

BIAŁA KSIĘGA

Bakteria *Legionella* w instalacjach wody pitnej

Korzyści ze stosowania rur z miedzi



Publikacja: Cooper Benelux

Wydanie uzupełnione i poprawione przez K. Delbeke, N. Hay

Spis treści

Rozdział 1. Co to jest *Legionella*?

1.1. Tworzenie się biofilmu

1.2. *Legionella pneumophila*

Historia

Właściwości

Wzrost

Odżywianie się bakterii

Infekcja

Środowisko

Rozdział 2: Jak zapobiegać *Legionelli* w instalacjach wodnych

2.1. Zagadnienia, na które szczególnie należy zwracać uwagę

Temperatura

Unikanie "gorących punktów"

Mieszanie wody blisko punktu poboru

Zapobieganie stagnacji

2.2. Środki zapobiegawcze i konserwacja

Okresowa dezynfekcja termiczna

Dezynfekcja ultrafioletem, filtrowanie

Środki elektrochemiczne

Jonizacja Cu-Ag

Utlenianie anodowe

Dwutlenek chloru ClO₂

Metody chemicznej dezynfekcji szokowej

Rozdział 3: Badania naukowe materiałów stosowanych w instalacjach

3.1. Oddziaływanie miedzi na biomasę mikroorganizmów w miedzianych rurach instalacji wodnej

3.2. Wpływ materiału rur na tworzenie się biofilmu i rozwój bakterii *Legionella* w instalacji doświadczalnej (Badania wody KWR, Holandia)

3.3. Wpływ temperatury wody na rozwój bakterii *Legionella* w instalacji doświadczalnej zawierającej rury z różnych materiałów

3.4. Ryzyko zakażenia bakterią *Legionella* z ciepłej wody użytkowej

3.5. Ekstrahowanie jonów miedzi do wody pitnej

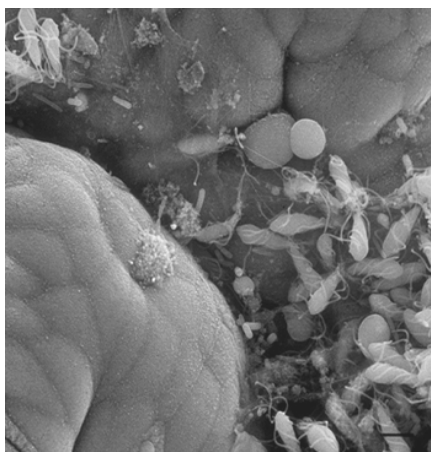
Rozdział 4: Wnioski

Rozdział 5: Zasady wyboru

Rozdział 6: Bibliografia

Rozdział 1. Co to jest *Legionella*?

1.1. Tworzenie się biofilmu



Mikroorganizmy żyjące w wodzie mogą kolonizować wewnętrzne powierzchnie rur instalacji wodnej. Kolonizacja ta jest tym łatwiejsza im bardziej szorstka jest wewnętrzna powierzchnia rur (zwykle z powodu korozji lub złożeń kamienia).

Niektóre materiały stosowane w instalacjach rurowych mogą powodować ekstrakcję z cieczy substancji (np. organicznych), które służą jako pożywka dla tego rodzaju mikroorganizmów, stymulując w ten sposób rozwój biofilmu. Wyekstrahowane substancje mogą zawierać substancje organiczne, takie jak różne rodzaje gumy i materiałów syntetycznych, włókna roślinne (np. konopie) i tłuszcze.

Rys.: biofilm

Również skorupy osadów powstałych na skutek korozji lub rdza (np. w stalowych rurach ocynkowanych), stanowią idealne miejsca dla tworzenia się biofilmu.

Substancje obecne w wodzie pitnej, takie jak węgiel organiczny, tlen i minerały, jak również odczyn pH (stężenie jonów wodorowych), temperatura i rodzaj materiału rur, wpływają na wielkość i szybkość wzrostu biofilmu i rodzaje obecnych w nim bakterii.



Jednokomórkowce i drobne organizmy (ameby, wiciowce itp.) znajdują w biofilmie pożywkę i ochronę.

W pełni rozwinięty biofilm pokrywa całą wewnętrzną powierzchnię rur instalacji wodnej.

Rys.: biofilm na żeliwie

Wśród organizmów żyjących w biofilmie mogą znajdować się gatunki szkodliwe dla ludzi.

Tego rodzaju mikroorganizmy chorobotwórcze mogą być uwalniane z biofilmu i powodować skażenie wody czerpanej z kranów i natrysków. Stanowią one potencjalną przyczynę zakażeń bakteryjnych.

Występują tu, m.in. *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila* i in.

Tworzenie się biofilmu w nowych instalacjach można znacznie ograniczyć poprzez prawidłowe zaprojektowanie instalacji, właściwy dobór temperatury zimnej i ciepłej wody, wystarczający przepływ, unikanie odgałęzień nieprzelotowych (zaślepionych) i właściwy dobór materiałów.

W starszych instalacjach zanieczyszczenie może być już tak daleko posunięte, że konieczne jest energiczne czyszczenie fizyczne (wysokociśnieniowe czyszczenie wodą z zawartością tlenu, piaskowanie) lub chemiczne (krótka dezynfekcja z użyciem silnie działających środków chemicznych). Zwykle wymagana jest potem okresowa dezynfekcja termiczna.

Aby przekonać się jak wygląda biofilm wystarczy przeciąć wzdłuż kawałek starego ogrodowego węża i dotknąć wewnątrz warstwy śluzowatego szlamu: to właśnie jest dobrze rozwinięty biofilm, który pod mikroskopem ujawnia ogromną różnorodność bakterii.

1.2. *Legionella pneumophila*

Historia:

- W dniach od 21 do 23 czerwca 1976 odbywał się zjazd amerykańskich weteranów wojennych - 58. kongres Legionu Amerykańskiego, zorganizowany w hotelu Stratford-Bellevue, w Filadelfii. Obecnych było 4400 uczestników. Od 1954 r. hotel był wyposażony w klimatyzację.
- Kilku legionistów (jak nazywano żołnierzy-weteranów) nie było obecnych na balu kończącym zjazd wieczorem w piątek 23 czerwca. Zostali w hotelu, ponieważ poczuli się źle, z przypominającymi grypę objawami i napadami kaszlu.
- W sumie 182 gości zostało dotkniętych poważną infekcją płucną. Już we wtorek 27 czerwca nastąpił zgon byłego wojskowego Sił Powietrznych USA. Był on pierwszą z 34 ofiar choroby, która w owym czasie była określana jako epidemia w Filadelfii.
- W sierpniu 1976 oficjalnie uznano, że jest to epidemia o nieznanym pochodzeniu.
- Dopiero po miesiącach badań kierujący zespołem mikrobiolog Joseph McDade z Center for Disease Control ogłosił 17 stycznia 1977, że wyizolował nową bakterię, którą nazwał "*Legionella pneumophila*". "*Legionella*" – pochodzi od legionistów, amerykańskich weteranów wojennych, "*Pneumophila*" odnosi się do groźnej infekcji płucnej, którą może wywoływać.
- Chociaż od początku podejrzewano, że źródłem infekcji jest system klimatyzacji hotelu, nigdy nie zostało to wyraźnie dowiedzione.
- W 1982 r. mikrobiolog z Centrum Medycznego Weteranów w Pittsburgu, Janet E. Stout, odkryła, że bakteria ta jest również spotykana w instalacjach wodnych większości budynków.



