasugerowali, że mechanizmy przeciwbakteryjne, które są już znane prawdopodobnie zmieniają się w miarę zmian w wilgotności. Wyciągnęli oni wniosek, że "w warunkach wysokiej względnej wilgotności powierzchnia bakteryjna jest bardziej uwodniona i miedź mogłaby być o wiele łatwiej przenoszona do ściany komórki, co w efekcie ułatwia absorpcję. Wchłonięcie wystarczającej ilości miedzi indukuje nieodwracalne uszkodzenia w układzie enzymatycznym prowadzące do śmierci komórki."

W środowisku suchym, gdzie woda nie odgrywa bezpośredniej roli w transporcie miedzi, powierzchnia bakteryjna jest słabo uwodniona i miedź jest przenoszona do ściany komórki z większą trudnością. Według autorów ta hipoteza wyjaśnia dlaczego około 35% organizmów zdołało przeżyć po 96 godzinach przylegania do suchej miedzi.

## V.

### OBECNE ZASTOSOWANIA MIEDZI HIGIENICZNEJ

#### Zastosowania w rolnictwie

Stosowanie związków miedzi ze względu na jej właściwości grzybobójcze zaczęło być powszechne przez przypadek w XVIII wieku po odkryciu, że ziarna nasączone siarczanem miedzi zahamowały rozwój chorób grzybowych przenoszonych przez ziarna. Wkrótce potem, nasączenie ziaren zbóż w roztworami miedzi stało się popularną praktyką rolniczą służącą do kontrolowania cuchnącej śnieci lub śnieci pszenicznej, co było typowe dla terenów gdzie uprawiano pszenicę. Praktyka zadawania ziaren pszenicy siarczanem miedzi była tak skuteczna, że kiedy zauważono na polu kilka kłosów pszenicy dotkniętych śniecią traktowano to jako dowód niedbałości rolnika. Dzisiaj, ze względu na zastosowania siarczanu miedzi, śnieć atakująca ziarna nie jest już praktycznie problemem.

W okręgu Bordeaux we Francji, XIX wieczny francuski naukowiec Millardet zauważył, że krzaki winorośli posmarowane pastą z siarczanem miedzi i pokryte wapnem, aby sprawić, żeby winogrona wydawały się nieatrakcyjne dla złodziei, wydawały się w mniejszym stopniu dotknięte chorobą pleśniową. Ta obserwacja doprowadziła do powstania leku na pleśń oraz przyspieszyło rozpoczęcie ochronnego przyskiania zbóż. Próby z mieszkankami miedzi stosowanymi do zwalczania różnych chorób wywołanych grzybami wkrótce wykazały, że wielu chorobom roślin można by zapobiec stosując niewielkie ilości miedzi. Od tego czasu, stosowanie środków grzybobójczych z miedzią są niezbędne na całym świecie.

Ze względu na swoje właściwości grzybobójcze i bakteriobójcze, siarczan miedzi był również stosowany w gospodarstwach jako dezynfektant na gnicie zapasów oraz do kontroli i przy zapobieganiu niektórym chorobom zwierząt, takim jak gnicie kopyt u owiec i bydła.

Nowoczesne preparaty zawierające związki miedzi, takie jak Cu-oksyna, oktanian miedzi, tlenek miedzi czy amoniakalny arsenian miedzi są obecnie stosowane do zwalczania grzybów w zbożach, tkaninach, farbach i w lasach. Sagripanti (1992) podaje 32 odniesienia opisujące właściwości grzybobójcze preparaty zawierające związki miedzi.

#### Przeciwobrostowe powierzchnie i farby

Miedź od wielu lat jest z powodzeniem stosowana w biotechnologii. Mikrobiolodzy oraz naukowcy badający kultury bakterii od wielu lat korzystają z miedzianych inkubatorów, aby nie dopuścić do rozwoju mikroorganizmów, szczególnie grzybów oraz aby ograniczyć zanieczyszczenie wrażliwych komórek ludzkich i zwierzęcych hodowanych w nawilżanych inkubatorach laboratoryjnych.

Silne właściwości przeciwobrostowe miedzi pomagają kontrolować niepożądane organizmy w hodowlach ryb. Od lat znane są właściwości przeciwobrostowe miedzi wykorzystywane przy pokrywaniu dna/kadłubów łodzi oraz stosowane w farbach na bazie miedzi w przemyśle stoczniowym. Cooney i Kuhn (1990) twierdzą, że farby przeciwobrostowe na bazie miedzi są w stanie zredukować populację bakterii o 99,9975% w ciągu 24 godzin.



Eksperymenty tych naukowców potwierdziły działanie biobójcze miedzi na prototypowym związku lateksu zawierającym 0,25 funta tlenu miedzi na galon. W ciągu pierwszych 24 godzin kontaktu, ten związek spowodował 6-7-krotne zmniejszenie wszystkich czterech badanych populacji bakterii (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*). Minimalna zaobserwowana skuteczność bakteriobójcza wynosiła 99,9999%.

W kolejnym eksperymencie, miedź elementarna, nieutleniona i tlenek były zastosowane w farbach zaszczerpionych przez  $10^8$  jednostek tworzących kolonie (CFU) bakterii *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* i *S. faecalis*. Każdy z tych związków farb na bazie miedzi wykazywał właściwości bakteriobójcze w ciągu 24 godzinowego kontaktu.

### **Higieniczne zastosowanie miedzi w aparaturze medycznej**

Podczas badań nad higienicznie czułymi materiałami mogącymi mieć zastosowanie do wyrobu sprzętu medycznego, Sagripani (1992) odkrył przeciwbakteryjne kierunki działania dla bronchoskopów. Odkryto, że roztwór chlorku miedzi inaktywuje *Bacillus subtilis* ze skutecznością porównywalną do dezynfektantu i chemicznych substancji powszechnie stosowanych do sterylizacji sprzętu medycznego.

Ale, związki miedzi miały wyraźne zalety. W przeciwieństwie do formaldehydu, powszechnie stosowanego środka do dezynfekcji, o którym wiadomo, że jest mutagenny i rakotwórczy, lub aldehydu glutaralowego, najsilniejszego środka do dezynfekcji stosowanego przy produkcji sprzętu medycznego, który negatywnie wpływa na ponad jedną trzecią personelu, który go używa, roztwory miedzi były uważane za "nieszkodliwe" ponieważ oczekiwany poziom stężeń miedzi pozostających na powierzchni zdezynfekowanego sprzętu medycznego był poniżej poziomu w surowicy ludzkiej (1,1 mg/litr).

Badanie również wykazało, że skuteczność inaktywacji mieszaniny miedzi i nadtlenku w stosunku do *Bacillus subtilis* i *Escherichia coli* była nawet większa niż aldehydu glutaralowego. Szybkość inaktywacji nadtlenku miedzi okazał się 4,5-5 razy większa niż aldehydu glutaralowego, najsilniejszego środka do dezynfekcji, stosowanego przy produkcji sprzętu medycznego.

### **Wyroby użytkowe wykonane z miedzi**

Wyroby użytkowe z przeciwbakteryjnej miedzi są już od lat używane w kuchni. Skrobaczki wykonane z miedzi pomagają zapobiegać przenoszeniu się zanieczyszczeń pomiędzy garnkami i patelniami a miedziane ociekacze w zlewach są bardzo powszechnie używane w wielu regionach, szczególnie w Japonii. Na Bliskim Wschodzie od wieków do wyrobu blaty stołów wykorzystuje się miedź.

