

Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK<sup>1</sup>  
Andrzej STUDZIŃSKI<sup>2</sup>  
Politechnika Rzeszowska

## GWARANTOWANY STOPIEŃ DOSTĘPNOŚCI USŁUG WODOCIĄGOWYCH

Gwarancja staje się nową kategorią decydującą o komforcie korzystania z systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW). Artykuł stanowi kontynuację badań nad pojęciem gwarancji w branży wodociągowej. W pracy przedstawiono sposób wyznaczania gwarantowanego stopnia dostępności usług wodociągowych oraz aplikację metody na przykładzie miasta Rzeszowa.

### 1. Wprowadzenie

W przypadku systemów świadczących usługi, w których miarą jakości jest ich dostępność, duże znaczenie ma analiza gwarantowanej dostępności tych usług. Na podstawie takiej analizy można sformułować umowę pomiędzy usługodawcą a usługobiorcą. W umowie jest ustalana maksymalna przerwa w dostawie usługi. Jeżeli przerwa w dostarczaniu usługi będzie dłuższa od ustalonej w umowie, usługodawca z reguły ponosi kary finansowe w postaci odszkodowania bądź obniżenia ceny usługi w okresie rozliczeniowym. Przykładem może być umowa SLA (ang. *Service Level Agreement*) mówiąca o tym, że usługodawca gwarantuje usługobiorcy (pod karą grzywny) świadczenie danej usługi, której przerwy w dostawie nie przekroczą ustalonego w umowie czasu.

Umowa taka jest stosowana głównie w przedsiębiorstwach świadczących usługi informatyczne (np. dostępność danej aplikacji) [1÷3]. Jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby umowę tego typu zastosować w przypadku przedsiębiorstw wodociągowych. W umowie tej między przedsiębiorstwem wodociągowym a odbiorcą byłyby ustalone maksymalna liczba przerw w dostawie wody oraz maksymalny czas ich trwania w danym okresie. W przypadku niedotrzymania warunków umowy dostawca wody ponosiłby kary finansowe (np. w postaci obniżenia ceny za dostawę wody w następnym okresie rozliczeniowym). Rozwiązanie umowy w tym przypadku raczej nie wchodzi w rachubę ze względu na ograniczoną liczbę dostawców wody (w Polsce z reguły na danym

---

<sup>1</sup> kpiet@prz.edu.pl

<sup>2</sup> astud@prz.edu.pl

obszarze działa jeden dostawca wody). Umowa taka dałaby odbiorcy wody przekonanie, że świadczona usługa będzie odpowiedniej jakości. Z drugiej strony motywowałaby dostawcę wody (groźbą kar finansowych) do jej dostaw w odpowiednich ilościach w dogodnym dla odbiorcy czasie.

## 2. Sposób szacowania stopnia dostępności usług wodociągowych

W poprawnie skonstruowanej umowie SLA dużym utrudnieniem dla przedsiębiorstwa wodociągowego może się okazać określenie prawdopodobieństwa przerw w dostawie wody. Dlatego też w niniejszej pracy przedstawiono sposób wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia przerw w dostawie wody.

Interesująca jest więc analiza dotycząca progu dostępności usługi  $P_A$  z określonym ryzykiem występowania. W przypadku dostępności wody do odbiorcy kluczowe znaczenie ma stan sprawności przewodu rozdzielczego oraz podłączenia wodociągowego, z których jest zasilana instalacja wewnętrzna odbiorcy wody [4]. Spodziewany próg dostępności usługi  $P_A$  jest zatem rozumiany jako prawdopodobieństwo sprawności poszczególnych przewodów wodociągowych zgodnie z równaniem:

$$P_{Ai} = \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} \quad (1)$$

gdzie:  $\lambda_i$  – jednostkowa intensywność uszkodzeń  $i$ -tego przewodu wodociągowego [ $a^{-1}$ ],

$\mu_i$  – jednostkowa intensywność naprawy  $i$ -tego przewodu wodociągowego [ $a^{-1}$ ].