Właściwości:

- Bakteria *Legionella pneumophila* jest Gram-ujemną pałeczką, porusza się za pomocą rzęsek. (Bakterie Gram-ujemne barwią się na czerwono w barwieniu metodą Grama; bakterie Gram-dodatnie mają inną strukturę ściany komórkowej). Wymiary bakterii wynoszą w przybliżeniu 2-20 μm x 0,5-0,7 μm .
- *Legionella* należy do bakterii tlenowych (zależnych od tlenu).



Obecnie opisanych jest około 50 różnych typów *Legionella*, z których 12 może być łączonych z chorobami u ludzi, są to:

<i>Legionella pneumophila</i> , <i>Legionella micdadei</i> , <i>Legionella feeleii</i> , <i>Legionella gormanii</i> , <i>Legionella bozemanii</i> , <i>Legionella dumoffii</i>	<i>Legionella longbeachae</i> , <i>Legionella cincinnatiensis</i> , <i>Legionella wadsworthii</i> , <i>Legionella anisa</i> , <i>Legionella macaechemii</i> , <i>Legionella hackeliae</i> .
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

***Legionella pneumophila* serotyp 1 jest uważana za największe zagrożenie dla zdrowia spośród 15 znanych serotypów tej bakterii.**

Wzrost:

W niskich temperaturach (poniżej 20°C) bakteria znajduje się w stanie hibernacji. Silny rozwój następuje pomiędzy 25°C a 48°C, z optimum wzrostowym przy temperaturze 37°C (temperatura ciała ludzkiego, idealna temperatura prysznicu).

Wyższe temperatury niszczą tę bakterię: w 50°C: 90% ginie w czasie 2 godz.

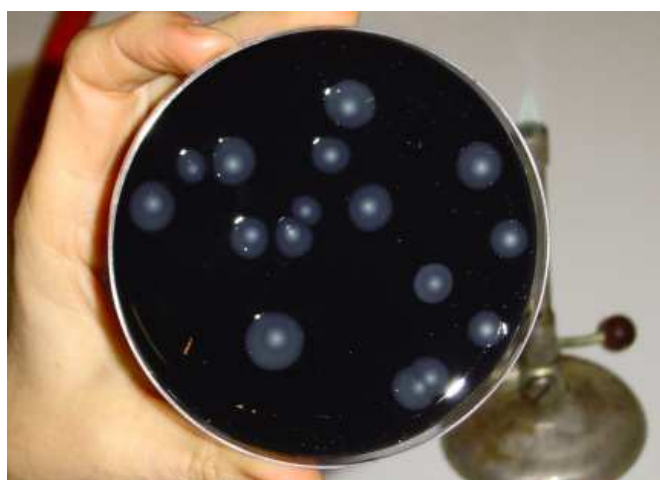
w 60°C: 90% ginie w czasie 2 min.

w 80°C: 90% ginie w czasie 1 min.

Optymalna dla rozwoju bakterii wartość pH zawiera się między 6,8 a 7 (tyle najczęściej wynosi pH wody pitnej).

Hodowla *Legionella* w warunkach laboratoryjnych nie jest prosta i powinna być prowadzona na podłożach wzbogaconych cysteiną (aminokwas występujący w przyrodzie) i żelazem; w celu uzyskania selektywności pożywka musi być również uzupełniona mieszanką antybiotyków.

Szybkość wzrostu: w warunkach laboratoryjnych (optymalnych) liczba bakterii podwaja się w czasie krótszym niż 4 godziny.



Rys.: Kultura na szalce Petriego

Odżywianie się bakterii:

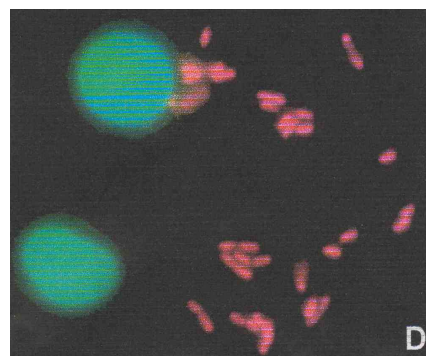
Obecność pierwotniaków (ameb) w instalacji pobudza rozwój bakterii *Legionella*: bakteria przenika błonę komórkową jednokomórkowego organizmu, namnaża się wewnątrz komórki w dużych ilościach i powodując pęknięcie błony, wydostaje się do otoczenia.

Do ameb, które funkcjonują jako gospodarze zaliczają się: *Hartmannella vermiformis*, *Naegleria*, *Acanthamoeba*, *Platyamoeba*. Wiadomo też, że ameby, które są gospodarzami chronią tę bakterię.

Dlatego konieczne jest zniszczenie gospodarza, do czego potrzebne są środki dezynfekcji silniejsze niż wymagane dla samej bakterii.



Rys.: *Legionella* zamknięta w *Hartmannella vermiformis*



Rys.: Pęknięta komórka i uwolnione bakterie *Legionella* w wodzie

Inne czynniki, które mogą sprzyjać rozwojowi bakterii w instalacji:

- Temperatura pomiędzy 25°C a 55°C.
- Korozja instalacji, osadzanie się kamienia.



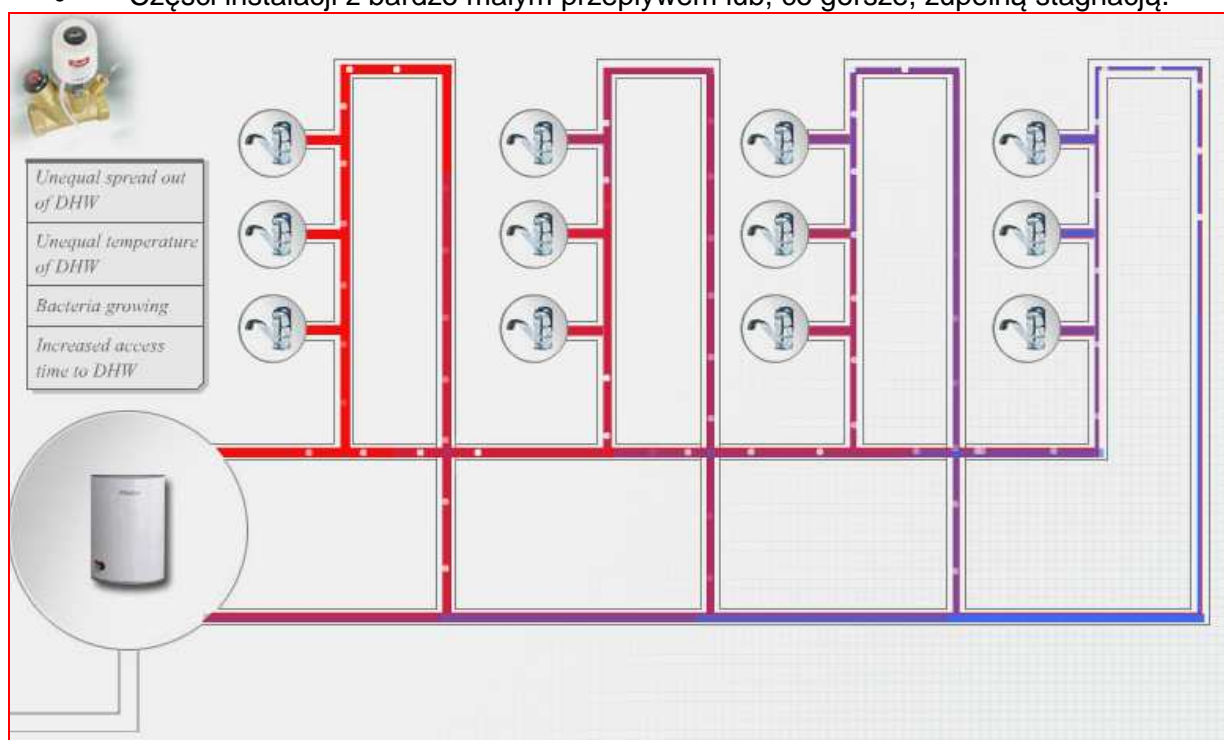
Rys.: Osad biofilmu w zasobniku ciepłej wody

- Nieczynne lub rzadko używane odgałęzienia, o bardzo małym przepływie wody.



