



**POLSKA AKADEMIA NAUK**

**Instytut Badań Systemowych**

---

**BADANIA SYSTEMOWE**

**Inżynieria Środowiska**

**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW  
ZBIOROWEGO ZAOPATRZENIA  
W WODĘ**

**Janusz Rak**

**Barbara Tchórzewska-Cieślak**

**Jan Studziński**

**Warszawa 2013**



**POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE**

**Tom 72**

---

---

**Redaktor naukowy:  
Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum**

**Warszawa 2013**

Rada redakcyjna serii: **BADANIA SYSTEMOWE**  
**Inżynieria Środowiska**

Prof. Olgierd Hryniewicz - przewodniczący

Prof. Jakub Gutenbaum – redaktor naczelny

Prof. Janusz Kacprzyk

Prof. Tadeusz Kaczorek

Prof. Roman Kulikowski

Prof. Marek Libura

Prof. Krzysztof Malinowski

Prof. Zbigniew Nahorski

Prof. Marek Niezgódka

Prof. Roman Słowiński

Prof. Jan Studziński

Prof. Stanisław Walukiewicz

Prof. Andrzej Weryński
------------------------

Prof. Antoni Żochowski



**POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

---

---

**Janusz Rak**

**Barbara Tchórzewska-Cieślak**

**Jan Studziński**

**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW  
ZBIOROWEGO ZAOPATRZENIA  
W WODĘ**

**Warszawa 2013**

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN  
Warszawa 2013

### **Autorzy:**

**Prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak**

Politechnika Rzeszowska  
rakjan@prz.edu.pl

**Dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak**

Politechnika Rzeszowska  
cbarbara@prz.edu.pl

**Dr hab. inż. Jan Studziński**

IBS PAN Warszawa  
studzins@ibspan.waw.pl

### **Recenzenci:**

**Prof. dr hab. inż. Janusz Łomotowski**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

**Dr hab. inż. Izabela Zimoch**

Politechnika Śląska w Gliwicach

**Skład:** Aneta M. Pielak

### **Wydawca:**

Instytut Badań Systemowych  
Polska Akademia Nauk  
Newelska 6, 01-447 Warszawa  
www.ibspan.waw.pl

*Publikacja wydana ze środków projektów rozwojowych  
Narodowego Centrum Badań i Rozwoju  
nr NR 14-0006-10/2010 oraz NR 14-0011-10/2010*

**ISSN 0208-8029**

**ISBN 83-894-7549-9**

## 9. Dopuszczalne ryzyko zdrowotne związane z konsumpcją wody wodociągowej

Rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi dopuszcza odstępstwa od dopuszczalnych parametrów jakości wody po stwierdzeniu braku zagrożenia w wyniku analizy ryzyka zdrowotnego, nie podając procedur związanych z tymi analizami (Rak, 2008b, c; Rozporządzenie Ministra Zdrowia, 2007, 2010). Z punktu widzenia medycyny ryzyko zdrowotne określa się poprzez prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia w postaci zgonu lub zachorowania człowieka, w określonym czasie lub wieku człowieka (Graczyk, 2005). Dodatkowe ryzyko zdrowotne związane jest z wielkością nadwyżki negatywnych skutków zdrowotnych, która jest powiązana przyczynowo ze złą jakością wody (Fewtrell, Bartram, 2002). Istnieją następujące sposoby normowania wskaźników zanieczyszczenia wody do spożycia (Denczew, 2001; Korczak, Dąbrowski, 2005; Kozłowski, 1982; Rak, 2009a):

- jednostronny, gdzie wartością progową jest kres górny „więcej niż” (żelazo, mangan, ChZT, mętność, barwa itp.),
- jednostronny, gdzie wartością progową jest kres dolny „nie mniej niż” (tlen rozpuszczany),
- dwustronny, gdzie wartości dopuszczalne znajdują się w przedziale „od...do” (odczyn pH, twardość),
- opisowy (jakościowy), np. zapach akceptowalny.

Zasady oceny ryzyka zdrowotnego dla substancji toksycznych niekancerogennych według Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska US EPA odbywają się w następujących etapach postępowania (Apostolakis, Kaplan, 1981; Dohnalik, Wytrwał, 2005; Environmental and Health, 1990; Humphreys, 1998; Rak, Pietrucha, 2008, 2011):

- identyfikacja zagrożenia,
- określenie zależności: dawka – odpowiedź,
- ocena narażenia,
- charakterystyka ryzyka i analiza niepewności.

Substancje o działaniu toksycznym charakteryzują się progiem stężenia, poniżej którego fizjologiczne mechanizmy obronne organizmu chronią przed negatywnymi skutkami narażenia. Próg ten ilościowo opisuje poziom braku obserwowanych efektów szkodliwych NOAEL (Environmental and Health, 1990; World Health Organization).

Wartość dawki referencyjnej wyznacza się ze wzoru:

$$RfD = \frac{NOAEL}{MF \cdot UF} \quad (9.1)$$

gdzie:  $MF$  – współczynnik modyfikujący przejścia z obszaru dawek wysokich na obszar dawek niskich, typowych dla narażenia środowiskowego i przeskalanowania ze zwierząt na ludzi,  $UF$  – współczynnik marginesu bezpieczeństwa.

Wielkości dawek referencyjnych są udostępnione w bazach danych HAST lub IRIS (World Health Organization).

