

ŚRODOWISKO

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-Ś/2011

ZESZYT 1

ROK 108

ISSUE 1

YEAR 108

KRZYSZTOF BORYCZKO, JANUSZ R. RAK*

ROZWAŻANIA METODYCZNE NA TEMAT OCENY
WIARYGODNOŚCI STATYSTYCZNEJ WPŁYWU
DŁUGOOKRESOWEGO DZIAŁANIA ZANIECZYSZCZENIA
WODY NA ZDROWIE KONSUMENTÓW

METHODICAL CONSIDERATIONS ABOUT STATISTICAL
VERACITY ESTIMATION OF LONG-TERM INFLUENCE
ON CONSUMERS HEATH BY CONTAMINATED WATER

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie propozycji metody oceny wiarygodności statystycznej przy badaniu wpływu długofalowego działania zanieczyszczenia wody na zdrowie konsumentów. Przedstawiono zagadnienia hipotezy o addytywności skutków spożywania zanieczyszczonej wody oraz przykłady obliczeniowe.

Słowa kluczowe: ryzyko, zanieczyszczenie wody, wiarygodność statystyczna

Abstract

The aim of the paper is to present a proposition of statistical veracity estimation of long-term influence on consumers health by contaminated water. Issue of additive hypothesis of drinking contaminated water effects and examples of applique were presented.

Keywords: risk, water contamination, statistical veracity

* Mgr inż. Krzysztof Boryczko, prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska.

1. Wstęp

Water Safety Plans [7] (WSP), Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE (RDW) z dnia 23 października 2000 r. [4], Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [8], narzucają jakościowy reżim wodzie dostarczanej przez przedsiębiorstwa wodociągowe konsumentom. Rozporządzenie dokładnie określa maksymalne wartości parametrów fizycznych, chemicznych i biologicznych wody. Przekroczenie tych wartości może prowadzić do dolegliwości układu pokarmowego, zatruc i powikłań zdrowotnych. Stosunkowo dobrze poznane są skutki jednorazowych ostrych zatruc, jednak nie do końca poznane są efekty długofalowego działania zanieczyszczonej wody na organizm człowieka.

Organizm człowieka jest w stanie wydalic pewne substancje pochłonięte z wody w nadmiarze. Mówiąc o skutkach długotrwałego działania małych dawek zanieczyszczeń na organizm człowieka, należy brać pod uwagę substancje kumulujące się w organizmie (np. ołów gromadzi się w szkieletce) bądź wydalane w ilościach śladowych, których negatywne skutki na poszczególne organy sumują się w czasie [3].

Skutki zdrowotne niektórych metali i substancji toksycznych są następujące [1]:

- arsen – zaburzenia żołądkowo-jelitowe, neuropatie obwodowe, choroby układu krążenia, anemia, przebarwienia i nadmierne rogowacenie skóry, schorzenia górnych dróg oddechowych, nowotwory: skóry, pęcherza, nerek, płuc,
- bor – zaburzenia żołądkowo-jelitowe, uszkodzenia ośrodkowego układu nerwowego, działanie neurotoksyczne,
- cynk – spadek frakcji lipoprotein wysokiej gęstości cholesterolu, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, anemia mikrocytrynowa, bóle i zawroty głowy, upośledzenie układu odpornościowego, zapalenie trzustki,
- chrom – uszkodzenie wątroby i nerek, choroba wrzodowa, alergię skórne, bóle i zawroty głowy, podrażnienie górnych dróg oddechowych, astma, działanie rakotwórcze,
- kobalt – zaburzenia żołądkowo-jelitowe, kardiomiopatie, policytomia, przerost tarczycy,
- miedź – zaburzenia żołądkowo-jelitowe, anemia,
- molibden – deformacje kości, osteoporoza, podatność na próchnicę zębów, anemia, ograniczenie płodności, zaburzenia laktacji,
- nikiel – odczyny alergiczne, działanie rakotwórcze,
- ołów – działanie neurotoksyczne (szczególnie u dzieci), anemia, uszkodzenie nerek, zaburzenia czynności układu pokarmowego,
- azotyny – methemoglobinaemia,
- fluorki – fluoroza kości, osteoporoza, przewapnienie kości, schorzenia górnych dróg oddechowych,
- kadm – uszkodzenie nerek, wątroby, trzustki, zmiany kostne, osteoporoza, zaburzenia układu oddechowego,
- rtęć – uszkodzenie ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego, zaburzenia jelitowe,
- mangan – uszkodzenie ośrodkowego układu nerwowego, uszkodzenie wątroby, choroba Basedowa.

