

Izabela PIEGDOŃ¹
Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK²

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA DANYCH O AWARIACH SIECI WODOCIĄGOWEJ W PROCESIE PLANOWANIA JEJ REMONTU

W badaniach prowadzonych nad niezawodnością i bezpieczeństwem funkcjonowania systemów wodociągowych, podstawą wszelkich badań i analiz stanowią dane eksploatacyjne dotyczące sieci wodociągowej, opracowane na bazie dzienników i protokołów awarii prowadzonych w każdym przedsiębiorstwie wodociągowym. Systematycznie prowadzone badania awaryjności obejmujące swoim zakresem analizę przyczyn, skutków, rodzaju awarii oraz ich liczby, pozwalają osobom decyzyjnym w przedsiębiorstwie podjąć odpowiednie działania odnośnie planowania remontów na sieci oraz zarządzania pracą brygad remontowych. W pracy zaprezentowano analizę awaryjności wybranej sieci wodociągowej województwa podkarpackiego. Wyszczególniono przyczyny awarii oraz ich sezonowość. Wyniki analiz oparto o dane eksploatacyjne z kilku ostatnich lat. Dodatkowo przedstawiono możliwość wykorzystania danych o awariach w procesie planowania remontów przewodów wodociągowych. W tym celu zaprezentowano możliwości stosowania mapy numerycznej oraz bazy danych GIS.

Słowa kluczowe: awaryjność, sieć wodociągowa, remont, GIS

1. Wprowadzenie

Systemy zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków są najstarszymi oraz najistotniejszymi systemami eksploatowanymi w każdej aglomeracji miejskiej. Realizują określone swoje zadania jednocześnie na danym obszarze terytorialnym. Systemy te należące do infrastruktury krytycznej państwa funkcjonują w Polsce ponad 120 lat. Umiejętne zarządzanie majątkiem sieciowym w każdym przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym wpływa na jakość podejmowanych decyzji oraz wpływa na wzrost konkurencyjności na rynku. Dla każdego

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Izabela Piegdoń, Politechnika Rzeszowska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651068; piegi@prz.edu.pl

² Barbara Tchórzewska-Cieślak, Politechnika Rzeszowska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel.178651435; cbarbara@prz.edu.pl

mieszkańca miasta lub wsi – każdego klienta – niezwykle ważne jest poczucie stabilności i bezpieczeństwa w zakresie dostawy wody. Zapewnienie bezpieczeństwa dostawy wody stricte wiąże się z niezawodnością jej dostawy [35, 36]. Niezawodność systemu wodociągowego, definiowana jest jako właściwość polegająca na zdolności systemu do realizacji swoich funkcji w określonych warunkach istnienia i eksploatacji i w ciągu założonego czasu [12, 22, 37]. W przypadku systemu wodociągowego funkcje te polegają na dostarczaniu wody do miejsc jej użytkowania w wymaganej ilości, o odpowiedniej jakości, wymaganej ilości i o każdej porze dogodnej dla jej odbiorcy.

Dla realizacji zadań niezawodności dostawy wody niezbędne jest więc posiadanie szeregu informacji eksploatacyjnych o systemie, a także szczegółowych danych o charakterze statystycznym odnośnie zdarzeń niepożądanych jakimi są awarie na sieci wodociągowej. Zgodnie z Ustawą o stanie kłęski żywiłowej z dnia 18 kwietnia 2002r (Dz.U. 2002 nr 62, poz.558) [42], awaria jest to gwałtowne, nieprzewidziane uszkodzenie lub zniszczenie obiektu budowlanego, urządzenia technicznego lub systemu urządzeń technicznych powodujące przerwę w ich używaniu lub utratę ich właściwości. Dane o awaryjności powinny umożliwiać dokładną identyfikację analizowanego obiektu, zaistniałego zdarzenia, a także jego analizę przyczynowo – skutkową. Kompletność oraz szczegółowość baz danych o awariach warunkuje w przyszłości prawidłową analizę i ocenę ryzyka wystąpienia takiego zdarzenia, a tym samym proces podejmowania decyzji związanych z pracą brygad remontowych oraz typowania tych przewodów, które nadają się do remontu w pierwszej kolejności [26]. Zgodnie z art.3 pkt 8 ustawy Prawo budowlane przez remont należy rozumieć wykonanie na istniejącym obiekcie budowlanym robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, a niestanowiących bieżącej konserwacji, przy czym dopuszcza się stosowanie wyrobów budowlanych innych niż użyto w stanie pierwotnym [41]. Często w przedsiębiorstwach wodociągowych decyzje odnośnie remontu sieci podejmowane są w sposób intuicyjny, wykorzystując między innymi doświadczenie i obserwacje pracowników.

