



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*

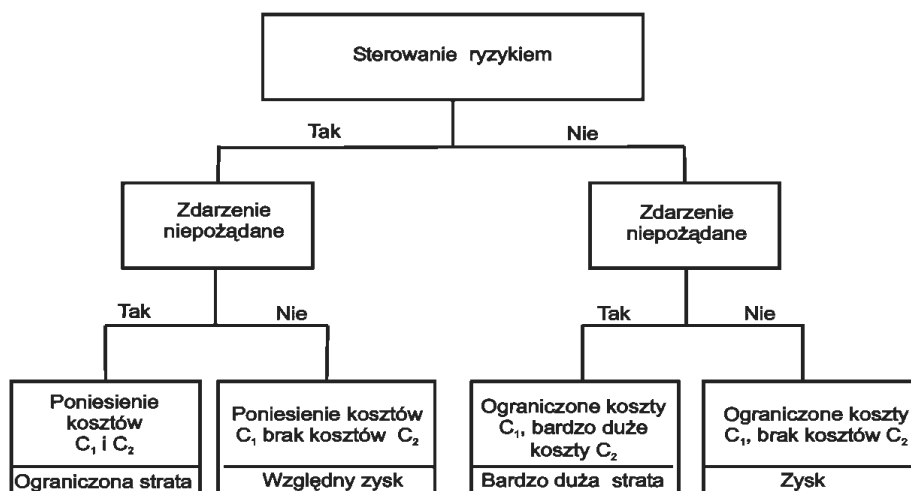
ISSN 0208-8029

ISBN 83-894-7549-9

10. Problematyka finansowa sterowania ryzykiem w wodociągach

10.1. Ekonomiczny aspekt sterowania ryzykiem

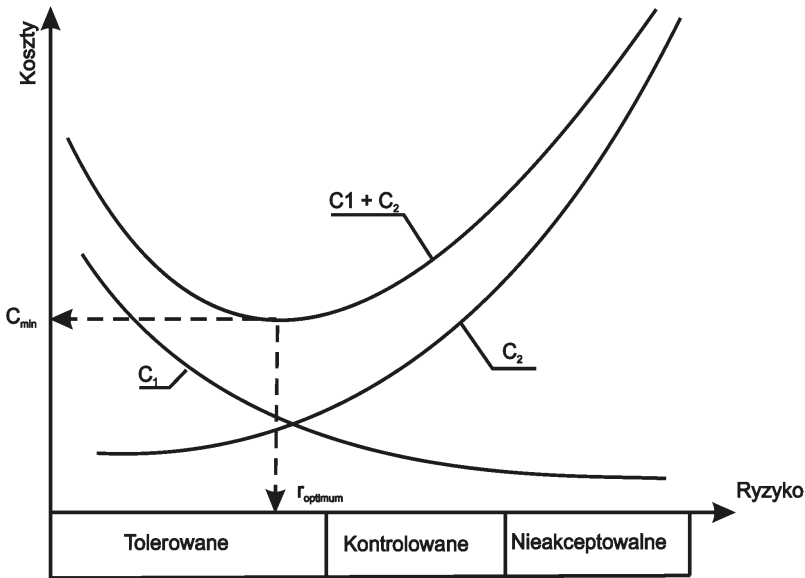
Ekonomiczny aspekt sterowania ryzykiem bezpośrednio z podjęciem lub zaniechaniem procedur mających na celu jego ograniczenie ma strategiczne znaczenie (Rak, 2009b). Na rysunku 10.1 pokazano możliwe scenariusze decyzyjne (Rak, 2009a).