Przyczyną chorób nowotworowych są też pierwiastki promieniotwórcze.

Ogólnie przyjmuje się, że ryzyko zatrucia jest proporcjonalne do dawki. Jest to typowa hipoteza, wynikająca z przyjęcia addytywności efektów. Na addytywności opierają się wnioski wyciągnięte na podstawie zliczenia sumarycznych dawek spożytych przez daną osobę

w określonym czasie. O ile dawka jest z definicji wielkością addytywną, o tyle zależność dawka–skutek nie musi nią być, np. jeśli jakaś dawka zanieczyszczenia wywołuje skutek z prawdopodobieństwem 0,5, a więc na 1000 osób objawy wystąpią u 500 osób, dawka 100 razy mniejsza wywoła wystąpienie objawów u 5 osób. Nie wynika z tego, czy tak rzeczywiście będzie dla dawki 100 razy mniejszej, ale i nie jest prawdą, że nie może tak być. Aby określić wpływ małych dawek zanieczyszczeń na organizm człowieka, potrzebny jest wiarygodny materiał statystyczny. Jedynym rozwiązaniem tego problemu wydają się odpowiednie badania i obserwacje, lecz tutaj pojawia się kwestia ich wiarygodności.

Celem pracy jest przedstawienie propozycji metody oceny wiarygodności statystycznej przy badaniu wpływu długofalowego działania zanieczyszczenia wody na zdrowie konsumentów. W artykule przedstawiono zagadnienia hipotezy o addytywności skutków spożywania zanieczyszczonej wody oraz dwa przykłady obliczeniowe.

2. Metoda oceny wiarygodności statystycznej

Jeżeli prawdopodobieństwo poważnych powikłań zdrowotnych w wyniku spożycia zanieczyszczonej wody wynosi 0,2, to spośród populacji $N = 1000$ osób zachoruje $0,2N$, czyli 200 osób z odchyleniem standardowym $\delta = \sqrt{0,2N}$. Oznacza to, że przy powtarzalnych badaniach populacji złożonej z N osób, w 95% wynik powinien zawierać się w granicach $\pm 2\delta$. Badając $N = 1000$ osób, oczekuje się w świetle założonego prawdopodobieństwa poważnych powikłań zdrowotnych 0,2, że nastąpi ono u 172 do 228 osób. W rozumowaniu przyjęto pewnego rodzaju uproszczenie, gdyż dla rozkładu normalnego przedział ufności wynosi 95,7%, a przedziałowi ufności 95% odpowiada z kolei $\pm 1,96\delta$.

W wypadku małych dawek należy spodziewać się niewielkiego czynnika ryzyka. Powstaje pytanie o wielkość populacji N , jaką trzeba przebadać, aby w miarę precyzyjnie określić wpływ danego czynnika. Przykładowo założono podwyższenie ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych „a” z powodu określonego czynnika. Badaniem należy objąć populację narażoną i wolną od narażenia, każda o liczebności N .

Liczba poważnych powikłań zdrowotnych w grupie narażonej wynosi O . Liczba poważnych powikłań zdrowotnych w grupie kontrolnej wynosi E . Ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych wynoszą odpowiednio O/N i E/N . Zgodnie z hipotezą liniowej addytywności efektów otrzymuje się [2]:

$$\frac{O}{N} - \frac{E}{N} = \frac{O-E}{N} = a \times D, \quad (1)$$

gdzie:

D – dawka powodująca podwyższenie ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych „a” z powodu określonego czynnika.