Alternatywą do takiego podejmowania decyzji, mogą stanowić aplikacje GIS (ang. *Geographical Information Systems*), jako element wspomaganie procesu decyzyjnego w każdym przedsiębiorstwie wodociągowym. System zawiera funkcje pozyskiwania oraz przetwarzania danych o awaryjności sieci wodociągowej oraz pozwala na ich wizualizację przestrzenną, stając się narzędziem niezbędnym przy wyznaczaniu zadań brygadam remontowym [10, 27, 34]. Współczesne systemy geoinformacyjne stanowią często rozbudowane, zintegrowane systemy z narzędziami informatycznymi jakimi są monitoring sieci wodociągowej czy modele matematyczne [28, 40]. Głównym celem pracy jest możliwość wykorzystania danych o awariach sieci wodociągowej w procesie planowania jej remontu. Wykonano analizę awaryjności sieci wodociągowej jednego z miast Podkarpacia. W tym celu zaprezentowano możliwości stosowania mapy numerycznej oraz bazy danych GIS.

2. Związki przyczynowo-skutkowe awarii sieci wodociągowej

Analizy awaryjności, obejmujące rodzaje, przyczyny i skutki uszkodzeń są wyjściowym etapem działań zmierzających do oceny stanu technicznego przewodów oraz do podjęcia działań remontowych [4, 21, 26, 38]. Stanowią przedmiot badań od ponad 30 lat o czym świadczy liczna literatura [6, 7, 12, 16, 18, 29, 39, 43]. Negatywne skutki awarii bezpośrednio odczuwalne są przez producentów jak i odbiorców wody. Są to między innymi straty wody, przerwy w dostawie wody lub wtórne zanieczyszczenie wody wodociągowej. W literaturze wielokrotnie udowodniono, że na awaryjność przewodów wodociągowych, oraz związaną z nią wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń, ma wpływ wiele czynników [2, 3, 5, 6, 9, 11, 13, 14, 17, 19, 24, 25, 30, 31]:

- funkcja przewodu (magistralny, rozdzielczy, przyłącze wodociągowe),
- średnica oraz materiał przewodów,
- wiek przewodu,
- zabezpieczenie antykorozyjne,
- sposób łączenia rur oraz kształtek i armatury,
- prędkość przepływu oraz panujące w przewodzie ciśnienie,
- niestabilność gruntu np. tereny górnicze,
- korozyjność podłoża,
- charakterystyka wód podziemnych,
- charakter obciążeń zewnętrznych (dynamiczne, statyczne),
- temperatura gruntu,
- roczna sezonowość,
- prace remontowe – konserwacyjne,
- monitoring sieci oraz szybkość lokalizacji i usuwania awarii.

Obecnie istotnym elementem w analizach awaryjności sieci wodociągowej jest możliwość wykorzystania baz danych GIS, które w istotny sposób wpływają na stopień szczegółowości przeprowadzanych obliczeń [10, 15, 19, 20, 27, 32, 33, 40].

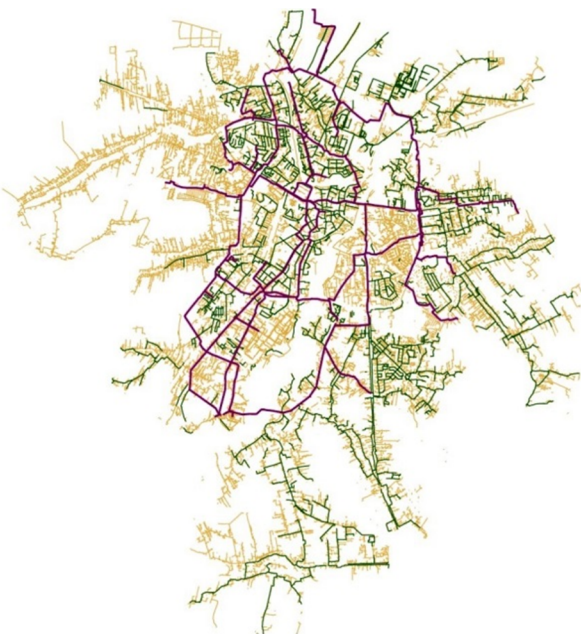
Rozproszenie infrastruktury wodociągowej na terenie miasta lub wsi powoduje, że dla brygad remontowych podczas wystąpienia awarii szczególnie istotnego znaczenia nabiera pytanie: *gdzie?* Informacja o lokalizacji odcinków sieci, przyłączy wodociągowych oraz armatury jest szczególnie ważna w procesie eksploatacji oraz efektywności usuwania negatywnych skutków wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Równie istotnymi informacjami są dane dotyczące położenia innych sieci (kanalizacyjnych, gazowych itp.), które są cenną wskazówką podczas samych prac remontowych. Potencjał jaki daje GIS w procesie planowania remontów jest ogromny. Jednak większość przedsiębiorstw wodociągowych wciąż ze względów finansowych nie korzysta w pełni z jego możliwości. Bezpieczeństwo dostawy wody w dużej mierze zależy również od funkcjonowania innych infrastruktur krytycznych. Zaproponowano trzy grupy zagrożeń wpływających na pracę sieci wodociągowej. Pierwsza grupa to liniowa infra-