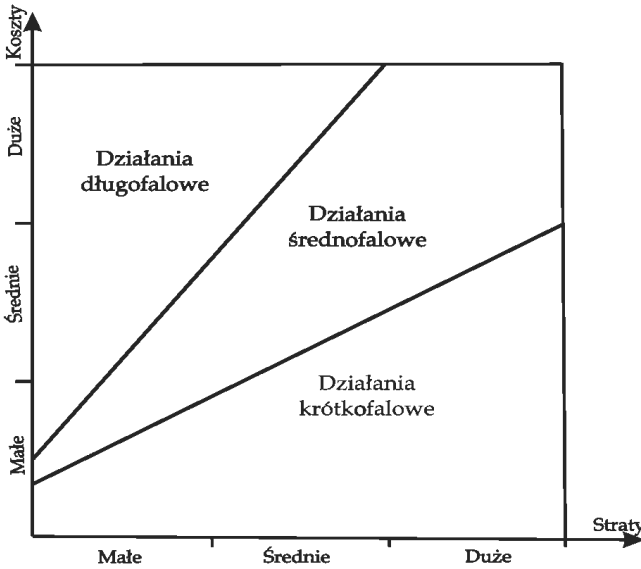
Rys. 10.1. Scenariusze decyzyjne związane ze sterowaniem ryzykiem.

Przedstawione scenariusze decyzyjne dają możliwość wyboru strategii postępowania. Wybór dla poszczególnych grup zdarzeń niepożądanych związanych z funkcjonowaniem SZZW powinien być poprzedzony szczegółową analizą i oce-

ną ryzyka. Pewną wskazówką w tym względzie jest analiza kosztów w funkcji ryzyka przedstawiona na rys. 10.2. Z wykresu wynika, że istnieje pewne minimum kosztów całkowitych, które powinno się zawierać w obszarze ryzyka tolerowanego (Rak, 2009a, b).



Rys. 10.2. Zależność kosztów w zakresie ryzyka: C_1 – koszt ograniczania ryzyka, C_2 – koszt strat, C – suma kosztów.



Rys. 10.3. Szacunkowa analiza kosztów i strat związanych z zarządzaniem ryzykiem.

W zakresie planowania kosztów związanych z zarządzaniem ryzykiem należy szacunkowo kierować się wytycznymi zaprezentowanymi na rys. 10.3 (Rak, 2009a, b).

10.2. Model opcji ryzyka

Miara ryzyka, zgodnie z definicją, w skali jednego roku wynosi (Apostolakis, Kaplan, 1981; Haas i inni, 1999; Himer, 2000; Hipel i inni, 2003; Iwanejko, 2005; Mays, 2004; McGill i inni, 2005; Rak, 2007a, b):

$$r_{k,x} = F_k \cdot C_{k,x} \tag{10.1}$$

F_k – częstość k -tego zdarzenia niepożądanego,

$C_{k,x}$ – x -ta szkoda na skutek k -tego zdarzenia niepożądanego,

$k = 1$ – uszkodzenie,

$k = 2$ – awarie,

$k = 3$ – poważna awaria (katastrofa),

$x = 1$ – strata finansowa,

$x = 2$ – szkoda na zdrowiu.

Roczne sumaryczne ryzyko x -tej szkody związane z k -tymi zdarzeniami niepożądanymi; $k = 1, 2, 3$, wynosi:

$$r_x = \sum_k r_{k,x} = \sum_k F_k \cdot C_{k,x} \quad (10.2)$$

Założono czas amortyzacji na T lat. Przyjmując, że częstość i skutki k -tego zdarzenia niepożądanego zmieniają się w kolejnych latach eksploatacji, to miara ryzyka dla czasu T wynosi (Rak, 2009a):

$$r_{T,x} = \sum_k \sum_{t=1}^T \frac{F_{k,t} \cdot C_{k,x,t}}{(1+D)^t} \quad (10.3)$$

gdzie: $F_{k,t}$ – częstość występowania zdarzenia niepożądanego w t -tym roku eksploatacji, $C_{k,x,t}$ – x -ta szkoda w t -tym roku eksploatacji dla k -tego zdarzenia niepożądanego, D – stopa dyskontowa (5÷10%)