Ze względu na swoje właściwości bakteriobójcze miedź jest również stosowana w produkcji środków medycznych i produktów higienicznych, takich jak środki zapobiegające powstawaniu płytki nazębnej w płynach do płukania jamy ustnej i pastach do zębów.

Warto wspomnieć o nowym wysokotechnicznym produkcie z przeciwbakteryjnej miedzi, zapobiegającemu osadzaniu się śluzu w maszynach do robienia lodu. Dzienna warstwa osadu bakterii i glonów w maszynach do robienia lodu może obniżyć jakość higieniczną kostek lodu i jest typowym problemem zgłaszanym przez właścicieli restauracji i hoteli.

W celu zlikwidowania tego problemu higienicznego, Apyron, amerykański producent systemów oczyszczania powietrza i wody, zbudował IceWand™, przeciwbakteryjny produkt instalowany w osadnikach w maszynach do robienia lodu. Spełniający wymagania materiałowe Międzynarodowy Instytut Standardów NSF International ANSI/NSF STD42 i zarejestrowany przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska USEPA jako środek przeciwbakteryjny, IceWand™ uwalnia miedź do wody, z której wytwarza się kostki lodu, która podczas wytwarzania kostek pokrywa wewnętrzne powierzchnie. Miedź uaktywnia się podczas replikacji komórek mikroorganizmów, transportu elektronów i funkcji metabolicznych, przez co hamuje osadzanie się śluzu.

Producent twierdzi, że IceWand™ jest używany “w środowisku, w którym są obecne większe niż normalne ilości drożdży w powietrzu, bakterii, glonów i pleśni. Pizzerie i wszystkie inne miejsca gdzie piecze się chleb lub gdzie podaje się piwo to znakomite przykłady. ”Znane restauracje i sieci hoteli w USA, które stosują IceWand™, takie jak McDonald's i Best Western Hotels, twierdzą, że pleśń i śluz już nie występują w tackach, rynienkach, prasie do kostek, przewodach i rurach.

Poniżej zamieszczamy niektóre tylko z informacji umieszczone na stronie www producenta (więcej informacji dot. IceWand™ - patrz [www.apyron.com](http://www.apyron.com)):

Atlanta Bread Company: “Od momentu zainstalowania Ice Wand, konieczność ręcznego czyszczenia maszyny zupełnie znikła. Oczekujemy, że teraz wystarczy jedno lub dwa czyszczenia na rok, co zaoszczędzi nam dużo czasu i pieniędzy, który traciłmy wcześniej kiedy konieczne były o wiele częstsze czyszczenia ”.

SubWay (komentarz z restauracji sprzedającej kanapki w tej sieci): “Mogę powiedzieć, że teraz nie tylko oferuję swoim klientom wyższą jakość serwisu napojów, ale także nie muszę się męczyć przy czyszczeniu dziewięciu maszyn do robienia lodu. Po zainstalowaniu Ice Wand mam więcej czasu i mogę skupić się na biznesie i klientach. Polecam Ice Wand każdemu, kto chce zaoszczędzić pieniądze, czas i jednocześnie mieć większy spokój przy serwisie napojów”.

Bitter End Restaurant (Atlanta, Ga.): “ICE WAND zapewnia naszym gościom czystszy i bezpieczniejszy serwis napojów, zmniejsza nasze koszty utrzymania i ma kluczowe znaczenie przy osiągnięciu naszych głównych celów dotyczących jakości i satysfakcji klientów”.

McDonald's (komentarz właściciela/operator restauracji dużej sieci): “Ice Wand™ z pewnością zapewnia ogólne warunki sanitarne, eliminuje ewentualne awarie maszyny i zmniejsza koszty operacyjne w mojej restauracji”.

Best Western (komentarz dyrektor generalnego kilku hoteli należących do dużej sieci): “Trzy miesiące później, zadzwonili z Apyron i zapytali jak działa Ice Wand. Mój kierownik utrzymania powiedział mi, że rynienki, miejsca gdzie zbierało się najwięcej śluzu, są “Isniąco czyste” a woda jest “bardzo przejrzysta”. Muszę przyznać, że oboje byliśmy bardzo sceptyczni wobec twierdzeń, że Ice Wand może kontrolować śluz. Jesteśmy pod wrażeniem”.

Warto dodać, że środowiska zimne i wilgotne, typowe dla maszyn robiących lód, nie są zasadniczo odbiegające od powierzchni schłodzonych powierzchni systemów HVAC. Mikroorganizmy rozwijają się zarówno na elementach maszyn do robienia lodu i systemów HVAC. W obu systemach, rozwój mikroorganizmów może być zahamowany stosując odpowiednie technologie, wykorzystujące miedź. Warto zauważyć również, że klienci stosujący IceWand donoszą, że produkt zmniejszył koszty utrzymania związane z działaniem maszyny do robienia lodu. Innowacyjna IceWand technologia stosowana przez firmę Apyron wyraźnie świadczy o skuteczności i oszczędności wynikających z zastosowania przeciwbakteryjnej miedzi w zimnych i wilgotnych środowiskach.

## VI.

### MIKROORGANIZMY W SYSTEMACH HVAC

Po przedstawieniu przeciwbakteryjnej skuteczności związków miedzi, farb i stopów, opiszemy środowisko elementów systemów HVAC.

Wiele mikroorganizmów, szczególnie niektórych gatunków grzybów i bakterii, jest dobrze znanych z tego, że dobrze rozwijają się w ciemnych i wilgotnych środowiskach systemów HVAC. Po rozwinięciu się danej kolonii, organizmy mogą się rozprzestrzeniać po całym budynku, w którym działa system HVAC.

Istnieje niebezpieczeństwo przekroczenia dopuszczalnych poziomów koncentracji patogenów na jaki mogą być narażeni ludzie jeśli systemy HVAC nie są regularnie czyszczone i konserwowane, a nawet jeśli systemy HVAC są czyszczone mogą pojawić się komplikacje: niektórych ekspertów od systemów HVAC niepokoi fakt, że podczas zabiegów czyszczących szkodliwe mikroorganizmy mogą ponownie uwalniać się do środowiska powietrznego.

Pomimo tego, że mikroorganizmy w systemach HVAC są często łagodne, niektóre z nich łączą się z poważnymi dolegliwościami, takimi jak alergie i choroby układu oddechowego. Na przykład u niektórych osób z osłabioną odpornością przebywanie w środowisku silnych mikroorganizmów wydobywających się z systemów HVAC może powodować ciężkie infekcje, prowadzące nawet do śmierci. Skutki rozwijania się życia biologicznego w systemach HVAC oraz wpływ takiego rozwoju na jakość powietrza w pomieszczeniach został dokładnie opisany przez Burgea i Battermana (1995).