struktura podziemna np.: linie telekomunikacyjne, kable energetyczne, gazociągi, rurociągi ciepłe, sieci kanalizacyjne. Na przykład uszkodzenie rur kanalizacyjnych (wyciek ścieków do gruntu) lub zrzut ścieków bezpośrednio do rzeki może mieć wpływ na pogorszenie parametrów jakościowych wody pobieranej przez ujęcie powierzchniowe i podziemne. Innym zagrożeniem może być awaria sieci elektroenergetycznej typu blackout, której negatywne konsekwencje mogą mieć wpływ na pracę pompowni wodociągowych, systemu monitoringu, systemu SCADA. Drugą grupę stanowią ulice, drogi, autostrady, w tym transport substancji niebezpiecznych, których wyciek może spowodować degradację środowiska oraz pogorszenie jakości wód. W skład trzeciej grupy wchodzi zewnętrzne zagrożenia spowodowane siłami natury tj. susza, powódź, osuwiska. Dodatkowo należy również pamiętać o zagrożeniach cybernetycznych, powodowanych przez systemy telekomunikacyjne i osoby trzecie.

3. Analiza awaryjności przykładowego systemu wodociągowego

3.1. Charakterystyka obiektu badań

Analizę awaryjności wykonano dla przykładowej sieci wodociągowej dzięki danym udostępnionym przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Łączna długość sieci wodociągowej wraz z przyłączami wynosi 1006,6 km (dane z 2017 r.). Sieć



stanowią: sieć magistralna o długości 54,9 km, wykonana jest z rur żeliwnych i stalowych, sieć rozdzielcza o długości 586,5 km, wykonana jest z żeliwa, stali, PE i PVC. Na rysunku 1 przedstawiono schemat analizowanej sieci wodociągowej. Kolorem fioletowym zaznaczono sieć magistralną, zielonym sieć rozdzielczą natomiast żółtym przyłącza wodociągowe.

Rys. 1. Schemat sieci wodociągowej (opracowanie własne na podstawie [44])

Fig. 1. Scheme of water supply network (own work based on [44])

3.2. Metodyka badań

Pierwszym krokiem w planowaniu remontów na sieci wodociągowej jest wykonanie analizy awaryjności. Główne źródło danych stanowi dokumentacja eksploatacyjna przedsiębiorstwa dotycząca ewidencji sieci oraz zgłoszeń awarii. Analizę awaryjności przeprowadza się w oparciu o rzeczywiste dane eksploatacyjne z 10 ostatnich lat pracy sieci. Dokładna analiza wymagała zebrania, posortowania i zweryfikowania zebranych danych.

Kolejnym etapem pracy było utworzenie bazy danych o awariach oraz uporządkowania zbioru parametrów technicznych sieci wodociągowej. Następnie tak utworzoną bazę danych zaimplementowano do programu GIS. Zakres danych tekstowych i przestrzennych opisujących zdarzenie awarii jakie należało umieścić w bazie danych obejmował:

- lokalizację uszkodzenia,
- przyczynę uszkodzenia,
- rodzaj, średnica i materiał przewodu na którym zaistniało uszkodzenie,
- numer brygady obsługującej dane uszkodzenie,
- datę zgłoszenia uszkodzenia,
- nadanie numeru identyfikacyjnego zdarzeniu.

Ostatnim etapem badań jest graficzna prezentacja danych oraz wyników analiz wygenerowana w programie GIS G/Technology oraz GeoMedia. Propozycja dotycząca graficznej wizualizacji analizy awaryjności przewodów wodociągowych sprowadza się do możliwości jej wykorzystania w procesie planowania remontów na sieci wodociągowej.

