



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

5. Wybrane zagadnienia z eksploatacji SZZW

5.1. Informacje ogólne

W każdym systemie technicznym, do których zalicza się SZZW, wyróżnia się (Dwiliński, 2006; Rak, 2009a):

- doktrynę eksploatacyjną, do której zalicza się główny cel funkcjonowania systemu, charakter, miejsce, zasięg działania, rolę, przygotowanie oraz wykorzystanie pracowników obsługi (operatorów), urządzeń i obiektów badających system poprzez odpowiednią organizację służb eksploatacyjnych zapewniające realizację założonego celu,
- strategię eksploatacyjną, która obejmuje teorię i praktykę przygotowania, realizacji i kontrolowania oraz weryfikowanie wyników procedur eksploatacyjnych,
- taktykę eksploatacyjną, która zawiera teorię i praktykę określenia celów eksploatacyjnych oraz metod ich osiągnięcia,
- procedury eksploatacyjne, które obejmują zbiory działań doraźnych o określonych powiązaniach, mających zapewnić osiągnięcie celów wynikających z istoty funkcjonowania systemu.

System eksploatacji SZZW charakteryzuje (Rak, 2009a):

- podatność – jest to zdolność do realizacji zadań w SZZW,
- dopasowanie – jest to kompatybilność z innymi systemami i podsystemami technicznymi, logistycznymi i organizacyjnymi,
- elastyczność – jest to możliwość dopasowywania się do zmian realizowanych misji operacyjnych,
- sprawność – jest to zdolność do osiągnięcia określonych efektów eksploatacyjnych,

- efektywność – jest związana z minimalizacją kosztów eksploatacyjnych w ogólnych kosztach funkcjonowania SZZW.

5.2. Strategie eksploatacyjne

Wyróżnia się następujące strategie eksploatacyjne (Dohnalik, 2004; Dohnalik, Wytrwał, 2005; Dwiliński, 2006; Kolonko, 1998; Rak, 2009a):

- według stanu technicznego – polega na podejmowaniu decyzji i wykonywaniu remontów i odnów w oparciu o wyniki oceny stanu technicznego poszczególnych obiektów i urządzeń SZZW. Podstawą tej strategii są metody diagnostyczne wspierane monitoringiem eksploatacyjnym zapobiegającym powstawaniu poważnych awarii,
- według resursu – polega na wykonywaniu remontów prewencyjnych i odnów po z góry ustalonym przez producenta czasie użytkowania (czasie kalendarzowym, liczbie roboczogodzin, cyklach pracy),
- według niezawodności – polega na podejmowaniu decyzji o remontach i odnowach poprzez analizę wskaźnika intensywności uszkodzeń,
- według poziomu ryzyka – polega na analizie częstości zdarzeń niepożądanych zagrażających bezpieczeństwu i analizie strat z tym związanych,
- według efektywności – gdy następuje technologiczne zestarzenie obiektu, urządzenia, wyprzedzające zużycie fizyczne, i zdalny obiekt, urządzenie wycofane jest z eksploatacji na skutek niezadowolającej efektywności.
- według bezpieczeństwa i resursu – jest to strategia zbliżona do strategii niezawodnościowej opartej o resurs.

Dopuszczalną wartość prawdopodobieństwa dla danej liczby uszkodzonych elementów wyznacza się ze wzoru (Rak, 2009a):

$$P_{dop} = \sum_{n=0}^{n_d} \frac{(\lambda \cdot a \cdot T)^n}{n!} \exp(-\lambda \cdot a \cdot T) \quad (5.1)$$

gdzie: λ - intensywność uszkodzeń [1/rok], T - liczba lat pracy [rok], a - liczba analizowanych elementów, n - liczba uszkodzenia elementów, n_d - dopuszczalna liczba uszkodzonych elementów.

