

Inteligentny System Zarządzania Siecią Wodociągową w Żywcu

Smart Water Supply Network Management System in Żywiec

Wojciech Kasino, Paweł Suchorab, Dariusz Kowalski*)

Słowa kluczowe: system zarządzania, sieć wodociągowa, GIS, model hydrauliczny

Streszczenie

W artykule przedstawiono Inteligentny System Zarządzania Siecią Wodociągową (ISZSW) w Żywcu. Analizowany system wodociągowy obejmuje około 240 km przewodów wodociągowych i jest postrzegany jako bardzo złożony oraz trudny w zarządzaniu, z uwagi na górzyste ukształtowanie terenu, mnogość stref ciśnienia, obecność zbiorników i przepompowni sieciowych oraz wykorzystywanie pojedynczego ujęcia wody. Opisany system zarządzania siecią zaprojektowano jako kompleksowe narzędzie wspomagające pracę eksploatatorów, dyspozytorów oraz planistów. Jego głównymi założeniami są synchronizacja i wzajemne uzupełnianie się podsystemu monitoringu, bazy danych przestrzennych GIS, podsystemu billingowego oraz modelu hydraulicznego. Wśród najważniejszych zalet wdrożonego ISZSW wymienić można uporządkowanie informacji dotyczących infrastruktury wodociągowej, panel wspomagający pracę dyspozytora poprzez generowanie alarmów ostrzegawczych, oraz model hydrauliczny sieci przeznaczony do prac bieżących i koncepcyjnych.

Keywords: management system, water supply network, GIS, hydraulic model

Summary

The paper presents Smart Water Supply Network Management System (SWSNM) in Żywiec. The water supply system consists of approx. 240 km of water pipes and is considered as complex and hard-to manage, due to the mountainous terrain, many pressure zones, plenty of tanks, pump stations and single water intake. The presented SWSNM integrates the following subsystems: monitoring, GIS and billing. The SWSNM supports the water company in operation, design and planning of a water supply system. The main advantages of the SWSNM are: the orderly structured database of technical infrastructure, the operator panel with warnings alarms and hydraulic model supporting the operational and planning processes.

1. Wprowadzenie

Dostarczenie wody do odbiorców w oczekiwanej przez nich ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i w jakości spełniającej określone normy jest nadrzędnym celem przedsiębiorstw wodociągowych [4]. Dodatkowo, przedsiębiorstwa wodociągowe jako podmioty gospodarcze w celu sprawnego funkcjonowania muszą wykazywać efektywność ekonomiczną. Oznacza to m. in. konieczność ograniczania strat wody, podnoszenia niezawodności pracy systemów oraz optymalizację kosztów energetycznych [5,8]. W celu uzyskania powyższych efektów, przedsiębiorstwa dążą do usprawniania systemów zarządzania, z uwzględnieniem zarówno kwestii monitoringu parametrów pracy sieci wodociągowej, jak również działań eksploatacyjnych [1,6]. Podstawą wdrażanych przez nie systemów zarządzania są zazwyczaj systemy informacji przestrzennej GIS, stanowiące bazę danych nt. infrastruktury technicznej przedsiębiorstwa oraz podsystemy monitoringu, nadzorujące m. in. warunki hydrauliczne pracy sieci, jakość przesyłanej wody oraz wielkość poboru energii elektrycznej [2,9]. Z uwagi na ciągłą rozbudowę podsystemów monitoringu, ilość gromadzonych danych ulega systematycznemu zwiększeniu, nierzadko przekraczając możliwości percepcyjne pojedynczego człowieka. Stąd niezbędne staje się wyposażanie dyspozytorów w odpowiednie narzędzia wspomagania decyzji [3]. Obecnie obserwuje się rosnącą popularność systemów *quasi inteligentnych*, integrujących narzędzia i oprogramowanie, które umożliwia zdalne i ciągłe moni-

torowanie, diagnozowanie problemów, ustalanie priorytetów działań oraz wykorzystanie danych do optymalizacji wszystkich aspektów eksploatacji układów dystrybucji wody [7,10].

