

BOŻENA BABIARZ*

ZASTOSOWANIE METODY DWUPARAMETRYCZNEJ
W OCENIE RYZYKA BRAKU DOSTAW CIEPŁA
DO ODBIORCÓWTHE APPLICATION OF TWOPARAMETRIC METHOD
IN RISK ASSESMENT OF A LACK HEAT SUPPLY
FOR CONSUMERS

Streszczenie

W artykule zaprezentowano zastosowanie metod parametrycznych do oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w ciepło. Wyróżniono trzy poziomy ryzyka: tolerowane, kontrolowane, nieakceptowane. Analizę ryzyka oparto na danych eksploatacyjnych systemu miasta Rzeszowa. Wyznaczono jednostkowe intensywności uszkodzeń sieci ciepłowniczych, uwzględniając rodzaj sieci opisywany technologią wykonania, przyczyny uszkodzeń, średnice przewodów oraz porę wystąpienia uszkodzeń z uwagi na jej wpływ na skutki przerw w dostawie ciepła. Na podstawie wyznaczonych parametrów, z wykorzystaniem metody dwuparametrycznej, oszacowano ryzyko wystąpienia uszkodzeń na sieci ciepłowniczej.

Słowa kluczowe: ryzyko, metody parametryczne, dostawa ciepła

Abstract

In the paper, the application of parametric methods in risk assessment in heat supply system have has presented. Three levels of risk have been distinguished/determined: tolerable, controlled, unacceptable. The analysis was made on the basis of exploiting data in heat supply system of Rzeszow city. Intensities of failure were determined considering the kind of heat engineering network described by technology of construction, causes of a failure, dimension of heat pipe and the period of failure occurring, because of their influence on the aftermaths of heat supply breaks. On the basis of the determining parameters, using a two-parametric method, the risk of failure in heat engineering network has been determined.

Keywords: risk, parametric methods, heat supply

* Dr inż. Bożena Babiarcz, Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska.

Oznaczenia

- r – ryzyko,
- P – miara zawodności funkcjonowania systemu odpowiadająca kategorii częstości – prawdopodobieństwa,
- C – miara konsekwencji odpowiadająca kategorii skutków – szkód, wyrażona w jednostkach finansowych.

1. Wstęp

Efektywność funkcjonowania i skutki występowania uszkodzeń systemów zaopatrzenia w ciepło (SZC) zależą w dużej mierze od warunków atmosferycznych. Bezwładność systemu powoduje opóźnienie odczuwania skutków przerw w dostawie ciepła, a małe prawdopodobieństwo, częstotliwość występowania warunków obliczeniowych oraz krótki czas trwania niskich temperatur czyni kwestię ryzyka w tym systemie mniej ważną. Stąd wynika brak większego zainteresowania tą problematyką. Zagadnienie urasta do rangi problemu dopiero w przypadku wystąpienia dłuższej przerwy w dostawie ciepła do odbiorców. Przerwa w dostawie ciepła wiąże się z określonymi stratami w gospodarce, np. wstrzymaniem produkcji. Dla indywidualnych użytkowników brak ciepła przez dłuższy okres wiąże się z zagrożeniem zdrowia, a niekiedy życia ludzi [1]. W analizie ryzyka należy wykorzystywać historyczną wiedzę z eksploatacji danego systemu, metody analityczne i doświadczenie. Należy pamiętać, że nie da się wyeliminować ryzyka. Można jedynie podejmować różnego rodzaju działania mające na celu jego minimalizację do dopuszczalnego poziomu z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz poniesionych kosztów.

2. Metodologia ryzyka

Ryzyko jest podstawową kategorią związaną z bezpieczeństwem, wywodzi się z teorii niezawodności i bezpieczeństwa systemów. Związane jest to z sytuacjami o nieznacznym, niepewnym czy problematycznym skutku, z narażaniem na niebezpieczeństwo, stratę czy krzywdę – prawdopodobieństwo, że coś przyniesie negatywny wynik. W tym ujęciu ryzyko utożsamia się z utratą bezpieczeństwa [3].