Uwzględniając zależność:

$$\mu_i = \frac{1}{T_{oi}} \quad (2)$$

gdzie  $T_{oi}$  – czas braku dostawy wody [a], równanie (1) przyjmie postać:

$$P_{Ai} = \frac{1}{1 + \lambda_i \cdot T_{oi}} \quad (3)$$

co dla elementu liniowego  $P_A$  można zapisać (1):

$$P_{Ai} = \frac{1}{1 + \lambda_i \cdot T_{oi} \cdot l_i} \quad (4)$$

gdzie:  $l_i$  – długość  $i$ -tego przewodu [km],

$\lambda_i$  [ $a^{-1} \cdot km^{-1}$ ].

Konsekwencje awarii są definiowane przez czas braku dostawy wody do odbiorców  $T_i$  oraz liczbę odbiorców pozbawionych jej dostaw  $C_{Si}$  (wskaźnik skumulowanego rocznego czasu trwania przerw w przeliczeniu na odbiorcę CHL, ang. *Customer Hours Lost*) [5, 6].

Do wyznaczenia ryzyka zaproponowano metodę dwuparametryczną, zgodnie ze wzorem [7]:

$$r_i = P_{Fi} \cdot C_i \quad (5)$$

gdzie:  $C_i$  – liczba odbiorców pozbawionych dostaw wody,

$P_{Fi}$  – prawdopodobieństwo wystąpienia awarii  $i$ -tego przewodu,

przy czym prawdopodobieństwo wystąpienia awarii  $i$ -tego przewodu wyraża wzór:

$$P_{Fi} = 1 - P_{Ai} \quad (6)$$

Stąd ryzyko uwzględniające czas trwania przerw w dostawie wody dla liczby odbiorców pozbawionych jej dostaw na skutek awarii  $i$ -tego przewodu ma postać:

$$r_i = \frac{\lambda_i \cdot T_{oi} \cdot l_i}{1 + \lambda_i \cdot T_{oi} \cdot l_i} \cdot C_i \quad (7)$$

Jednostkową intensywność uszkodzeń  $i$ -tego przewodu wodociągowego wyznaczono z zależności [8]:

$$\lambda_i = \frac{k_i(t, t + \Delta t)}{l_i \cdot \Delta t} \quad (8)$$

gdzie:  $k_i(t, t + \Delta t)$  – liczba uszkodzeń odcinka w przedziale czasu  $\Delta t$ ,

$\Delta t$  – przedział czasu [a].

Wartość graniczną ryzyka przyjęto jako iloczyn liczby osób dotkniętych awarią i czasu przerwy w dostawie wody. Na podstawie rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 roku [9] sytuacja jest krytyczna, gdy awaria trwa dłużej niż dwie godziny, a liczba mieszkańców odciętych od wody do spożycia wynosi minimum 500 osób, a więc  $r_{gr} \geq 0,114$ .

### 3. Przykład aplikacji

Podstawowym parametrem jakościowym świadczonej usługi jest jej dostępność, która w przypadku przedsiębiorstw wodociągowych jest mierzona przez jeden rok. Im większa dostępność usługi w danym okresie, tym jej jakość

jest wyższa. Ze względu na to, że w praktyce przedsiębiorstwo wodociągowe nie może zagwarantować stuprocentowej dostępności w dostawie wody, należy skorzystać z narzędzi matematycznych, które pozwolą oszacować parametry niezawodnościowe usługi. Mając dane dotyczące braku dostawy wody oraz liczby awarii występujących na poszczególnych przewodach wodociągowych, można oszacować poziom dostępności dostawy wody, który producent może zagwarantować w umowie SLA.