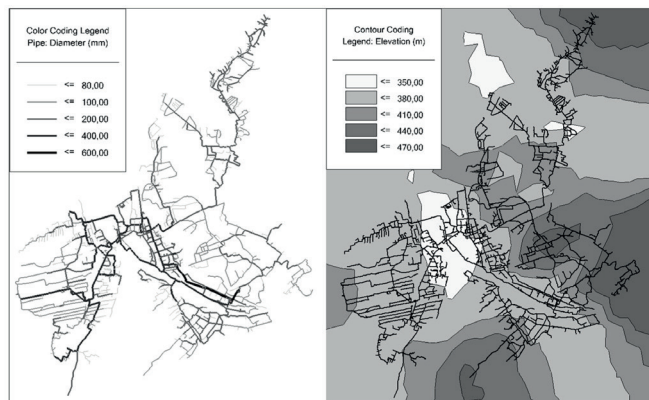
Celem niniejszego artykułu jest prezentacja tego typu systemu wdrożonego w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Żywcu. W artykule przedstawiono opis systemu wodociągowego, omówiono wdrożony w nim Inteligentny System Zarządzania Siecią Wodociągową (ISZSW) oraz przedstawiono przykładowe możliwości jego wykorzystania.

2. Opis systemu wodociągowego

Funkcjonujący w Żywcu system wodociągowy zasila w wodę ok. 99% mieszkańców miasta, liczącego ok. 30 000 mieszkańców. Dostarcza on także hurtowo wodę do gmin ościennych. Poza typowymi odbiorcami indywidualnymi, sektorem mieszkalnym i usługowym, z systemu korzystają także znaczący odbiorcy przemysłowi. Średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę systemu wodociągowego wyniosło ok. 5000 m³/d w 2020 r. Woda ujmowana jest z rzeki Koszarawa. Sieć ma układ mieszany (rozgałęzieniowo-pięścieniowy), o bardzo złożonej strukturze geometrycznej i wysokościowej. Schemat struktury geometrycznej, z zaznaczonymi średnicami przewodów i układem warstwic przedstawiono na rys. 1. Sieć obejmuje około 240 km rurociągów (bez przyłączy), 24 strefy ciśnienia oraz 7 zbiorników i 15

*) Wojciech Kasino, mgr inż., Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o., ul. Bracka 66, 34-300 Żywiec, w.kasino@mpwik-zywiec.pl, Paweł Suchorab, mgr inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, p.suchorab@pollub.pl, Scopus ID: 56227450500, ORCID: 0000-0001-9275-4800, Dariusz Kowalski, dr hab. inż. profesor uczelni, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, d.kowalski@pollub.pl, Scopus ID: 7005277942, ORCID: 0000-0001-9929-1626

pompowni strefowych. Wszystkie zbiorniki sieciowe zlokalizowane są na początku wydzielonych stref zaopatrzenia w wodę. Sieć wodociągowa w Żywcu była budowana od roku 1962. Jej struktura materiałowa obejmuje rury wykonane z żeliwa szarego (20%), żeliwa sferoidalnego (1%), stali (3%), PVC (8%), PEHD (62%) oraz azbestocementu (6%). Najstarsze rurociągi, w wieku ponad 30 lat, stanowią ok. 33% długości sieci. Zakres średnic przewodów wodociągowych zawiera się w przedziale DN40-DN600. Rozliczanie za dostarczoną wodę odbywa się z wykorzystaniem zdalnych odczytów wodomierzy (system stacjonarny oraz mobilny).



Rys. 1. Struktura geometryczna sieci wodociągowej z zaznaczonymi średnicami i warstwicami
Fig.1. Geometrical structure of the WDS with pipe diameters and elevation contours

3. Inteligentny System Zarządzania

Inteligentny System Zarządzania Siecią Wodociągową wdrożony w MPWiK Żywiec w 2019 r. powstał na bazie efektów wcześniejszych działań, zrealizowanych w ramach Projektu Oczyszczanie Ścieków w Żywcu – Etap I, współfinansowanego ze środków POIiŚ. Powstały w ramach tego projektu system miał za zadanie uporządkować wiedzę o infrastrukturze sieciowej przedsiębiorstwa (GIS) oraz pomóc lepiej zarządzać majątkiem sieciowym, poprzez wprowadzenie elektronicznego obiegu dokumentów oraz gromadzenie informacji o zdarzeniach na sieci wod-kan wraz z bieżącym rozliczaniem kosztów z tym związanych. W ramach wdrożenia zintegrowano funkcjonujące w przedsiębiorstwie systemy takie jak biling, SCADA, monitoring pojazdów i inne, dając każdemu użytkownikowi dostęp do aktualnej informacji o stanie infrastruktury sieciowej oraz możliwość efektywniejszego zarządzania majątkiem, poprzez kontrolę kosztów prac w trybie rzeczywistym. Umożliwiło to szybsze i sprawniejsze podejmowanie działań służących rozwojowi firmy, poprzez kadrę zarządzającą czy pracowników administracyjnych ale dało również narzędzia pracownikom terenowym, w celu szybszego i łatwiejszego realizowania powierzonych im prac. Podstawowymi funkcjonalnościami jakie oferuje wdrożone rozwiązanie są m. in.:

- dostęp w trybie online do aktualnej mapy z naniesionymi sieciami wod-kan, będącymi w eksploatacji przedsiębiorstwa (przykład wykorzystania aktualnych danych podczas pracy w terenie pokazano na rys. 2)
- możliwość łatwej ewidencji i aktualizacji danych dla obiektów, takich jak przewody, armatura sieciowa, itp.,
- dostęp do aktualnej bazy adresowej dla obszaru działania przedsiębiorstwa,
- możliwość wykonywania zapytań atrybutowych oraz przestrzennych, w celu precyzyjnej lokalizacji obiektów na mapie,
- możliwość wykonywania analiz grafu sieci, w celu zlokalizowania armatury do zamknięcia (wyłączenia na sieci) oraz odbiorców pozbawionych zasilania w wodę,
- podgląd na prace toczące się w terenie oraz flotę pojazdów.

Z uwagi na to, iż gromadzone w systemie dane „mimo swojej aktualności” nie dawały w pełni informacji o działaniu sieci i procesów w niej zachodzących, podjęto decyzję o jego rozbudowie o część analityczną, która wykorzystywałaby informacje dynamiczne (online) o warunkach



Rys. 2. Pracownik MPWiK Żywiec wykorzystujący tablet podczas pracy w terenie
Fig. 2. MPWiK Żywiec employee using tablet mobile device in the field

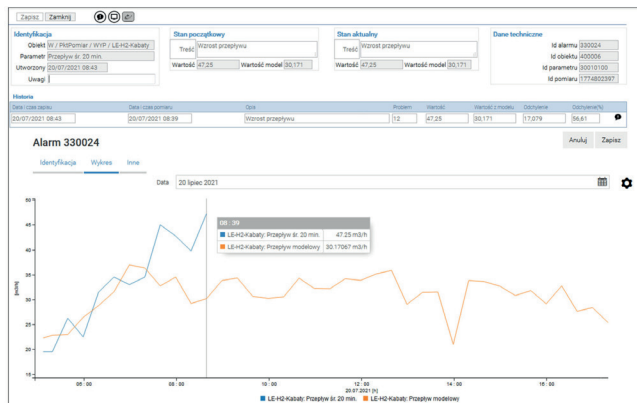
hydraulicznych pracy sieci, dodatkowo wzbogacając istniejący system o kolejne narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji. W tym celu, jako integralną część systemu, zaproponowano bazę pomiarów, do której trafiają aktualne dane ze wszystkich obiektów monitoringu sieciowego (ciśnienie, natężenie przepływu, poziomy wody w zbiornikach, itp.), dane z systemu zdalnego odczytu wodomierzy oraz dane bilingowe. Dane te, w powiązaniu z informacją przestrzenną o strefach wodociągowych, lokalizacji wodomierzy oraz strukturze sieci wodociągowej zgromadzone w GIS, pozwalają na obliczenie m.in. pełnych bilansów wody w poszczególnych strefach (dopływ do strefy, zasilanie strefy, tranzyt przez strefy, zużycie wody przez odbiorców, potrzeby własne sieci, straty wody) dla różnych kroków czasowych.

