REALIABILITY OF HEAT SUPPLY SUBSYSTEM NIEZAWODNOŚĆ PODSYSTEMU DOSTAWY CIEPŁA

Bożena Babiarz

Politechnika Rzeszowska
e-mail: bbabiarz@prz.edu.pl

Abstract: *The article presents the reliability analysis of subsystem of heat supply in the example of 47 thousand inhabitants' city. The analysis was made on the basis of operational data made available by the Municipal Heating Company, between the years 2001 ÷ 2012. To describe the quantitative reliability of heat supply subsystem reliability indicators are used. Main times between failure and unitary failure rates including the month of their occurrence, type and diameter of the heating network, thermal power region were working out. Knowing the characteristics of the time to repair for the heating network, the reliability of heat supply subsystem for different thermal power region, considering the district heating system configuration can be determined.*

Keywords: *reliability, heat supply, district heating*

Streszczenie: *W artykule przedstawiono analizę niezawodności podsystemu dostawy ciepła na przykładzie systemu miasta liczącego 47 tys. mieszkańców. Wykorzystano dane eksploatacyjne dotyczące awaryjności sieci ciepłowniczych z okresu lat 2001÷2012. Do opisu ilościowego niezawodności podsystemu dostawy ciepła wykorzystano wskaźniki niezawodności. Wyznaczono czasy pracy oraz jednostkowe intensywności uszkodzeń z uwzględnieniem miesiąca ich wystąpienia, rodzaju oraz średnicy sieci ciepłowniczej, rejonu zasilania. Znając charakterystyki czasów odnowy można wyznaczyć niezawodność sieci dla poszczególnych rejonów zasilania z uwzględnieniem konfiguracji sieci.*

Słowa kluczowe: *niezawodność, dostawa ciepła, miejski system ciepłowniczy*

1. Wstęp

Niezawodność systemu zaopatrzenia w ciepło to własność pozwalająca na wypełnianie przez niego zadań w określonym czasie lub w danej chwili czasu i w danych warunkach eksploatacyjnych. W systemie zaopatrzenia w ciepło wyróżnić można trzy podsystemy odpowiedzialne za poszczególne zadania: podsystem produkcji ciepła (źródło ciepła), podsystem dostawy ciepła (sieć ciepłownicza) i podsystem dystrybucji ciepła (węzły cieplne i instalacje ogrzewcze) [2]. Stopień niezawodności każdego z podsystemów decyduje o bezawaryjnej pracy całego systemu ciepłowniczego. Awarie systemu, występujące w okresie wysokiego zapotrzebowania na energię cieplną, niosą za sobą skutki w postaci przerw w dostawie ciepła, które przyczynić się mogą do strat gospodarczych u odbiorców przemysłowych i zagrożenia zdrowia lub życia odbiorców komunalnych [1].

Niezawodność, bezpieczeństwo i poprawność działania podsystemu dostawy ciepła kształtują jakość usług świadczonych przez przedsiębiorstwa energetyki ciepłej na odpowiednim poziomie, gwarantującym zadowolenie odbiorców. Znajduje to odzwierciedlenie w przepisach dotyczących funkcjonowania systemów zaopatrzenia w energię [7,8]. W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące analizy awaryjności i niezawodności podsystemu dostawy ciepła miasta o 47 tysiącach mieszkańców, przeprowadzonej z wykorzystaniem rzeczywistych danych eksploatacyjnych.

2. Charakterystyka badanego podsystemu dostawy ciepła

Dostawa ciepła w badanym podsystemie realizowana jest trzema głównymi wysokoparametrowymi magistralami ciepłowniczymi o łącznej długości ok. 20 km oraz sieciami niskoparametrowymi o długości 12 km. Sieć pracuje w układzie promieniowym. Źródłem jest ciepłownia o mocy zainstalowanej 52 MW. Magistrala M-1 zasila południowo- wschodnią i południową część miasta zwaną rejonem SR-1, magistrala M-2 dostarcza ciepło do północnej części miasta (rejon SR-2), z kolei południowo- zachodnią i zachodnią część miasta zasila magistrala M-3 (rejon SR-3). Wysokoparametrowe magistrale rozdzielają się na niskoparametrowe sieci NP1, NP2, NP3. Największą grupę odbiorców ciepła z systemu ciepłowniczego stanowią Spółdzielnie Mieszkaniowe, ich udział w zapotrzebowaniu na ciepło z systemu wynosi 77%. Udział budynków komunalnych w zapotrzebowaniu na ciepło wynosi 17%, zakładów produkcyjnych 5%, najmniej udział mają budynki jednorodzinne 1%, (rys.1).