Średni błąd kwadratowy wynosi:

$$\delta_r = \frac{1}{N} \sqrt{O+E + \frac{(O-E)^2}{N}} = \sqrt{\frac{\frac{O}{N} + \frac{E}{N} + \left(\frac{O}{N} - \frac{E}{N}\right)^2}{N}} \quad (2)$$

Do uzyskania wiarygodności statystycznej wyniku, różnica zachorowalności w grupie badanej i kontrolnej, tj. wartość $\frac{O}{N} - \frac{E}{N}$, powinna co najmniej dwukrotnie przekraczać niepewność wyrażoną odchyleniem standardowym δ_r . Przyjęcie $0,05D = 3\delta_r$ spełnia założenie i dodatkowo zwiększa wiarygodność prowadząc do relacji:

$$N = 9 \sqrt{\frac{\frac{Q}{N} + \frac{E}{N} + \left(\frac{Q}{N} - \frac{E}{N}\right)^2}{(a \cdot D)^2}} \quad (3)$$

Pobranie szkodliwej substancji odbywa się drogą pokarmową poprzez spożycie zanieczyszczonej wody. Pobraną dawkę oblicza się z wzoru [5, 6]:

$$D_d = \frac{S \cdot K \cdot CT}{T} \quad (4)$$

gdzie:

- D_d – dawka pobrana [mg/d],
- S – średnie stężenie [mg/dm³],
- K – wielkość kontaktu z danym medium w jednostce czasu [dm³ wody/d],
- CT – czas trwania kontaktu [d],
- T – okres uśrednienia [d].

3. Przykłady aplikacji metody

Poniżej przedstawiono cztery przykłady obliczeń dla konkretnych substancji szkodliwych.

Przykład obliczeniowy I – ołów

Badany okres: 50 lat.

Dopuszczalne stężenie ołowiu w wodzie do spożycia wg [8] wynosi $S_o = 0,025 \text{ mg/dm}^3 = 0,025 \text{ g/m}^3$.

Stężenie w wodzie do spożycia $S = 0,375 \text{ g/m}^3$.

Podwyższenie ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych $a = 0,01$.

W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń dla rocznej dawki ołowiu.

Tabela 1

Obliczenie rocznej dawki ołowiu

Okres wiekowy 0–6 lat	Okres wiekowy 7–18 lat	Okres wiekowy 19–50 lat
$S = 0,375 \text{ mg/dm}^3$	$S = 0,375 \text{ mg/dm}^3$	$S = 0,375 \text{ mg/dm}^3$
$K = 1 \text{ dm}^3/\text{d}$	$K = 2 \text{ dm}^3/\text{d}$	$K = 2,5 \text{ dm}^3/\text{d}$
$CT = 1825 \text{ d}$	$CT = 4380 \text{ d}$	$CT = 11680 \text{ d}$
$T = 2190 \text{ d}$	$T = 4380 \text{ d}$	$T = 11680 \text{ d}$
$D_d = 0,313 \text{ mg/d}$	$D_d = 0,750 \text{ mg/d}$	$D_d = 0,938 \text{ mg/d}$
$D_{\text{roczna}} = 114,063 \text{ mg/rok}$	$D_{\text{roczna}} = 273,750 \text{ mg/rok}$	$D_{\text{roczna}} = 342,188 \text{ mg/rok}$