Rys.: Nieużywana kabina natryskowa

- Części instalacji z bardzo małym przepływem lub, co gorsze, zupełną stagnacją.



Rys.:

Legenda:

Nierównomierny rozpływ c.u.w.

Nierównomierna temperatura c.u.w.

Rozwój bakterii

Zwiększony czas dostępu do c.u.w.

- Długie okresy nieobecności, np. urlop, które sprzyjają stagnacji.
- Ekstrahowanie z wody pitnej substancji, które stanowią pożywkę dla gospodarzy (ameby) i dla bakterii *Legionella*.
- Stosowanie elastycznych uszczelek gumowych lub silikonowych do montażu baterii lub prysznic - wewnętrzne powierzchnie takich uszczelek bardzo ułatwiają rozwój biofilmu. Stosowanie tego rodzaju elastycznych uszczelnień jest obecnie powszechnym zjawiskiem, dawniej stosowano sztywne połączenia rur miedzianych.



Rys.: Bakterie na gumie

- Źródłem bakterii może być nieprawidłowo działający system uzdatniania wody (np. wskutek niewłaściwej konserwacji zmiękczaczy wody), a także dodatkowe filtry w kuchni, które po pewnym czasie zostają zanieczyszczone i przynoszą więcej szkody niż pożytku.

Infekcja:

Do infekcji płucnej dochodzi w skutek inhalacji bakterii *Legionella* obecnych w aerozolach (bardzo małych kropelkach wody $< 5\mu\text{m}$, występujących np. w natrysku). Zakażenie bakterią następuje głęboko w pęcherzykach płucnych. Picie skażonej wody zazwyczaj nie powoduje infekcji, gdyż bakterie natychmiast giną w kwasie żołądkowym.



Rys.: aerozole

Legionella pneumophila jest pasożytem wewnątrzkomórkowym, który może rozwijać się makrofagach (krwinkach białych) pęcherzyków płucnych i w ten sposób może przenosić się do innych części ciała.

Zakażenie bakterią *Legionella pneumophila* wywołuje 2 odmienne schorzenia:

Gorączkę Pontiac - choroba z objawami gorączkowymi, o krótkim czasie inkubacji (1 do 2 dni) i czasie trwania kilku dni. Pacjent zwykle powraca do zdrowia w tym czasie.

Legionellozowe zapalenie płuc (określane również jako legionelloza lub choroba legionistów) – zapalenie płuc, które nie zdiagnozowane w porę, może być śmiertelne. Okres inkubacji wynosi około 3 do 10 dni.

Szczególnie narażone są osoby z osłabionym układem odpornościowym, takie jak: ludzie starsi, palacze tytoniu, chorzy na białaczkę, pacjenci po przeszczepach, operacjach serca, pacjenci z chorobą nowotworową, cukrzycy.

A także, co dziwne, mężczyźni zapadają na tę infekcję 3 do 5 razy częściej niż kobiety; powody tego nie są, jak dotąd, wyjaśnione.

Jednakże zdrowi ludzie również mogą zarazić się chorobą legionistów należy, zatem zawsze przestrzegać stosownych środków ostrożności.

Obecność (liczbę) bakterii *Legionella* można oznaczać różnymi metodami. Jedną z powszechnie stosowanych technik jest hodowanie bakterii *Legionella* w środowisku bogatym w substancje odżywcze, w którym bakteria może tworzyć kolonie. Liczbę bakterii *Legionella* podaje się w jtk/l (jednostkach tworzących kolonie / litr).



Rys.: Zliczanie jtk pod mikroskopem

Granica wykrywalności wynosi 50 jtk/l, w instalacjach silnie skażonych spotyka się do 1 miliona jtk/l.

Najniższy poziom skażenia, przy którym może dojść do infekcji nie jest wyraźnie określony (wpływa na to podatność na zakażenia osoby narażonej). Oczywiście im większa liczba jtk, tym większa możliwość infekcji, chociaż notowano już wiele zakażeń w środowiskach, gdzie poziom skażenia był w pobliżu granicy wykrywalności.

Zagadnienie, które wciąż pozostaje do zbadania: prawdopodobnie znacznie osłabiona osoba może zostać zainfekowana przy stężeniu 5 jtk/l, a ktoś młody i zdrowy może bez ujemnych skutków wziąć prysznic silnie skażoną wodą, np. 800 000 jtk/l.

Środowisko:

Bakterie *Legionella* występują powszechnie w naturalnych środowiskach wodnych i wilgotnych, jak: rzeki, jeziora, potoki, ścieki, muł, nawet w wilgotnym kompoście doniczkowym (*Legionella longbeachae*).

Legionella nie występuje w wodzie morskiej.

Bakteria nie może przeżyć w środowisku suchym.

W optymalnych warunkach (substancje odżywcze, pH, temperatura) *Legionella* mnoży się w tempie wykładniczym.

Instalacje, w których mogą znajdować się bakterie *Legionella* to: wieże chłodnicze, systemy klimatyzacji, instalacja wodna (zarówno wody pitnej jak c.u.w.), ogrzewacze ciepłej wody, prysznice, pokojowe nawilżacze powietrza, publiczne fontanny.

Do infekcji może dochodzić wszędzie tam, gdzie mogą być rozpylane i wdychane aerozole, np.:

- Szpitale, domy opieki dla starszych osób
- Hale sportowe
- Baseny, sauny
- Hotele
- Wieże chłodnicze
- Koszary
- Myjnie samochodowe
- Kempingi, przyczepy kempingowe, domy przenośne, łodzie
- Domy, spryskiwacze do roślin, kompost, węże ogrodowe.



przyczepy kempingowe;



łodzie;



wieże chłodnicze



tworzenie się aerozoli;



kompost;



prysznic

Rozdział 2: Jak zapobiegać *Legionelli* w instalacjach wodnych

Chociaż nie można zagwarantować, że instalacja jest całkowicie higieniczna i wolna od zarazków to istnieje wiele środków, które mogą zminimalizować ryzyko infekcji:

2.1. Zagadnienia, na które szczególnie należy zwracać uwagę:

Temperatura: Ciepła woda musi być gorąca: należy utrzymać temperaturę minimum 60°C w całej instalacji. Straty ciepła poprzez źle izolowane rury powodują, że ogrzewacz musi być zwykle nastawiony na wyższą temperaturę (np. 65°C), aby temperatura wody powrotnej wynosiła co najmniej 60°C. Zimna woda musi pozostać faktycznie zimna - absolutne maksimum to 25°C, należy dążyć do tego, aby nie przekraczać 20°C (p. niżej).

