



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

3. Teoretyczne modele stosowane w ocenie bezpieczeństwa SZZW

Bezpieczeństwo w SZZW postrzegane jest w sposób dualistyczny (Brandowski, 2006; Gutenbaun, 1987; Rak, 2009a):

- bezpieczeństwo rozumiane jako odporność na zagrożenia, przy czym uwaga głównie koncentruje się na niezawodności technicznej (ang. *safety*),
- bezpieczeństwo rozumiane jako zdolność do ochrony wartości przed zagrożeniami wewnętrznymi i zewnętrznymi (ang. *security*).

Można rozróżnić także podejmowanie decyzji w aspekcie pewności, ryzyka i niepewności:

- warunki pewności (deterministyczne) – operator „wie, czego jest pewien”. Każdej czynności przyporządkowany jest jeden wynik o prawdopodobieństwie wystąpienia równym 1. Wszystkie dane są ściśle i jednoznacznie określone oraz są stałe i niezmiennie w czasie.
- warunki ryzyka (probabilistyczne) – operator „wie, czego nie wie”. Część danych ma charakter losowy o znanym rozkładzie prawdopodobieństw. Istnieje więc możliwość oszacowania (prognozowania) przyszłych zdarzeń niepożądanych. Przy wyborze decyzji operator kieruje się strategią użyteczności oczekiwanej, polegającej na maksymalizacji iloczynu użyteczności danego wyniku i prawdopodobieństwa jego wystąpienia. W tym przypadku można mówić o „niepewności płytkiej”.
- warunki niepewności (statystyczne) – operator „nie wie, czego nie wie”. Nie są znane rozkłady prawdopodobieństw zmiennych losowych. Możliwy jest przypadek, szczególnie dotkliwy w skutkach, jeżeli operator de facto „nic nie wiedząc, mimo wszystko wierzy, że wie”.
- warunki całkowitej niewiedzy (niezeterminowane) – operator nigdy się z nimi nie spotkał. Zdarzenia niepożądane należące do tej klasy mają charakter katastroficzny i występują w sposób jednostkowy oraz niepowtarzalny. Istnieje jedynie możliwość symulacji komputerowej generowania tego rodzaju zdarzeń. W ten sposób pozwala to na

„zwiększenie ich liczebności” z możliwością przetransformowania ich w zdarzenia stabilne statystycznie.

Definicja modelu matematycznego: „model matematyczny to skończony zbiór symboli i relacji matematycznych oraz bezwzględnie ścisłych zasad operowania nimi, przy czym zawarte w modelu symbole i relacje mają interpretację odnoszącą je do konkretnych elementów modelowanego wycinka rzeczywistości” (Brandowski, 2006; Gutenbaun, 1987). W badaniach naukowych, analizach niezawodnościowych i ocenach na rzecz bezpieczeństwa SZZW wypracowano wiele teoretycznych modeli funkcjonowania, w szczególności, podsystemu dystrybucji wody (Hotłoś, 2007; Knapik, 1989, 2005, Knapik, Bajera, 2010; Kowalski, 2011; Kusak i inni, 2002; Kwietniewski, Miszta-Kruk, 2007; Siwoń, 2001; Siwoń, Łomotowski, 2004b). Ich podstawy mają charakter interdyscyplinarny. Model z definicji jest pewną idealizacją i uproszczeniem rzeczywistości. Teoria jest to uporządkowana wiedza wyjaśniająca daną rzeczywistość. Opiera się na systemie założeń, praw, reguł i zasad dotyczących analizy i prognozowania zbioru zjawisk.

Wyróżnić można następujące podstawowe modele bezpieczeństwa systemów wodociągowych:

- modele fenomenologiczne – stosuje się w modelowaniu mechanizmów zagrożenia,
- modele decyzyjne – stosuje się w badaniach ryzyka oraz w sterowaniu bezpieczeństwem,
- modele prognostyczne – stosuje się w określeniu liczby awarii i w badaniu trendów awaryjności,
- modele normatywne – stosuje się w zarządzaniu bezpieczeństwem i ryzykiem.