Analizie poddano awarie związane z brakiem w dostawie wody do spożycia dla miasta Rzeszowa, które wystąpiły na przewodach wodociągowych w latach 2004-2010, opracowane na podstawie dziennika awaryjności sieci wodociągowej. Otrzymano ciąg rozdzielczy prawdopodobieństwa wystąpienia awarii wraz z ich konsekwencjami. Część wyników zaprezentowano w tab. 1. (wycinek spośród  $n = 1182$  obserwacji). Wartości prawdopodobieństwa wystąpienia awarii  $P_{Fi}$  obliczono ze wzoru (6), a ryzyko  $r_i$  – ze wzoru (7).

Tabela 1. Ciąg rozdzielczy;  $r_i$  – ryzyko,  $P_{Fi}$  – prawdopodobieństwo wystąpienia awarii

$n$	$r_i$	$P_{Fi}$	$n$	$r_i$	$P_{Fi}$
<b>1</b>	0,0000438	0,00000114	<b>789</b>	0,108	0,00171
<b>2</b>	0,0000439	0,00000115	<b>790</b>	0,113	0,00182
<b>3</b>	0,0000773	0,00000161	<b>791</b>	0,114	0,00184
<b>4</b>	0,0000774	0,00000163	<b>792</b>	0,114	0,00185
<b>5</b>	0,0000948	0,00000182	<b>793</b>	0,114	0,00186
<b>6</b>	0,0000960	0,00000184	<b>794</b>	0,114	0,00188
...	...	...	...	...	...
<b>389</b>	0,0140	0,000302	<b>1171</b>	1,44	0,0132
<b>390</b>	0,0143	0,000307	<b>1172</b>	1,44	0,0149
<b>391</b>	0,0144	0,000315	<b>1173</b>	1,53	0,0161
<b>392</b>	0,0144	0,000316	<b>1174</b>	1,54	0,0177
<b>393</b>	0,0145	0,000325	<b>1175</b>	1,58	0,0179
<b>394</b>	0,0148	0,000325	<b>1176</b>	1,59	0,0181
<b>395</b>	0,0125	0,000228	<b>1177</b>	1,80	0,0181
<b>396</b>	0,0125	0,000228	<b>1178</b>	1,85	0,0185
<b>397</b>	0,0128	0,000229	<b>1179</b>	1,91	0,0197
<b>398</b>	0,0128	0,000230	<b>1180</b>	2,22	0,0260
<b>399</b>	0,0128	0,000223	<b>1181</b>	2,56	0,0371
<b>400</b>	0,0128	0,000224	<b>1182</b>	2,73	0,0794

Spodziewany poziom niedostępności usługi dla  $R_{gr} = 0,114$  wynosi  $P_{Fi} = 0,00186$ . Wartości tego wskaźnika mieszczą się w przedziale od 0,00438 do 7,94%, przy czym wartości te są trudne do porównania, zdefiniowano je więc w godzinach na rok.

Zależność pomiędzy poziomem dostępności a prawdopodobieństwem niezrealizowania tego progu wyraża wzór:

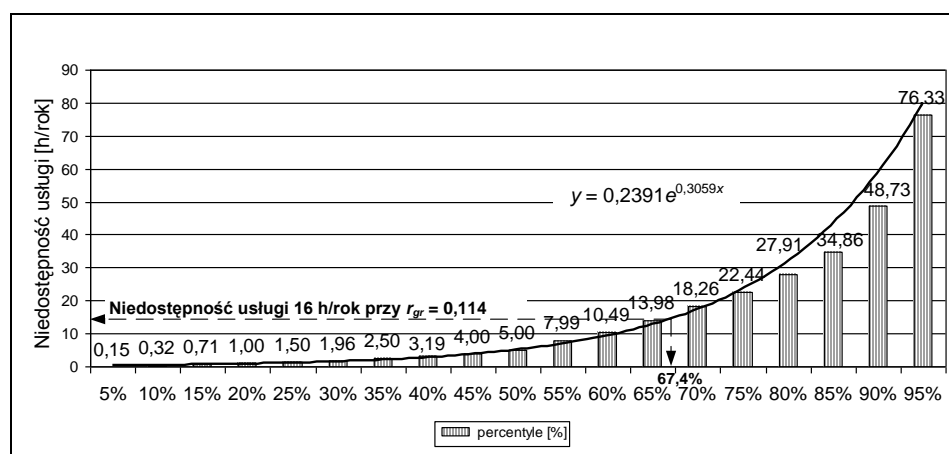
$$P_{Fi} = (1 - P_{Ai}) \cdot 8760 \quad (9)$$

