

ZMIENNOŚĆ W CZASIE CHARAKTERYSTYCZNYCH PARAMETRÓW SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY I ICH WPŁYW NA ZMIANY WIEKU WODY

Agnieszka TRĘBICKA*, Wojciech KRUSZYŃSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Wzrost wymagań, dotyczących jakości i czasu realizacji w zakresie opracowań projektowych wymaga wprowadzenia do obliczeń techniki komputerowej. W pracy przedstawia się procesy oparte na odwzorowywaniu i udoskonalaniu konkretnych stanów zachowawczych systemu dystrybucji wody (SDW), przy wykorzystywaniu matematycznego modelowania uwzględniającego najnowsze dostępne techniki komputerowe. Stosuje się też rozwiązania mające na celu integrację pomiarów sieci wodociągowych z GIS. Przedmiotem zastosowania jest sieć wodociągowa Łap, miasta w województwie podlaskim w powiecie białostockim. W pracy posłużono się programem Epanet. Zakres opracowania obejmował analizę modelu sieci pod kątem podstawowych parametrów jakościowych, jakie powinna spełniać sieć, takich jak: prędkości przepływu, ciśnienie, straty jednostkowe oraz wiek wody.

Słowa kluczowe: model matematyczny, sieć wodociągowa, zaopatrzenie w wodę, dynamiczny model, komputerowe modelowanie.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no4-0003

1. Wprowadzenie

Badania dotyczące pracy podsystemu dystrybucji wody to przede wszystkim wnikliwa analiza eksploatacji poszczególnych elementów wchodzących w jego skład, co wymaga ciągłych odkryć i analiz, gdyż dotychczas w pełni nie został rozwiązany problem jego zmienności w czasie. Projektowanie, budowa i eksploatacja należą do głównych elementów procesu technicznego w odniesieniu do wodociągów. Ten ostatni element gwarantuje standard świadczonych usług wodociagowych. Eksploatacja ma wpływ na racjonalne i efektywne gospodarowanie urządzeniami, budynkami, sieciami oraz instalacjami wodociagowymi. Systemy zaopatrzenia w wodę zaliczane są do infrastruktury krytycznej, gdyż w stanach normalnych, nadzwyczajnych i sytuacjach kryzysowych odgrywają kluczową rolę w temacie zapewnienia bezpieczeństwa obywateli.

Wykorzystywanie modelowania komputerowego w przedsiębiorstwach wodociagowych jest już powszechnie standardem. Wdrażanie aplikacji pozwala na organicznie kosztów eksploatacyjnych systemów wodno-kanalizacyjnych, zwiększenie efektywności zarządzania przedsiębiorstwem oraz wspomaganie procesu inwestycyjnego. Posiadanie informacji o pracy systemu wodociagowego jest podstawą do poprawnego funkcjonowania przedsiębiorstwa. Dlatego też, celowe wydaje się posługiwanie hydraulicznym modelem sieci wodociagowej jako narzędzia wspomagającego proces

eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę.

Modelowanie systemów, polega na najbardziej wiarygodnym odtworzeniu rzeczywistych warunków pracy, z uwzględnieniem zmienności rozmiarów wody oraz jej dystrybucji. Wprowadzenie większej ilości danych pozwala na odtworzenie warunków pracy sieci wodociagowej dla zdarzeń losowych, to jest poboru wody do celów przeciwpożarowych, awarii, a także ich wpływ na innych odbiorców sieci wodociagowej. Hydrauliczny model sieci wodociagowej, daje ogromne możliwości w podejmowaniu uzasadnionych decyzji odnośnie modernizacji, eksploatacji oraz rozbudowy systemu zaopatrzenia w wodę, ale przede wszystkim wspomaganie komputerowe jest gwarancją sprawnego funkcjonowania modelu (Abe i Peter, 2010; Boulos i in., 2009).

Zakres rozważań prowadzonych w ramach uzyskania jak najbardziej dynamicznego charakteru pracy SDW jest skromny, a proces dochodzenia do wyników końcowych zbyt uproszczony. Podejmowane dotychczas prace dotyczą w zdecydowanej większości zagadnień związanych z oceną funkcjonowania na etapie projektowania podsystemów dystrybucji wody (SDW) (Machón, 2007). W ramach zagadnień badawczych prezentowane są wyniki analizy danych statystycznych dotyczących uszkodzeń (analiza rodzajów i przyczyn) i zaobserwowane w warunkach ustalonych, a więc ograniczone do odpowiednio wybranych wartości poboru wody.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.trebicka@pb.edu.pl

2. Analiza systemu dystrybucji wody miasta Łapy przy użyciu programu EPANET

Symulacje komputerowe przeprowadzono przy pomocy programu EPANET (Rossman, 2000) ogólnie dostępnego w środowiskach branżowych. Na tle innych wyróżnia się przestarzałym interfejsem, który nie ma rozbudowanych narzędzi do obsługi, ale ta prostota oraz darmowa licencja pozwalająca na korzystanie z programu na dowolnym stanowisku komputerowym jest atutem, który zdecydował o wyborze do przeprowadzenia badania. Do odwzorowania układu sieci przewodów z dokładnymi średnicami, długościami i rzędnymi wykorzystano mapy cyfrowe (ZWiK w Łapach, 2009).

W procesie tworzenia wykorzystano wyniki badań terenowych udostępnione przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łapach, które umożliwiły dostosowanie wartości i ich parametrów do warunków rzeczywistych. Podstawową częścią tych badań były pomiary ciśnienia. Uzyskane dane pozwoliły na kalibrację wykonanych modeli (Siwoń, 2005; Rafi i in., 2009).

