

Izabela Zimoch, Jarosław Paciej

Analiza przestrzenna ryzyka zagrożenia zdrowotnego wywołanego obecnością bakterii z rodzaju *Legionella* w instalacjach ciepłej wody w województwie śląskim

Jednym z głównych dążeń dyrektywy Rady Europy 98/83/WE z 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [1] jest wdrożenie w krajach członkowskich zasad szacowania zagrożeń w systemach zaopatrzenia w wodę na podstawie kontroli jakości wody i oceny warunków funkcjonowania tych systemów. Wdrożenie procedur zarządzania ryzykiem w systemach wodociągowych ma zapewnić wzrost bezpieczeństwa dostawy wody, a co za tym idzie – ochronę zdrowia konsumentów przed szkodliwymi skutkami zanieczyszczenia wody przeznaczonej do spożycia. W Polsce sprawy zbiorowego zaopatrzenia w wodę oraz jej jakości są regulowane przez dwie ustawy – prawo wodne (Dz. U. z 2012 r., poz. 145) oraz ustawę o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. z 2006 r., nr 123, poz. 858, z późn. zm.). Aktem wykonawczym do tych ustaw, a także wdrożeniem dyrektywy [1], jest rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [2], które reguluje zagadnienia związane z obowiązkami realizacji zbiorowego zaopatrzenia oraz kontrolą jakości wody przeznaczonej do spożycia. W zakresie chorób wodopochodnych, będących skutkiem zanieczyszczenia mikrobiologicznego wody, w odniesieniu do wody wodociągowej kontroli podlegają *Escherichia coli*, bakterie grupy coli, *Clostridium perfringens*, enterokoki oraz ogólna liczba mikroorganizmów w temperaturze $22 \pm 2^\circ\text{C}$ po 72 h i w temperaturze $36 \pm 2^\circ\text{C}$ po 48 h inkubacji. Rozporządzenie to reguluje również kontrolę jakości ciepłej wody w zakresie obecności bakterii z rodzaju *Legionella*, które są czynnikiem etiologicznym legionelozy.

Gram-ujemne bakterie z rodzaju *Legionella* są spotykane zarówno w środowisku naturalnym, jak i w systemach wodnych, gdzie mogą się rozwijać w temperaturze $25 \div 43^\circ\text{C}$, tolerując jednocześnie podwyższoną temperaturę w zakresie $55 \div 60^\circ\text{C}$. Optymalnym warunkiem do rozwoju *Legionella* sp. jest środowisko o temperaturze wody $30 \div 43^\circ\text{C}$. Taka temperatura eliminuje konkurencję innych bakterii w niszy ekologicznej, w dostępie do pożywienia oraz przestrzeni życiowej [3, 4]. Patogeny, będące powodem chorób wodopochodnych, które kolonizują podsystemy dystrybucji wody, mogą pochodzić z podsystemów ujmowania wody czy też z nieszczelności podsystemów jej dystrybucji, jak również na skutek wtórnego rozwoju

mikroorganizmów w wodzie transportowanej systemem rurociągów [5]. Przeprowadzona w Stanach Zjednoczonych szczegółowa analiza zachorowań, będących skutkiem skażeń wody, wykazała, że w latach 1971–2000 powodem prawie 600 tys. odnotowanych zachorowań było 1010 epidemii, z których 751 miało źródło w systemach wodociągowych. Czynnikiem chorobotwórczym w 101 przypadkach były bakterie, w 56 wirusy, w 143 pierwotniaki, w 86 związki chemiczne, a w przypadku 365 epidemii nie zidentyfikowano ich przyczyn [6]. W konsekwencji tych epidemii hospitalizowano ponad 6 tys. osób, z czego 72 osoby zmarły.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia [2] określa zasady kontroli wody w celu wykrywania bakterii *Legionella* sp., którą wykonuje się jedynie w budynkach zamieszkania zbiorowego i zamkniętych zakładach opieki zdrowotnej. O ile to drugie pojęcie nie budzi wątpliwości, to definicja budynków zamieszkania zbiorowego nie jest jednoznaczna, mimo ich określenia w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r., nr 75, poz. 690, z późn. zm.) m.in. jako budynki przeznaczone do czasowego pobytu ludzi, w szczególności hotele, domy wypoczynkowe, schroniska, domy studenckie, zakłady karne, a także budynki przeznaczone do stałego pobytu ludzi (np. domy dziecka). Należy podkreślić, że zdecydowanie większy nacisk w urzędowych procedurach kontroli jakości wody jest położony na wykrywanie zanieczyszczenia instalacji bakteriami z rodzaju *Legionella* w obiektach opieki zdrowotnej. Uregulowania prawne nie wymagają kontroli jakości wody w przypadku innych obiektów, gdzie następuje kontakt użytkownika z ciepłą wodą lub aerozolem wodnym (np. baseny i SPA). Ta nieścisłość prawna w znacznym stopniu uniemożliwia pełną analizę zagrożeń zdrowotnych wywołanych bakteriami *Legionella* sp., podczas gdy wyniki licznych badań [3, 7–11] wskazują na obecność tych bakterii w próbkach wody z instalacji basenowych, budynków wielorodzinnych i obiektów SPA. Fakt ten w istotny sposób zwiększa ryzyko zachorowań i warunkuje procedury zarządzania ryzykiem.