Po uwzględnieniu zależności (9) wartości niezrealizowania usługi zawierają się w przedziale od 0,01 do 695 h.

Na rysunkach 1. i 2. zaprezentowano histogramy przedstawiające percentyle różnych poziomów niedostępności usługi [h], identyfikowane z gwarantowanym poziomem usług, oraz odpowiadające im ryzyko. Zależności przedstawione na rys. 1. i 2. można opisać funkcjami:

$$y = 0,2391e^{0,3059x} \quad (10)$$

$$y = 0,0011e^{0,3455x} \quad (11)$$



Rys. 1. Histogram niedostępności usługi [ $\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$ ]

Ryzyko 0,114 oznacza, że możliwe jest zagwarantowanie takiego poziomu dostępności usługi, na którym prawdopodobieństwo niezrealizowania go w ustalonym czasie wynosiło 0,186%, a więc przerwy w dostawie wody nie przekroczyły ustalonego w umowie czasu równego 16 h. W tabeli 2. przedstawiono propozycję umowy SLA określającej gwarantowane poziomy dostępności usług.

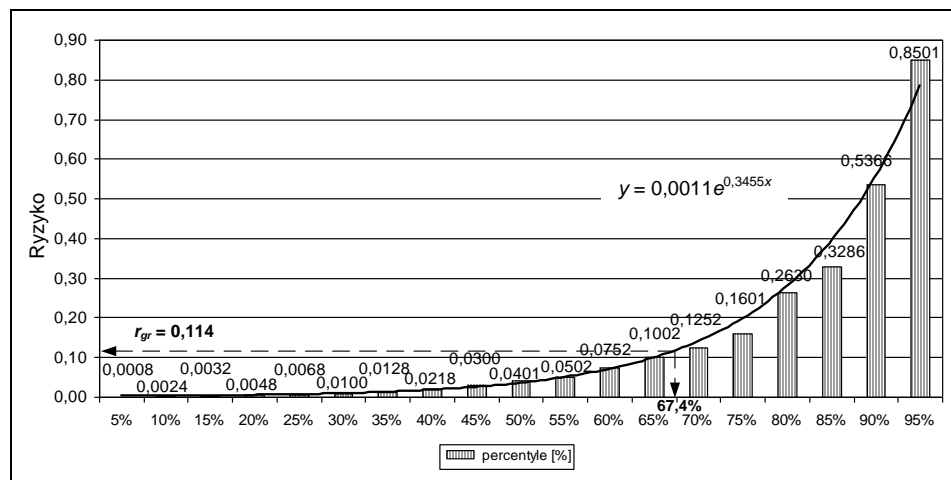
W umowie SLA równie ważnym elementem jest oszacowanie spodziewanych wartości kar za niedotrzymanie warunków umów. Wartość kary za niezrealizowanie określonego przedziału dostępności można wyznaczyć jako:

$$K = k \cdot K_{lm}^3 \cdot T_{osr} \cdot Q_{dsr} \cdot LM \quad (12)$$

gdzie:  $K$  – kara za niedotrzymanie warunków umowy dostawy wody [zł],  
 $k$  – krotność jednostkowej ceny wody,  
 $K_{1m}^3$  – jednostkowa cena za 1 m<sup>3</sup> wody [zł · m<sup>-3</sup>],  
 $T_{osr}$  – czas trwania awarii oraz niezrealizowania gwarantowanego poziomu [h · d<sup>-1</sup>],  
 $Q_{dsr}$  – średnie jednostkowe dobowe zużycie wody [m<sup>3</sup> · M<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>],  
 $LM$  – liczba odbiorców pozbawionych dostaw wody.