Nie należy zapominać o tym, że miedź może również kontrolować ogólne powstawanie biofilmu, powodując zmniejszone rozprzestrzenianie się infekcji oportunistycznych (gatunki *Pseudomonas* i *Aeromonas*, grzyby) oraz ogólnie endotoksyn Gram-ujemnych bakterii w aerozolah uwalnianych przez systemy HVAC, które mogą się przyczyniać do powstawania tzw. Zespołu Chorego Budynku (SBS). Rzeczywiście, niedawne badanie wykazało, że SBS można zmniejszyć o 20% jeśli napromieniowywanie UV jest wbudowane w systemy HVAC, także w tym wypadku wskazując, że miedź może mieć podobnie korzystne właściwości przy kontrolowaniu tego mikrobiologicznie powodowanego syndromu.

Z różnych rodzajów mikroorganizmów, najgroźniejsze są grzyby i bakterie przebywające w środowisku, w jakim działają systemy HVAC. Pewne gatunki grzybów produkują mikotoksyny, które mogą wywoływać podrażnienia, alergie, przykre zapachy i choroby. W środowisku powietrza w pomieszczeniach Morey (1988) odkrył stężenia grzybów o wahaniami wielkości sześciu rzędów (na poziomie 10-10<sup>7</sup> jednostek CFU na metr sześcienny (CFU/m<sup>3</sup>) w 21 budynkach handlowych. Nie bez znaczenia jest fakt, że najwyższy odczyt miał miejsce w odległości zaledwie 3–6 stóp od cewki chłodzącej, co wskazuje, że cewka była źródłem zanieczyszczeń.

Warto przytoczyć następujące dane dotyczące stężeń bakterii w pomieszczeniach:

- Pelikka *i in.* (1986) donosi o stężeniach bakterii na poziomie 80–120 CFU/m<sup>3</sup> (2,3–3,4 CFU/ft<sup>3</sup>) w badaniu przeprowadzonym na 4 domach i na poziomie 5–50 CFU/m<sup>3</sup> (0,14 – 1,4 CFU/ft<sup>3</sup>) w 3 biurach.

- Hugenholtz i Fuerst (1992) badali stężenia bakterii na dobrze utrzymanej cewce chłodzącej w zespole doprowadzającym powietrze i odkryli stężenia gatunków *Blastobacter* na poziomie  $10^5$ – $10^7$  CFU/m<sup>3</sup> ( $10^4$ – $10^6$  CFU/ft<sup>3</sup>) na radiatorach wymiennika ciepła. W dalszej części instalacji, stężenia bakterii w powietrzu wynosiły 160–1600 CFU/m<sup>3</sup> (4,5–45 CFU/ft<sup>3</sup>).

Ze względu na niepokój wywołany niebezpieczeństwem rozwoju mikroorganizmów w systemach HVAC oraz potencjalnym niebezpieczeństwem infekcji bakteryjnych w środowisku powietrza w pomieszczeniach, przeprowadzono różne badania w celu uzyskania lepszej zrozumienia aktywności biologicznej w środowisku, w jakim działają systemy HVAC:

- Hugenholtz i Fuerst (1992) przebadali duży system wentylacyjny w budynku handlowym i odkryli duże stężenia bakterii na wszystkich cewkach chłodzących w tym systemie. Znalaziono grzyby na względnie suchych powierzchniach, takich jak niekondensujące cewki podgrzewające oraz innych powierzchniach systemu HVAC. Według tych badaczy, warunki umożliwiające rozwój biologiczny istnieją na wymiennikach ciepła we wszystkich trybach pracy, jednak najlepszymi pod tym względem powierzchniami są cewki chłodzące.
- Eksperymenty Muyschondta *i in.* (1998) wykazały, że zwykła cewka chłodząca zbiera znaczne ilości aerozolu. Badacze zasugerowali, że ciemne i wilgotne powierzchnie wokół cewek parownika stanowią idealne warunki na rozwój materiału biologicznego.
- Morey (1988) zasugerował, że wilgoć i środki pokarmowe w komercyjnych systemach HVAC stanowią idealne warunki dla rozwoju grzybów.

Materiały biologicznie czynne są przenoszone jako bioaerozole w środowisku powietrza w pomieszczeniach. Na tej podstawie Siegel i Walker (2001) zbadali osad aerozolu biologicznego na radiatorze i węzownicy wymiennika ciepła stosowanego powszechnie w systemach HVAC. Okazało się, że cewki chłodzące oraz wymienniki ciepła są głównymi miejscami gromadzenia się osadu z aerozoli biologicznych dla szerokiego spektrum grzybów i bakterii. Badacze doszli do wniosku, że radiatory aluminiowe na miedzianym przewodzie w wymiennikach ciepła w systemach HVAC są źródłem dużych populacji mikroorganizmów, które mogą wywoływać problemy w jakości powietrza w pomieszczeniach. Jest to prawdopodobnie spowodowane przeżywalnością mikroorganizmów na aluminiowych radiatorach, a nie na miedzianym przewodzie, jak zauważono w badaniu kłamki do drzwi opisanym wcześniej (Kuhn, 1983).

Zanieczyszczenia biologiczne na cewkach mogą powstawać nawet jeśli populacje mikroorganizmów w powietrzu w pomieszczeniach są względnie małe. Jest tak ze względu na olbrzymie ilości powietrza przesuwanego się po cewkach, co doprowadza do powstania po jakimś czasie osadu populacji mikroorganizmów (można przyjąć, że system chłodzenia powietrza w budynku mieszkalnym w ciągu godziny poddaje recyrkulacji powietrze znajdujące się w danym pomieszczeniu mniej więcej pięć razy).

Siegel i Walker ostrzegli, że większość cewek chłodzących jest niedostępnych podczas rutynowych zabiegów czyszczących, oraz że podczas czyszczenia i konserwowania potencjalnie alergizujące i szkodliwe mikroorganizmy mogą być ponownie uwalniane do środowiska powietrza w pomieszczeniach. Preferowanym rozwiązaniem zalecanym w celu wyeliminowania tego problemu jest stosowanie elementów miedzianych lub pokrywanie czy też platerowanie elementów systemów HVAC przeciwbakteryjnym związkami miedzi. To rozwiązanie jest szerzej opisane w następnym rozdziale.

## VII.

### UZASADNIENIE ZASTOSOWANIA MIEDZI HIGIENICZNEJ W SYSTEMACH HVAC

We wcześniejszych częściach niniejszej publikacji przedstawiono poniższe kluczowe właściwości miedzi:

- Miedź, jak również jej związki, wykazuje działanie przeciwbakteryjne, dzięki czemu niszczy ona i hamuje rozwój niektórych glonów, pleśni, bakterii, wirusów i grzybów.
- Miedź metaliczna i powierzchnie ze stopów miedzi są silnymi środkami biobójczymi, dzięki czemu inaktywują bakterie w przeciągu kilku godzin, szczególnie w wilgotnym środowisku.
- Stal węglowa, stal nierdzewna oraz powierzchnie aluminiowe *nie* wykazują żadnych właściwości przeciwbakteryjnych. W rzeczywistości, bakterie znakomicie się rozwijają i mogą pozostawać na tych materiałach przez długie miesiące.
- Miedź i jej związki są z powodzeniem i w szerokim zakresie stosowane jako środki grzybobójcze i bakteriobójcze w przemyśle i przez osoby prywatne, w postaci środków opryskowych w rolnictwie, farb w przemyśle okrętowym, do higieny jamy ustnej, w medycynie oraz jako środki do dezynfekcji.