Obecnie w wielu przedsiębiorstwach wodociągowych dostępne zasoby danych dotyczące awaryjności przewodów wodociągowych, nie dają wystarczającej możliwości wyznaczenia dokładnych parametrów niezawodnej pracy przewodów. Często dane te są mało czytelne, zapisywane w starych książkach awarii bądź dostępne tylko w pamięci pracowników. Sytuacja taka powoduje, że analiza stanu technicznego sieci na podstawie awaryjności jest mało dokładna. W rezultacie utrudnione są działania mające na celu planowanie remontów, podejmowanie decyzji czy wszelkich inwestycji na sieci wodociągowej. Istnieje zatem potrzeba prezentacji dostępnych danych oraz ich uzupełniania w bazach danych GIS, które stanowią mogą alternatywę do stosowanych strategii planowania remontów [4, 21, 23].

3.3. Analiza awaryjności przewodów wodociągowych

W tabeli 1 przedstawiono liczbę awarii na sieci wodociągowej z podziałem na rodzaj sieci oraz odnosząc liczbę awarii do długości sieci uzyskując wskaźnik intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ [1, 6, 8, 12].

Z przeprowadzonej analizy awaryjności sieci wodociągowej, wynika, że wskaźnik intensywności uszkodzeń dla sieci magistralnej w każdym analizowanym roku przekracza wartość dopuszczalną tj. 0,3 uszk/km·rok. Najwyższą war-

Tabela 1. Zestawienie liczby awarii oraz wskaźnika intensywności uszkodzeń na sieci wodociągowej z podziałem na jej rodzaj w latach 2005-2014 (opracowanie własne)

Table 1. Summary of the number of failures and the failure indicator on the water supply network, with division into its type in the years 2005-2014 (own study)

Lata	Rodzaj sieci					
	Magistralna			Rozdzielcza		
	Długość (km)	Liczba awarii	λ_M (uszk./km·rok)	Długość (km)	Liczba awarii	λ_R (uszk./km·rok)
2005	49,5	48	0,97	350,5	87	0,25
2006	49,5	35	0,71	384,4	114	0,30
2007	49,5	40	0,81	443,5	90	0,20
2008	49,5	21	0,42	447,7	81	0,18
2009	49,8	32	0,64	468	72	0,15
2010	49,8	35	0,70	490,5	96	0,20
2011	49,8	45	0,90	504,1	92	0,18
2012	49,8	44	0,88	520,5	95	0,18
2013	49,8	24	0,48	524,8	103	0,20
2014	49,8	33	0,66	530	69	0,13

tość wskaźnika odnotowano w 2005 roku, gdzie $\lambda_M=0,97$ uszk/ km·rok, zaś najniższą w 2008 roku $\lambda_M=0,42$ uszk/ km·rok. Z kolei wartość wskaźnika dla sieci rozdzielczej kształtuje się poniżej wartości dopuszczalnej 0,5 uszk/km·rok. Najwyższą wartość wskaźnika odnotowano w 2006 roku, gdzie $\lambda_R=0,30$ uszk/ km·rok, zaś najniższą w 2013 roku $\lambda_R=0,13$ uszk/ km·rok. W tabeli 2 przedstawiono liczbę awarii na sieci wodociągowej z uwzględnieniem ich przyczyny.

Tabela 2. Zestawienie liczby awarii na sieci wodociągowej z podziałem na przyczynę awarii w latach 2005-2014 (opracowanie własne)

Table 2. List of the number of failures on the water supply network with division into the cause of the failure in the years 2005-2014 (own study)

Lata	Rodzaj uszkodzenia				
	Rozszczelnienie	Złamanie	Korozja	Pęknięcie	Uszkodzenie mechaniczne
2005	105	34	96	10	0
2006	107	47	118	24	2
2007	82	28	127	18	0
2008	71	30	102	15	0
2009	75	40	88	12	2
2010	76	32	127	19	1
2011	107	31	145	16	0
2012	95	32	145	11	0
2013	65	37	136	20	0
2014	69	25	119	11	0