Unikanie "gorących punktów" - miejsc gdzie zimna woda jest podgrzewana przez czynniki zewnętrzne, np.:

- ciągi rurowe zimnej wody poprowadzone przez system ogrzewania podłogowego
- rury zimnej wody ułożone zbyt blisko rur c.u.w. lub krzyżujące się z nimi
- rury zimnej wody przebiegające przez przestrzeń nad sufitem podwieszonym (znane są przypadki kiedy wskutek złej izolacji poddasza temperatura zimnej wody w stanie stagnacji osiągała 32°C.)
- szyby instalacyjne, w których rury centralnego ogrzewania stale podgrzewają rury zimnej wody (jedynym skutecznym rozwiązaniem jest ich rozdzielenie)
- rury zimnej montowane na ścianie lub tuż pod warstwą tynku, nagrzewane przez promieniowanie słoneczne.

Lata doświadczeń pokazują, że zwykle utrzymanie zimnej wody w stanie zimnym jest bardziej skomplikowane niż zapewnienie, aby ciepła woda była gorąca.

Mieszanie wody blisko punktu poboru:

Należy doprowadzać oddzielnie zimną i ciepłą wodę do punktu poboru i instalować baterię termostatyczną. W niektórych krajach przepisy ograniczają długość rury doprowadzającej wodę po zmieszaniu (np. o temp. 37°C do natrysku) do maksimum 5 m.

Zapobieganie stagnacji:

- prawidłowe zaprojektowanie instalacji w celu zapewnienia wystarczającego przepływu wody
- płukanie rur po długiej nieobecności (np. w czasie urlopu, pomieszczenia szpitalne, szkoły lub hotele, które przez dłuższy czas pozostają nieużywane)
- odłączyć od zasilania nieczynne (lub zaślepione) odgałęzienia instalacji wodnej
- często używane punkty poboru instalować na końcu instalacji powodując w ten sposób regularne przepłukiwanie całej instalacji.

Ogólnie: instalacja powinna być możliwie jak najbardziej prosta.

W starszych budynkach podstawowym wymogiem jest prześledzenie instalacji rurowej. Można to wykonać dokładnie tylko, gdy instalacja jest zinwentaryzowana i naniesiona na plan, a ewentualne "gorące punkty", niewystarczająco przepłukiwane części rurociągów lub inne niesprawności są wtedy bezpośrednio widoczne. (Analiza ryzyka).

2.2. Środki zapobiegawcze i konserwacja

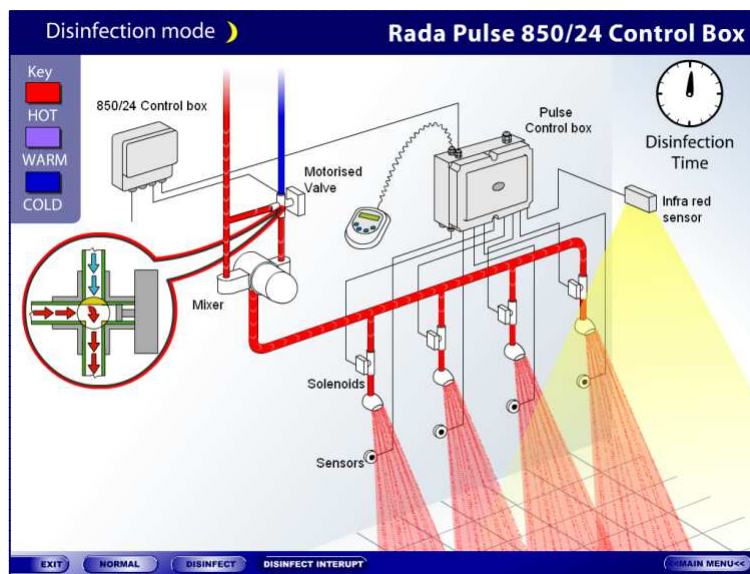
W przypadku wystąpienia skażenia należy podjąć następujące środki:

Okresowa dezynfekcja termiczna

Jest zalecana w Europie przez większość przepisów; nie wpływa na jakość wody

Instalacja jest podgrzewana do temperatury 65-70°C (ogrzewacz i pompa muszą posiadać wydajność wystarczającą do tego celu).

Następnie cała instalacja jest płukana przez 10 do 15 minut, kolejno w każdym punkcie poboru. Im temperatura wody jest wyższa tym czas płukania jest krótszy; czas ten jest różny w różnych krajach. Proces płukania jest czasem przerywany, aby dać czas na nagrzanie się zasobnika.



Rys.: Automatyka dezynfekcja termiczna (źródło: RADA)

- Tryb dezynfekcji
- Czas dezynfekcji
- Panel sterowania
- Zawór z napędem (elektrycznym)
- Mieszacz
- Czujniki podczerwieni
- Elektrozawory
- Czujniki

Następnie instalacja c.u.w. winna być utrzymywana w temperaturze minimum 60°C.

W obiektach publicznych (baseny kąpielowe, hotele, szpitale, koszary, szkoły) zalecana jest regularna dezynfekcja termiczna, np. co tydzień lub raz na dwa tygodnie.

Istnieją systemy, które automatycznie wykonują dezynfekcję termiczną (większa pewność, mniejsze ryzyko pożaru, niezależność od czynnika ludzkiego).

Dezynfekcja jest oczywiście prowadzona w czasie, kiedy budynek jest nieczynny.

Dezynfekcja ultrafioletem, filtrowanie (ciągłe)

Promieniowanie ultrafioletowe niszczy natychmiast DNA bakterii.

W ten sposób może być uzdatniana tylko woda przepływająca przez sterylizator UV, zatem metoda ta może być traktowana tylko jako dodatkowy środek; dezynfekcja termiczna jest nadal konieczna.

Dezynfekcja ultrafioletem jest często stosowana jako ochrona na wejściu instalacji, bezpośrednio za wodomierzem. Woda wprowadzana na wejściu instalacji jest, zatem dezynfekowana, ale czystość reszty instalacji nadal może być problematyczna.



Rys.: Lampa UV

Filtr w główce prysznicowej

Woda może być również oczyszczana za pomocą mikrofiltracji na wejściu (za wodomierzem). Metoda ta może być także stosowana w punktach poboru wody (np. główka prysznicowa z filtrem). Jest to tylko środek tymczasowy, np. w przypadku nagłego silnego skażenia, kiedy budynek nie może być ewakuowany. Filtry takie muszą być regularnie wymieniane, ponieważ szybko ulegają zatkanium.

Środki elektrochemiczne

Jonizacja Cu-Ag (ciągła)

Antybakteryjne działanie jonów miedzi srebra jest znane od dawna. Jony Cu i Ag są wytwarzane za pomocą elektrod wprowadzonych do rury.

Koncentracja jonów, jaką należy utrzymać wynosi:

Cu: 200 do 400 $\mu\text{g/l}$

Ag: 20 do 40 $\mu\text{g/l}$



Rys.: Jonizacja Cu-Ag

Istotne jest, aby ochrona obejmowała wszystkie punkty poboru (dla rzadko używanych punktów poboru wymagane jest niekiedy płukanie), aby instalacja była ściśle monitorowana (pomiary) oraz, aby elektrody były regularnie kontrolowane i czyszczone.

Jonizacja może być skutecznym środkiem pod warunkiem właściwego monitorowania.

Utlenianie anodowe (ciągłe)

Za pomocą elektrolizy kwasu podchlorawego (HOCl) dodawanego do wody.

Skuteczne stężenie wolnego chloru wynosi 0,1 do 0,3 mg/l.

Metoda ta również wymaga ścisłego monitorowania, ale jest bardzo skuteczna.

System jest dość drogi, może czasami zwiększać korozję instalacji.

Dwutlenek chloru ClO_2 (dezynfekcja ciągła)

Polega na dodawaniu dwutlenku chloru w ilości do 0,5 mg/l.