Ponadto, wykazano, że:

- Mikroorganizmy, szczególnie grzyby i bakterie, często znakomicie się rozwijają w ciemności na wilgotnych elementach systemów HVAC.
- Aluminiowe radiatory na węzownicy miedziovej w wymiennikach ciepła w systemach HVAC są źródłem dużych populacji bakterii, które obniżają jakość powietrza w pomieszczeniach, przypuszczalnie ze względu na ich rozwój na powierzchniach aluminiowych.
- Narażenie ludzi na działanie populacji bakterii występujących w powietrzu w pomieszczeniach może stanowić źródło niebezpieczeństwa dla zdrowia i wywoływać np. alergie czy choroby układu oddechowego. U osób z osłabioną odpornością na bakterie patogenne obecne w powietrzu w pomieszczeniach obecność populacji bakterii może prowadzić do śmierci.
- Regularne przeglądy i czyszczenia są konieczne, aby usuwać mikroorganizmy i osady z systemów HVAC.
- Jeśli operacje czyszczenia systemów HVAC nie są przeprowadzane z największą ostrożnością, mogą one prowadzić do ponownego uwolnienia do powietrza w pomieszczeniach szkodliwych patogenów.

Mając na uwadze powyższe fakty, nie ma dalszej potrzeby badać potencjalnych korzyści płynących z zastosowania miedzi jako przeciwbakteryjnego i higienicznego materiału w systemach HVAC. Widać wyraźnie, że kontrola bakterii przy użyciu materiałów przeciwbakteryjnych na powierzchniach wszystkich

elementów systemów HVAC poprawiłaby jakość powietrza w pomieszczeniach i przyniosłaby cenne korzyści społeczne.

### **Możliwości zastosowania miedzi w higienicznych systemach HVAC**

Świadomość społeczna przedostawania się bakterii do powietrza w pomieszczeniach jest coraz wyższa. Zaniepokojeni rozwojem bakterii w domach i biurach klienci zaczęli interesować się nabywaniem produktów, które niszczą niebezpieczne bakterie rozwijające się w budynkach.

Ostatnio można zaobserwować zainteresowanie na rynku nowymi systemami HVAC pokrytymi przeciwbakteryjną powłoką miedziową. W wilgotnym środowisku takie powierzchnie przypuszczalnie hamują rozwój bakterii w szerokim zakresie temperatur. Producenci takich systemów pokrywają taką powłoką powierzchnie komór powietrza, przewodów powietrza oraz dyfuzorów w systemach HVAC.

Rozwiązanie takie otworzyło rynek dla produktów z miedzi przeciwbakteryjnej lub elementów pokrytych miedzią w systemach HVAC. Znane są silne właściwości przeciwbakteryjne zarówno miedzi jak i srebra, ale cena miedzi stanowi zaledwie 1/10 ceny srebra. Gdyby zamiast pokryć ze srebra stosowano pokrycia z miedzi, oszczędności klientów byłyby znaczne.

Gdyby używano elementów z czystej miedzi zamiast z miedzi przeciwbakteryjnej lub materiałów pokrytych srebrem, koszty w długiej perspektywie i korzyści eksploatacyjne byłyby jeszcze większe. Dzięki zastosowaniu elementów z czystej miedzi, nie byłoby potrzeby dodatkowej pracy i różnych innych wydatków na nakładanie, konserwację czy też wymianę materiału pokrywającego po upływie okresu jego użyteczności. Elementy z czystej miedzi zachowują właściwości przeciwbakteryjne przez cały okres eksploatacji systemu HVAC jeśli są prawidłowo czyszczone zgodnie z harmonogramem regularnych konserwacji. Czyszczenie zapewnia, że powierzchnia z miedzi jest zawsze skierowana w stronę bakterii przedostających się do systemu HVAC.

W poprzednich rozdziałach przedstawiono obszernie badania wykazujące skuteczność przeciwbakteryjną miedzi. Badania przedstawione poniżej dotyczą szczególnie elementów systemów HVAC i stanowią dodatkowe informacje dotyczące przeciwbakteryjnych właściwości miedzi.

### **Filtry z miedzi przeciwbakteryjnej w systemach HVAC**

Przegląd literatury i techniki dotyczącej bakteriostatycznych i odkażających właściwości miedzi oraz powierzchni ze stopów miedzi dokonany przez Dick *i in.* (1973) przewiduje, że urządzenia do filtracji powietrza stanowią przypuszczalnie główny rynek dla miedzi. W tej pracy napisanej 30 lat temu autorzy napisali, że "stosowanie porowatych membran z miedzi wzmocniło pozycję miedzi jako materiału filtrującego". Pomimo tego, że filtry, o których pisano 30 lat temu były drutowe i posiadały o wiele mniejszą powierzchnię (filtrującą) niż dzisiaj stosowane nowoczesne warstwowe piankowe filtry miedziane HEPA, autorzy oczekiwali, że "bakteriostatyczna filtracja powietrza dla miedzi w wilgotnym środowisku jest możliwa". W swojej publikacji cytują pewnego dyrektora z firmy produkującej wyroby z siatki z drutu na zamówienie, którego powiedział, że: "Istnieje wielkie zapotrzebowanie na miedź stosowaną w zbiornikach na wodę w nawilżaczach domowych oraz w filtrach (wilgotnościowych) w małych klimatyzatorach".

Badanie przeprowadzone na potwierdzenie powyższego przeprowadzone przez Dick *i in.* (1975), zaprezentowane na Międzynarodowym Sympozjum na temat Kontroli Zanieczyszczeń, wykazało, że filtry

miedziane o małej powierzchni z drucianej siatki stosowane w tamtym czasie “wykazywały właściwości bakteriobójcze zmniejszające 30-krotnie ilość żywych bakterii przy niskiej wilgotności i 200-krotnie przy wysokiej wilgotności w porównaniu z filtrami wykonanymi z wkładem z materiałów obojętnych (nikiel)”.

Dopiero na początku 21 wieku Suyama *i in.* (2003) zwrócił uwagę na konieczność skutecznej klimatyzacji i wentylacji powietrza zmniejszającej występowanie zanieczyszczeń bakteryjnych przenoszonych przez powietrze z krwi i śliny w klinikach dentystycznych, gdzie ryzyko infekcji jest wysokie w porównaniu z innymi ośrodkami medycznymi. Zespół zbadał zastosowanie eksperymentalnego aparatu wyposażonego w nowoczesne warstwowe filtry piankowe HEPA o dużej powierzchni wykonane z miedzi, stali nierdzewnej 316L i tlenek cyrkonu. Filtry umieszczono po stronie ssawnej i wylotowej klimatyzatora oraz na oczyszczalniku powietrza. Podczas każdego z eksperymentów w komorze rozpylono szczepy  $\alpha$ - $\gamma$  hemolityczne *streptococcus*. Żyjące w jamie ustnej. Zarazki przenoszone drogą powietrzną przechodząc przez filtry piankowe były gromadzone i oceniane. Filtr piankowy z miedzi wykazywał silne właściwości przeciwbakteryjne, zmniejszając ilość bakterii o 95,5%. Filtry ze stali nierdzewnej miały o ponad połowę niższą skuteczność niż miedź, zmniejszając ilość bakterii o 41,9%. Filtr piankowy z tlenkiem cyrkonu, uważanym za materiał biologicznie obojętny, zmniejszył liczbę bakterii o 32,4%.