Liczne doniesienia literaturowe [12–14] wskazują, że zanieczyszczenie instalacji ciepłej wody w zakładach opieki zdrowotnej może być przyczyną zakażeń wewnątrzszpitalnych. Corocznie w skali światowej $5 \div 10\%$ pacjentów ulega zakażeniom wewnątrzszpitalnym. W Stanach Zjednoczonych na 35 mln pacjentów korzystających w ciągu roku z usług medycznych, prawie 7 tys. zostaje zakażonych podczas leczenia. Z powodu tzw. choroby legionistów

w Stanach Zjednoczonych każdego roku hospitalizuje się od 8 tys. do 18 tys. osób. Według raportu ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) z 2012 r., w 29 krajach Unii Europejskiej (w populacji ok. 590 mln mieszkańców) odnotowano 5852 przypadki zachorowań na legionelozę, ze średnim wskaźnikiem liczby zgłoszeń równym 11,5 na miliom mieszkańców. Największą wartość tego wskaźnika (39,9) odnotowano w Słowenii, natomiast najmniejsze w Bułgarii (0) i Rumunii (0,1) oraz Polsce (0,2) [15, 16]. Tak niski wskaźnik zachorowań w Polsce wynika z faktu, iż w naszym kraju nie ma obowiązku pełnej identyfikacji i rejestracji legionelozy, dlatego też liczba zgłaszanych zachorowań jest znacznie zaniżona i wynosiła w 2012 r. zaledwie 8. Największą liczbę zdiagnozowanych przypadków odnotowano w krajach wysokorozwiniętych, jak Wielka Brytania (401), Niemcy (628), Francja (1298) i Włochy (1332) [15]. Przykłady te potwierdzają konieczność opracowania procedur szacowania i zarządzania ryzykiem zdrowotnym w systemach zaopatrzenia w wodę wywołanym zarówno bakteriami z rodzaju *Legionella*, jak i innymi skażeniami mikrobiologicznymi, w celu podejmowania skutecznych działań prewencyjnych ograniczających liczbę zachorowań wodopochodnych oraz liczbę zgonów konsumentów wody.

Metody badań

W ocenie ryzyka eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę powszechne zastosowanie znalazła metoda matrycy ryzyka. Procedury badań metodą matrycową wymagają pełnej identyfikacji zagrożeń eksploatacji systemu pod względem ich kategorii i towarzyszących im skutków. Poszczególnym kategoriom zagrożenia przypisywane są wagi wystąpienia zdarzeń nieoczekiwanych (W_1), natomiast kategorii konsekwencji opisuje liczbowa skala wag skutków (W_2). W takim podejściu matematyczna interpretacja ryzyka, jako funkcja wystąpienia zdarzeń niepożądanym i ich skutków, pozwala wyznaczyć jego liczbową wartość (r), będącą podstawą przypisania zdarzenia do danej kategorii ryzyka (najczęściej – tolerowane (r_T), kontrolowane (r_K) i nieakceptowane (r_{NA}) [17, 18]:

$$r = W_1 \cdot W_2 \quad (1)$$

Analiza ryzyka eksploatacji wodociągu w aspekcie mikrobiologicznych zmian jakości wody w podsystemie dystrybucji, w szczególności w instalacjach ciepłej wody, nie jest zadaniem łatwym. Trudności te są spowodowane częstością występowania skażeń mikrobiologicznych, będącą skutkiem podejmowanych działań operacyjnych, sposobu użytkowania systemu oraz kosztów działań prewencyjnych. Z drugiej zaś strony trudności te wynikają z licznych przeszkód dotyczących precyzyjnego oszacowania ekonomicznych i społecznych skutków tych zdarzeń, uwzględniających zwiększoną liczbę zachorowań czy też skorelowanie liczby zgonów w konsekwencji chorób wodopochodnych.