Ryzyko jest co najmniej dwuwymiarowym, złożonym pojęciem obejmującym możliwość niekorzystnego wyniku bądź niepewność co do zdarzenia niekorzystnego, tj. momentu zajścia zdarzenia, czasu jego trwania, wielkości niekorzystnego wyniku [3].

Obok terminu „ryzyko” jest używany termin „zagrożenie”, który bardziej niż ryzyko wiąże się z poczuciem niebezpieczeństwa. Pojęcie ryzyka z kolei bardziej kojarzy się z oszacowaniem niepewności i możliwych strat z tym związanych.

Cechami ryzyka są: niepewność, prawdopodobieństwo, dyspersja wyników (niepożądanych skutków). Wyróżnia się dwa sposoby definiowania ryzyka. Pierwszy z nich wiąże ryzyko z rozkładem możliwych wyników – ryzyko jest możliwą wariancją oczekiwanych wyników. W tym ujęciu ryzyko jest funkcją zakresu zmienności możliwych do uzyskania wyników. Drugie spojrzenie na ryzyko odnosi się do prawdopodobieństwa powstania strat oraz ich wielkości. Ryzyko jest tym większe, im bardziej prawdopodobne jest zdarzenie po-

wodujące stratę. Według tej definicji wielkość ryzyka można definiować jako częstotliwość uzyskiwania wyników niepożądanych. Następnie można wiązać wielkość ryzyka z rozmiarem możliwych strat. Wówczas ryzyko jest tym większe, im większa może być poniesiona strata. Istnieje również definicja ryzyka jako iloczynu prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia niepożądanego i wielkości powodowanych przez to zdarzenie strat [3, 4].

Z matematycznego punktu widzenia obowiązuje następująca podstawowa definicja ryzyka:

$$r = P \cdot C \quad (1)$$

gdzie:

- P – miara zawodności funkcjonowania systemu odpowiadająca kategorii częstości – prawdopodobieństwa,
- C – miara konsekwencji odpowiadająca kategorii skutków – szkód wyrażona w jednostkach finansowych.

Zarządzanie bezpieczeństwem i ryzykiem w systemach komunalnych, do których należy SZC, stanowi podstawę do zapobiegania występowaniu poważnych awarii, które – jak pokazuje analiza dnia codziennego – mogą prowadzić do strat ekonomicznych i środowiskowych. W ramach rozwijającej się nauki o bezpieczeństwie są opracowywane specjalistyczne techniki zwane oceną ryzyka, oparte głównie na metodach jakościowych.

3. Szacowanie ryzyka SZC za pomocą dwuparametrycznej macierzy ryzyka

Macryce ryzyka uszkodzeń przewodów sieci ciepłej stworzono z uwzględnieniem czynników ryzyka, które te awarie wywołują. Macryce ryzyka wykonano dla czynników, które były możliwe do ustalenia na podstawie udostępnionej bazy danych.

W celu oszacowania ryzyka związanego z dostawą ciepła posłużono się danymi uzyskanymi na podstawie rejestru uszkodzeń sieci ciepłowniczych w latach 1997–2005 prowadzony przez MPEC Rzeszów. Zaproponowano modyfikację wzoru (1), wprowadzając w miejsce prawdopodobieństwa P parametr I związany z wagą punktową jednostkowej intensywności uszkodzeń λ_i [$\text{km}^{-1}\text{a}^{-1}$] sieci ciepłowniczej

$$r = I \cdot S \quad (2)$$

gdzie:

- I – waga punktową związaną z jednostkową intensywnością uszkodzeń λ_i ,
- S – waga punktową związaną ze skutkami występowania uszkodzeń [3].

Jednostkową intensywność uszkodzeń wyznaczono, korzystając z wzoru:

$$\lambda_i = \frac{k}{\Delta t \cdot L} [\text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie:

- k – liczba uszkodzeń elementów systemu,
- Δt – długość przedziału czasu, w którym przeprowadzono badania,
- L – długość przewodu objętego badaniem.