W badaniach klinicznych zespołu Suyama filtry piankowe z miedzi zmniejszyły liczbę kolonii bakterii o 89,2%. Po 30 minutach użycia nie wykryto żadnych bakterii w powietrzu. Z tego powodu badacze zalecają stosowanie w nowoczesnych warstwowych filtrach HEPA miedzi jako skutecznego materiału do walki z zanieczyszczeniami powietrza w pomieszczeniach.

Różne materiały o właściwościach przeciwbakteryjnych stosuje się do zwalczania wybuchów infekcji wewnątrzkrwotocznych *Escherichia coli* w Japonii, co natchnęło Sakaguchi i Sakaguchi (2000) do zbadania skutków działania bakterii w materiałach nietkanych oraz ręcznikach po wypraniu. Można przypuszczać, że te produkty posiadają podobne właściwości do materiałów wykorzystywanych w filtrach. Z ponad 15 zbadanych materiałów, tkaniny utrwalone związkami miedzi i srebra okazały się najbardziej bakteriobójcze. Spadek ilości jednostek powstawania kolonii (CFU) *E. coli* O157:H7 na materiałach tkanych utrwalonych związkami miedzi był bardzo wyraźny – ponad 5-krotny spadek po zaledwie 20 minutach. Co ciekawe, uzyskanie takiego samego efektu bakteriobójczego zajęło srebru 3 godziny, czyli 9-krotnie dłużej niż miedzi. Po 18 godzinach wielkości populacji bakterii na materiale utrwalonym związkami miedzi wynosiły  $10^1$ – $10^2$  CFU, podczas gdy ilość populacji na próbkach kontrolnych wahała się w granicach  $10^5$ – $10^8$  CFU. Miedź zatem wykazała wyjątkową skuteczność bakteriobójczą w stosunku do *E. coli* O157:H7 w tych materiałach i ręcznikach.

### **Radiatory i węzownice z miedzi przeciwbakteryjnej w systemach HVAC**

Wiele badań, jak również duże doświadczenie na rynku komercyjnych systemów HVAC, wskazuje, że żadne inne materiały nie dorównują pod względem skuteczności termicznej, wytrzymałości, skuteczności ani kosztów eksploatacji wymiennikom ciepła z miedzianym radiatorem i węzownicą. Same tylko te czynniki wyraźnie przemawiają na korzyść stosowania miedzianych radiatorów i węzownic w systemach HVAC.

Dodatkowe atuty miedzi takie jak jej właściwości higieniczne sprawiają, że stosowanie węzownic i radiatorów z miedzi staje się w pełni uzasadnione. Ciepłe i wilgotne środowisko wymienników ciepła z radiatorem i węzownicą sprzyja rozwojowi bakterii. Wymienniki ciepła wykonane z miedzi są w stanie kontrolować populację bakterii.

Jak udowodniono, miedź wykazuje silne właściwości przeciwbakteryjne w temperaturach wyższych niż temperatury operacyjne i wilgotność środowiska radiatorów i węzownicy w systemy HVAC. Z drugiej strony bakterie na aluminium mogą przetrwać miesiące w tych temperaturach.

W Rozdziale V przywołano różne badania porównujące higieniczne właściwości miedzi metalicznej i aluminium. Można tutaj przypomnieć, że:

- Według Kuhna (1983) szczepy *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus group D* i *Pseudomonas* rozwijają się w dużych ilościach na aluminium w temperaturze pokojowej w ciągu 8 dni, a większość bakterii pozostaje na aluminium przez 3 tygodnie. Miedź zaczyna dezynfekować powierzchnię w ciągu 15 minut.
- Miedź wykazuje najsilniejsze właściwości higieniczne spośród wszystkich 28 metali w badaniu *L. monocytogenes* i metycylino-opornych szczepów *Staphylococcus aureus* (MRSA) w warunkach aerobowych w temperaturze 20°C przeprowadzonym przez Wilksa i Keevila (2003a,b) oraz Noyce i Keevila (2004). Pomimo braku w którymkolwiek z tych badań aluminium, nie znaleziono żadnych informacji w literaturze wskazujących na to, że aluminium wykazuje właściwości przeciwbakteryjne.

Chociaż można by zaprojektować więcej badań porównujących bezpośrednio przeciwbakteryjne właściwości aluminium i miedzi w węzownicy i na radiatorach w systemach HVAC, nie ma podstaw, aby twierdzić, w oparciu o istniejące dane, że aluminium posiada jakiegokolwiek właściwości biobójcze. Z drugiej strony, istniejące dane dotyczące powierzchni z miedzi w temperaturze pokojowej i chłodnej wskazują, że miedziana węzownica i radiatory są skuteczne w zwalczaniu mikroorganizmów. Zatem użycie miedzi do budowy tych elementów jest świadomą decyzją podejmowaną w celu poprawienia jakości powietrza w pomieszczeniach.

Warto zauważyć, że producenci bonet chłodniczych dla supermarketów i sklepów z warzywami wiedzą o przeciwbakteryjnych właściwościach miedzi. Aby zahamować powstawanie zanieczyszczeń na produktach żywnościowych oraz aby zmniejszyć emisję nieprzyjemnych dla kupujących zapachów generowanych przez bakterie, producenci tych dużych zestawów mroźniczych często stosują miedziane radiatory i węzownicę.

Dane dotyczące higienicznego zastosowania miedzi przedstawione w niniejszej publikacji, jak również korzyści eksploatacyjne miedzi w porównaniu z innymi materiałami, powinny przekonać kupujących, decydentów oraz producentów systemów HVAC do stosowania miedzianej węzownicy i radiatorów i tym samym poprawić jakość powietrza w pomieszczeniach.

### **Miedź przeciwbakteryjna w dzielonych systemach klimatyzacyjnych**

W klimatyzatorze z systemem dzielonym (*Split System*), skraplacz i parownik wymiennika ciepła są oddzielone ścianką izolacyjną. W systemach dzielnych jedynie z funkcją chłodzenia, wewnętrzny wymiennik ciepła jest zawsze parownikiem. W systemach z pompą grzewczą, role każdego wymiennika ciepła są odwrócone. W obu systemach wewnętrzny wymiennik ciepła posiada wentylator, który powoduje cyrkulację powietrza w pomieszczeniu przez filtr i wymiennik ciepła z powrotem do pomieszczenia. Podczas pracy w trybie chłodzenia, wewnętrzny wymiennik ciepła (parownik) zbiera wilgoć z powietrza i jest zwrócony w stronę powietrza poddanego recyrkulacji w pomieszczeniu. Rozwój bakterii może nastąpić w tym wilgotnym



i chłodnym środowisku podczas działania takiego systemu oraz po jego wyłączeniu i pozostawieniu w temperaturze otoczenia.