Intensywność uszkodzeń $\lambda(\Delta t_i)$ wyznacza się ze wzoru:

$$\lambda(\Delta t_i) = \frac{n(\Delta t_i)}{\left[N(t_i) - \sum_{j=1}^{i-1} n(\Delta t_j) \right] \cdot \Delta t_i} \quad (5.2)$$

gdzie: $N(t_i)$ – liczba elementów, które mają czas pracy bezuszkodzeniowej $t \geq t_i$, $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$, $n(\Delta t_i)$ – liczba elementów, które uległy uszkodzeniu w czasie Δt_i .

Prawdopodobieństwo niezawodnej pracy wynosi:

$$P(t_i) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^i n(\Delta t_j)}{N(t_j)} \quad (5.3)$$

Intensywność odnowy wyznacza się ze wzoru:

$$\mu(\Delta t_i) = \frac{m(\Delta t) + n(\Delta t)}{\left[N(t_i) - \sum_{j=1}^{i-1} n(\Delta t_j) - \sum_{j=1}^{i-1} m(\Delta t_j) \right] \Delta t_i} \quad (5.4)$$

gdzie: $m(\Delta t_j)$ – liczba elementów, które zostały profilaktycznie wymienione w czasie Δt_j .

Prawdopodobieństwo odnowy wynosi:

$$P_{od}(t_i) = \frac{\sum_{j=1}^i m(\Delta t_j) + \sum_{j=1}^i n(\Delta t_j)}{N(t_i)} \quad (5.5)$$

Gamma procentowy resurs T_{γ_i} wyznacza się ze wzoru:

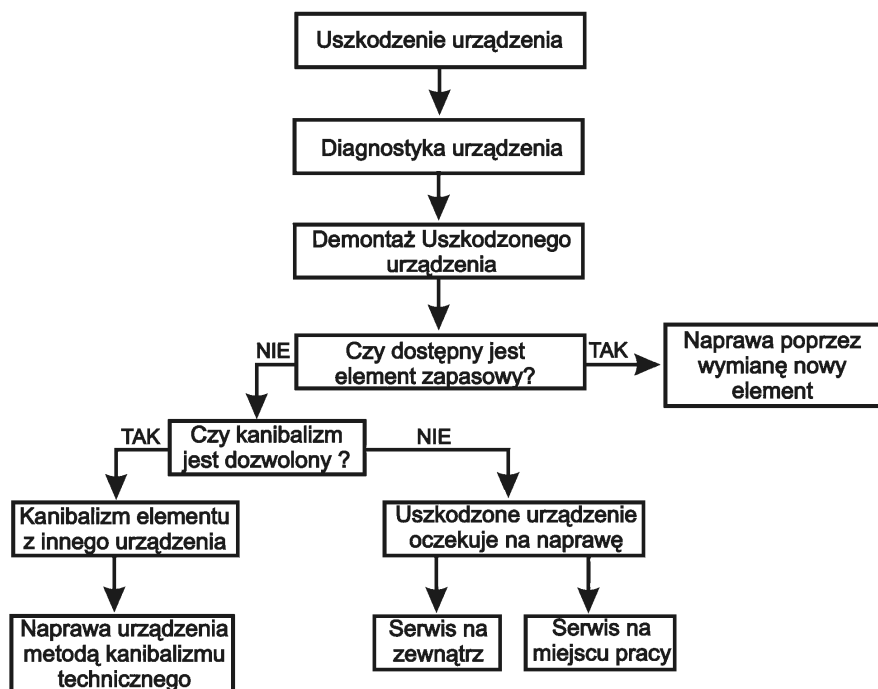
$$T_{\gamma_i} = P(t_i) \cdot 100 = \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^i m(\Delta t_j) + \sum_{j=1}^i n(\Delta t_j)}{N(t_i)} \right] \cdot 100 \quad (5.6)$$