Zakładając, że częstość i szkoda w poszczególnych latach są stacjonarne, wzór (10.3) przyjmuje postać (Rak, 2009a):

$$r_{T,x} = T_{ef} \sum_k F_k \cdot C_{kx} = r_x \cdot T_{ef} \quad (10.4)$$

Prognozowany czas efektywnej eksploatacji wyznacza się ze wzoru:

$$T_{ef} = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+D)^t} = \frac{1}{R_{D,T}} \quad (10.5)$$

gdzie: $R_{D,T}$ – rata reprodukcji rozszerzonej, którą wyznacza się ze wzoru:

$$R_{D,T} = \frac{D(1+D)^T}{(1+D)^T - 1} \quad (10.6)$$

W wypadku rozpatrywania szkód związanych z powikłaniami zdrowotnymi, ($C_{k,z}$) nie prowadzi się dyskontowania możliwych szkód w przyszłości. Ryzyko na podstawie relacji (10.1) wyznacza się ze wzoru:

$$r_T = T \sum_k F_k \cdot C_{k,z} \quad (10.7)$$

gdzie: $C_{k,z}$ – liczba osób dotkniętych powikłaniami zdrowotnymi (miernik szkód zdrowotnych).

10.3. Redukcja ryzyka

Wprowadzenie danej strategii redukcji ryzyka względem sytuacji bazowej A , dla k -tego zdarzenia niepożądanego opisuje relacja (Rak, 2009a):

$$\Delta r_k = r_{k,A} - r'_k = F_{k,A} \cdot C_{k,A} - F'_k \cdot C'_k \quad (10.8)$$

gdzie: $r_{k,A}$ – wartość miary ryzyka dla bazowego k -tego zdarzenia niepożądanego, r'_k – wartość miary ryzyka po wprowadzeniu strategii redukcji ryzyka, $F_{k,A}$; F'_k – częstość występowania k -tego zdarzenia niepożądanego odpowiednio dla rozwiązania bazowego A i rozważonej strategii redukcji ryzyka, $C_{k,A}$, C'_k – oszacowanie strat związanych z k -tym zdarzeniem niepożądanym odpowiednio dla rozwiązania bazowego A i rozważonej strategii redukcji ryzyka

Dla przyjętego modelu ryzyka ($k = 1, 2, 3$) zgodnie z relacją (10.8) otrzymuje się całkowitą redukcję ryzyka:

$$\Delta r = r_A - r' = \sum_k (F_{k,A} \cdot C_{k,A} - F'_k \cdot C'_k) \quad (10.9)$$

Względne redukcje częstości i strat wynoszą:

$$\frac{F_{k,A} - F'_k}{F_{k,A}} = 1 - \frac{F'_k}{F_{k,A}} = 1 - \eta_{F,k} \quad (10.10)$$

$$\frac{C_{k,A} - C'_k}{C_{k,A}} = 1 - \frac{C'_k}{C_{k,A}} = 1 - \eta_{C,k} \quad (10.11)$$

gdzie: $\eta_{F,k}$ – względna zmiana redukcji częstości k -tego zdarzenia niepożądanego w odniesieniu do rozwiązania bazowego, $\eta_{C,k}$ – względna zmiana (redukcja) strat związanych z k -tym zdarzeniem niepożądanym w odniesieniu do rozwiązania bazowego.

Uwzględniając (10.10) i (10.11) wzór na redukcję ryzyka (10.8) przyjmuje postać:

$$\Delta r = \sum_k F_{k,A} \cdot C_{k,A} (1 - \eta_{F,k} \cdot \eta_{C,k}) \quad (10.12)$$

10.4. Efektywność finansowa

Efektywność danej strategii redukcji ryzyka względem rozwiązania bazowego A w czasie prognozowanego czasu eksploatacji T określa się wskaźnikiem CURR (ang. *cost per unit risk reduction*) według wzoru (Rak, 2009a):

$$CURR_T = \frac{\Delta C_T}{\Delta r_T} \quad (10.13)$$

gdzie:

ΔC_T – dyskontowany przyrost kosztów w okresie T lat poniesionych na realizację strategii redukcji ryzyka względem rozwiązania bazowego,

Δr_T – prognozowana redukcja ryzyka w okresie T lat po wdrożeniu strategii redukcji ryzyka.