W Polsce obowiązek badania ciepłej wody na obecność bakterii z rodzaju *Legionella* został wprowadzony rozporządzeniem Ministra Zdrowia [2] od 1 stycznia 2008 r. W przyjętej metodzie badawczej pełną ocenę zagrożenia w analizie ryzyka oparto na czterech poziomach skażenia instalacji wodnej. W zależności od niezbędnych procedur postępowania, określonych w załączniku nr 7 tego rozporządzenia, poszczególnym kategoriom zagrożenia przypisano odpowiednie wagi (tab. 1).

Tabela 1. Kategorie zagrożenia zdrowotnego wywołane bakteriami *Legionella* sp.
Table 1. Categories of health hazards arising from *Legionella* spp.

Kategoria zagrożenia	Liczba komórek jtk/100 cm ³	Procedury	Waga W_1
Pomijalne (KP)	<10 ²	system pod kontrolą – badania kontrolne po roku lub trzech latach	1
Średnie (KS)	10 ² +10 ³	instalacja skolonizowana pałeczkami <i>Legionella</i> , jeżeli powyżej 50% próbek jest pozytywna; należy znaleźć przyczynę skażenia i podjąć działania naprawcze – badania kontrolne po czterech tygodniach; jeśli wynik nadal będzie pozytywny, należy przeprowadzić czyszczenie urządzeń, dezynfekcję i płukanie (badanie kontrolne po tygodniu, następnie po roku)	3
Wysokie (KW)	10 ³ +10 ⁴	wszczęć działania interwencyjne, łącznie z czyszczeniem urządzeń, dezynfekcją i płukaniem systemu; woda nie nadaje się do korzystania z natrysków – badania kontrolne po tygodniu, następnie co trzy miesiące	9
Bardzo wysokie (KBW)	>10 ⁴	natychmiast wyłączyć z eksploatacji urządzenia i instalacje ciepłej wody oraz rozpocząć procedury czyszczenia i dezynfekcji – badania kontrolne po tygodniu, następnie co trzy miesiące	27

Podczas kontroli danego obiektu pobiera się od kilku do kilkunastu próbek wody. Ocena uzyskanego zbioru danych umożliwia przeprowadzenie oceny stopnia kolonizacji instalacji, a następnie przyporządkowanie jej odpowiedniej wagi zagrożenia zdrowotnego (W_1). Zgodnie z metodą badawczą, gdy wyniki analiz ponad połowy pobranych próbek ciepłej wody są zgodne z normatywem [2], to instalacja nie jest skolonizowana, a zanieczyszczenie ma charakter punktowy. W przeciwnym wypadku stwierdza się zanieczyszczenie instalacji ciepłej wody i na podstawie liczby jednostek tworzących kolonie przypisuje się właściwą kategorię skażenia. W metodzie badawczej kontrolę, w której liczebność próbek odpowiada różnym stopniom skażenia bakteriami, klasyfikuje się do wyższego poziomu skażenia.

W analizie przestrzennej ryzyka zdrowotnego wywołanego bakteriami *Legionella* sp., na obszarach np. nadzorowanych przez poszczególnych Państwowych Powiatowych Inspektorów Sanitarnych (PPIS) czy będących reprezentatywnym obszarem badawczym, poziom kategorii zagrożenia oblicza się na podstawie skumulowanej wagi (WS_1) wyznaczonej z zależności:

$$WS_1 = \frac{\sum n_{KP} W_1(KP) + \sum n_{KS} W_1(KS)}{\sum (n_{KP} + n_{KS} + n_{KW} + n_{KBW})} + \frac{\sum n_{KW} W_1(KW) + \sum n_{KBW} W_1(KBW)}{\sum (n_{KP} + n_{KS} + n_{KW} + n_{KBW})} \quad (2)$$

w której:

n_{KP} , n_{KS} , n_{KW} , n_{KBW} – liczba kontroli w kategorii zagrożenia (odpowiednio: pomijalne, średnie, wysokie i bardzo wysokie)

$W_1(KP)$, $W_1(KS)$, $W_1(KW)$, $W_1(KBW)$ – wagi poszczególnych kategorii zagrożenia (wg tab. 1)

Klasyfikację konsekwencji zagrożenia zdrowotnego (W_2), wywołanego bakteriami *Legionella* sp., w przestrzennej analizie ryzyka określa się w odniesieniu do liczebności populacji narażonej na danym obszarze, wyrażonej wskaźnikiem przyrostu zagęszczenia (IG – tab. 2).