Dawka w okresie spożywania wody przez 50 lat $D = 14,805$ g

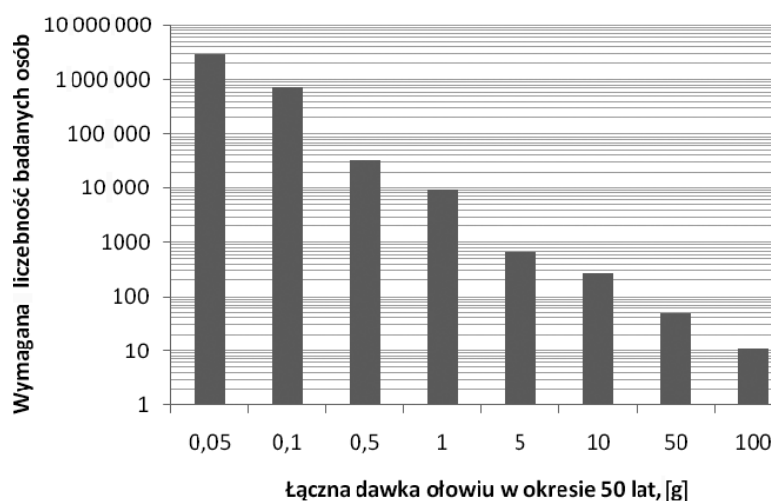
Przyjęto $\frac{E}{N} = 0,1$

$$\frac{O}{N} = 0,1 + 0,01D = 0,1 + 0,01 \times 14,805 = 0,24805$$

$$N = 9 \frac{0,24805 + 0,1 + (0,24805 - 0,1)^2}{(0,01 \times 14,805)^2} = 152 \text{ osoby}$$

Oznacza to, że w przypadku dodatkowej dawki 14,805 g ołowiu w okresie 50 lat, przy wartości $E/N = 0,1$ powinniśmy oczekiwać, że $O/N = 0,24805$ i aby stwierdzić, że współczynnik $a = 0,01$ jest prawdziwy, należy przebadać 152 osoby w grupie narażonej plus tyle samo w grupie kontrolnej.

Na rysunku 1 podano wymaganą liczebność badanych osób w zależności od sumarycznej dawki ołowiu w okresie 50 lat. Badane osoby przez okres 50 lat przyjęły różne dodatkowe dawki ołowiu.



Rys. 1. Wymagana liczebność badanych osób w zależności od sumarycznej dawki ołowiu pochłoniętej w okresie 50 lat

Fig. 1. Required number of examined patient depending on total lead dose absorbed in 50 years

Przykład obliczeniowy II – ołów

Wyznaczono wymaganą liczbę badanych osób N w trzech grupach wiekowych:

- 0–6,
- 7–18,
- 18–50.

Dopuszczalne stężenie ołowiu w wodzie do spożycia wg [8] wynosi $S_0 = 0,025 \text{ mg/dm}^3 = 0,025 \text{ g/m}^3$.

Stężenie w wodzie do spożycia $S = 0,375 \text{ g/m}^3$.

W tabeli 2 zestawiono liczebność populacji grup kontrolnych przy zanieczyszczeniu ołowiem.

Tabela 2

Obliczenie liczebności grupy kontrolnej przy zanieczyszczeniu ołowiem

Okres wiekowy 0–6 lat	Okres wiekowy 7–18 lat	Okres wiekowy 19–50 lat
$S = 0,375 \text{ mg/dm}^3$	$S = 0,375 \text{ mg/dm}^3$	$S = 0,375 \text{ mg/dm}^3$
$K = 1 \text{ dm}^3/\text{d}$	$K = 2 \text{ dm}^3/\text{d}$	$K = 2,5 \text{ dm}^3/\text{d}$
$CT = 1825 \text{ d}$	$CT = 4380 \text{ d}$	$CT = 11680 \text{ d}$
$T = 2190 \text{ d}$	$T = 4380 \text{ d}$	$T = 11680 \text{ d}$
$D_d = 0,313 \text{ mg/d}$	$D_d = 0,750 \text{ mg/d}$	$D_d = 0,938 \text{ mg/d}$
$D_{\text{roczna}} = 114,063 \text{ mg/rok}$	$D_{\text{roczna}} = 273,750 \text{ mg/rok}$	$D_{\text{roczna}} = 342,188 \text{ mg/rok}$
czas = 6 lat	czas = 12 lat	czas = 32 lat
$D = 0,684375 \text{ g}$	$D = 273,750 \text{ g}$	$D = 10,95 \text{ g}$
$\alpha = 0,15$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
$E/N = 0,2$	$E/N = 0,15$	$E/N = 0,1$
$O/N = 0,302656$	$O/N = 0,3143$	$O/N = 0,2095$
$N = 438 \text{ osób}$	$N = 164 \text{ osób}$	$N = 241 \text{ osób}$

Przykład obliczeniowy III – skażenia radiologiczne

Badany okres: 50 lat.