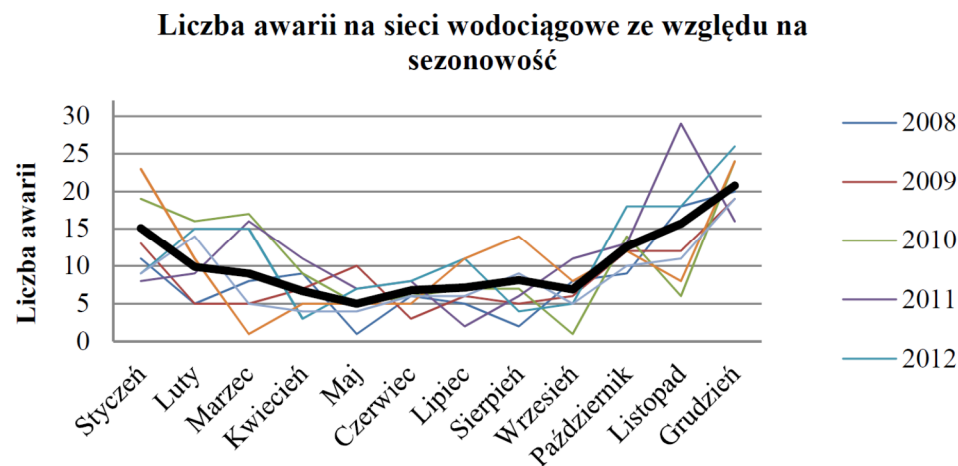
Analizując awaryjność pod względem przyczyny, stwierdzono największą liczbę awarii spowodowanych przez korozję, co potwierdza fakt, iż sieć wodociągowa posiada ponad 80 lat i głównie wykonana jest z żeliwa i stali. W tabeli 3 przedstawiono awaryjność sezonową sieci wodociągowej z siedmiu lat eksploatacji.

Tabela 3. Zestawienie liczby awarii na sieci wodociągowej ze względu na sezonowość w latach 2008-2014 (opracowanie własne)

Table 3. List of the number of failures on water supply networks due to seasonality in 2008-2014 (own study)

Lata	Miesiące											
	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień
2008	11	5	8	9	1	6	5	2	8	9	18	20
2009	13	5	5	7	10	3	6	5	6	12	12	19
2010	19	16	17	9	5	6	7	7	1	14	6	24
2011	8	9	16	11	7	8	2	6	11	13	29	16
2012	9	15	15	3	7	8	11	4	5	18	18	26
2013	23	11	1	5	5	5	11	14	8	12	8	24
2014	9	14	5	4	4	6	6	9	5	10	11	19

Na rysunku 2 przedstawiono liczbę awarii sieci wodociągowej ze względu na sezonowość w latach 2008-2014.



Rys. 2. Zestawienie liczby awarii na sieci wodociągowej ze względu na sezonowość w latach 2008-2014 wraz z wartością średnią (opracowanie własne)

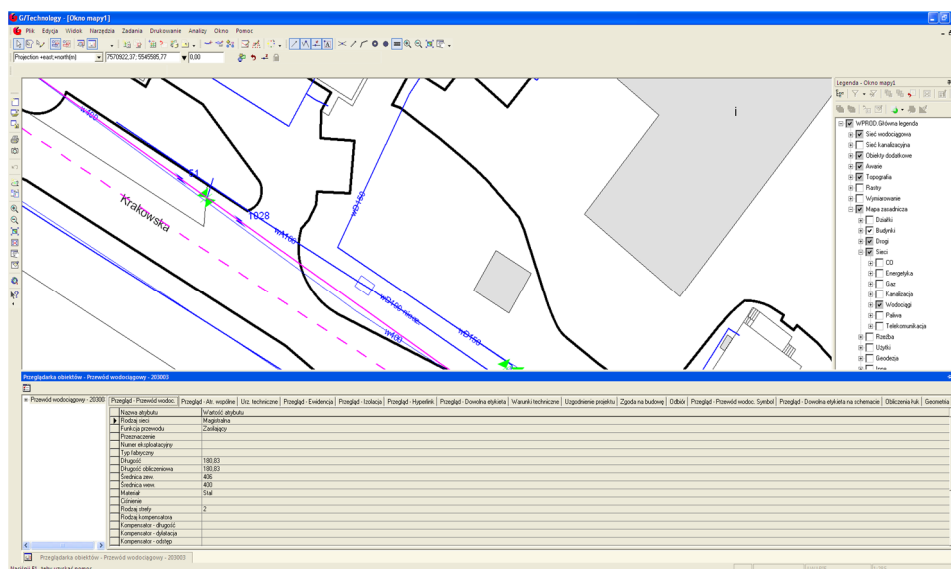
Fig. 2. List of the number of failures on water supply networks due to seasonality in 2008-2014 together with the average value (own study)

Uwzględniając pory roku można stwierdzić przyrost uszkodzeń w okresie jesienno-zimowym, których średnia liczba w okresie październik – styczeń wyniosła 108. Największa miesięczna awaryjność występuje w listopadzie, grudniu i styczniu co świadczy o dużym wpływie zmian temperatury na częstość awarii. W miesiącach od lutego do maja widoczny jest spadek awaryjności przewodów, która średnio wyniosła 57, czyli awaryjność w okresie wiosennym spada o 53% w stosunku do okresu jesienno-zimowego.