Dodatkowo ww. modele można podzielić na:

Modele probabilistyczne – stosowane są do analiz awarii jako zdarzeń losowych, z wykorzystaniem danych statystycznych. Za prekursora teorii awarii w sieciach wodociągowych uważa się profesora Artura Wiczystego, który udowodnił, że rozkład liczby awarii w ciągu roku ma charakter losowy i jest opisywany modelem Poissona (Wiczysty, 2001; Wiczysty i inni, 2002). Doprowadziło to do akceptacji tezy, że awarie wodociągowe są procesem losowym a operator SZZW nie ma nad nim znaczącej kontroli. Pogląd ten w krakowskiej szkole niezawodnościowej uległ pewnej ewolucji w kierunku poglądu, że zwiększona awaryjność sieci wodociągowej związana jest z panującymi warunkami atmosferycznymi, a w szczególności z różnicą temperatur gruntu i wody w rurociągu. Z tego powodu

podzielono okres roku na dwa przedziały czasowe, co pozwoliło na stosowanie dwojakich parametrów rozkładu Poissona. Stosowano też inne modele stochastyczne do szczegółowego opisu niezawodności SZZW, takie jak: szeregi czasowe, czasowo-przestrzenne, regresyjne i ekonometryczne (Łomotowski, Siwoń, 2004). Stworzona baza danych na temat awaryjności sieci wodociągowych i dostępność parametrów opisujących zmienne niezależne będą zapewne sprzyjać rozwojowi modeli regresyjnych i ekonometrycznych (Hotłoś, 2006, 2007; Knapik, 1989; Kowalski, 2003; Kuś i inni, 2001; Kwietniewski, Rak, 2010; Łomotowski, Siwoń, 2005; Lindley, Buchberger, 2002; Rak, 2003b; Studziński, 2011a).

Modele przyczynowo-skutkowe – dowodzą, że dokładne rozpoznanie czynników wpływających na awaryjność umożliwia jej przeciwdziałaniu. Wyróżnia się podejście deterministyczne, jako następstwo zdarzeń, i podejście probabilistyczne uwzględniające zbiór czynników. W ramach następstwa zdarzeń pojawiła się teoria „efektu domina” (Rak, 2005a; Rak, Studziński, 2007a; Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2005b). Najdalej idące są modele sekwencji zdarzeń, które w sposób procesowy traktują zjawiska awaryjne. Pojawiły się prace uwzględniające czynnik ludzki w zdarzeniach awaryjnych. Uważa się, że błędy są naturalnym elementem zachowań operatora SZZW. Kategoryzacja błędów wyróżnia dwa ich główne rodzaje:

- błędy podczas wyuczonych zachowań – pomyłki jako działanie niezamierzone,
- błędy podczas rozwiązywania problemów podczas niewyuczonych scenariuszy eksploatacyjnych – błędy decyzyjne.

Do analiz przyczyn awarii coraz częściej stosowane są modele drzewa zdarzeń i drzewa niezdatności, które umożliwiają analizę przyczyn awarii a których rozpoznanie umożliwia wyeliminowanie lub ograniczenie istotnych przyczyn i okoliczności awarii.

Modele systemowe – podstawowym założeniem tych modeli jest stwierdzenie, że awarie są rezultatem zawodności systemów monitoringu i bezpieczeństwa. Występowanie awarii wynika z faktu, że system jest źle zaprojektowany i jest niedostosowany do możliwości operatora SZZW. Model pozwala na łączenie informacji uzyskanych z pojedynczych awarii celem stworzenia obszaru wiedzy o niezawodności całego SZZW. Stwarza on podstawy do tworzenia barier ochrony, które wzajemnie prawidłowo skorelowane tworzą system multibarier, w znacznym stopniu ograniczający ryzyko awarii. Dotychczasowe badania systemowe wykazują, że wiele awarii można uniknąć poprzez działania prewencyjne na poszczególnych etapach „życia” SZZW, tj. projektowania, budowy i zarządzania

eksploatacją. Tworzenie modeli systemowych polega na analizie wszystkich zależności i relacji w czasie oraz przestrzeni, mogących wywołać zdarzenie awaryjne (Rak, 2009a; Schneeweiss, 2001).

Modele behawioralne – polegają na ocenie ryzyka przez operatora lub konsumentów wody i na jego ewentualnej akceptacji. Przyjmuje się, że czynnikiem powodującym trwale zmiany w jakości komfortu korzystania z wodociągu publicznego w długim okresie czasu jest pragnienie określonego poziomu bezpieczeństwa przez daną społeczność. Sposobem osiągnięcia tego celu jest zmniejszenie poziomu ryzyka. Koncepcje tą potwierdzają różnego rodzaju badania sondażowe (Pietrucha, 2009; Tchórzewska-Cieślak, 2011). Trudnością jednak staje się pomiar docelowego poziomu ryzyka. Sprawdza się natomiast teza, że im większe pragnienie społeczne w zakresie bezpieczeństwa, tym bardziej akceptowane są środki stosowane do jego poprawy. Modele behawioralne ukierunkowane są na analizę ryzyka wykorzystywaną w inżynierii i zarządzaniu bezpieczeństwem, a co za tym idzie, wychodzą naprzeciw potrzebom oceny ryzyka w obliczu podejmowania decyzji inwestycyjnych i modernizacyjnych SZZW.

IBS PAN *Seri*

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