Wężownica parownika jest prawie zawsze wykonana z miedzi, chociaż radiatory są często wykonane z aluminium ze względu na niższe koszty w porównaniu z miedzią. Miedziane radiatory są, jednak, o wiele skuteczniejsze podczas pracy, o czym dobrze wiadomo w środowisku branżowym. Przewaga miedzianych radiatorów jeszcze bardziej rośnie dzięki zademonstrowanym przeciwbakteryjnym właściwościom miedzi w środowisku powietrza, zarówno w chłodnej jak i pokojowej temperaturze. Aluminium, jak opisano w poprzednich rozdziałach, nie wykazuje żadnych właściwości przeciwbakteryjnych.

Korzyści płynące z zastosowania piankowych filtrów powietrza z miedzi były przedstawione w niniejszym rozdziale i nie trzeba ich powtarzać. Trzeba, jednak, podkreślić, że połączone użycie miedzianych wężownic, miedzianych radiatorów i miedzianych piankowych filtrów powietrza w urządzeniach z dzielonym systemem parownika może zmniejszyć potencjalne niebezpieczeństwo oddziaływania szkodliwych mikroorganizmów, i w efekcie poprawić jakość powietrza w pomieszczeniach. Kiedy bakterie dostają się do parownika, takie połączenie miedzianej wężownicy, radiatorów i filtrów stanowi potrójną ochronę, po osadzeniu się i inaktywacji bakterii. Ponieważ radiator i filtry mają największą powierzchnię kontaktu, a klimatyzowane i recykulowane powietrze musi przejść przez nie, elementy te stanowią najważniejsze miejsca możliwego przechwyty i inaktywacji mikroorganizmów.

Podobnie, miseczki ściekowe i przewody parownika w klimatyzatorach z systemem dzielonym, jeśli są one wykonane z miedzi, mogą przyczynić się do zminimalizowania rozprzestrzeniania się mikroorganizmów w środowisku zewnętrznym.

Projektanci, producenci i kupujący klimatyzatory z systemem dzielonym powinni być świadomi tego, że długofalowe korzyści płynące z zastosowania miedzianej wężownicy, miedzianych radiatorów i miedzianych filtrów są znaczące zarówno w zakresie zwiększonej oszczędności energii elektrycznej, wytrzymałości, trwałości jak i jakości powietrza w pomieszczeniach.

### **Miedź przeciwbakteryjna w przewodach systemów HVAC**

Przewody w systemach HVAC są zwykle zbudowane z niehigienicznej galwanizowanej stali stopowej. Bakterie mogą rozwijać się i rozprzestrzeniać w przewodach ze stali galwanizowanej, w końcu zasiedlając przewody powietrzne w budynkach, szczególnie jeśli systemy HVAC nie są regularnie utrzymywane. W rezultacie ilość patogennych bakterii może osiągnąć poziom niebezpieczny dla zdrowia, doprowadzając do infekcji oskrzelowych, chorób a nawet śmierci.

Miedź oferuje różne rozwiązania umożliwiające zahamowanie rozwoju bakterii w przewodach systemów HVAC. Przewody mogą być spryskiwane miedzią w postaci aerozoli, malowane farbami z domieszką miedzi, pokrywane nanocząsteczkami substancji żywicznych bądź też ich powierzchnia ze stali galwanizowanej może być pokrywana miedzią w procesie platerowania.

Przemysł motoryzacyjny próbuje zapobiegać brzydkim zapachom wydobywającym się z przewodów klimatyzacji w samochodach, których źródłem są przypuszczalnie bakterie. Ponadto, opublikowano badanie na temat potencjalnych możliwości różnych substancji chemicznych zarówno hamowania przyczepiania się jak i ułatwiania odrywania się komórek Gram-ujemnych bakterii, *Serratia marcescens*, od aluminiowych

części przewodów klimatyzacji samochodowej (Drago i in., 2002). Z tych względów, nadszedł najwyższy czas na zastąpienie aluminiowych części przewodów klimatyzacji samochodowej **przeciwbakteryjną miedzią**.

Poniżej przedstawiamy podsumowanie możliwych rozwiązań dla przeciwbakteryjnej miedzi w przewodach systemów HVAC:

#### Rozwiązanie #1 – miedź w aerozolu

Możliwość wywoływania chorób przez bakterie znajdujące się w przewodach jest wyraźnie dostrzegalna przez dyrektorów szpitali odpowiedzialnych za zdrowie pacjentów z osłabioną odpornością. Opal i in. (1986) wskazuje na wybuchy zakażenia grzybicznego spowodowane rozprzestrzenieniem się aspergilozy, która zakażyła i zabiła wielu pacjentów poprzez unoszące się zarodniki *Aspergillus* podczas remontu szpitala. Zarodniki roznoszą się przez prądy powietrza i następnie skupiają się w przewodach wentylacyjnych.

Aby zwalczyć straszną epidemię, która wybuchła w dużym ośrodku medycznym podczas remontów ściany, przewody wentylacyjne, komory powietrza oraz urządzenia wentylacyjne w oddziałach opieki specjalnej odkażono Cu-oksyną. Środek ten został łatwo zastosowany w formie aerozolu, który w ciągu 24 godzin wysechł do postaci nietoksycznego (dla ludzi) proszku.

Cu-oksyna okazała się być bardzo skutecznym środkiem zapobiegającym epidemii. Przed spryskaniem, średnia liczba zarodników *Aspergillus* na terenie oddziału opieki specjalnej wynosił 4,9 zarodnika/m<sup>3</sup>. Po spryskaniu, ta średnia została zmniejszona do 0,1 zarodnika/m<sup>3</sup>.

W połączeniu z innymi środkami zapobiegawczymi (bariery fizyczne, wentylacja podciśnieniowa w pomieszczeniach roboczych, nowoczesne filtry warstwowe HEPA w pomieszczeniach z pacjentami najbardziej narażonymi na niebezpieczeństwo), autorzy uznali, że Cu-oksyna w najwyższym stopniu przyczyniła się do przerwania wybuchu infekcji i zmniejszenia rozmiaru śmiertelności, pomimo kontynuowania prac remontowych w ośrodku.

Nie wiadomo, czy Cu-oksyna jest na dłuższą metę rozwiązaniem skutecznie odkażającym przewody systemów HVAC. Jego przeciwrzybiczne właściwości były, jednak, ciągle widoczne 14 miesięcy po spryskaniu.

#### Rozwiązanie #2 – galwanizacja powierzchni stalowych

W IV rozdziale przywołano różne badania wykazujące, że miedź i powierzchnie pokryte stopami miedzi są o wiele bardziej higieniczne niż stal nierdzewna. Można przypomnieć, że:

- Właściwości bakteriobójcze mosiądzu (stop miedzi i cynku) rosną w miarę zwiększania proporcji miedzi w tym stopie.
- Szczepy *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* group D i *Pseudomonas* rozwijały się w dużych ilościach na stali nierdzewnej w temperaturze pokojowej w ciągu 8 dni, a większość bakterii pozostawała na stopie przez okres 3 tygodni. Miedź, natomiast, zaczęła dezynfekcję w ciągu 15 minut (Kuhn, 1983).

*E. coli* O157 potrafi przetrwać na stali nierdzewnej przez okres do 60 dni w chłodnej temperaturze i do 34 dni w temperaturze pokojowej, podczas gdy miedź inaktywuje *E. coli* O157 w 14 godzin w chłodnej temperaturze i w ciągu 4 godzin w temperaturze pokojowej. (Keevil i Maule, 2000).