Rys. 1 Procentowy udział poszczególnych odbiorców energii cieplnej

3. Metodyka badań

Najważniejsze własności niezawodnościowe podsystemu dostawy ciepła to:

- bezuszkodzeniowość,
- długowieczność,
- sposobność remontowa,
- zdolność dotrzymywania wartości normatywnych względem jakości dostarczonej energii cieplnej [10].

Do opisu ilościowego niezawodności systemów wykorzystuje się wskaźniki niezawodności. Stanowią one charakterystyki funkcyjne lub liczbowe, które uwzględniają własności systemu i jego poszczególnych elementów oraz ukazują procesy związane z ich działaniem. Wskaźniki można rozdzielić na wskaźniki o charakterze podstawowym i uzupełniającym. Podstawowe wskaźniki stosowane do analizy niezawodności przedstawiono poniżej [3, 4, 6, 9]:

- czas sprawności pomiędzy kolejnymi uszkodzeniami obiektu, (*mean time between failure - MTBF*)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

- średni czas naprawy – odnowy, (*mean time to repair MTTR*) - całkowity czas niesprawności obiektu, który jest sumą czasu oczekiwania na naprawę, czasu naprawy oraz czasu włączenia do eksploatacji po naprawie;

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

- intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$;
- intensywność odnowy (naprawy) $\mu(t)$;
- jednostkowa intensywność uszkodzeń λ_L [uszk./km·rok], oblicza się ze wzoru:

$$\lambda_L = \frac{k}{L \cdot \Delta t} \quad (3)$$

where:

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

Wykorzystując dane eksploatacyjne badanego podsystemu dostawy ciepła wyznaczono czasy pracy oraz jednostkowe intensywności uszkodzeń z uwzględnieniem miesiąca ich wystąpienia, rodzaju oraz średnicy sieci ciepłowniczej.

4. Analiza niezawodności badanego podsystemu dostawy ciepła

Główne rodzaje uszkodzeń, jakie zarejestrowano w badanym podsystemie dostawy ciepła to:

- pęknięcie przewodu,
- pękanie armatury,
- uszkodzenia punktów stałych,

Najczęściej występujące przyczyny awarii to:

- korozja wewnętrzna lub zewnętrzna,
- wady materiału,
- niewłaściwa jakość materiału, uszkodzenie podpór stałych, zamarznięcie przewodów i armatury, w okresie zimowym, nieszczelność armatury,
- brak odpowiedniej kompensacji, zakleszczenie się kompensatorów,
- opadnięcie przewodu z podpór,
- załamanie płyt nakrywających, nieodpowiednia konstrukcja punktów stałych, osiadanie gruntu.

Przeanalizowano awaryjność w latach 2001÷2012 [5]. Najwięcej awarii wystąpiło w styczniu, stanowią one 16,1% wszystkich awarii, w lutym i listopadzie 14,9%, (rys. 2). W styczniu 2006 roku temperatura powietrza zewnętrznego spadała nawet do -20°C , przełożyło się to na 43% wszystkich uszkodzeń występujących w styczniu. W miesiącu lutym, 30% wszystkich awarii, wystąpiło w 2010 roku, kiedy to w południowo- wschodniej Polsce zarejestrowano najniższe temperatury zewnętrzne. Najmniej awarii wystąpiło w lipcu, kiedy to system pracował stabilnie, pokrywając potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej i technologiczne.