W oparciu o powyższe rozwiązania MPWiK w Żywcu wdrożył Inteligentny System Zarządzania Siecią Wodociągową (ISZSW). Został on zrealizowany w ramach Projektu „Oczyszczanie ścieków w Żywcu – Etap II”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko w perspektywie finansowej 2014-2020, przy współfinansowaniu ze środków unijnego Funduszu Spójności (nr projektu POIS.02.03.00-00-0110/16). Wykonawcami zadania były firmy P.W. „Semako” z Łanów Wielkich oraz Megabit Sp. z o.o. z Warszawy. Przy wdrożeniu współpracował także zespół naukowców z Politechniki Lubelskiej. Główne zadania stawiane ISZSW w Żywcu można podzielić na dwie grupy:

- zadania o charakterze bieżącym – obejmują całość zagadnień związanych z funkcjonowaniem i zarządzaniem systemem wodociągowym, w tym m. in. wspomaganie procesu podejmowania bieżących decyzji przez dyspozytora,
- zadania o charakterze koncepcyjnym – związane m. in. z analizą możliwości rozbudowy zarządzanego systemu wodociągowego, podłączaniem nowych klientów, opracowywaniem procedur na wypadek zaistnienia sytuacji anomalnych lub planowania remontów i modernizacji.

Możliwość realizacji obu grup zadań zapewniono poprzez wykorzystanie numerycznego modelu sieci wodociągowej. Model o charakterze podstawowym (bez odwzorowanych przyłączy wodociągowych) zbudowano przy wykorzystaniu oprogramowania WaterGEMS firmy Bentley. Graf sieci obejmuje około 11 000 odcinków. Struktura geometryczna modelu została odwzorowana w sposób bezpośredni, w oparciu o bazę GIS (synchronizacja identyfikatorów obiektów w bazie i modelu), a także o system zdalnego odczytu wskazania wodomierzy, co umożliwia sprawną aktualizację modelu o bieżące wartości poboru wody. Z uwagi na przewidywane wykorzystanie modelu do wspomagania zadań o charakterze bieżącym, krok czasowy obliczeń określono jako 20 minut, przy całkowitej długości trwania symulacji równej 168 godzin (7 dni). Model hydrauliczny został kilkakrotnie poddany procesowi kalibracji w różnych warunkach pracy sieci. Proces oparto o wskazania 55 punktów monitoringu ciśnienia oraz 45 punktów monitoringu natężenia przepływu wody. Wymagana dokładność dopasowania modelu do danych rzeczywistych wynosiła ± 1.5 m H₂O wysokości ciśnienia i $\pm 10\%$ wartości natężenia przepływu.

Jednym z zastosowań modelu numerycznego w zadaniach bieżących jest porównywanie wyników modelowych ze wskazaniami z podsystemu SCADA (agregacja danych przez bazę pomiarów). Umożliwiło to opracowanie aplikacji generującej alarmy ostrzegawcze informujące dyspozytora o przekroczeniu dopuszczalnej różnicy ciśnienia lub natężenia przepływu. Przykładowy widok zarejestrowanego alarmu przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykładowy widok ekranu alarmu na panelu dyspozytora
Fig. 3. Exemplary view of the alarm screen

Wdrożony system ISZSW ma również zaimplementowany moduł liczenia strat wody w sieci wodociągowej (w oparciu o bilans tradycyjny, jak również bilans minimalnych nocnych przepływów MNP), z możliwością wyświetlania wyników bilansu w panelu dyspozytora.

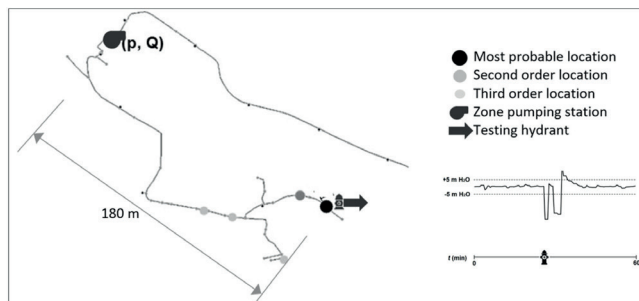
Dodatkowo MPWiK Żywiec wykorzystuje opracowany w ramach ISZSW model numeryczny do realizacji następujących zadań o charakterze koncepcyjnym:

- analiza warunków hydraulicznych pracy sieci na obszarach niewyposażonych w punkty monitoringu,
- symulacja procedur płukania sieci w celu określenia wymaganej liczby otwartych hydrantów i zamkniętych zasuw, aby uzyskać wymaganą prędkość przepływu wody,
- symulacja warunków pożarowych w celu oceny spełnienia bezpieczeństwa p.poż. przez sieć wodociągową,
- przygotowanie scenariuszy reagowania na awarie wodociągowe, które potencjalnie mogą zdarzyć się w strategicznie istotnych miejscach sieci – opracowania przygotowane na podstawie awarii archiwalnych oraz „przewidywanych”,
- analizy podłączenia odbiorców o znacznym zapotrzebowaniu na wodę w celu oszacowania, czy wydanie pozwolenia na przyłączenie do sieci nie spowoduje destabilizacji pracy sieci,
- analizy modernizacji zbiorników, budowy nowych obiektów i projektowania nowych odcinków sieci wodociągowej,
- optymalizacja pracy pompowni celem minimalizacji kosztów energii elektrycznej niezbędnej do zasilania pomp,
- procedury poszukiwania wycieków na podstawie integracji obliczeń modelowych z danymi pomiarowymi z podsystemu SCADA (przykład opisany w rozdziale nr 4).

Inteligentny System Zarządzania Siecią Wodociągową w Żywcu znajduje swoje zastosowanie w codziennym funkcjonowaniu przedsiębiorstwa, ułatwiając i usprawniając pracę jego poszczególnych działów. Jednym z rozwiązań, budzących największe zainteresowanie wśród pracowników, jest moduł poszukiwania wycieków. Jest to przykład bezpośredniego połączenia systemu SCADA, panelu dyspozytora oraz modelu hydraulicznego. Na podstawie określonych progów alarmowych, dyspozytor jest informowany o potencjalnych awariach. Alarm sygnalizujący zwiększenie przepływu powyżej przyjętego progu tolerancji może oznaczać fizyczny wyciek wody, ale także zwiększenie przepływu wskutek napełniania zbiornika poza ustalonym harmonogramem, znaczny pobór wody przez odbiorcę przemysłowego, otwarcie hydrantu w celach p.poż lub nieuprawnione otwarcie hydrantu (kradzież wody). W sytuacji gdy nie jest możliwe powiązanie występującego alarmu z żadnym znanym

zdarzeniem, możliwe jest przeprowadzenie procedury poszukiwania wycieku. W odpowiednio przygotowanym scenariuszu modelowym, przy wykorzystaniu modułu Darwin Calibrator Leakage Detection programu WaterGEMS, możliwe jest wskazanie potencjalnych węzłów generujących wyciek. Opisywane poszukiwanie wycieku przeprowadzane jest przy zastosowaniu zaimplementowanego algorytmu genetycznego Darwina, w ramach którego program (w zadanych przez użytkownika granicach) stara się tak dostosować dane wejściowe, by wyniki symulacji komputerowej pokryły się ze wskazaniem danych z monitoringu. Uzyskane w ten sposób wyniki mogą stanowić duże ułatwienie dla brygad wodociągowych, wysyłanych w teren w celu poszukiwania awarii.

Moduł poszukiwania wycieków został przetestowany w sztucznie wywołanych warunkach zwiększenia przepływu, poprzez otwarcie hydrantu w znanej lokalizacji. Dla celów artykułu przedstawiono przykład obliczeniowy dla wybranej strefy. Znajduje się ona na jednej z granic sieci i jest zasilana w jednym punkcie przez oddzielną pompownię. Strefa ta nie została wyposażona w żaden z sieciowych punktów monitoringu, jedyne wskazania na temat warunków hydraulicznych jej pracy dostępne są w pompowni (ciśnienie tłoczenia oraz wydajność). Moment otwarcia hydrantu, jego zamknięcie i ponowne otwarcie został zarejestrowany przez funkcjonujący monitoring (ciśnienie tłoczenia w pompowni). Spowodowało to wygenerowanie alarmu w panelu dyspozytora, jako że różnica pomiędzy wskazaniami modelowymi i rzeczywistymi przekroczyła przyjęty próg ostrzegawczy (+/-5 m H₂O w analizowanym przypadku). Po przeprowadzeniu analizy poszukiwania miejsca wycieku za pomocą programu WaterGEMS uzyskano 3 rodzaje potencjalnych miejsc wycieku (najbardziej prawdopodobnego miejsca wycieku oraz wskazania drugo – i trzeciorzędowe). Na rys. 4 przedstawiono analizowany wynik przeprowadzonej procedury poszukiwania wycieków. Dodatkowo na rysunku przedstawiono także wykres zarejestrowanych zmian wysokości ciśnienia w trakcie testowego otwarcia hydrantu. W prezentowanym przykładzie wynik analizy poszukiwania wycieku wykazał 100% skuteczność, wskazując jako potencjalny węzeł generujący stratę wody dokładnie węzeł na podejściu hydrantowym otwartego hydrantu.