Dwie pompy dozujące podają kontrolowane ilości dwóch produktów, z których w wyniku reakcji powstaje gazowy dwutlenek chloru dodawany do wody.

Skuteczny system ciągłej dezynfekcji, przy założeniu właściwego dozowania i monitorowania instalacji.



Metody chemicznej dezynfekcji szokowej

Dezynfekcja szokowa polega na podawaniu przez 1-2 godz. do całej instalacji chloru w stężeniu od 30 do 50 mg/l, w postaci podchlorynu sodu NaOCl, podchlorynu wapnia $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ lub chloru Cl_2 .

Po tym okresie czasu instalacja jest dokładnie płukana.

Należy przy tym mieć na uwadze, że chlor jest bardzo niebezpieczny i może powodować korozję instalacji. Po dezynfekcji woda z instalacji powinna być zbierana i poddana oczyszczaniu jako ścieki chemiczne (nie może być odprowadzana bezpośrednio do kanalizacji).

Taki sposób dezynfekcji może być stosowany tylko w wyjątkowych przypadkach z zachowaniem należytej ostrożności.

W wielu krajach zalecana jest dezynfekcja termiczna.

Przeprowadzenia dezynfekcji chemicznej wymaga zwykle uzyskania zgody i jest nadzorowane przez odpowiednie organa.

Rozdział 3: Badania naukowe materiałów stosowanych w instalacjach

Od czasu wykrycia bakterii *Legionella* w 1976 r. i wystąpienia setek zakażeń instalacji tą bakterią oraz wielu ofiar infekcji, pojawiają się sugestie, że materiały stosowane do budowy instalacji mogą mieć wpływ na rozwój biofilmu i bakterii.

RIVM, Bosman: w Holandii zanotowano około 12 000 przypadków (u pacjentów zarejestrowanych w szpitalach), z czego ok. 10% było związanych z zakażeniem bakterią *Legionella*; liczba ta jest prawdopodobnie 5- do 20-krotnie niedoszacowana. Nie ma powodów, aby sądzić, że w innych krajach jest inaczej (Francesco Frenchimon; TU Eindhoven).

Zaowocowało to w ciągu lat wieloma badaniami i opracowaniami, podstawowe z nich opisano poniżej.

3.1. Virginie Lé: Oddziaływanie miedzi na biomasę mikroorganizmów w miedzianych rurach instalacji wodnej,

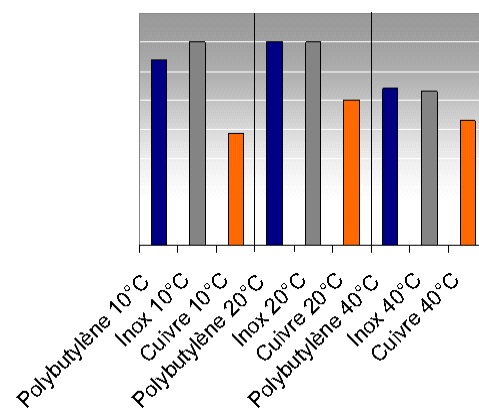
Praca doktorska w dziedzinie farmacji, promotor: Yves Lévi, Uniwersytet Paris-Sud 11, 26.06.2008.

Praca jest oparta na dotychczas opublikowanych badaniach naukowych nad materiałami rur i ich możliwym wpływie na stan zdrowia publicznego. We wnioskach dysertacji stwierdzono, że poza kilkoma wyjątkami, rury miedziane pozwalają ograniczyć tworzenie się biofilmu i rozmnażanie się bakterii, takich jak *Legionella* i *Escherichia Coli*.

Kilka przykładów cytowanych w rozprawie

1. Maule i in., 1999: Badanie wpływu temperatury, rodzaju wody i materiału rur na przeżywalność i rozwój bakterii *E. Coli* O157 w biofilmach¹.

Na drodze porównania materiałów pod względem kolonizacji w różnych typach wody i w różnych temperaturach wykazano, że w miękkiej wodzie kolonizacja bakterią *E. Coli* na miedzi jest 10 do 100 razy mniejsza niż na innych materiałach. Oddziaływanie materiału na kolonizację bakterii jest, więc wyraźne. Większa biomasa występuje na podłożu polibutyleny niż na stali nierdzewnej, kolonizacja jest niższa na miedzi, szczególnie w temperaturze 40°C.



Rys.:

Wpływ rodzaju materiału na liczbę bakterii cudzożywnych w biofilmach rozwijających się w słodkiej wodzie w różnych temperaturach

Legenda:

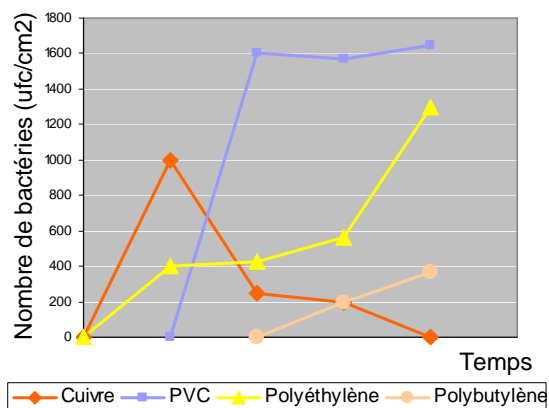
polibutylen

stal nierdzewna

miedź

2. Walker i in., 1993: Badanie rozwoju kolonii bakterii na czterech typach materiału rur, w tym miedzi².

Kolonizacja bakterii na miedzi okazuje się regularnie najniższa w porównaniu z wartościami zmierzonymi na podłożu PCW, polietyleny i polibutyleny, szczególnie w temperaturach powyżej 20°C. Miedź za każdym razem wykazuje mniejszy rozwój biofilmu i niższą gęstość populacji bakterii. Autorzy zalecają miedź jako najlepszy wybór materiału.



Rys.:

Przykłady kolonizacji różnych materiałów (miedź, PCW, polibutylen i polietylen) przez dające się hodować bakterie w słodkiej wodzie o temperaturze 60°C

Legenda:

oś pionowa: liczba bakterii (jtk/cm²)

oś pozioma: czas

miedź

PCW

polibutylen

polietylen

¹ 1 Maule A., Walker J.T., Keevil C.W. (1999). Przeżywalność *Escherichia Coli* O157 w biofilmach na miedzi, stali nierdzewnej i materiałach instalacyjnych z tworzyw sztucznych oraz jako osuszonych osadów na miedzi, stali nierdzewnej i mosiądzu. Raport końcowy CAMR Projekt 483 finansowany przez ICA (Międzynarodowe Stowarzyszenie Miedzi).

² Walker J.T., Rogers J., Keevil C.W. (1993). Wpływ materiału rur instalacyjnych, składu chemicznego wody i temperatury na zanieczyszczenie biologiczne obwodów instalacji, ze szczególnym uwzględnieniem kolonizacji *Legionella pneumophila*. Raport roczny 1993. Projekt ICA 437 A.

3. Rogers i Keevil, 1993: Badania wzrostu bakterii *Legionella* na podłożu różnych materiałów i w różnych temperaturach³.

W każdej temperaturze powierzchnie miedzi były w mniejszym stopniu kolonizowane niż powierzchnie innych materiałów: polibutylen i polichlorek winylu chlorowany (PVC-C). Autorzy wyciągają stąd wniosek, że miedź hamuje wzrost bakterii *Legionella pneumophila* w biofilmach. Stwierdzają, że rury miedziane mogą być używane w celu zapobiegania rozwojowi bakterii *Legionella* w sytuacjach, kiedy nie można stosować wysokich temperatur.