Rys. 2 Procentowa liczba uszkodzeń w poszczególnych miesiącach w latach 2001÷2012

Analizy awaryjności dokonano również ze względu na technologię wykonania rurociągów, (rys. 3). Awarie stanowiące 95% wszystkich uszkodzeń dotyczyły sieci wykonanej metodą kanałową (kanał betonowy z rurą stalową), jedynie 5% stanowią awarie sieci preizolowanej.

Rys. 3 Procentowy udział liczby awarii sieci kanałowej i sieci preizolowanej w latach 2001÷2013

Właściwy obraz niezawodności sieci ciepłowniczej daje analiza średniego czasu pracy bezawaryjnej MTBF [d] oraz jednostkowej intensywności uszkodzeń λ_L [km⁻¹·rok⁻¹]. Wyniki niniejszej analizy zobrazowano na rysunkach 4 i 5. Najkrótszy średni czas pracy bezawaryjnej wynosił 30,42 dni w latach 2005 i 2010.

Rys. 4 Średni czas pracy bezawaryjnej T_p [d] w latach 2001÷2012

Najwyższa wartość jednostkowej intensywności uszkodzeń wystąpiła w 2005 r. i wynosiła 0,417 km⁻¹·rok⁻¹. Mimo, że w 2010 r. doszło do takiej samej liczby awarii, to jednostkowa intensywność uszkodzeń w tym roku była niższa ze względu na to, że długość sieci wzrosła. Najmniejsza intensywność wyniosła 0,040 km⁻¹·rok⁻¹ w 2003 roku.

Rys.5. Jednostkowa intensywność uszkodzeń λ_L w latach 2001÷2012

Średnie jednostkowe intensywności uszkodzeń λ_L w latach 2001÷2012 dla poszczególnych średnic zostały zestawione na wykresie (rys. 6). Z niniejszego zestawienia wynika, że najbardziej zawodnym rurociągiem jest ten o średnicy DN25, jego średnia jednostkowa intensywność uszkodzeń λ_L dla lat 2001÷2013 wyniosła $1,396 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Najmniej zawodnym przewodem jest rurociąg o średnicy DN100, dla którego średnia wartość λ_L wynosi $0,108 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ dla badanego okresu czasu.

Rys. 6 Zestawienie średnich jednostkowych intensywności uszkodzeń λ_L [$\text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$] dla poszczególnych średnic w latach 2001÷2012

Ze względu na to, że badany podsystem dostawy ciepła składa się z 3 głównych sieci magistralnych, przebadano niezawodność sieci w każdym z rejonów zasilanych przez poszczególne magistrale (sieć wysokich i niskich parametrów łącznie). Przeanalizowano średni czas bez awarii i jednostkową intensywność uszkodzeń λ_L [$\text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$] w poszczególnych rejonach zasilania (rys. 7).

Rys. 7 Jednostkowa intensywność uszkodzeń λ_L w latach 2001÷2012 w poszczególnych rejonach zasilania

Najbardziej zawodną siecią okazała się sieć w rejonie SR-2, średnia wartość jednostkowej intensywności uszkodzeń dla tej sieci wynosi $0,378 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Dla rejonu SR-1 wartość ta jest równa $0,266 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, dla SR-3 $0,163 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Najwyższe wartości jednostkowej intensywności uszkodzeń wystąpiła w przypadku terenu zasilanego przez magistralę M-2, w roku 2009 wyniosła $0,953 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Maksymalna wartość λ_L dla terenu zasilanego magistralą M-1 wyniosła $0,766 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ w 2005 roku, zaś dla rejonu zasilanego przez magistralę M-3 $0,439 \text{ km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Znajac wartości czasów odnowy MTTR można wyznaczyć niezawodność sieci dla poszczególnych rejonów zasilania z uwzględnieniem konfiguracji sieci.

5. Podsumowanie

W artykule przeprowadzono analizę awaryjności i niezawodności podsystemu dostawy ciepła miasta o 47 tysiącach mieszkańców. Wykorzystano dane eksploatacyjne udostępnione przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej. Analizie poddano przyczyny i liczbę awarii, które wystąpiły na sieci ciepłowniczej w latach 2001÷2012.