- Miedź okazała się być najbardziej higieniczna ze wszystkich 28 metali przebadanych przy zwalczaniu *L. monocytogenes* oraz metycyliny-opornych szczepów *Staphylococcus aureus* (MRSA) w warunkach aerobowych w temperaturze 20°C (Wilks i Keevil, 2003a,b; Noyce i Keevil, 2004).
- Aerozole bakterii w środowisku wysokiej wilgotności w temperaturze 25°C wykazywały łączną odporność na właściwości bakteriobójcze miedzi przez 24 godziny, podczas gdy 40% bakterii przeżywało dłużej na stali nierdzewnej (Robine i in., 2002).

Wszystkie powyższe badania dotyczyły stali nierdzewnej, nie stali galwanizowanej stosowanej w przewodach systemów HVAC. Na podstawie 21 niezależnych badań porównawczych skuteczności przeciwbakteryjnej cynku i miedzi Dick, i in. (1973) wykazał, że cynk jest o wiele mniej skuteczny i nie wykazywał żadnych znaczących właściwości higienicznych. Podobnie Keevil i inni badacze wskazali, że powierzchnie pokryte miedzią wykazują większe właściwości inhibicyjne w stosunku do biofilmów i bakterii *legionellae* występujących w wodzie pitnej w porównaniu z powierzchniami pokrytymi cynkiem (Walker i in., 1993; Walker i Keevil, 1993). Warto jednak przeprowadzić eksperymenty dotyczące właściwości przeciwbakteryjnych porównujące miedź i jej stopy do stali galwanizowanej w typowym środowisku systemów HVAC.

W oparciu o dane z eksperymentów, można wyciągnąć wniosek, że gdyby przewody systemów HVAC były pokrywane cienką warstwą metalicznej miedzi, niepożądane bakterie będące w kontakcie z powierzchniami pokrytymi miedzią byłyby szybko inaktywowane, szczególnie w środowisku wilgotnym.

#### Rozwiązanie #3 – farby z domieszką miedzi

Farby zawierające domieszki miedzi są od dziesięcioleci z powodzeniem używane do zwalczania mikroorganizmów. Wykazano, że niektóre farby przeciwbrostowe zawierające domieszki związków miedzi, opisane w Rozdziale V, zupełnie eliminują populacje bakterii w ciągu 24 godzin (Cooney i Kuhn, 1990). Warto zbadać skuteczność higieniczną różnych farb zawierających domieszki związków miedzi na stali galwanizowanej w przewodach systemów HVAC. Takie badania prawdopodobnie można przeprowadzić ponosząc niewielkie koszty.

#### Rozwiązanie #4 – nowoczesne związki żywiczne

Niedawne postępy technologiczne przyniosły jeszcze inne rozwiązania zapewniające długotrwałą skuteczność przeciwbakteryjną powierzchni przewodów systemów HVAC. W roku 2003, firma *Nanophase Technology Corporation* ogłosiła odkrycie nanokrystalicznego przeciwbakteryjnego i przeciwwgrzybicznego związku tlenku miedzi, który może być stosowany jako dodatek polimerowy lub do pokrywania powierzchni. Według producenta środek ten pozostaje aktywny tak długo, jak powierzchnia pozostaje niezniszczona i powinien się sprawdzać zarówno na gładkich powierzchniach (epoksydy i uretany), żywicach epoksydowych jak również jako materiał pokrywający. (2003 ustny komunikat *Nanophase Technology*).

Japońska firma *Ishizuka Glass Company* ogłosiła odkrycie nowego przeciwbakteryjnego szkła, który włącza w swoją strukturę miedź i srebro. W obecności wody lub wilgoci, rozpuszczalne szkło Ionpure® powinno

stopniowo uwolnić higieniczne jony metalu, zamieniając w ten sposób szkło w skuteczny środek przeciwbakteryjny. To szkło może być włączane do różnego rodzaju żywic.

Warto zbadać skuteczność tych nowych technologii wykorzystujących żywicę w zwalczaniu bakterii w przewodach systemów HVAC. Choć te technologie wyglądają bardzo obiecująco, przed rekomendacją użycia tych materiałów należy ocenić takie czynniki jak skuteczność przeciwbakteryjna, okres zachowania właściwości przeciwbakteryjnych, sposób stosowania oraz czyszczenia, jak również ich koszt.

\* \* \*

**Podsumowując:** zaprezentowano silne argumenty na korzyść właściwości higienicznych miedzianej węzownicy, miedzianych radiatorów, miedzianych filtrów piankowych oraz miedzianych pokryć przewodów systemów HVAC, w oparciu o naturalne właściwości tego metalu, które można wykorzystać do zwalczania niebezpiecznych mikroorganizmów w środowisku powietrza w pomieszczeniach. Na poparcie tej tezy przedstawiono szereg badań naukowych różnych badaczy dotyczących przeciwbakteryjnych właściwości miedzi i jej stopów w chłodnych i pokojowych temperaturach.

Należy kontynuować badania nad właściwościami przeciwbakteryjnymi elementów urządzeń wykonanych z miedzi w systemach HVAC, tym bardziej, że dotychczas były one niedoceniane przez projektantów tych systemów oraz kupujących. Byłoby to świadomym krokiem na drodze zwiększenia bezpieczeństwa biologicznego, stającego się w dzisiejszych czasach sprawą priorytetową, poprawiając jednocześnie warunki zdrowotne w środowisku powietrza w pomieszczeniach.

## VIII.

### ZAŁĄCZNIK

#### **Miedź: nie tylko jej właściwości przeciwbakteryjne, ale również miedź jako pierwiastek niezbędny dla ludzi, zwierząt i roślin**

Poza tym, co zaprezentowano w niniejszym opracowaniu, które podkreśla korzyści zdrowotne i komercyjne zastosowania miedzi do zwalczania lub inaktywacji niepożądanych populacji bakterii, należy podkreślić, że miedź jest także mikroelementem odżywczym, który jest *niezbędny* dla wszystkich roślin, zwierząt i ludzi.

Ten rozdział podaje w skrócie podstawowe informacje dotyczące znaczenia miedzi dla zdrowia. W załączeniu znajdują się aktualnie toczące się dyskusje dotyczące niezbędnych ilości miedzi w pokarmie, zalecanych dziennych dawek miedzi przyjmowanej w pokarmie, niedoboru miedzi jak również źródeł pożywienia, które mogą zapobiec niedoborowi miedzi.

#### **Miedź niezbędna w pokarmie**

Liczne badania przeprowadzane na całym świecie przekonują środowiska medyczne o tym, że miedź jest konieczna dla wzrostu i rozwoju kości, tkanki łącznej, mózgu serca i wielu innych organów. Miedź bierze udział w powstawaniu czerwonych krwinek, absorpcji i wykorzystywaniu żelaza, syntezie i uwalnianiu podtrzymujących procesy życiowe białek i enzymów. Te enzymy produkują energię komórkową, regulują przewodnictwo nerwów, krzepnięcie krwi oraz transport tlenu.

