



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*

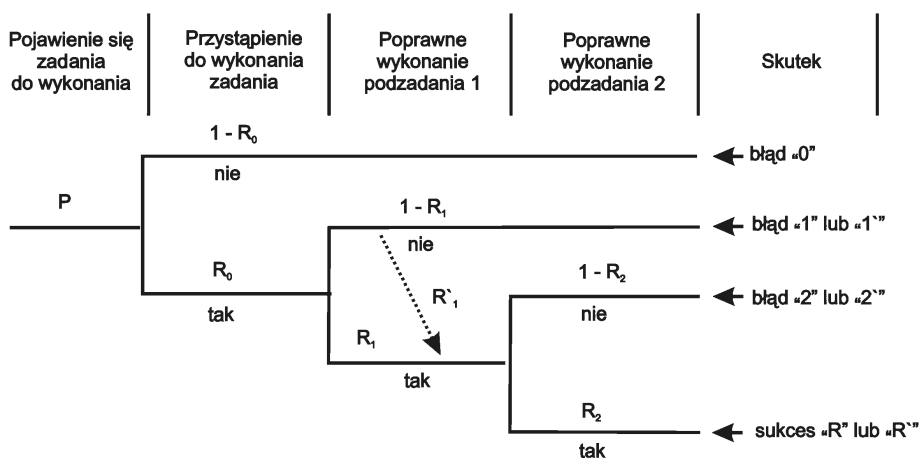
ISSN 0208-8029

ISBN 83-894-7549-9

12. Ocena niezawodności metodą drzewa zdarzeń

12.1. Metoda poprawy popełnionego błędu

Uwzględnienie niezawodności operatora w analizie ryzyka można przeprowadzić metodą drzewa zdarzeń. Zdarzeniami w drzewie są możliwości popełnienia błędu przy wykonywaniu kolejnych podzadań przez operatora. Przykład drzewa zdarzeń pokazano na rys. 12.1 (Rak, 2009a).



Rys. 12.1. Drzewo zdarzeń dla wykonania zadania przez operatora z możliwością poprawy popełnionego błędu.

Istnieje następująca gradacja skutków w wyniku popełnionych błędów:

- błąd „0” identyfikowany jest z wystąpieniem zdarzenia katastroficznego,
- błąd „1” identyfikowany jest z wystąpieniem zdarzenia awarii,
- błąd „2” identyfikowany jest z wystąpieniem zdarzenia incydentu bez następstw.

Prawdopodobieństwo poprawnego wykonania zadania (sukcesu) wyznacza się jako iloczyn prawdopodobieństw wykonania podzadań

$$R = P \cdot R_0 \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (12.1)$$

Prawdopodobieństwo popełnienia błędu wyznacza się ze wzoru:

$$Q = 1 - R = 1 - P \cdot R_0 \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (12.2)$$

12.2. Niezawodność operatora

Poziom niezawodności operatora limitują błędy popełnione przy odbiorze i przetwarzaniu informacji oraz podejmowaniu i wykonywaniu decyzji (Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2007a). Czynnikiem ergonomicznym jest dostosowanie obiektu technicznego (*OT*) do psychofizjologicznych możliwości operatora (*O*). Stopień przygotowania zawodowego w sytuacjach normalnych i ekstremalnych, indywidualne cechy procesów percepcyjnych, umysłowych i wykonawczych oraz ogólna kultura bezpieczeństwa są bezpośrednio związane operatorem jako elementem systemu człowiek-technika-środowisko (*Cz-T-S*). Ważną cechą operatora jest stosunek do ryzyka. Przyczyną wielu błędów człowieka jest „ryzykanctwo”, objawiające się demonstrowaniem nadmiernej odwagi w sytuacjach zagrożenia. Pewnego rodzaju dziedzictwem minionego systemu społeczno-politycznego (nakazowo-rozdzielczego) jest nadmierna skłonność ludzi do omijania i naruszania różnego rodzaju przepisów (Rak, 2003d).