5.3. Pojęcie kanibalizmu technicznego

Kanibalizm polega na zjadaniu osobników tego samego gatunku i jest znanym zjawiskiem w świecie przyrody. Ludzki kanibalizm, to antropofagia, potocznie zwana ludożerstwem. Kanibalizm techniczny, to strategia utrzymania urządzenia naprawialnego w stanie zdatności poprzez wykorzystanie elementów drugiego urządzenia. Taka sytuacja ma miejsce np. w wypadku uszkodzenia dwóch jednakowych urządzeń z różnych przyczyn i jest możliwość użycia sprawnych części jednego z urządzeń celem utrzymania w ruchu drugiego urządzenia. Tak więc główną przyczyną kanibalizmu technicznego jest brak części zamiennych w chwili, gdy wymagane jest przywrócenie do stanu zdatności danego urządzenia. Poza tym stosuje się go w wypadku braku fizycznej możliwości dostępu do części zamiennych z powodu wycofania danego typu urządzenia z produkcji. Proces kanibalizmu odbywa się w następujących etapach (Nowakowski, 2009; Rak, 2009a):

- demontaż uszkodzonej części,
- kanibalizm sprawnej części z innego urządzenia,
- instalacja części pochodzącej z kanibalizmu w miejsce uszkodzonej,
- ewentualna instalacja nowej części do urządzenia poddanego kanibalizmowi.

Wynika z tego, że w kanibalizmie technicznym demontaż i montaż danej części odbywa się podwójnie, co skutkuje zwiększeniem czasu obciążenia pracowników obsługi. W ogólnej ocenie kanibalizm plasuje się jako proces mało efektywny, ale niekiedy jako jedyny z możliwych (konieczne zło, szczególnie w sytuacjach kryzysowych). Na rys. 5.1 pokazano schemat postępowania przywracania urządzeniu stanu zdatności z wykorzystaniem metody kanibalizmu technicznego (Nowakowski, 2009; Rak, 2009a).



Rys. 5.1. Idea procedury naprawy urządzenia z możliwością zastosowania metody kanibalizmu technicznego.

Procesy odzysku są współcześnie podstawową kategorią gospodarki materiałowej. Komponenty uzyskane w ten sposób mogą być wykorzystane lub poddane procesowi utylizacji. Wyróżnia się następujące rodzaje odzysku: naprawy, odnowę, przetwarzanie, recykling i kanibalizm (Nowakowski, 2009).

Naprawa przywraca obiekt do stanu zdatności w wyniku elementarnej naprawy lub wymiany uszkodzonych części. Zakłada się, że niezawodność naprawianych obiektów jest niższa od nowych.

Odnowa ma na celu przywrócenie obiektowi określonego poziomu niezawodności. Odnowa dopuszcza modernizację obiektu.

Przetwarzanie ma za zadanie przywrócić poziom niezawodności równy nowemu produktowi. Uszkodzony element jest demontowany i zastąpiony nowym, a poza tym wymienione są elementy zużyte i przestarzałe.

Recykling ma na celu odzysk materiałów, które następnie są wykorzystywane do produkcji nowych wyrobów. Demontaż następuje do poziomu części

składowych, a następnie następuje segregacja w zależności od rodzaju materiału, z jakiego są wykonane.

W logistyce odzysku kanibalizmowi podlegają produkty, które nie nadają się do procesu naprawy, odnowy lub przetwarzania. Podstawowym założeniem kanibalizmu jest odzysk elementów nadających się do ponownego wykorzystania. Odbywa się to poprzez selektywny demontaż obiektu. Elementy niewykorzystane w procesie kanibalizmu są utylizowane lub poddawane recyklingowi. Istnieje możliwość wykorzystania elementów pozyskanych poprzez kanibalizm w procesie naprawy, odnowy lub przetwarzania.

5.4. Metody poszukiwania przecieków

Przecieki w sieciach wodociągowych są obiektywną rzeczywistością, które należy ograniczać konsekwentnie i metodycznie. O przeciekach dowiadujemy się zwykle w przypadku awarii wodociągowych. W firmach wodociągowych prowadzona jest statystyka uszkodzeń sieci wodociągowej, na podstawie której można wnioskować o występowaniu przecieków (Berger, Ways, 2003; Dohnalik, 2004; Dohnalik, Wytrwał, 2005; Kotowski, Hotłoś, 1994; Kuś i inni, 2001; Nawrocki, Piasek, 2008; Pawełek, Wojdyna, 2001; Piechurski, 2008a, b, c).