Wartość oczekiwana kary  $E(K)$  dla przedsiębiorstwa wodociągowego wynosi:

$$E(K) = \sum_i P_{Fi} \cdot K_i \quad (13)$$



Rys. 2. Histogram ryzyka  $r$

Tabela 2. Propozycja umowy SLA zawierającej gwarantowane poziomy usług

Przedział dostępności	Prawdopodobieństwo zrealizowania gwarantowanego poziomu P [%]	Ryzyko $r$	Czas trwania przerw w dostawie wody $T_o$ [h · a <sup>-1</sup> ]
I	$\leq 0,0229$	$\leq 0,0121$	$\leq 2$
II	(0,0229-0,0457]	(0,0121-0,0301]	(2-4]
III	(0,0457-0,0685]	(0,0301-0,0449]	(4-6]
IV	(0,0685-0,0913]	(0,0449-0,0533]	(6-8]
V	(0,0913-0,114]	(0,0533-0,0899]	(8-10]
VI	(0,114-0,137]	(0,0899-0,0902]	(10-12]
VII	(0,137-0,160]	(0,0902-0,102]	(12-14]
VIII	(0,160-0,186]	(0,102-0,114]	(14-16]
IX	$> 0,186$	$> 0,114$	$> 16$

Przykładowe wartości kar za niezrealizowanie poszczególnych przedziałów dostępności przedstawiono w tab. 3. I tak dla jednego odbiorcy wartość kary za niezrealizowanie VI przedziału dostępności dla następujących danych:  $K_{1m}^3 = 4,0$  zł,  $T_{osr} = 12/24$ ,  $Q_{dsr} = 0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  wynosi  $K = 1,54$  zł. Sugeruje się wyłączenie odpowiedzialności dostawy wody dla najwyższych trzech przedziałów dostępności.

Tabela 3. Przykładowe wartości oczekiwanych wartości kar za niezrealizowanie poszczególnych przedziałów dostępności dla 1 odbiorcy wody

Przedział dostępności	k	K
	–	zł
I	0	0
II	0	0
III	0	0
IV	5	0,7
V	6	1,08
VI	7	1,54
VII	8	2,08
VIII	9	2,7
IX	10	3,2

#### 4. Podsumowanie

Coraz większa świadomość odbiorców wody na temat przysługujących im praw powoduje, że rynek wodociągowy jest znacznie bardziej zorientowany na „klienta”. Odbiorca, ponosząc koszty w postaci opłat, ma prawo żądać odpowiedniego poziomu usług.

Parametry dostarczanej wody coraz częściej stanowią standardy, według których jest zawierana umowa pomiędzy dostawcą a odbiorcą wody. W umowach zawieranych pomiędzy dostawcą a odbiorcą wody odbiorca powinien mieć prawo do negocjowania ceny w przypadku niedotrzymania standardów jakościowych przez dostawcę. Prawnie za dostawę wody o jakości zagrażającej życiu lub zdrowiu jest odpowiedzialny dostawca wody, który gwarantuje bezpieczeństwo oraz komfort korzystania z usług wodociągowych. Nie tylko odbiorca, ale również przedsiębiorstwo wodociągowe ponosi konsekwencje niedotrzymania parametrów jakościowych, co powoduje straty finansowe za niedostarczoną wodę oraz dodatkowe koszty związane z awaryjnością systemu dystrybucji wody. Natychmiastowa poprawa jakości dostarczanej wody w praktyce nie jest możliwa, ponieważ zmiana struktury organizacyjnej i technicznej wymaga czasu oraz nakładu finansowego [10, 11].