4. Wizualizacja przeprowadzonej analizy awaryjności sieci wodociągowej

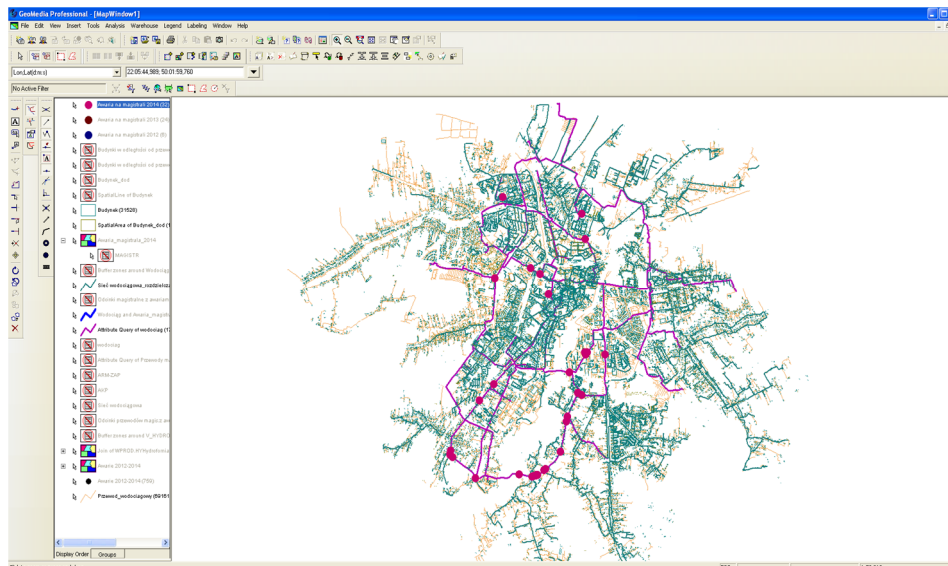
Przed podjęciem decyzji związanych z planowaniem remontów, niezbędne jest przeanalizowanie wszelkich informacji, danych, map, dotyczących bezpośrednio awaryjnych przewodów. Wykorzystując aplikację GIS oraz mapę numeryczną utworzono niezbędną bazę danych o awariach. Do prezentacji wyników wykorzystano program G/Technology oraz GeoMedia. Na rysunku 3 przedstawiono fragment cyfrowej mapy numerycznej z miejscami wystąpienia awarii wraz z charakterystyką przewodu, na którym zaistniała awaria.

Na rysunku 4 przedstawiono sieć wodociągową wraz z prezentacją przewodów na których nastąpiła awaria w 2014. Ze względu na pracochłonność procesu tworzenia mapy, graficzną prezentację wyników zaprezentowano dla roku 2014.



Rys. 3. Fragment mapy numerycznej z miejscem awarii wraz z charakterystyką przewodu wodociągowego (program G/Technology, opracowanie własne)

Fig. 3. Fragment of the numerical map with the place of failure together with the characteristics of the water pipe (G/Technology program, own study)



Rys. 4. Prezentacja analizy awaryjności przewodów wodociągowych magistralnych odnotowanych w 2014 roku (program GeoMedia, opracowanie własne)

Fig. 4. Presentation of the failure analysis of the main water main recorded in 2014 (GeoMedia program, own work)

Bazując na wynikach analizy awaryjności przewodów wodociągowych, możliwe jest graficzne wytypowanie tych przewodów, których ryzyko awarii jest największe. Aplikacje GIS dają możliwość wygenerowania mapy dla każdego rodzaju sieci z podziałem na średnicę, materiał czy przyczynę awarii. Istnieje możliwość wzbogacenia wizualizacji o raporty oraz wykresy, które w łatwy i przejrzysty sposób uświadomiłyby eksploatatora sieci o stanie technicznym przewodów, o budynkach i liczbie osób narażonych na brak lub ograniczenie w dostawie wody na skutek uszkodzenia konkretnego przewodu.