Tabela 2. Wskaźnik przyrostu zagęszczenia populacji (IG) na obszarze badawczym
Table 2. The population growth index (IG) on the research area

Wskaźnik IG	Waga W_2
$IG < 5$	3
$5 \leq IG < 10$	2
$IG \geq 10$	1

Wskaźnik ten jest miarą wzrostu gęstości populacji zamieszkującej jedynie obszary antropogeniczne, do którego w proponowanej metodyce szacowania ryzyka nie zalicza się obszarów leśnych, wodnych, łąk, pastwisk i terenów upraw. Jego wartość wyznacza się ze wzoru:

$$IG = GL/GL_A \quad (3)$$

w którym:

GL – gęstość zaludnienia, os./km²

GL_A – średnia gęstość zaludnienia obszarów antropogenicznych, os./km²

Końcowym etapem analizy jest wyznaczenie wartości ryzyka przestrzennego (r_p) na podstawie zmodyfikowanej formuły (1):

$$r_p = WS_1 \cdot W_2 \quad (4)$$

Ryzyko przestrzenne (r_p) zagrożenia zdrowotnego wywołanego bakterią *Legionella* sp. przyjmuje wartości z przedziału $\langle 1, 81 \rangle$, w przypadku których stan bezpieczeństwa użytkownika systemu klasyfikuje się do poszczególnych kategorii ryzyka:

- ryzyko tolerowane: $r_p \in \langle 1, 3 \rangle$,
- ryzyko kontrolowane: $r_p \in \langle 3, 9 \rangle$,
- ryzyko nieakceptowane: $r_p \in \langle 9, 81 \rangle$.

Interpretację przestrzenną uzyskanych wyników badań można dokonać za pomocą oprogramowania GIS do wykonywania analiz przestrzennych.

Przedmiot badań

Ocenę poziomu zagrożenia zdrowotnego spowodowanego skażeniem instalacji wody ciepłej bakteriami *Legionella* sp. przeprowadzono na przykładzie województwa śląskiego w wydzielonych 20 obszarach kontroli urzędowej jakości wody, na podstawie danych z lat 2010–2013 udostępnionych przez Główny Inspektorat Sanitarny [19]. Województwo śląskie zajmuje obszar 12333 km² i jest zamieszkałe przez około 4,5 mln osób. Na obszarze objętym analizą kontrola jakości ciepłej wody realizowana jest przez 20 Państwowych Powiatowych Inspektorów Sanitarnych oraz Śląskiego Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego. Zbiór danych z lat 2010–2013 obejmował wyniki 1485 kontroli obejmujących łącznie 11328 próbek wody, w których oznaczono temperaturę i liczbę komórek

bakterii *Legionella* sp. Dane te zaklasyfikowano w zależności od kategorii budynku do dwóch zbiorów, obejmujących zamknięte obiekty opieki zdrowotnej oraz budynki zamieszkania zbiorowego, a następnie wyznaczono skumulowaną wagę zagrożenia (WS_1) w 20 obszarach badawczych.

W podziale przestrzennym województwa na obszary nadzorowane przez PPIS wykorzystano dane Państwowego Rejestru Granic. Na podstawie danych CLC (Corine Land Cover) [20], z wykorzystaniem podkładów wektorowych w formacie shape, w zależności od struktury użytkowania wyznaczono powierzchnię obszarów badawczych, w tym również wielkość terenów antropogenicznych. Wykorzystując dane GUS, dotyczące liczby ludności w jednostkach administracyjnych [16], wyznaczono gęstość zaludnienia (GL) oraz średnią gęstość zaludnienia terenów antropogenicznych (GL_A) na każdym obszarze badań, a następnie wyznaczono ich wagę konsekwencji (W_2) na podstawie oszacowanej wartości wskaźnika IG. Dane przestrzenne opracowano z wykorzystaniem oprogramowania firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute).

Dyskusja wyników

Analiza uporządkowanego zbioru danych w badanym przedziale czasu (lata 2010–2013) wykazała brak występowania na obszarze województwa śląskiego zdarzeń klasyfikujących jakiś obiekt do bardzo wysokiej kategorii zagrożenia skażeniem ciepłej wody bakteriami z rodzaju *Legionella*. Pełną charakterystykę stanu sanitarnego instalacji ciepłej wody w obiektach zamieszkania zbiorowego i opieki zdrowotnej przedstawiono w tabeli 3, prezentującej zmienność liczbą przeprowadzonych kontroli wraz z klasyfikacją poziomu zagrożenia zdrowotnego wywołanego liczbą bakterii *Legionella* sp.