Dopuszczalna całkowita dawka skażeń radiologicznych w wodzie do spożycia wg [8] wynosi $S_0 = 0,10 \text{ mSv/rok}$.

Dawka w wodzie do spożycia $S = 2,055 \text{ mSv/m}^3$.

Podwyższenie ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych $a = 0,05$.

W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń dla rocznej dawki skażenia radiologicznego.

Tabela 3

Obliczenie rocznej dawki skażenia radiologicznego

Okres wiekowy 0–6 lat	Okres wiekowy 7–18 lat	Okres wiekowy 19–50 lat
$S = 2,055 \text{ mSv/m}^3$	$S = 2,055 \text{ mSv/m}^3$	$S = 2,055 \text{ mSv/m}^3$
$K = 1 \text{ dm}^3/\text{d}$	$K = 2 \text{ dm}^3/\text{d}$	$K = 2,5 \text{ dm}^3/\text{d}$
$CT = 1825 \text{ d}$	$CT = 4380 \text{ d}$	$CT = 11680 \text{ d}$
$T = 2190 \text{ d}$	$T = 4380 \text{ d}$	$T = 11680 \text{ d}$
$D_d = 0,002 \text{ mSv/d}$	$D_d = 0,004 \text{ mSv/d}$	$D_d = 0,005 \text{ mSv/d}$
$D_{\text{roczna}} = 0,625 \text{ mSv/rok}$	$D_{\text{roczna}} = 1,500 \text{ mSv/rok}$	$D_{\text{roczna}} = 1,875 \text{ mSv/rok}$

Dawka w okresie spożywania wody przez 50 lat $D = 0,081$ Sv

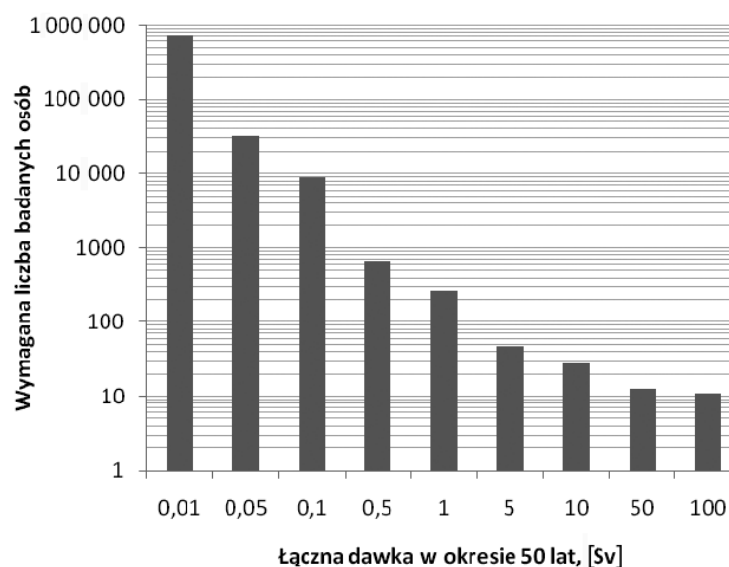
Przyjęto $\frac{E}{N} = 0,1$

$$\frac{O}{N} = 0,1 + 0,05D = 0,01 + 0,05 \times 0,081 = 0,0141$$

$$N = 9 \frac{0,0141 + 0,1 + (0,0141 - 0,1)^2}{(0,05 \times 0,082)^2} = 12\,955 \text{ osób}$$

Oznacza to, że w przypadku dodatkowej dawki 0,082 Sv w okresie 50 lat, przy wartości $E/N = 0,01$ powinniśmy oczekiwać, że $O/N = 0,0141$. Aby stwierdzić, że współczynnik $a = 0,05$ jest prawdziwy, należy przebadać 12 955 osób w grupie narażonej plus tyle samo w grupie kontrolnej.

Na rysunku 2 podano wymaganą liczebność badanych osób w zależności od sumarycznej dawki promieniowania w okresie 50 lat. Badane osoby przez okres 50 lat przyjęły różne dodatkowe dawki Sv.