Temperatura	Materiał	<i>L. pneumophila</i>
20°C	miedź	0
	polibutylen	$2,2 \times 10^2$
	PVC-C	$6,6 \times 10^2$
40°C	miedź	9×10^3
	polibutylen	$3,78 \times 10^5$
	PVC-C	$2,60 \times 10^5$
50°C	miedź	0
	polibutylen	$3,75 \times 10^3$
	PVC-C	$2,6 \times 10^2$
60°C	miedź	0
	polibutylen	0
	PVC-C	0

Porównanie maksymalnego zasiedlenia materiałów i liczby bakterii *L. pneumophila* w różnych temperaturach

³ Rogers J., Keevil C.W. (1995). Czynniki wpływające na kolonizację biofilmów przez *Legionella pneumophila*. International Biodeterioration.

3.2. Luty 2003: (KWR 02.090) Wpływ materiału rur na tworzenie się biofilmu i rozwój bakterii Legionella w instalacji doświadczalnej (Badania wody KWR, Holandia).

Wnioski (przytoczone z raportu):

- Legionella w biofilmie: znacznie wyższa zawartość w rurach z polietylenu usieciowanego (PE-X) niż z miedzi i stali nierdzewnej.
- Legionella w wodzie (przy cyrkulacji, pobór dla użytku gospodarstwa domowego): 10-krotnie niższa zawartość w rurach z miedzi niż ze stali nierdzewnej i PE-X.
- Po dezynfekcji w temperaturze 60°C: zmniejszenie ilości Legionella w biofilmie; w rurach PE-X skutek jest znacznie mniejszy.

3.3. Czerwiec 2007: (KWR 06.110) Wpływ temperatury wody na rozwój bakterii Legionella w instalacji doświadczalnej zawierającej rury z różnych materiałów (Badania wody KWR, Holandia).

Badania przeprowadzono dla następujących temperatur:

25°C - maksymalna temperatura zimnej wody

37°C - najgorszy przypadek temperatury

55°C - minimalna temperatura ciepłej wody w domach w Holandii

60°C - minimalna temperatura w instalacjach c.u.w. budynków w Holandii (p. norma NEN 1006)

Badane materiały: Cu, stal nierdzewna, PVC-C, PE-X.

Wnioski (przytoczone z raportu):

- W nowej instalacji trudno uzyskać wzrost bakterii, szczególnie w rurach miedzianych. Zaszczepienie bakterii w rurach miedzianych musiało być kilkakrotnie powtarzane (5 dodatkowych inokulacji dla miedzi, wobec tylko jednej dla innych materiałów).
- W całym okresie badań koncentracje bakterii *Legionella* w wodzie i w biofilmie były niższe w rurach z miedzi niż w pozostałych materiałach.
- W temperaturze 25°C i przy poborze wody jak dla użytku gospodarstwa domowego, bakteria *Legionella* utrzymywała się w rurach ze stali nierdzewnej, PVC-C i PE-X (zarówno w biofilmie jak i w wodzie). Przy końcu tej fazy badań, *Legionella* nie była już wykrywalna w rurach z miedzi.
- W temperaturze 55°C, przy poborze wody jak dla użytku gospodarstwa domowego, obserwowano zmniejszenie liczby bakterii *Legionella* w wodzie w rurach ze stali nierdzewnej, PVC-C i PE-X. W rurach z miedzi nastąpił zupełny zanik bakterii *Legionella*. Przy 60°C uzyskano całkowitą dezynfekcję także w rurach ze stali nierdzewnej, PVC-C i PE-X.

3.4. Ryzyko zakażenia bakterią *Legionella* z ciepłej wody użytkowej, Paola Borella,

Emerging Infectious Diseases, vol. 10. Nr 3, marzec 2004. www.cdc.gov/eid

Wnioski (przytoczone z raportu):

Stwierdzono, że próbki wody ubogie w żelazo cynk i magnez, ale o dużej zawartości miedzi wykazywały nieobecność kolonii *Legionella*, co potwierdza rolę tych pierwiastków jako czynników pobudzających lub inhibitorów wzrostu. Szczególnie godna uwagi jest odwrotna zależność między poziomem zawartości miedzi a obecnością *Legionella*.

W badanej wodzie ryzyko skażenia bakterią *Legionella* było w przybliżeniu 6-krotnie niższe, gdy poziom miedzi przekraczał 50 µg/l.

W innych badaniach stwierdzono, że niska zawartość miedzi, jaką zwykle można znaleźć w wodzie pitnej, zmniejsza liczbę bakterii Coli. Należy, zatem podkreślić, że ten pierwiastek śladowy oddziałuje na wzrost niektórych, chociaż nie wszystkich, bakterii.

Metody zwalczania bakterii *Legionella* w instalacjach ciepłej wody przez elektrolityczne uwalnianie jonów miedzi i srebra do wody mogą stanowić obiecujące rozwiązanie.

Koncentracja *Legionella* 3–7000 CFU/L może być wystarczająca, aby w populacji wrażliwej na zakażenie spowodować jeden przypadek rocznie; takie poziomy skażenia odpowiadają wykrytym w trakcie badań w instalacjach domowych.

W celu ograniczenia kolonizacji bakterią *Legionella* instalacji domowych proponujemy proste i łatwe do wprowadzenia środki:

- 1) stosowanie niezależnych/indywidualnych ogrzewaczy ciepłej wody użytkowej
- 2) utrzymywanie wysokiego standardu utrzymania czystości (instalacji)
- 3) okresową wymianę elementów instalacji, które mogą sprzyjać obecności lub rozprzestrzenianiu się bakterii
- 4) utrzymanie zawartości miedzi >50µg/L.

3.5. Ekstrahowanie jonów miedzi do wody pitnej:

Uzupełnienie: w wyniku badań niektórych obwodów instalacji wodnej pojawiła się hipoteza, że dostarczanie jonów miedzi ten sposób jest tylko chwilowym procesem i, w miarę tworzenia się patyny na wewnętrznych ścianach rur, uwalnianie jonów miedzi zmniejsza się.

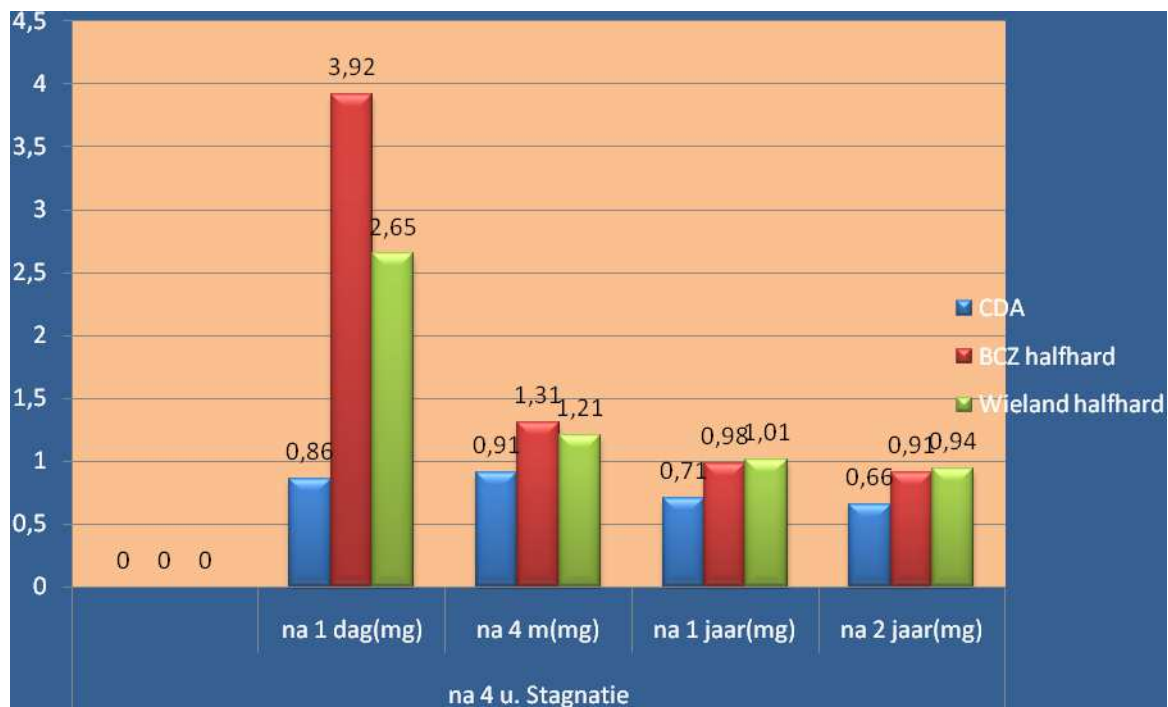
Przeczą temu badania ekstrakcji jonów miedzi z rur o różnym wieku, pochodzących od różnych producentów.