Z danych tych wynika, że około 70% wszystkich kontroli wykonano w budynkach zamieszkania zbiorowego. Zmienność prawdopodobieństwa wystąpienia wysokiej kategorii zagrożenia (KW) w całym czasie badań, w odniesieniu do wszystkich przeprowadzonych kontroli, przyjmowała wartości z przedziału $0,156 \div 0,237$, natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiej kategorii zagrożenia, z uwzględnieniem klasyfikacji budynków według sposobu ich użytkowania, osiągało wartości z zakresów $0,189 \div 0,255$ (zamknięte zakłady opieki zdrowotnej) oraz $0,138 \div 0,209$ (budynki zamieszkania zbiorowego). Analiza wykazała ponadto, że prawdopodobieństwo klasyfikacji obiektów opieki zdrowotnej do wysokiej kategorii zagrożenia (0,070) było mniejsze niż w przypadku budynków mieszkalnych (0,113 w całym 4-letnim czasie badań). Wynika stąd, że im skuteczniejsza jest wewnętrzna kontrola właścicieli budynków oraz większy nacisk na obiekty opieki zdrowotnej, tym bezpieczniejszy jest ich stan techniczno-sanitarny, minimalizujący prawdopodobieństwo skażenia instalacji wody ciepłej bakteriami z rodzaju *Legionella*, co jest niezwykle ważne w aspekcie zakażeń wewnątrzszpitalnych.

Prawdopodobieństwo występowania średniej kategorii zagrożenia (KS) obecnością bakterii *Legionella* sp. jedynie w grupie zamkniętych obiektów opieki zdrowotnej zmieniło się od 0,096 do 0,177, natomiast w przypadku obiektów zamieszkania zbiorowego mieściło się w zakresie $0,065 \div 0,124$. Poza tym prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń, klasyfikujących instalacje jako skolonizowane przez bakterie *Legionella* sp., w przypadku obiektów mieszkalnych (0,486) było ponad 10-krotnie większe niż w przypadku obiektów opieki zdrowotnej (0,045).

Tabela 3. Stan sanitarny instalacji ciepłej wody na terenie województwa śląskiego w latach 2010–2013
Table 3. Sanitary conditions of hot water systems in Silesia Province in the period 2010–2013

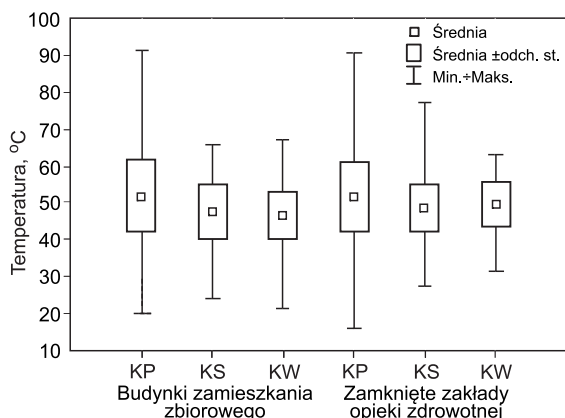
Kategoria zagrożenia	Rok	Zamknięte obiekty opieki zdrowotnej	Budynki zamieszkania zbiorowego	Interwencje	Łącznie
	liczba obiektów				
	2010	107	240	6	353
	2011	71	200	2	273
	2012	112	211	1	324
	2013	109	286	0	395
	liczba kontroli				
	2010	89	207	0	296
	2011	68	183	3	254
	2012	111	188	1	300
KP brak niezgodności z normatywem	2010	19	20	0	39
	2011	16	32	0	48
	2012	31	25	0	56
	2013	21	29	0	50
KS stwierdzono jedynie zanieczyszczenia punktowe	2010	37	60	7	104
	2011	23	44	1	68
	2012	33	50	1	84
	2013	42	62	0	104
KW instalacja jest skolonizowana					