5. Wnioski

W procesie planowania remontów na sieci wodociągowej niezbędne jest posiadanie kompletnej i usystematyzowanej bazy danych o awariach. Stanowi ona podstawę podejmowania decyzji o pracy brygad remontowych. Remonty powinny być wykonywane wg długofalowej strategii nie ograniczającej się tylko do usuwania losowo występujących awarii. Dlatego też prawidłowa ocena stanu technicznego przewodów oraz typowanie odcinków do remontu, przyczynić się mogą do wydłużenia okresu eksploatacyjnego sieci nawet o kilkadziesiąt lat. Narzędziem wspomagającym proces podejmowania decyzji o remontach na sieci może być mapa numeryczna wraz z oprogramowaniem GIS. Przykładem wykorzystania GIS jest ewidencja awarii i wspomaganie pracy pogotowia wodocią-

gowego, typowanie obiektów do remontów i wymian, planowanie inwestycji i remontów, długoterminowe i szczegółowe planowanie wykonania prac eksploatacyjnych i inwestycyjnych oraz pełną nad nimi kontrolę. Umieszczenie danych w jednej centralnej bazie danych o awariach ułatwi i uporządkuje sposób korzystania z zasobów informacyjnych.

Literatura

- [1] Bajer J. Iwanejko R., Kapcia J. *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2007.
- [2] Bergel T Pawełek J. *Quantitative and economical aspects of water loss in waterworks systems in rural areas*, Environment Protection Engineering, Wrocław University of Technology, the Department of Environmental Engineering, 3/2008, s. 59-64.
- [3] Boryczko K. *Water age in the water supply network as health risk factor associated with collective water supply*, Ecological Chemistry And Engineering A-Chemia I Inżynieria Ekologiczna A, 23(1)/2016, s. 33-43.
- [4] Dohnalik P. *Planowanie remontów sieci wodociągowej*, Woda i My. Czasopismo MPWiK w Krakowie, 22 i 23/2002, s. 1-2.
- [5] Dohnalik P. Wytrwał P. *Wpływ stanu technicznego i niektórych czynników eksploatacyjnych na ryzyko wtórnego zanieczyszczenia wody w miejskich sieciach wodociągowych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT, 11/2005, s. 31-33.
- [6] Hotłoś H. *Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych*, Prace Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, nr 84, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.
- [7] Kowalski D. Kowalska B., Kwietniewski M., Wdowiak A. *Analiza uszkodzeń sieci wodociągowej Lublina w latach 2008-2010, Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody 2013*, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Gliwice. p. 401-412.
- [8] Królikowska J. Królikowski A. *Analiza porównawcza wskaźników niezawodności wiejskich i komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, XXI Krajowa Konferencja IX Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS O/Wielkopolski, Poznań, 2010, t. II, s. 411-419.
- [9] Kuliczkowski A. Kuliczowska E. *Strategie odnowy przewodów wodociągowych*, Technologia Wody, Wydawnictwo Seidel Przywecki, 2(10)/2011, s. 20-24.
- [10] Kwietniewski M. *GIS w wodociągach i kanalizacji*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
- [11] Kwietniewski M. Miszta-Kruk K., Piotrowska A. *Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności*, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1-Ś(108)/2011, s. 113-129.
- [12] Kwietniewski M. Rak J. *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*, Studia z zakresu inżynierii nr 67, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa, 2010.
- [13] Kwietniewski M. Roman M., Kłós-Trębaczkiwicz H. *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, Arkady, Warszawa, 1993.