Rys. 2. Wymagana liczebność badanych osób w zależności do sumarycznej dawki promieniowania w okresie 50 lat

Fig. 2. Required number of examined patient depending on total radiation dose absorbed in 50 years

Przykład obliczeniowy IV – skażenia radiologiczne

Wyznaczono wymaganą liczbę N badanych osób w trzech grupach wiekowych:

- 0–6,
- 7–18,
- 18–50.

Dopuszczalna całkowita dawka skażeń radiologicznych w wodzie do spożycia wg [8] wynosi $S_0 = 0,10$ mSv/rok.

Dawka w wodzie do spożycia $S = 2,055$ mSv/m³.

W tabeli 4 zestawiono liczebność populacji grup kontrolnych przy skażeniu radiologicznym.

Tabela 4

Obliczenie liczebności grupy kontrolnej przy skażeniu radiologicznym

Okres wiekowy 0–6 lat	Okres wiekowy 7–18 lat	Okres wiekowy 19–50 lat
$S = 2,055$ mSv/m ³	$S = 2,055$ mSv/m ³	$S = 2,055$ mSv/m ³
$K = 1$ dm ³ /d	$K = 2$ dm ³ /d	$K = 2,5$ dm ³ /d
$CT = 1825$ d	$CT = 4380$ d	$CT = 11680$ d
$T = 2190$ d	$T = 4380$ d	$T = 11680$ d
$D_d = 0,002$ mSv/d	$D_d = 0,004$ mSv/d	$D_d = 0,005$ mSv/d
$D_{\text{roczna}} = 0,625$ mSv/rok	$D_{\text{roczna}} = 1,500$ mSv/rok	$D_{\text{roczna}} = 1,875$ mSv/rok
czas = 6 lat	czas = 12 lat	czas = 32 lat
$D = 0,0038$ Sv	$D = 0,0180$ Sv	$D = 0,0600$ Sv
$\alpha = 0,15$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
$E/N = 0,25$	$E/N = 0,02$	$E/N = 0,01$
$O/N = 0,26$	$O/N = 0,022$	$O/N = 0,013$
$N = 1437945$ osób	$N = 116097$ osób	$N = 23005$ osób

4. Wnioski

1. Przedstawiona metoda ma zastosowanie przede wszystkim dla substancji, które kumulują się w organizmie ludzkim.
2. Kluczowe znaczenie przy określaniu liczby badanych osób ma wyznaczenie współczynnika podwyższenia ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych „a”, jak również ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych w grupie kontrolnej – O/N .
3. Wymagana liczebność badanych osób jest tym większa, im: mniejsza jest wartość O/N ; mniejsza jest wartość podwyższenia ryzyka poważnych powikłań zdrowotnych „a” z powodu określonego czynnika; mniejsza jest łączna dawka substancji szkodliwej.
4. Wymagana liczebność badanych osób jest mniejsza, jeśli bada się wpływ danego czynnika przez długi okres. Dla krótkich okresów narażenia szkodliwa dawka jest mniejsza, a co za tym idzie, trzeba zbadać więcej osób, by określić wpływ substancji na organizm człowieka.

Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego Nr N R14 0006 10 nt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010–2013.

Literatura

- [1] Biesiada M., Janeczek A., Biesiada M., Muszyńska-Graca M., Dąbkowska B., Malec B., Kalińska A., Gałkowska E., *Ocena ryzyka zdrowotnego mieszkańców Wiślinki związanego z oddziaływaniem hałdy fosfogipsu*, Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec 2006.
- [2] Dobrzyński L., *O biologicznych skutkach promieniowania jonizującego*, Raport Nr 13 Działu Szkolenia i Doradztwa Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Soltana, Świerk 2001.
- [3] Emsley J., *Chemia – Przewodnik po pierwiastkach*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
- [4] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, *DYREKTYWA 2000/60/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej*,
- [5] Rak J., *Bezpieczeństwo systemów zaopatrzenia w wodę*, Badania systemowe. Inżynieria środowiska, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2009.
- [6] Rak J., *Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
- [7] World Health Organization, *Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer*, Water, Sanitation and Health. Protection and the Human Environment World Health Organization, Geneva 2005.
- [8] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. Nr 61, poz. 417.