U ssaków miedź jest podstawowym kofaktorem blisko tuzina metaloenzymów, w których miedź jest związana z konkretnymi aktywnymi resztami aminokwasowymi (Prohaska i Gabina, 2004). Wolne jony miedzi łatwo reagują jednak z nadtlenkiem wodoru, uwalniając szkodliwy rodnik hydroksylowy. Homeostaza miedzi jest zatem ściśle regulowana, a stężenie niezwiązanej (wolnej) miedzi jest bardzo niskie. Miedź dostarczana przez błonę komórkową przy pomocy białka transportującego Ctr1 szybko wiąże się z wewnątrzkomórkowymi białkami opiekuńczymi miedzi. Atox1 dostarcza miedź do ścieżki wydzielniczej i przyłącza się do ATPazy ATP7B transportującej miedź w wątrobie albo do ATP7A w innych komórkach. ATP7B kieruje miedź do ceruloplazminy osoczowej lub do dróg żółciowych razem z nowo odkrytym białkiem opiekuńczym Murr1, białkiem którego brakuje u psów zatrutych miedzią. ATP7A kieruje miedź wewnątrz aparatu Golgiego do białek beta-monooksygenazy dopaminy, alfa-amido monooksygenazy peptydyloglicyny, oksydazy lizylowej oraz tyrozynazy, w zależności od typu komórki. CCS to białko opiekuńcze miedzi dla dysmutazy nadtlenu Cu/Zn, który chroni komórki przed grupami zawierającymi aktywny tlen, uwalnia miedź w cytoplazmie i przestrzeni międzymitochondrialnej. Cox17 dostarcza miedź do mitochondriów, do cytochromu C oksydazy poprzez białka opiekuńcze Cox11, Sco1 i Sco2. Mogą istnieć inne białka opiekuńcze miedzi zawierające metalothionein i prekursorowe białko amyloidu (APP). Badania genetyczne i dotyczące odżywiania potwierdzają zasadnicze znaczenie tych białek wiążących miedź.

Wiadomo powszechnie, że miedź ma wpływ na pobudzenie systemu odpornościowego, odbudowywanie uszkodzonych tkanek oraz pomaganie przy gojeniu się ran. Od niedawna miedzi przypisuje się rolę w neutralizowaniu "wolnych rodników", które mogą powodować poważne uszkodzenia komórek.

Miedź jest niezbędna dla normalnego wzrostu i rozwoju ludzkich płodu, niemowląt i dzieci. Taka była konkluzja przeglądu ogromnej liczby publikacji na temat badań przeprowadzonych w *Rowett Research Institute* w Szkocji i udostępnionych w monografii *International Copper Association* (McArdle i Ralph, 2001). Według autorów, ludzki płód gromadzi miedź od swojej matki w trzecim tryestrze ciąży, najprawdopodobniej w celu zapewnienia dostatecznych jej ilości potrzebnych do przeprowadzania funkcji metabolicznych po urodzeniu. Po urodzeniu zdrowe niemowlę ma cztery razy większą ilość miedzi niż osoba dorosła. Miedź jest gromadzona w wątrobie i używana do zaspokojenia potrzeb metabolicznych niemowlęcia. Niedawne badania wykazały, że nawet bardzo młody człowiek ma specjalne mechanizmy biochemiczne prawidłowego zagospodarowania miedzi w ciele, które się rozwijają i dojrzewają w trakcie życia.

### **Metaboliczny niedobór miedzi**

Niewielu ludzi zdaje sobie sprawę ze swoich nieprawidłowości zdrowia, które są powiązane z niedoborem miedzi w pożywieniu. Uważa się jednak, że przynajmniej 20% populacji na całym świecie cierpi na tą przypadłość. Objawy obejmują takie schorzenia jak: osteoporoza, zapalenie kości i stawów, reumatoidalne zapalenie stawów, choroby układu krążenia, rak jelita grubego oraz przewlekłe choroby kości, tkanki łącznej, serca i naczyń krwionośnych. Nawet niewielki niedobór miedzi, na jaki cierpi o wiele większy odsetek populacji, może mieć wpływ na powolne pogarszanie się stanu zdrowia. Objawy niewielkiego niedoboru miedzi obejmują obniżoną odporność na infekcje, problemy związane z prokreacją, ogólne zmęczenie czy też osłabione funkcje mózgu.

Poważny niedobór miedzi u kobiet w ciąży może zwiększyć ryzyko dla zdrowia płodu i niemowlęcia. Te problemy dotyczą niskiej wagi urodzeniowej, słabych mięśni oraz problemów neurologicznych.

U niemowląt i dzieci, niedobór miedzi może powodować anemie, nieprawidłowy rozwój kości, utrudniony wzrost, spowolniony przyrost wagi, częste infekcje (przeziębienia, grypa, zapalenia płuc), niska koordynacja ruchowa i niski poziom energii. Aby zapobiec niedoborom miedzi u niemowląt, kobiety w ciąży i karmiące powinny, pod nadzorem lekarza, zwiększyć ilość miedzi w spożywanym pokarmie.

### **Wymagane dawki miedzi w pokarmie**

Ze względu na to, że miedź jest metalem podstawowym, jej dzienne zapotrzebowanie jest zalecane przez różne krajowe i międzynarodowe agencje zdrowia. Na przykład Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zaleca minimalną dawkę około 1,3 mg/dzień. Zalecana dawka dla zdrowego dorosłego mężczyzny i kobiety w Ameryce Północnej wynosi 0,9 mg/dzień. Odpowiednie dawki miedzi wynoszą 0,3 mg/dzień dla dzieci w wieku 1-3 lat, 0,4 mg/dzień dla dzieci w wieku 4-8 lat, 0,7 mg/dzień dla dzieci w wieku 9-13 lat oraz 0,9 mg/dzień dla dzieci w wieku 14-18 lat. Te ilości są uważane za odpowiednie i bezpieczne dla ogólnej populacji.

### **Pokarmy zawierające miedź**

Miedź jest podstawowym minerałem śladowym, którego nie można wytworzyć w ludzkim organizmie. Musi być on pobrany wraz z pożywieniem. Najlepszym źródłem miedzi w pożywieniu są owoce morza (szczególnie mięczaki), podroby (takie jak wątróbka), pełne ziarna, orzechy, rodzynki, rośliny strączkowe (fasola i soczewica) oraz czekolada. Miedź znajduje się również w takich pokarmach jak zboża, ziemniaki, groszek, czerwone mięso, grzyby, niektóre ciemnozielone warzywa liściaste (np. jarmuż) oraz niektóre

owoce (np. orzechy kokosowe, papaja czy jabłka). Herbata, ryż oraz kurczaki zawierają względnie niewielkie ilości miedzi, ale dostarczają sporych ilości miedzi ponieważ są spożywane w dużych ilościach. Zbilansowana dieta, obejmująca szeroką gamę produktów spożywczych z różnych grup jest najlepszym sposobem na uniknięcie niedoboru miedzi.

Wobec faktu, że miedź jest niezbędna dla ludzkiego życia zaskakujące jest to, że miedź jest jednocześnie takim skutecznym środkiem przeciwbakteryjnym, ale jak przedstawiono w niniejszym opracowaniu, silne właściwości przeciwbakteryjne miedzi stosowanej w systemach HVAC, co może stanowić dodatkową ochronę higieniczną potrzebną do poprawienia jakości powietrza w pomieszczeniach.