Krzywe dawki – odpowiedzi pochodzą z badań toksykologicznych na zwierzętach wskaźnikowych i dotyczą poziomów narażenia znacznie przekraczających spotykane narażenia środowiskowe. Pod pojęciem narażenia rozumie się kontakt organizmu człowieka z czynnikiem chemicznym. Ilościowo narażenie, to uśrednione po czasie kontaktu stężenie czynnika szkodliwego w medium środowiskowym (wodzie), za pośrednictwem którego miał miejsce kontakt (World Health Organization).

Pobranie szkodliwej substancji odbywa się drogą pokarmową poprzez spożycie skażonej wody. Ocenę narażenia dokonuje się w oparciu o dawkę pobraną. Dawkę pobraną oblicza się ze wzoru:

$$D = \frac{S \cdot K \cdot CT}{MC \cdot T} \quad (9.2)$$

gdzie:

$D$  – dawka pobrana [ $mg/d$  kg masy ciała],

$S$  – średnie stężenie [ $mg/dm^3$  wody],

$K$  – wielkość kontaktu z danym medium w jednostce czasu [ $dm^3$  wody/ $d$ ],

$CT$  – czas trwania kontaktu [ $d$ ],

$MC$  – średnia masa ciała ( $kg$ ), dla populacji generalnej:

mężczyzna – 78,1 kg

kobieta – 65,4 kg

dzieci pomiędzy 0 a 6 rokiem życia – 16 kg

młodzież pomiędzy 7 a 18 rokiem życia – 45 kg

$T$  – okres uśrednienia – całożyciowe przewlekłe narażenia, to  $T = 70$  lat = 25 550 d, jeżeli krótkotrwałe, to  $T = CT$ .

Dobową ilość wody do spożycia przyjmuje się w zakresie  $1,4 \text{ dm}^3$  (wartość średnia),  $2,0 \text{ dm}^3$  (percentyl 90%).

Pobór substancji chemicznej ze skażoną wodą do spożycia wynosi:

$$D = \frac{S \cdot FI \cdot K \cdot CT}{MC \cdot T} \quad (9.3)$$

gdzie:  $FI$  – współczynnik z przedziału 0-1 określający, jaka część faktycznie pochodzi ze skażonego źródła.

Wielkość dawki pobranej z uwzględnieniem wieku i płci

$$D_{pop} = W_{0-6} \cdot C \cdot D_{0-6} + W_{7-18} \cdot D_{7-18} + W_m \cdot D_m + W_k \cdot D_k \quad (9.4)$$

gdzie:  $k$  – dotyczy kobiet,  $m$  – dotyczy mężczyzn,  $W_i$  - udziały w populacji generalnej dzieci (0-6), młodzieży (7-18), mężczyzn i kobiet, przy czym:

$$\sum_{i=1}^4 W_i = 1 \quad (9.5)$$

Iloraz narażenia wynosi:

$$HQ = \frac{D}{RfD} \quad (9.6)$$

Jeżeli  $HQ \geq 1$  to istnieje możliwość negatywnych skutków zdrowotnych w wyniku długotrwałego narażenia na daną substancję.

W tab. 9.1 podano przykładowe wartości  $RfD$  w mg/kgd (Rak, 2009a), a w tab. 9.2 podano współczynniki wagowe struktury demograficznej.



**Tabela 9.1.** Wybrane wartości RfD dla substancji toksycznych.

<b>RfD substancji toksycznej</b>								
$Cr^{+6}$	$Cr^{+3}$	$Zn$	$Cd$	$Cu$	$Ni$	$F$	$Mn$	$Fe$
$3 \cdot 10^{-3}$	1,5	0,3	$5 \cdot 10^{-4}$	4.10-2	$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,3

**Tabela 9.2.** Współczynniki wagowe do obliczenia dawki populacyjnej.

<b>Grupa wiekowa</b>	0-6	7-18	>18 [m]	>18 [k]
$W_i$	0,094	0,231	0,331	0,334

Wielkość dobowego spożycia wody w grupach wiekowych modeluje się rozkładem logarytmiczno-normalnym o parametrach przedstawionych w tab. 9.3.

**Tabela 9.3.** Wydajności średnie i odchylenia standardowe dotyczące dobowego spożycia wody.

<b>Grupa wiekowa</b>	<b>Wartość średnia dm<sup>3</sup>/d</b>	<b>Odchylenia standardowe dm<sup>3</sup>/d</b>
0-6	0,5	0,3
7-18	1,1	0,5
>18 m	1,6	0,4
>18 k	1,3	0,3

Dawka związana z kontaktem skóry z substancją toksyczną w wodzie.

$$D = \frac{S \cdot SA \cdot PC \cdot CT}{MC \cdot T} \left[ \frac{mg}{kg \cdot d} \right] \quad (9.7)$$

gdzie:  $SA$  – średnia powierzchnia ciała: mężczyźni -  $1,94 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$ , kobiety -  $1,69 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$ , ręka -  $0,23 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$ , dłoń -  $0,082 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$ , noga -  $0,55 \cdot 10^2 \text{ dm}^2$ ,  $PC$  – stała przenikania [dm/d] (należy korzystać z danych literaturowych).

IBS PAN *Serw*

47323

Bibl. podręczna

ISSN 0208-8029  
ISBN 83-894-7549-9

---

**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

tel.: (+48) 22 3810246 / 22 3810277 / 22 3810241 / 22 3810273

e-mail: [biblioteka@ibspan.waw.pl](mailto:biblioteka@ibspan.waw.pl)