Na podstawie przedstawionej analizy przedsiębiorstwo wodociągowe może określić prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, a w konsekwencji przerwy

w dostawie wody w ciągu roku. Według tych danych przedsiębiorstwo wodociągowe może udzielić gwarancji na dostawę wody do odbiorcy. Dane przedsiębiorstwo wodociągowe, mając informację na temat prawdopodobieństwa wystąpienia awarii w ciągu roku, może wybrać odpowiednią formę ubezpieczenia, z którego byłaby udzielona rekompensata odbiorcom wody. Jeżeli chodzi o odbiorcę wody, gwarancja udzielona przez firmę wodociągową daje mu poczucie, że przedsiębiorstwo będzie wypełniać wszystkie obowiązki w taki sposób, aby tych przerw było jak najmniej.

Konkretnie określenie wskaźników opisujących jakość świadczonych usług wodociągowych zapobiega wykorzystaniu pozycji monopolistycznej przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Umowa SLA powinna precyzować zobowiązania dostawcy wobec odbiorcy za niedotrzymanie gwarantowanych parametrów dostawy wody oraz określać zasady odszkodowań i procedury rozwiązywania konfliktów, a także sposoby udzielania bonifikaty i upustu, np. wykorzystując metodykę przedstawioną w niniejszej pracy. Podstawą takiej umowy powinny być ustalenia dotyczące standardów jakościowych obsługi odbiorców, a więc określenie priorytetowych kryteriów (parametrów dostawy wody), oraz dopuszczalnych wartości odchyień tych parametrów od uznanych za akceptowalne.

*Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego nr N R14 0006 10 nt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010-2013.*

## Literatura

- [1] European Commission. First report on the harmonisation of risk assessment procedures. Part 2: Appendices, health and consumer protection directorate-general, 26-27 October 2000.
- [2] Ezell B., Farr J., Wiese I.: Infrastructure risk analysis of municipal water distribution system, J. of Inf. Sys., ASCE, no 6(3), 2001, pp. 118-122.
- [3] Gerstel O., Sasaki G.: Quality of Protection (QoP): A quantitative unifying paradigm to protection service grades, Optical Networks Magazine, no 05/06, 2002, pp. 40-49.
- [4] Studziński A.: Analiza hydrauliczna skutków awarii przewodów wodociągowych Rzeszowa, Ośrodek Informacji „Technika Instalacyjna w Budownictwie”, Instal. Teoria i Praktyka w Instalacjach, z. 10, 2008, s. 109-112.
- [5] Rak J.: Selected problems of water supply safety, Environmental Protection Engineering, no 35, 2009, pp. 29-35.
- [6] Rak J., Pietrucha K.: Some factors of crisis management in water supply system, Environmental Protection Engineering, no 34, 2008, pp. 57-65.
- [7] Rak J.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.



- [8] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczekiewicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, ARKADY, Warszawa 1993.
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 roku w sprawie poważnych awarii objętych obowiązkiem zgłoszenia do Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (Dz.U. Nr 5, poz. 58).
- [10] Bergel T., Pawełek J.: Quantitative and economical aspects of water loss in waterworks systems in rural areas, *Environment Protection Engineering*, no 3/2008, pp. 59-64.
- [11] Hastak M., Baim E.: Risk factors affecting management and maintenance cost of urban infrastructure, *J. of Inf. Sys., ASCE*, no 2, 2001, pp. 67-75.

## **GUARANTEED LEVEL OF WATERWORKS SERVICES AVAILABILITY**

### **Abstract**

The aim of his paper is to present the novel approach for risk assessment in combination with failure and consequence analysis as to evaluate the degree of availability of service of water infrastructure. In addition to this data, methodologies for calculating the guaranteed levels of the availability of water services are also presented, on the example of the city Rzeszow.