Każdorazowo w procedurach kontrolnych mierzona jest temperatura ciepłej wody. Zakres zmienności temperatur w całym czasie badań przedstawiono na rysunku 1. Temperatura wody w budynkach zamieszkania zbiorowego oraz zamkniętych obiektach opieki zdrowotnej, w przypadku zdarzeń zaklasyfikowanych do kategorii zagrożenia pomijalnego (KP), odznaczała się największym rozstępem zmiennej losowej wynoszącym odpowiednio 71,6°C i 74,5°C. Jednocześnie średnia temperatura w przypadku tych zdarzeń we wszystkich typach badanych obiektów była średnio wyższa o 4,3°C w porównaniu do średniej temperatury zdarzeń przypisanych do kategorii średniego zagrożenia (KS) oraz wyższa o 5,1°C w przypadku kategorii wysokiego zagrożenia (KW). Większy rozrzut temperatury w przypadku kategorii KP potwierdza wysoką skuteczność prowadzonej termicznej dezynfekcji instalacji ciepłej wody użytkowej. Analizując zbiór zmiennych losowych obejmujących temperaturę i liczbę kolonii bakterii

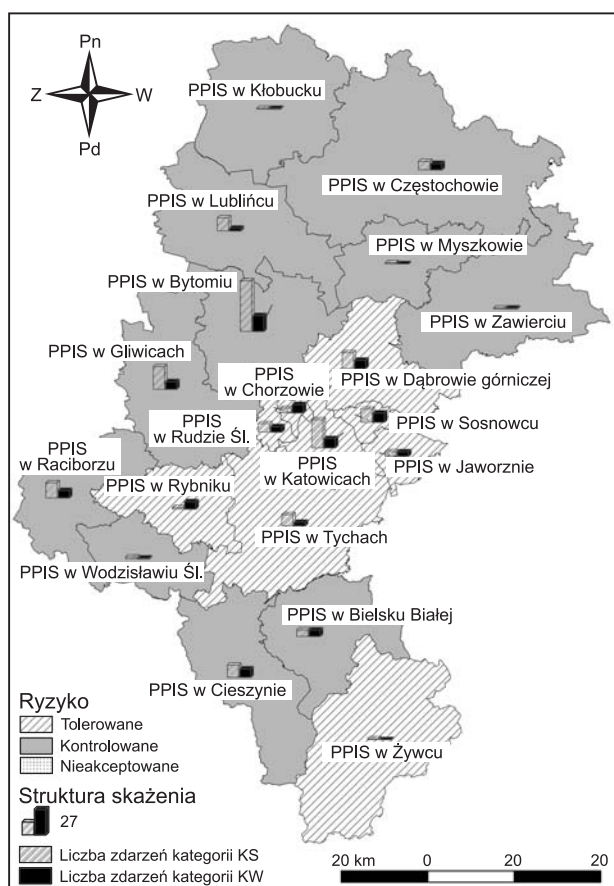
Legionella sp. nie można jednoznacznie stwierdzić, że sama podwyższona temperatura zapewnia bezpieczeństwo zdrowotne użytkowników instalacji ciepłej wody.

Przeprowadzone badania wykazały, że uwzględnianie w analizie ryzyka przestrzennego zmiennej losowej charakteryzującej gęstość zaludnienia (GL) w danej jednostce administracyjnej jest dużym uproszczeniem. Gęstość zaludnienia, odniesiona jedynie do powierzchni terenów antropogenicznych, powoduje minimum dwukrotny wzrost zagęszczenia ludności na km². W przypadku powiatów kłobuckiego i lublinieckiego zagęszczenie to wzrasta ponaddwudziestopięciokrotnie, natomiast w największym powiecie w kraju (powiat częstochowski wraz z Częstochową), tereny antropogeniczne stanowią zaledwie 8% powierzchni powiatu, w konsekwencji czego wskaźnik przyrostu zagęszczenia przyjmuje wartość 12,5. Ryzyko przestrzenne obliczone według formuły (4), na podstawie zbioru zmiennych losowych z lat 2010–2013, przedstawiono na rysunku 2. Średnia wartość ryzyka przestrzennego na całym obszarze województwa śląskiego wynosi 3,64, co klasyfikuje ten region do kategorii ryzyka kontrolowanego. Na dziewięciu obszarach badawczych ryzyko przestrzenne osiągnęło wartości poniżej średniej województwa. Obszary te zaklasyfikowano do ryzyka tolerowanego zagrożenia zdrowotnego wywołanego bakteriami z rodzaju *Legionella*. W tej kategorii minimalną wartością ryzyka przestrzennego charakteryzuje się powiat tyski ($r_p=1,63$), a największą powiat katowicki ($r_p=3,00$). W kategorii ryzyka kontrolowanego występującego w 11 obszarach badawczych, zmienność ryzyka wahała się w zakresie od 3,46 (powiat myszkowski) do 7,03 (powiat częstochowski).