Analiza uszkodzeń w poszczególnych miesiącach wskazała na sezonową zmienność uszkodzeń. Zaobserwowano wzmożoną awaryjność sieci w miesiącach: styczeń i luty, kiedy występuje największa różnica temperatur pomiędzy czynnikiem grzewczym a otoczeniem oraz w kwietniu i listopadzie, kiedy dochodzi do przejścia parametrów pracy systemu z sezonu grzewczego w sezon letni oraz z sezonu letniego w sezon grzewczy. Wysoka awaryjność dotyczy również sieci wysokich parametrów: 68% awarii wystąpiło na sieci wysokoparametrowej, z kolei 32% miało miejsce na sieci niskoparametrowej. Na taki stan może mieć wpływ to, że w sieci wysokoparametrowej wartości temperatury oraz ciśnienia czynnika grzejącego są wyższe niż w sieci niskoparametrowej. Wysokie parametry czynnika mają bezpośredni wpływ na materiał, z jakiego zbudowane są rurociągi.

Przedstawiona analiza niezawodności podsystemu dostawy ciepła może być wykorzystana do rozwiązywania problemów natury praktycznej, pojawiających się w czasie eksploatacji systemu ciepłowniczego. Umożliwia ona wyznaczenie

okresów szczególnego zagrożenia awaryjnego, dzięki czemu możliwe będzie odpowiednie przygotowanie brygad remontowych i usprawnienie ich działania, co pozwoli na maksymalne skrócenie przerw w dostawie ciepła do odbiorców. Jej wyniki powinny być uwzględniane w przygotowaniu instrukcji eksploatacji, jak również w strategii planowania remontów i rozbudowy sieci ciepłowniczych w systemie zaopatrzenia w ciepło. Warunkiem możliwości oceny niezawodności podsystemu dostawy ciepła jest rzetelna ewidencja danych eksploatacyjnych dotyczących awaryjności elementów podsystemu zintegrowana z konfiguracją i zasobami infrastruktury ciepłowniczej.

6. Literatura

- [1] Babiarz B. Heat supply system reliability management. Safety and reliability: Methodology and Applications. Proc. of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, Wrocław, Poland, 14–18 September 2014/eds. Nowakowski et al., 2015 Taylor & Francis Group, London, p. 1501-1506.
- [2] Babiarz B., Rak J. Metoda oceny niezawodności systemów zaopatrzenia w ciepło. Materiały konferencyjne Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych. Wydawnictwo Zakopane- Kościelisko 2001.
- [3] Migdalski J.: Inżynieria niezawodności. Poradnik. Warszawa 1992.
- [4] Myrefelt S. The reliability and availability of heating, ventilation and air conditioning systems, Energy and Buildings 2004; 36: 1035–1048.
- [5] Ochenduszkiewicz J., Babiarz B.: Analiza niezawodności podsystemu dostawy ciepła miasta. Materiały nieopublikowane. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2014.
- [6] Peruzzi L., Salata F., Vollaro A. d L, Vollaro R. de Lieto. 2014 The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings. Energy & Buildings 68, Part A, 19-24.
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 stycznia 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych. (Dz.U. 2007 nr 16 poz. 92).
- [8] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. (Dz. U. Nr 89 poz. 625) wraz z późniejszymi zmianami.
- [9] Wiczysty A. i inni : Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Kraków 2001
- [10] Wojdyga K., & Niemyjski O. Hydraulic analysis for a district heating system supplied from two CHP plants. Energy & Buildings 2012, Vol. 54: 83-86

Bożena Babiarz, dr inż., adiunkt w Zakładzie Ciepłownictwa i Klimatyzacji Politechniki Rzeszowskiej. W działalności naukowej koncentruje się na problematyce oceny niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka w systemach zaopatrzenia w ciepło, ciepłych, wentylacyjnych i gazowych. Autor i współautor wielu publikacji naukowych, w tym podręcznika akademickiego, dwóch podręczników z zakresu procesu inwestycyjnego, poradnika technicznego i materiałów pomocniczych.