Badanie rozpoczęto w Boliden Cuivre & Zinc Luik Belgia, 02/2003, od 03.2004 w ramach Outokumpu Copper BCZ ; "BETA Longue Durée" wg DIN 50931-1

Harmonogram badania: od 27.2.2003 do 17.3.2005

Jakość wody: pH od 7,48 do 7,80; twardość °F od 38,6 do 40; indeks Langeliera od 0,49 do 0,60

Po 4 godz. stagnacji		po 1 dniu (mg)	po 4 mies. (mg)	po 1 roku (mg)	po 2 latach (mg)
CDA	rura 50 lat	0,86	0,91	0,71	0,66
BCZ miedź półtwarda	rura 2 lata	3,92	1,31	0,98	0,91
Wieland miedź półtwarda	rura 2 lata	2,65	1,21	1,01	0,94



Rura wymontowana z 50-letniej instalacji, po dwóch latach badań i po przetrzymywaniu przez 4 godziny wody w stanie stagnacji, nadal wydziela miedź do wody pitnej.

Rozdział 4: Wnioski

Jest jasne, że wpływu miedzi nie można ignorować. Miedź posiada wyraźne właściwości antibakteryjne. Stosowanie rur miedzianych, które prowadzi do zwiększonej koncentracji jonów miedzi, może powodować zmniejszenie biofilmu i ograniczenie rozwoju bakterii *Legionella*.

Należy zdecydowanie podkreślić, że sam tylko materiał nie może zagwarantować, że instalacja będzie wolna od bakterii. Jeżeli w instalacji z rur miedzianych dominują nieodpowiednie temperatury, obecne są ślepe odgałęzienia i jeżeli przepływ jest zbyt mały - krótko mówiąc, jeżeli instalacja jest źle zaprojektowana i niewłaściwie utrzymywana, to także w niej będzie tworzyć się biofilm i rozwijać się będzie zanieczyszczenie bakteriami.

Czułość nadal należy zachowywać, nawet w instalacjach z miedzi.

Niemniej jest zupełnie jasne, że miedź posiada właściwości antibakteryjne oraz, że w instalacjach o temperaturach nieco zbyt wysokich dla zimnej wody a także zbyt niskich dla ciepłej wody, miedź działa jako bufor i może spowolnić szybki rozwój biofilmu i bakterii oraz zmniejszać związane z tym ryzyko.

Dla nowych instalacji projektowanych zgodnie z wysokimi standardami, gdzie ryzyko skażenia bakterią *Legionella* zostało zredukowane do minimum, a należy dokonać wyboru materiału, miedź jest materiałem z wyboru dla rur wody pitnej.

Instalacja, która wykorzystuje najbardziej nowoczesne rozwiązania odnośnie kontrolowania biofilmu i bakterii, wymaga także użycia wysokiej jakości materiału. Tutaj tylko miedź może wykazać się właściwościami bakteriobójczymi i jest częścią środków zapobiegawczych. Miedź odgrywa istotną rolę w zmniejszeniu ryzyka.

Powierzchnia miedzi działa przez cały czas użytkowania instalacji.

Rozdział 5: Zasady wyboru

Holandia:

Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Gospodarki Wodnej
Inspekcja Morska

http://www.iww.nl/Images/Brochure%20legionella%202008_tcm247-227466.pdf

Zestawienie najważniejszych zaleceń dla żeglugi holenderskiej
 Instalacje wody pitnej, ogólne

Een overzicht van de belangrijkste aanbevelingen voor Nederlandse schepen!	
(Drink)watersystemen algemeen	
Leidingnet	Mag geen delen bevatten met slechte doorstroming ("dode uiteinden"). Bij de aanleg van het net moet worden voorkomen dat koudwaterleidingen kunnen worden opgewarmd door naastgelegen warmtebronnen.
Materiaal leidingnet	Het gebruik van koper wordt aanbevolen, aangezien dit de bacteriegroei remt. Kunststof (pvc) heeft geen bacteriewerende eigenschappen. Ruwe of onregelmatige oppervlakken of verbindingen moeten worden vermeden.
Temperatuur (controleren!)	<i>In het gehele systeem</i> , inclusief de retourleidingen < 25 °C of ≥ 50 °C tot aan het tappunt
Doorspoelen ≥ 60 °C, 15 min.	Bij gebleken legionellarisico: ieder tappunt wekelijks doorspoelen. Extra aandacht is nodig wanneer een tappunt langere tijd niet is gebruikt.

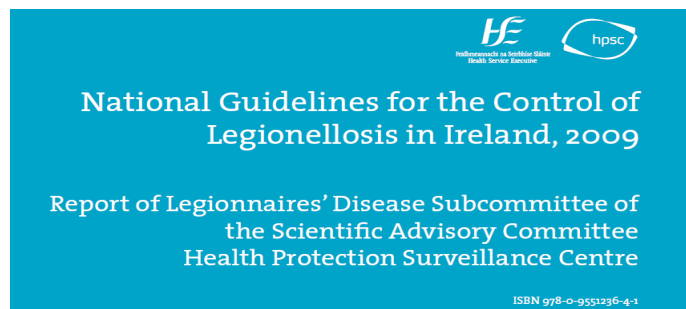
Instalacja rurowa wody pitnej	Nie może zawierać części o małym przepływie (nieczynnych odgałęzień). Już w trakcie montażu instalacji zimnej wody należy zapobiegać ewentualnemu ogrzewaniu na skutek ułożenia rur w bliskości źródeł ciepła.
Materiał użyty do budowy instalacji wody pitnej	Zaleca się stosowanie miedzi ponieważ hamuje rozwój bakterii. Materiały syntetyczne (np. PCW) nie mają zdolności hamowania wzrostu bakterii. Należy unikać szorstkich lub nieregularnych powierzchni i połączeń.
Kontrolowanie temperatury	W całej instalacji, łącznie z rurociągami powrotnymi, w punktach poboru wody muszą być utrzymane temperatury < 25°C lub ≥ 50°C.
Płukanie instalacji ≥ 60°C, 15 min.	Jeżeli zachodzi uzasadnione ryzyko zakażenia bakterią <i>Legionella</i> każdy punkt poboru wody musi być płukany raz na tydzień. Szczególną uwagę należy zwracać na punkty poboru, które pozostają nieużywane przez dłuższe okresy czasu.