Interpretacja uzyskanych wartości ryzyka przestrzennego wykazała możliwość wystąpienia większego ryzyka zagrożenia zdrowotnego wywołanego bakteriami z rodzaju *Legionella* na obszarach o większej rzeczywistej gęstości zaludnienia, odpowiadającej większym wartościom wskaźnika przyrostu zagęszczenia.



Rys. 1. Zmienność temperatury w zależności od kategorii zagrożenia i funkcji użytkowej obiektu badań w latach 2010–2013
Fig. 1. Temperature variability depending on health hazard category and object usage in the period 2010–2013



Rys. 2. Ryzyko przestrzenne zagrożenia zdrowotnego wywołanego bakteriami *Legionella* sp. na terenie województwa śląskiego w latach 2010–2013

Fig. 2 Spatial risk assessment of health hazards from *Legionella* spp. in Silesia Province in the period 2010–2013

Wnioski

◆ Przedstawiona metodyka oceny zagrożenia zdrowotnego, wywołanego obecnością bakterii z rodzaju *Legionella*, pozwala na pełną ocenę stanów niebezpiecznych eksploatacji systemów wodociągowych wraz z klasyfikacją kategorii ryzyka. Wyniki tych analiz pozwalają na wyznaczenie obszarów ryzyka kontrolowanego, w których należy podjąć niezbędne działania naprawcze wykorzystując procedury zarządzania ryzykiem. Metodyka ta daje możliwość uwzględnienia wpływu różnych istotnych czynników oraz cech charakterystycznych obszaru badawczego na poziom i kategorię ryzyka przestrzennego.

◆ Nie można oceniać ryzyka zagrożenia skażeniem mikrobiologicznym instalacji ciepłej wody w budynku opierając się jedynie na wynikach badań laboratoryjnych. Pojawia się zatem konieczność opracowania procedur kontroli stanu techniczno-sanitarnego tych instalacji oraz ich monitorowania wraz z ustanowieniem uregulowań prawnych. Dane literaturowe wskazują, że taka kontrola powinna być prowadzona nie tylko w szpitalach (z uwagi na obniżoną odporność przebywających tam pacjentów), ale również w budynkach wielopiętrowych z uwagi na czas ekspozycji.

◆ Przeprowadzona analiza zagrożeń mikrobiologicznych w wydzielonych grupach budynków wykazała, że zasiedlenie instalacji ciepłej wody bakteriami *Legionella* sp. występuje o 20% częściej w zamkniętych obiektach opieki zdrowotnej niż w obiektach zamieszkania zbiorowego.

◆ Badania wykazały, że prawdopodobieństwo wystąpienia dużego zagrożenia skażeniem wody bakteriami z rodzaju *Legionella* w województwie śląskim wynosi 0,188, a wartość ryzyka przestrzennego klasyfikuje ten region do kategorii ryzyka kontrolowanego. Fakt ten dowodzi konieczności skutecznej kontroli wszystkich obiektów, niezależnie od rodzaju budynku, w celu podejmowania racjonalnych działań prewencyjnych minimalizujących potencjalne skutki zagrożeń zdrowotnych wywołanych skażeniem mikrobiologicznym instalacji ciepłej wody.