Skutki wystąpienia przecieków w sieci wodociągowej mają dwojaki charakter:

- bezpośrednio, związane ze stratą wody jako produktu handlowego, z możliwością zanieczyszczenia wody wodociągowej,
- pośrednio, związane z możliwością zapadnięcia się powierzchni terenu – zagrożenie bezpieczeństwa ruchu pieszego i kołowego, podmycie fundamentów budowli, przedostania się wody do obiektów podziemnych.

Dla warunków krajowych przyczyny uszkodzeń sieci wodociągowej przedstawiają się następująco (Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2005b):

- pęknięcia poprzeczne i podłużne rurociągów ~ 40%,
- nieszczelności złączy ~ 40%,
- uszkodzenia armatury ~ 6%,
- inne uszkodzenia ~ 14%.

Należy dążyć do następującej intensywności uszkodzeń w poszczególnych rodzajach sieci wodociągowej (Rak, 2005c; Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2006a):

- przewody tranzytowe i magistralne, $\lambda = 0,3$ uszk/km rok,
- sieć rozdzielcza, $\lambda = 0,5$ uszk/km rok,
- podłączenia domowe, $\lambda = 1,0$ uszk/km rok.

Z analiz strat wody w sieci wodociągowej wynika, że kształtują się one na poziomie 10-12% produkcji dobowej, ale są miasta w kraju, dla których ten wskaźnik wynosi nawet 25÷40%. Ponoszone straty przez firmę wodociągową są oczywiste i łatwe do wyliczenia w skali doby czy roku, znając cenę 1 m³ wody zimnej lub ciepłej.

W ostatnich latach, po urynkowaniu ceny wody do spożycia z wodociągów komunalnych, nastąpił rozwój metod lokalizacji przecieków. Wcześniej wykrywanie uszkodzeń sieci wodociągowej było związane z pojawieniem się wody wodociągowej na powierzchni terenu w pobliżu rurociągu (Bajer, 2008; Berger, Ways, 2003; Nawrocki, Piasek, 2008).

Obecna systematyka metod poszukiwania przecieków przedstawia się następująco (Bajer, 2008; Berger, Ways, 2003; Bochnia, Żaba, 2012; Kotowski i inni, 1994; Kwietniewski i inni, 2012; Łomotowski, Siwoń, 2005, 2004; Rak, 2003c):

- metody monitoringu obserwacyjnego tras przebiegu wodociągu,
- badanie poziomu wody gruntowej wzdłuż tras wodociągu poprzez sondowanie gruntu,
- monitorowanie ciśnienia w sieci obejmujące pomiar gwałtownych spadków ciśnienia, badanie szczelności poszczególnych odcinków przewodów, analizę spadku linii ciśnienia,
- metody związane z pomiarem natężenia przepływu, tj. pomiary gwałtownych wzrostów poboru wody, bilansowanie wody wtłoczonej do sieci i poboru z niej, analiza maksymalnego współczynnika nierównomierności godzinowej rozbioru wody, badanie minimalnego godzinowego rozbioru wody, testowanie poszczególnych fragmentów sieci wodociągowej,
- metody akustyczne, do których zalicza się badanie natężenia szumów rozchodzących się w sieci wodociągowej przy pomocy Glogerów rejestrujących, osłuchiwanie sieci wodociągowej przy pomocy stetofonu

wyposażonego w mikrofon prętowy i geofon, analiza korelacji szmeru przecieku za pomocą korelatora.

Ciekawym kierunkiem są metody rezystorowe lokalizacji przecieków (Łomotowski, Siwoń, 2004; Rak, 2009a;). Mogą być stosowane tylko dla rur preizolowanych, które w wodociągach stosowane są do dystrybucji ciepłej wody użytkowej (Rak, 2009a). Technologie rezystorowe w wodociągach są stosowane dla dużych średnic przewodów prowadzonych w zurbanizowanych terenach, gdzie długotrwała awaria poza dużymi stratami finansowymi mogłaby być zagrożeniem dla życia ludzi (np. gejzer gorącej wody w pasie ruchu pieszego).

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