W wysokorozwiniętych gospodarczo krajach badania doświadczalne i analizy jakościowe pozwalają na ocenę roli operatora w systemach *Cz-T-S*. Zasady kultury bezpieczeństwa pozwalają na odpowiedni dobór cech psychofizycznych operatora, metod kształcenia, treningu oraz regenerowania sił witalnych. Psychologia inżynierska wyróżnia osobowości mające predyspozycje do zachowań inercyjnych, co objawia się trudnością do przystosowania się do nieoczekiwanej zmieniającej się sytuacji. Tacy „pechowcy” nie powinni współpracować z obiektami technicznymi. Operatora powinna cechować umiejętność szybkiego podejmowania decyzji, zdolność do koncentracji i przekonania do własnych fachowych umiejętności (Rak, 2003d; Wieczysty i inni, 1997).

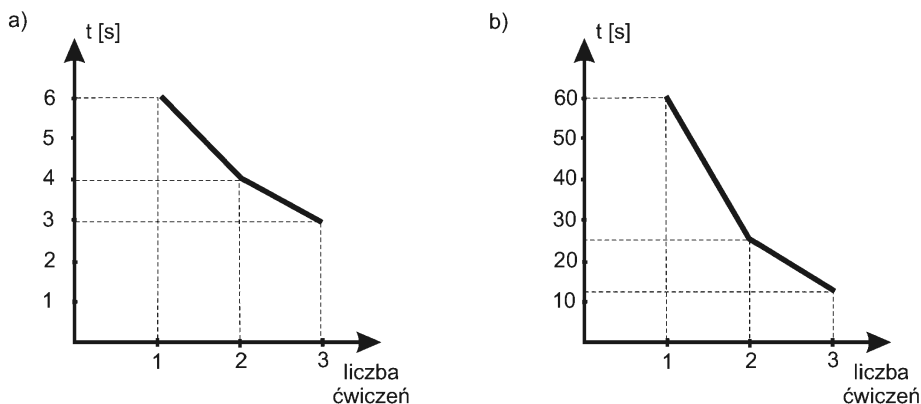
W analizach niezawodności operatora wyróżnia się trzy podstawowe poziomy:

- wprawy – proste czynności o charakterze manipulacyjno-odczytowym,
- reguł – złożone czynności wykonywane w oparciu o opracowane procedury,

- wiedzy – działania nietypowe wymagające oceny sytuacji i podjęcia decyzji.

Ostatni poziom związany jest z sytuacjami kryzysowymi i dotyczy analiz ryzyka związanego z funkcjonowaniem systemów Cz-T-S (Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2005a; Wiczysty i inni, 1997). Uważa się, że trening wyrabia odporność psychiczną na stres i poczucie wiary w umiejętności w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa. Poczucie panowania nad sytuacją jest bardzo pożądaną pozytywną emocją operatora zwiększającą jego niezawodność działania.

Na rys. 12.2 pokazano wpływ liczby ćwiczeń na czas wykrywania awarii agregatu pompowego (a) i rozpoznawanie jego rodzaju (b) w wyniku obserwacji tablicy synoptycznej (Preś, 2007; Rak, 2009a).



Rys. 12.2. Zależność liczby ćwiczeń od czasu: a) wykrycia awarii agregatu pompowego, b) rozpoznania rodzaju awarii.

W piśmiennictwie amerykańskim funkcjonuje model zawodności operatora oparty o zasady wywodzące się z teorii informacji (Rak, 2009a, 2003d):

$$Q = P^{\frac{9}{S-1}} = 0,02^{\frac{9}{S-1}} \quad (12.3)$$

gdzie: $P = 0,02$ – prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez operatora przy działaniu na granicy możliwości psychofizjologicznych względem informacji, S – miara obciążenia informacyjnego według dziesięciostopniowej skali ocen.

W tab. 12.1 przedstawiono wpływ obciążenia informacyjnego na prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez operatora wg. wzoru (12.3). Przedstawiono

w niej negatywny wpływ nadmiaru informacji potrzebnych do podjęcia decyzji przez operatora. Prawdopodobieństwo popełnienia błędu rośnie ze wzrostem informacji odbieranych przez operatora i przez niego przetwarzanych (Rak, 2009a, 2003d).