W odniesieniu do okresu rocznego wskaźnik efektywności wynosi:

$$CURR = \frac{\Delta C}{\Delta r} \quad (10.14)$$

Przyrost kosztów rocznych związany a daną strategią redukcji ryzyka wyznacza się ze wzoru:

$$\Delta C = R_{D,T} \cdot \Delta C_m + \Delta C_e - \Delta C_o \quad (10.15)$$

gdzie:

ΔC_m – koszty związane z modernizacją,

ΔC_e – koszty związane z eksploatacją,

ΔC_o – koszty prognozowanych oszczędności w związku z wdrożeniem strategii redukcji ryzyka,

$R_{D,T}$ – rata reprodukcji rozszerzonej dla prognozowanego czasu eksploatacji T i stopy dyskonta D wg wzoru (10.6)

W rozważaniach praktycznych należy wyznaczyć wariantowe wartości $CURR_T$ i $CURR$ i dokonać wyboru najmniejszych dodatkowych nakładów na jednostkę zredukowanych strat (Blischke, Murthy, 2000; Borysiewicz i inni, 2000).

10.5. Analiza kosztów związanych z ryzykiem spożycia zanieczyszczonej wody

Można wyróżnić trzy kategorie skutków zdrowotnych, związanych z potencjalnym spożyciem zanieczyszczonej wody (Bajer, 2008; Blischke, Murthy, 2000; Borysiewicz i inni, 2000; Dąbrowski, Dąbrowska, 2012; Grabińska-Łoniewska, 2005; Jeż-Wolkowiak, Sozański, 2004; Kowal, 2005; Łomotowski, 2007; Pistelok i inni, 2012):

- koszty leczenia i ewentualnej absencji chorobowej

$$C_1 = N(C_l \cdot t_l + C_a \cdot t_a) \quad (10.16)$$

gdzie:

N – liczba poszkodowanych osób,

C_l – średni koszt dobowego leczenia [PLN/osobo dobę],

t_l – średni czas leczenia [d],

C_a – średni koszt absencji chorobowej wypłacany z ubezpieczenia [PLN/osobo dobę],

t_a – średni czas absencji poszkodowanego [d].

- koszty związane z wczesnymi zejściami śmiertelnymi

$$C_2 = N(C_d + C_u \cdot k_u) \quad (10.17)$$

gdzie:

N – liczba wczesnych (nagłych) zejść śmiertelnych,

C_d – średni dochód w czasie aktywności zawodowej [PLN/osobę],

C_u – średni ekwiwalent z tytułu ubezpieczenia na życie [PLN/osobę],
 k_u - odsetek populacji ubezpieczonej na życie.

Średni dochód w czasie aktywności zawodowej wyznacza się ze wzoru (Rak, 2009a):

$$C_d = C_w \cdot k_k \cdot k_z \cdot \sum_{t=1}^T \left[\frac{1+s}{1+D} \right]^t \quad (10.18)$$

gdzie:

C_w – średnie roczne wynagrodzenie [PLN/rok],
 k_k – współczynnik korekcyjny wysokości średniego wynagrodzenia w danej miejscowości do średniej krajowej,
 k_z – wskaźnik względnej liczby zatrudnienia w danej miejscowości,
 T - liczba lat do wieku emerytalnego,
 s – stopa wzrostu wynagrodzenia, np. 0,02,
 D – stopa dyskontowa, np. 0,05.

- koszty związane z opieką medyczną i odłożonymi w czasie zejściami śmiertelnymi

$$C_3 = N \cdot C_o \quad (10.19)$$

gdzie:

C_o – średnie koszty opieki medycznej i pielęgnacyjnej [PLN/osobę]
 N – liczba osób wymagająca opieki medycznej np. obejmującej leczenie chorób nowotworowych, które mogą powodować zejście śmiertelne odłożone w czasie.

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