Jako kryterium intensywności uszkodzeń λ_I przyjęto skalę wartości parametru I przedstawioną w tab. 1.

Tabela 1

Kryterium intensywności występowania uszkodzeń sieci ciepłowniczej – I [2]

| Kategorie intensywności występowania uszkodzeń – I | | Wartość λ_I [$\text{km}^{-1}\text{a}^{-1}$] |
|--|---------|---|
| 1 | małe | $\lambda_I \leq 0,3$ |
| 2 | średnie | $0,3 < \lambda_I \leq 0,8$ |
| 3 | duże | $\lambda_I \geq 0,8$ |

Podstawą w ocenie ryzyka jest ustalenie kryteriów skutków występowania uszkodzeń sieci ciepłowniczych, opierając się na stopniu złożoności usuwania awarii, średnicach, rodzaju sieci, zasięgu zasilania w ciepło oraz czasu eksploatacji (tab. 2).

Tabela 2

Kryterium skutków występowania uszkodzeń sieci ciepłowniczej – S [2]

| Kryterium skutków uszkodzeń | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------|---|---|--|
| | małe | średnie | duże |
| Kryterium techniczne | awarie o małej złożoności usuwania, na sieciach o małych średnicach DN 15–80 mm, przyłącza, których czas eksploatacji nie przekracza 10 lat | awarie o większej złożoności usuwania, na większych średnicach DN 100–200 mm, sieci rozdzielcze, których czas eksploatacji wynosi od 11 lat | awarie o dużej złożoności usuwania, na średnicach DN 250–800 mm, sieci magistralne, których czas eksploatacji jest dłuższy od 20 lat |

Zgodnie z podstawową matrycą do oceny ryzyka [2] można analizować różne zdarzenia niepożądane, przyjmując następującą skalę ryzyka (tab. 3).

Tabela 3

Skala i poziom ryzyka [2]

| Ryzyko | Liczba punktów | Poziom ryzyka |
|-----------------|----------------|---------------|
| Tolerowane | 1–2 | 1 |
| Kontrolowane | 3–4 | 2 |
| Nieakceptowalne | 6–9 | 3 |

4. Szacowanie ryzyka dla przewodów sieci ciepłowniczej w latach 1997–2005 z uwzględnieniem czynników: rodzaj sieci i pora roku

Szacowanie ryzyka dla czynników: rodzaj sieci i pora roku rozpoczęto od sklasyfikowania uszkodzeń wg technologii wykonania sieci oraz pory roku, w której wystąpiły uszkodzenia (tab. 4).

Tabela 4

Zestawienie uszkodzeń przewodów sieci ciepłowniczej w latach 1997–2005 w zależności od pory roku i technologii sieci ciepłowniczych

| Rodzaj sieci | Pora roku | | | | Suma całkowita |
|---------------------------|-----------|--------|------|--------|----------------|
| | zima | wiosna | lato | jesień | |
| Sieć wykonana w kanałach | 73 | 32 | 21 | 42 | 168 |
| Sieć napowietrzna | 3 | 2 | 0 | 1 | 6 |
| Sieć z rur preizolowanych | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| Suma całkowita | 77 | 35 | 22 | 43 | 177 |

Źródło: protokoły awarii – Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. Rzeszów

Znając długości przewodów sieci ciepłowniczej, uwzględniono następujące czynniki: rodzaj sieci i pora roku. Wyznaczono jednostkowe intensywności uszkodzeń wg wzoru (3) i zestawiono w tab. 5.

Tabela 5

Wskaźniki jednostkowej intensywności uszkodzeń sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników: rodzaj sieci i pora roku [$a^{-1}\cdot km^{-1}$]

| Rodzaj sieci | Pora roku | | | |
|---------------------------|-----------|--------|------|--------|
| | zima | wiosna | lato | jesień |
| Sieć wykonana w kanałach | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,04 |
| Sieć napowietrzna | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Sieć z rur preizolowanych | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Źródło: opracowanie własne

Po wyliczeniu jednostkowej intensywności uszkodzeń przyporządkowano odpowiednią kategorię intensywności uszkodzeń na podstawie tab. 1 oraz zestawiono w tab. 6.