Francja:

Zalecenia zdrowotne we Francji: 2/5/2002 Zarządzenie DGS 2002/273 o zapobieganiu ryzyku zakażenia bakterią *Legionella* w zakładach opieki zdrowotnej.

Matériau	Avantages	Inconvénients	Recommandations
Pour éviter les problèmes d'incompatibilité de matériaux entre eux, il faut vérifier la nature des différents matériaux en contact avec l'eau chaude sanitaire dans l'établissement. Pour les installations neuves ou lors d'une reconstruction des réseaux d'eau chaude sanitaire, il est déconseillé d'utiliser de l'acier galvanisé. Remarque : Pour les matériaux plastiques à fort pouvoir de dilatation, adapter le montage si prévision d'éventuels chocs thermiques.			
Cuivre NF A 51 120	Mise en œuvre facile / pertes de charges faibles. Désinfection thermique et chimique (chlore ou peroxydes après nettoyage) possibles. Limite la formation du bio-film par action bactéricide de contact.	Aucun fabricant n'a demandé la marque NF pour des tubes de diamètre nominal supérieur à 54 mm. Sensibilité à la corrosion par « érosion/cavitation » pour les tubes recuits ou surchauffés.	Recommandé jusqu'au diamètre 54 mm.
Matériau	Avantages	Inconvénients	Recommandations
Polybutylène et polypropylène	Adaptés aux eaux corrosives. Supportent la désinfection thermique ou chimique (chlore ou peroxydes).	Matériaux pouvant être favorable à la prolifération du bio-film. Coût élevé	Adapté aux tronçons dont le diamètre est supérieur à 50/60. Montage par brides
PE R Polyéthylène réticulé	Adapté aux eaux corrosives. Supporte la désinfection thermique et chimique (chlore ou peroxydes).	Matériau favorable à la prolifération du bio-film.	Adapté pour les tronçons dont le diamètre est supérieur à 50/60. Montage par brides.
PVC C Polychlorure-vinyle surchloré	Adapté aux eaux corrosives. Supporte la désinfection thermique ou chimique (chlore ou peroxydes).	Matériau pouvant être favorable à la prolifération du bio-film. Coût supérieur au PVC. Peut relarguer du chloroforme par action du chlore sur les méthylcétone contenues dans le solvant des assemblages par collage et également du tétrahydrofurane.	Adapté pour les tronçons dont le diamètre est supérieur à 50/60. Montage par brides. Surveiller la teneur en tétrahydrofurane et chloroforme de l'eau transportée par ce genre de matériau.

Materiał	Zalety	Wady	Zalecenia
W celu uniknięcia problemów związanych z niekompatybilnością materiałów należy sprawdzić zachowanie się różnych materiałów w kontakcie z gorącą wodą doprowadzaną do łazienki. Dla nowych instalacji lub przebudowy istniejących instalacji c.u.w. nie zaleca się stali ocynkowanej. Uwaga: W przypadku tworzyw sztucznych, które mają tendencję do rozszerzania się, należy rozważyć sposób ułożenia instalacji, jeżeli przewiduje się możliwość szoku termicznego.			
Miedź NF A 51 120	Łatwa do instalowania, małe straty ciśnienia. Możliwość dezynfekcji termicznej i chemicznej (chlor lub nadtlenki po czyszczeniu). Przez bakteriobójcze działanie kontaktowe ogranicza tworzenie się biofilmu.	Żaden producent nie wystąpił o oznaczenie FN dla rur o średnicy przekraczającej 54 mm. Podatność rur z miedzi wyżarzanej lub przegrzanych na korozję erozyjną/kawitacyjną.	Zalecana dla średnic do 54 mm.
Polibutylen i polipropylen	Materiały odpowiednie dla wody o właściwościach korozyjnych. Tolerują dezynfekcję termiczną i chemiczną (chlor lub nadtlenki)	Materiały mogą sprzyjać rozprzestrzenianiu się biofilmu. Wysoki koszt	Odpowiednie dla odcinków o średnicach większych niż 50/60. Montować za pomocą uchwytów do rur.
Polietylen usieciowany PE-X	Odpowiedni dla wody o właściwościach korozyjnych. Toleruje dezynfekcję termiczną i chemiczną (chlor lub nadtlenki)	Materiał sprzyja rozprzestrzenianiu się biofilmu.	Odpowiedni dla odcinków o średnicach większych niż 50/60. Montować za pomocą uchwytów do rur.
Polichlorek winylu chlorowany (PVC-C)	Odpowiedni dla wody o właściwościach korozyjnych. Toleruje dezynfekcję termiczną i chemiczną (chlor lub nadtlenki)	Materiał może sprzyjać rozprzestrzenianiu się biofilmu. Koszty wyższe niż PCW. Może uwalniać chloroform z powodu oddziaływania chloru na metyloaceton zawarty w rozpuszczalniku użytym do łączenia za pomocą klejenia, może również uwalniać tetrahydrofuran będący modyfikatorem.	Odpowiedni dla odcinków o średnicach większych niż 50/60. Montować za pomocą uchwytów do rur. Należy monitorować poziomy tetrahydrofuranu i chloroformu w wodzie przenoszonej przez rury z tego materiału.



Krajowe wytyczne zwalczania legionellozy w Irlandii, 2009

Raport podkomitetu ds. choroby legionistów Naukowego Komitetu Doradczego przy Health Protection Surveillance Centre

5.1.7 Materiały do budowy sieci wodociągowych

Ponieważ występowanie bakterii *Legionella* jest zwykle związane z biofilmem bakteryjnym i zanieczyszczeniami biologicznymi w instalacjach wodnych, należy szczególną wagę przykładać do materiałów stosowanych do budowy sieci wodociągowych.

Wcześniejsze badania szeregu materiałów powszechnie stosowanych do budowy instalacji wodnych wykazały, że niektóre materiały bardzo wyraźnie ograniczają kolonizację i tworzenie się biofilmu, podczas gdy inne są zupełnie nieskuteczne.

Miedź jest najlepszym materiałem ograniczającym kolonizację i tworzenie się biofilmu, po niej następują polibutylen i stal nierdzewna, podczas gdy biofilm łatwiej powstawał na takich materiałach jak polietylen, polichlorek winylu chlorowany (PVCC), nieplastyfikowany polichlorek winylu (PVCu), stal i etylopropylen.

Dystrybucja ciepłej i zimnej wody za pomocą rur miedzianych może znacznie poprawić mikrobiologiczną jakość wody w sieciach wodociągowych, ponieważ jak wykazano, miedź ma znaczną przewagę od względem właściwości antydrobnoustrojowych nad instalacjami z innych materiałów.

Rozdział 6: Bibliografia

1. Virginie Lé: Effect of copper on microbial biomasses in water pipes. Uniwersytet Paris-Sud 11, 26.06.2008.
2. Effect of pipe materials on biofilm formation and growth of *Legionella* bacteria in a test pipe installation (KWR water research), Holandia, 2003.
3. Effect of water temp. on the development of Legionella bacteria in a test installation consisting of different pipe materials (KWR water research), Holandia, 06. 2007.
4. *Legionella* Infection Risk from Domestic Hot Water Paola Borella, Emerging Infectious Diseases • www.cdc.gov/eid • Vol. 10. No. 3, March 2004.
5. Leaching out of copper ions to the drinking water (Boliden Cuivre & Zinc , Outokumpu Copper BCZ ; Luik Belgium, 2003, 2004 under; "BETA Longue Durée" suivant DIN 50931-1).