Rys. 4. Wykres zarejestrowanych zmian wysokości ciśnienia w trakcie testowego otwarcia hydrantu oraz wyniki wskazań prawdopodobnej lokalizacji wycieku w analizowanej strefie
Fig. 4. Graph of the recorded pressure value changes during the test hydrant opening and Indication of the most probable leakage location in the analysed zone

Przeprowadzone analogiczne analizy testowe systemu wykrywania wycieków w innych strefach wodociągu, tylko w połowie przypadków wykazały akceptowalne efekty wskazań lokalizacji wycieków. Wynikało to przede wszystkim z faktu zbyt małej liczby sieciowych punktów monitoringu. W rozległych i złożonych geometrycznie strefach, istniejący podsystem SCADA nie rejestrował faktu otwarcia hydrantów. Po realizacji powyższej serii testów zdecydowano o stopniowym dalszym zagęszczeniu sieci pomiarowej monitoringu oraz wydzielaniu dodatkowych stref opomiarowania DMA (ang. *District Meter Area*), w miarę możliwości finansowych przedsiębiorstwa.

4. Podsumowanie

Przedstawiony Zintegrowany System Zarządzania Siecią Wodociągową w Żywcu stanowi istotne usprawnienie funkcjonowania przedsiębiorstwa. Stanowi on naturalne rozwinięcie wcześniej funkcjonujących

podsystemów, w tym monitoringu, bilingu oraz bazy danych GIS. Posiadając dane o majątku, naturalnym etapem rozwoju systemu było użycie tych danych do wspierania procesów planistycznych, poprzez analizy przestrzenno-biznesowe, a w konsekwencji podejmowanie decyzji dotyczących koniecznych wymian czy modernizacji majątku sieciowego.

Na bazie rezultatów wdrożenia ISZSW planowane są dalsze działania mające na celu m.in. ograniczenie strat wody, ewidencję awarii sieciowych oraz kompleksowy system planowania modernizacji przewodów wodociągowych, w oparciu o analizy niezawodnościowe i ocenę krytyczności infrastruktury technicznej.

LITERATURA

- [1] Brodziak r., Urbaniak A., 2019, „Zarządzanie i monitoring systemu zaopatrzenia w wodę w inteligentnym mieście”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 5:165-171. DOI 10.15199/17.2019.5.4.
- [2] Carriço N., Covas D., Alegre H., Almeida M., 2014, „How to assess the effectiveness of energy management processes in water supply systems”, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, vol. 63(5):342-349. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.094>.
- [3] Cobacho r., Arregui F., Soriano J., Cabrera E., 2015, „Including leakage in network models: an application to calibrate leak valves in EPANET”, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, vol. 64(2):130-138. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.197>.
- [4] Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast), OJ L 435, 23.12.2020, p. 1–62.
- [5] Lenzi C., Bragalli C., Bolognesi A., Artina S., 2013, „From energy balance to energy efficiency indicators including water losses”, *Water Science & Technology: Water Supply*, vol. 13(4):889-895. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.103>.
- [6] Mierzwa A., Kępiński K., Kowalska B., Kowalski D., Kwietniewski M., 2019, „Doświadczenia z wdrażania Zintegrowanego Systemu Zarządzania Infrastrukturą Techniczną Przedsiębiorstwa w MPWiK „Wodociągi Puławskie””, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 6:197-200, DOI 10.15199/17.2019.6.3.
- [7] Savic D. 2015 Intelligent/Smart Water System, <https://www.slideshare.net/gidrasavic/intelligent-smart-water-systems>
- [8] Shirzad A., Tabesh M., 2016, „New indices for reliability assessment of water distribution net-works”, *Journal of Water Supply: Research and Technology—Aqua*, vol. 65(5):384-395. <https://doi.org/10.2166/aqua.2016.091>
- [9] Stańczyk J., Burszta-Adamiak E., 2019, „The Analysis of Water Supply Operating Conditions Systems by Means of Empirical Exponents”, *Water*, vol. 11(12):2452 <https://doi.org/10.3390/w11122452>
- [10] Tao T., Li J., Xin K., Liu P., Xiong X., 2016, „Division method for water distribution networks in hilly areas”, *Water Sci Tech Water Supply*, vol. 16(3):727-736, doi: 10.2166/ws.2015.182