Tabela 6

**Kategoria wystąpienia uszkodzeń sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników:
rodzaj sieci i pora roku**

| Rodzaj sieci | Pora roku | | | |
|---------------------------|-----------|--------|------|--------|
| | zima | wiosna | lato | jesień |
| Sieć wykonana w kanałach | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sieć napowietrzna | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sieć z rur preizolowanych | 1 | 1 | 1 | 1 |

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na większą złożoność napraw podczas wystąpienia awarii w okresie zimowym zaproponowano duże kryterium skutków występowania uszkodzeń sieci ciepłowniczej dla zimy, średnie dla wiosny i jesieni, małe dla lata (tab. 7).

Tabela 7

**Skutki wystąpienia uszkodzeń sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników:
rodzaj sieci i pora roku**

| Rodzaj sieci | Pora roku | | | |
|---------------------------|-----------|--------|------|--------|
| | zima | wiosna | lato | jesień |
| Sieć wykonana w kanałach | 3 | 2 | 1 | 2 |
| Sieć napowietrzna | 3 | 2 | 1 | 2 |
| Sieć z rur preizolowanych | 3 | 2 | 1 | 2 |

Źródło: opracowanie własne

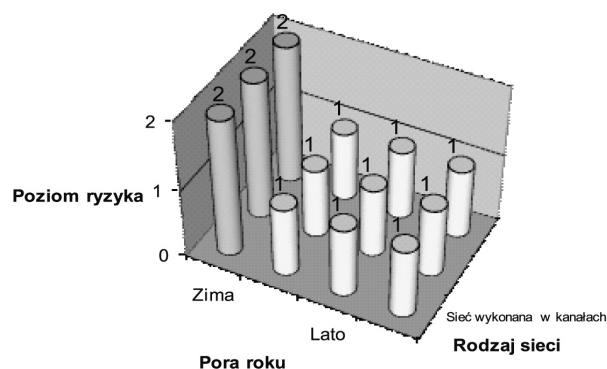
Wykorzystując zależność (2), otrzymano wartości punktowe określające kategorie ryzyka, które sklasyfikowano według [2] i przedstawiono w postaci matrycy (tab. 8) i rys. 1.

Tabela 8

**Matryca ryzyka wystąpienia uszkodzeń sieci ciepłowniczej
z uwzględnieniem czynników: rodzaj sieci i pora roku**

| Rodzaj sieci | Pora roku | | | |
|---------------------------|-----------|--------|------|--------|
| | zima | wiosna | lato | jesień |
| Sieć wykonana w kanałach | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Sieć napowietrzna | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Sieć z rur preizolowanych | 2 | 1 | 1 | 1 |

Źródło: opracowanie własne

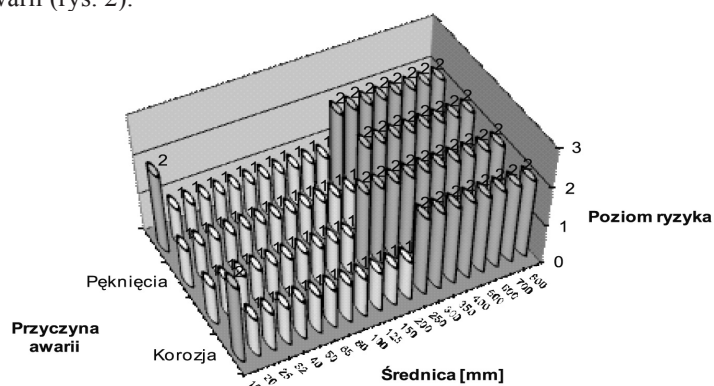


Rys. 1. Ryzyko wystąpienia uszkodzeń przewodów sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników: rodzaj sieci i pora roku

Fig. 1. The risk of heating network failure considering the following factors, such as, the kind of heat pipe and period of the year

Ryzyko wystąpienia uszkodzeń przewodów sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników, rodzaj sieci i pora roku, kształtuje się na poziomie pierwszym dla wiosny, lata i jesieni i jest to ryzyko tolerowane. Natomiast dla zimy kształtuje się na poziomie drugim – ryzyka kontrolowanego.