- [14] Lambert A. O. *International report on water losses management and techniques*, Water Science & Technology: Water Supply, IWA, 2(4)/2002.
- [15] Michael G., Zhang, J. *Simplified GIS for Water Pipeline Management*, International Conference Pipelines: Infrastructure's Hidden Assets, American Society of Civil Engineers, San Diego, 2009, 1, s. 412-419.
- [16] Pawełek J. Wojdyna M., *Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociągowym*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT, 2/2001, s. 49-54.
- [17] Piechurski F. *Awarie w sieci wodociągowej*, Wodociągi Kanalizacja, 3(133)/2015, s. 40-46.
- [18] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B. *Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta Sanoka z uwzględnieniem strat wody*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT, 10/2012, s. 450-452.
- [19] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B. *Methods of visualizing the risk of lack of water supply*, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, Taylor & Francis Group, 2014, s. 497-505.
- [20] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B., Szpak D. *The use of geographical information system in the analysis of risk of failure of water supply network*, *Environmental Engineering V*, Małgorzata Pawłowska & Lucjan Pawłowski, Editor. 2017, Taylor & Francis Group, London. p. 7-14.
- [21] Rak J. *Metoda planowania remontów sieci wodociągowej*, Wodociągi - Kanalizacja, 2007, s. 30-31.
- [22] Rak J. *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin, 2005.
- [23] Rak J. *Zasady określania przynależności do infrastruktury krytycznej*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, 63(2)/2016, s. 291-298.
- [24] Rak J. Boryczko K. *The Issue Of Water Resources Diversification In Water Supply Systems*, Journal of KONBiN, 35(1)/2015, s. 157-168.
- [25] Rak J. Kwietniewski M. *Bezpieczeństwo i zagrożenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2011.
- [26] Rak J. Tchórzewska-Cieślak B., Wiczysty A., Lubowiecka T. *Metoda wyznaczania liczby brygad remontowych w systemie zaopatrzenia w wodę*, XVII Krajowa Konferencja V Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS O/Wielkopolski, Poznań, 2002, s. 441-447.
- [27] Shamsi U.M. *GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*, CRC Press, London, 2005.
- [28] Studziński J. *Narzędzia informatyzacji miejskich sieci wodociągowych*, Wodociągi Kanalizacja, Abrys, 7(75)/2010, s. 34-37.
- [29] Szpak D. Tchórzewska-Cieślak B. *Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej*, CHEMIK, 68(10)/2014, s. 862-867.
- [30] Szydłowski J. *Awarie sieci wodociągowej – organizacja i działanie*, Woda i My, Czasopismo MPWiK Kraków, 9/2010.
- [31] Tchórzewska-Cieślak B. *Method of assessing of risk of failure in water supply system*, European safety and reliability conference ESREL.2007 Risk, reliability and societal safety, Taylor & Francis, Stavanger, Norwegia, 2007, 2, s. 1535-1539.

- [32] Tchórzewska Cieślak B. Boryczko K., Piegoń I. *Possibilistic risk analysis of failure in water supply network*, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, 2014, s. 1473-1480.
- [33] Tchórzewska Cieślak B. Piegoń I., Boryczko K. *Wykorzystanie nowoczesnych technik informatycznych oraz baz danych w analizach ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody*, INSTAL, (6)/2014, s. 76-79.
- [34] Vemulapally R. *Development of Standard Geodatabase Model and its Applications for Municipal Water and Sewer Infrastructure*, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2010.
- [35] Who, *Water Quality and Health Strategy 2013-2020*, WHO Press, Geneva, 2013.
- [36] Who, *Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer*, Water, Sanitation and Health. Protection and the Human Environment World Health Organization, Geneva, 2005.
- [37] Wiczysty A. *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Skrypt. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1990.
- [38] Wiczysty A. Iwanejko R., Lubowiecka T., Rak J. *Określenie liczby brygad remontowych w podsystemie dystrybucji wody przy zastosowaniu modelu masowej obsługi*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 7/1990.
- [39] Zimoch I. *Zintegrowana metoda analizy niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2011.
- [40] Zimoch I. Paciej J. *Zastosowanie Geograficznych Systemów Informacyjnych w zarządzaniu oraz prowadzeniu kontroli jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*, INSTAL, 1/2013, s. 38-41.
- [41] *Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994.*
- [42] *Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie kłeski żywiołowej (Dz.U. 2002, nr 62, poz. 558).*
- [43] Żaba T. Bajaj J., Iwanejko R. *Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta Krakowa*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT, 10/2012, s. 473-475.
- [44] Dane z Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie.

POSSIBILITY OF USING DATA ON THE WATER SUPPLY NETWORK FAILURES IN THE PLANNING OF ITS REPAIR

Summary

In research on the reliability and safety of water supply systems operation, the basis for all research and analyzes are operational data on the water supply network, developed on the basis of logs and failure protocols carried out in each water supply company. Systematically performed failures, including the analysis of causes, consequences, type of failures and their number, allow decision-makers in the enterprise to take appropriate actions regarding the planning of repairs on the network and management of maintenance brigades. The paper presents the failure analysis of a selected water supply network of the Podkarpackie region. The reasons for the failure and their seasonality are detailed. The results of analyzes were based on operational data from the last few years. Additionally, the possibility of using data on failures in the process of planning repairs of water pipes was presented. Due to this, the possibilities of using a numerical map and the GIS database were presented.

Keywords: failure, water network, repair, GIS

Przesłano do redakcji: 29.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 31.01.2018 r.