LITERATURA

1. Dyrektywa Rady 98/83/WE z 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. Urz. UE z 5 grudnia 1998 r., nr 15/t. 4.
2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 61, poz. 417, z późniejszymi zmianami.
3. E. LEONI, P.P. LEGNANI, M.A. BUCCI SABATINI, F. RIGHI: Prevalence of *Legionella* spp. in swimming pool environment. *Water Research* 2001, Vol. 35, No. 15, pp. 3749–3753.
4. Y.J. LEE: An evaluation of microbial and chemical contamination sources related to the deterioration of tap water quality in the household water supply system. *International Journal of Environmental Research* 2013, Vol. 10, No. 9, pp. 4143–4160.
5. I. ZIMOCZ, J. PACIEJ: Znaczenie kontroli jakości wód powierzchniowych wykorzystywanych do rekreacji na przykładzie województwa śląskiego (The importance of quality control of surface waters used for recreation in the example of Silesian Voivodship). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 2, ss. 15–18.
6. G.F. CRAUN, R.L. CALDERON, M.F. CRAUN: Waterborne outbreaks caused by zoonotic pathogens in the USA. In: J.A. COTRUVO *et al.* [Eds.]: *Waterborne Zoonoses. Identification, Causes, and Control*. IWA Publishing, London 2004, pp. 120–136.
7. R.S. TOBIN, P. EWAN, K. WALS, B. DUTKA: A survey of *Legionella pneumophila* in water in 12 Canadian cities. *Water Resource* 1986, Vol. 20, pp. 495–501.
8. S.M. EUSER, M. PELGRIM, J.W. den BOER: Legionnaires' disease and Pontiac fever after using a private outdoor whirlpool spa. *Scandinavian Journal of Infections Disease* 2010, Vol. 42, No. 11–12, pp. 910–916.
9. N. BORNSTEIN, D. MARMET, M. SURGOT, M. NOWICKI, E. ARSLAN, J. ESTEVE, J. FLEURETTE: Exposure to Legionellaceae at a hot spring spa: a prospective clinical and serological study. *Epidemiology and Infection* 1989, Vol. 102, pp. 31–36.
10. P.-M. KAO, M.-C. TUNG, B.-M. HSU, Y.-C. CHIU, C.-Y. SHE, S.-M. SHEN, Y.-L. HUANG, W.-C. HUANG: Identification and quantitative detection of *Legionella* spp. in various aquatic environments by real-time PCR assay. *Environmental Science and Pollution Research* 2013, Vol. 20, No. 9, pp. 6128–6137.
11. W.F. MCCOY, E.L. DOWNES, L.F. LEONIDA, M.F. CAIN, D.L. SHERMAN, K. CHEN, S. DEVENDER, M.J. NEVILLE: Inaccuracy in *Legionella* tests of building water systems due to sample holding time. *Water Research* 2012, Vol. 46, No. 11, pp. 3497–3506.
12. J.E. STOUT, Y.E. LIN, A.M. GOETZ, R.R. MUDER: Controlling *Legionella* in hospital water systems: Experiences with the superheat and flush method and copper silver ionization. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1998, Vol. 19, No. 12, pp. 911–916.
13. A.M. SPAGNOLO, M.L. CRISTINA, B. CASINI, F. PERDELLI: *Legionella pneumophila* in healthcare facilities. *Reviews in Medical Microbiology* 2013, Vol. 24, No. 3, pp. 70–80.

14. K. FRAGO, P. KOKKINOS, C. GOGOS, Y. ALAMANOS, A. VANTARAKIS: Prevalence of *Legionella* spp. in water systems of hospitals and hotels in South Western Greece. *International Journal of Environmental Health Research* 2012, Vol. 22, No. 4, pp. 340–354.
15. J. BEAUTÉ, E. ROBESYN [Eds.]: Legionnaires' Disease in Europe, 2012. European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm 2014.
16. Dane Głównego Urzędu Statystycznego, Warszawa 2012.
17. I. ZIMOCZ, E. ŁOBOS: Comprehensive interpretation of safety of wide water supply systems. *Environment Protection Engineering* 2012, Vol. 38, No. 3, pp. 107–117.
18. J.R. RAK: Problematyka ryzyka w wodociągach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014.
19. Dane mikrobiologiczne jakości wody w województwie śląskim w latach 2010–2013. Główny Inspektorat Sanitarny, Warszawa 2014 (materiały niepublikowane).
20. CLC. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2006.

Zimoch, I., Paciej, J. Spatial Risk Assessment of Health Hazards from *Legionella* spp. Presence in Hot Water Systems in Silesia Province. *Ochrona Środowiska* 2014, Vol. 36, No. 4, pp. 23–28.

Abstract: Considering the risk from microbiological hazards associated with *Legionella* spp. contamination of hot water systems, the results of hot water quality control in the period 2010–2013 were presented for multi-family residential buildings and health care facilities in Silesia Province. The risk assessment included the *Legionella* spp. presence and the water temperature. A method for the assessment of health risk caused by *Legionella* spp. was demonstrated together with the evaluation of hazardous operating conditions of certain water supply systems. Population density as a spatial variable as well as water contamination level with

Legionella spp. were taken into account in these procedures. The microbiological contamination analysis for individual object groups demonstrated that *Legionella* spp. colonization of the hot water systems was by 20% more common in health care units than in multi-family residential buildings. It was demonstrated that probability of health hazards due to water contamination with *Legionella* spp. in Silesia Province is 0.188 while the spatial risk allowed classification of this region in the 'controlled risk' category. Therefore, appropriate surveillance is required for all facilities in order to ensure efficient prevention measures that would allow minimizing potential adverse effects of health risks due to microbiological contamination of the hot water systems.

Keywords: Legionnaires' disease, multi-family residential building, health care facility, risk analysis, risk matrix.