Przeanalizowano również ryzyko wystąpienia uszkodzeń przewodów sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników: średnica i przyczyna awarii. Dla średnic od DN 20 do DN 125 ryzyko kształtuje się na poziomie pierwszym (ryzyko tolerowane) dla wszystkich analizowanych przyczyn i rodzajów uszkodzeń. Dla średnicy DN 15 występuje ryzyko nieakceptowalne przy korozji rurociągu i innych uszkodzeniach. Dla średnic od DN 150 do DN 200 ryzyko utrzymuje się na poziomie drugim dla korozji na złączach (ryzyko kontrolowane). Dla pozostałych średnic utrzymuje się na poziomie drugim (ryzyko kontrolowane) dla wszystkich rodzajów awarii (rys. 2).



Rys. 2. Ryzyko wystąpienia uszkodzeń przewodów sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników: średnica i przyczyna awarii

Fig. 2. The risk of heating network failure considering the following factors, such as, dimension and cause of failure

Ryzyko wystąpienia uszkodzeń przewodów sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem czynników rodzaju sieci i przyczyny awarii plasuje się na poziomie pierwszym i jest to ryzyko tolerowane.

5. Wnioski

W opracowaniu przeprowadzono analizę oceny ryzyka braku dostawy ciepła dla miasta Rzeszowa. Zastosowano metodę dwuparametryczną, szacując ryzyko według następujących czynników:

- rodzaj sieci i pora roku,
- rodzaj sieci i przyczyna awarii,
- średnica rurociągu i przyczyna awarii.

Analiza wykazała, że biorąc pod uwagę czynniki, takie jak rodzaj sieci i pora roku, ryzyko wystąpienia awarii przewodów sieci ciepłowniczej jest ryzykiem tolerowanym. Ryzykiem kontrolowanym jest wystąpienie uszkodzeń przewodów w zimie, a tolerowanym dla wiosny, lata i jesieni, biorąc pod uwagę czynniki, takie jak rodzaj sieci i pora roku. Tylko w zimie, uwzględniając czynniki: średnica i pora roku, występuje ryzyko nieakceptowalne dla średnicy DN 15.

Istnieje ciągły deficyt danych dotyczących awarii sieci ciepłowniczych, które pozwoliłyby w sposób precyzyjny oszacować ryzyko braku dostaw ciepła. Ze względu na to należy zaproponować bardziej szczegółowy sposób rejestrowania uszkodzeń, jak również zakłóceń w dostawie ciepła do odbiorców, który pozwoli na dokładniejsze niż dotychczas analizowanie awarii sieci ciepłowniczych. Pewnym rozwiązaniem byłoby wprowadzenie tzw. karty uszkodzeń, która powinna poszerzać dotychczasowy protokół awaryjny o dodatkowe dane na temat: wieku rurociągu, miejsca jego ułożenia, temperatury zewnętrznej podczas wystąpienia awarii, kosztów usunięcia awarii, czasu trwania uszkodzenia i czasu usunięcia awarii. Dane te pozwoliłyby na szczegółowe wyznaczenie podstawowych parametrów niezawodnościowych oraz bardziej dokładne szacowanie ryzyka.

Literatura

- [1] Babiarz B., Rak J., *Analiza wstępna określania ryzyka w systemie zaopatrzenia w ciepło*, International Conference of Air Conditioning & District Heating, Szklarska Poręba 2002.
- [2] Babiarz B., Rak J., *Metody matrycowe szacowania ryzyka związanego z dostawą ciepła*, PZITS o. Rzeszów, Konferencja: XVI Konferencja Ciepłowników nt. „Ograniczenie zużycia energii w systemach grzewczych”, Politechnika Rzeszowska, PZITS o. Podkarpacki, MPEC Rzeszów, 3–5 marca 2005, Bystre 2005, 9–15.
- [3] Rak J., *Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [4] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., *Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.