Tabela 12.1. Zestawienie zawodności operatora w zależności od obciążenia informacją

S	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Q	0,02	0,0122647	$6,54 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$1,50 \cdot 10^{-4}$	$8,74 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$2,26 \cdot 10^{-8}$	$5,12 \cdot 10^{-16}$

12.3. Próby oceny wartości życia

Jedną z najważniejszych kategorii skutków będących następstwem zdarzeń niepożądanych w analizach ryzyka jest utrata życia ludzkiego. Pojawia się więc problem oszacowania wartości życia, którego wielu badaczy nie podejmuje ze względów etycznych i moralnych. Mimo tego istnieją metody pozwalające uwzględnić w analizach ryzyka tego „rodzaju stratę” (Rak, 2009a).

Z ekonomicznego punktu widzenia funkcjonuje pojęcie kapitału ludzkiego. W tym ujęciu życiu ludzkiemu można przypisać wartości dyskontowanej sumy wszystkich przyszłych przychodów (zarobków). W metodzie tej zakłada się, że płaca (pensja) danej osoby jest miarą wartości społecznej. Zatem dyskontując przyszłe zarobki ocenia się stratę, jaką ponosi społeczeństwo w wypadku utraty życia przez człowieka. Metodę można stosować w dwóch wariantach: wartości netto i wartości brutto. W wersji wartości netto od sumy dyskontowanych zarobków odejmuje się sumę dyskontowaną przyszłej konsumpcji. W wersji brutto sumuje się dyskontowane zarobki i konsumpcję (Rak, 2007a).

Pochodną metody kapitału ludzkiego jest opieranie się na orzeczeniach sądowych w sprawie odszkodowań za utratę życia lub wypłat odszkodowań przez firmy ubezpieczeniowe, np. za wypadek samochodowy ze skutkiem śmiertelnym.

Kolejna metoda dotyczy domniemanej wartości życia. Wnioski o wartości życia określa się na podstawie przyszłych decyzji społeczno-gospodarczych. Przykładowo zakłada się, że rocznie na świecie montuje się pasy bezpieczeństwa w 100 milionach samochodów, wydając 50 USD na każdy samochód. Z danych statystycznych wynika, że pasy bezpieczeństwa ratują życie ludzkie w 50 000 kolizjach drogowych rocznie. Wynika stąd, że wartość życia ludzkiego równa się 100 000 USD. Trudnością w stosowaniu tej metody staje się wielkość możliwych rozpatrywanych przyszłych decyzji. Według różnych źródeł wartość życia waha się w sze-

rokiem zakresie od 20 tysięcy do 200 milionów USD. Z tego względu zarzucono stosowanie tej metody (Rak, 2009a).

Jedną z ciekawszych metod zakłada, że miarą wartości życia ludzkiego jest ogólna suma odszkodowań, którą zażądałaby społeczność narażona na dobrowolne ryzyko związane z niewielkim dodatkowym prawdopodobieństwem utraty życia w wyniku realizacji jakiegoś projektu. Istnieje dwa sposoby ustalenia wysokości odszkodowań. Pierwszy polega na określeniu różnic w zarobkach osób wykonujących prace obciążone różnymi prawdopodobieństwami utraty życia na skutek wypadkowości. Drugi polega na ankietowaniu osób o wysokości odszkodowania za akceptację przyrostu prawdopodobieństwa śmierci. Informuje się społeczność o liczebności n , że w wyniku realizacji projektu przewidywana jest możliwość m przypadków utraty życia. Prawdopodobieństwo utraty życia wynosi m/n . Dla stosunkowo niewielkich m/n szacuje się, za jaką cenę członkowie społeczności byłiby skłonni zaakceptować dodatkowe ryzyko śmierci. Suma takich odszkodowań podzielona przez liczebność grupy stanowiłaby o wartości życia ludzkiego. Mankamentem tzw. metody odszkodowań jest trudność pozyskania w praktyce wiarygodnych danych. Z tego względu jest rzadko stosowana.

Przedstawione możliwości oceny wartości życia sygnalizują jedynie problem i należy zdać sobie sprawę z faktu, że nie istnieje uniwersalna metoda, którą można by było stosować w każdych okolicznościach (Rak, 2009a).

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