W artykule zwraca się szczególną uwagę na wariant dotyczący zmian wieku wody i przeprowadza analizę symulacyjną mającą na celu regulację ciśnienia i przepływów wody.

3. Charakterystyka zaopatrzenia w wodę miasta Łapy

Aktualnie zapotrzebowanie miasta Łapy na wodę do picia, pozostałe cele socjalno-bytowe oraz gospodarcze, pokrywane jest z trzech ujęć wody zlokalizowanych

w różnych częściach analizowanego obszaru. Ujęcia wód głębinowych znajdują się w:

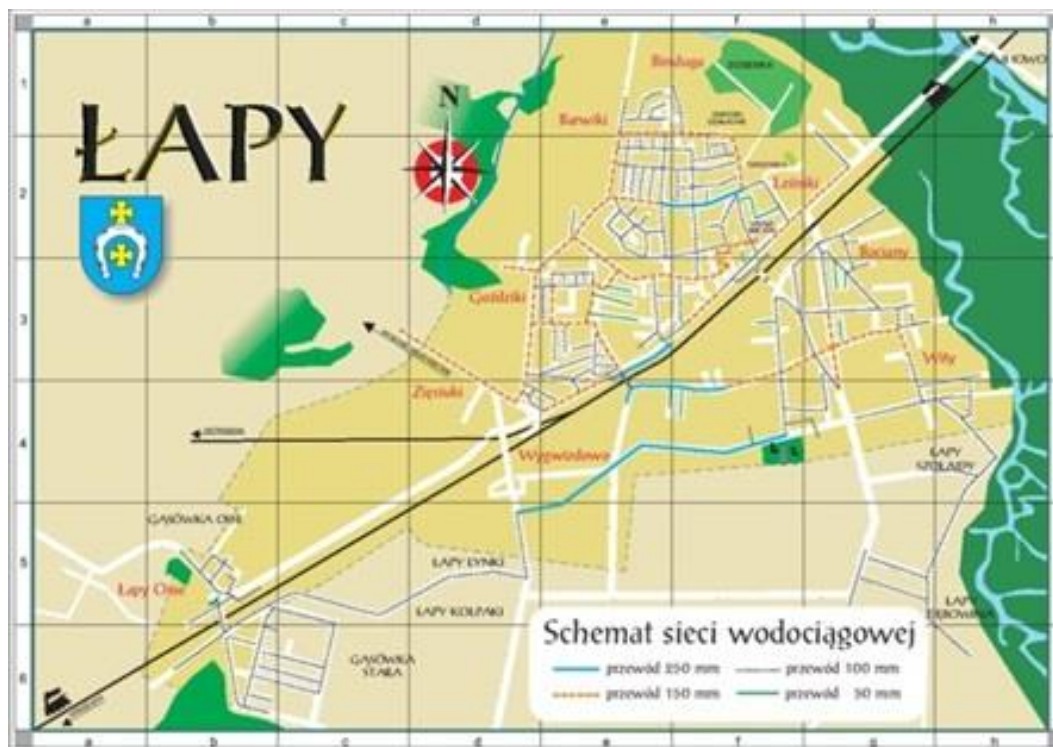
1. Stacja wodociągowa przy ul. Spółdzielczej, (produkcja 525 m³/d, ciśnienie 3,8 bar).
2. Stacja wodociągowa przy ul. Płonkowskiej, (produkcja 173 m³/d, ciśnienie 3,8 bar).
3. Stacja wodociągowa przy ul. Długiej (produkcja 667 m³/d, ciśnienie 3,8 bar).

Łączna długość sieci przewodów w gminie to 23 km. Liczba mieszkańców wynosi 16 167.

Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łapach został powołany Uchwałą Nr XVI/81/91 Rady Miejskiej w Łapach z dnia 28 czerwca 1991 roku w sprawie powołania zakładu budżetowego.

Zakład prowadzi swoją działalność w zakresie wydobywania wód podziemnych, uzdatniania poprzez odżelazianie i odmanganianie, filtrowanie oraz dostawę wody do odbiorców indywidualnych i zbiorowych. Podstawowym źródłem zaopatrzenia miasta Łapy w wodę jest ujęcie Nr 1 zlokalizowane przy ulicy Spółdzielczej. Ujęcie te pracuje w oparciu o cztery studnie głębinowe przy ulicy:

1. Spółdzielczej – wykonana w 1965 roku, jako zastępcza w stosunku do zlikwidowanej studni Nr 1 wykonanej w 1956 roku, głębokości 47 m.
2. Sikorskiego – wykonana w 1959 roku, poddana rekonstrukcji w 1967 roku, głębokości 46,2 m.
3. Śliskiej – wykonana w 1958 roku i zrekonstruowana w 1974 roku, głębokość 46,3 m.
4. Armii Krajowej – wykonana w 1990 roku jako zastępcza w stosunku do zlikwidowanej studni 3 głębokości 45,5 m.



Rys. 1. Obszar działania ZWiK Łapy

4. Model zmiany wieku wody w rurach i problemy eksploatacyjne SDW miasta Łapy

System dystrybucji wody w Łapach zaprojektowany został na dużo większe zapotrzebowanie niż obecnie. Powodem zmniejszającego zużycia jest przede wszystkim upadek lokalnego przemysłu, ujemny przyrost naturalny oraz zubożenie ludności. Wskutek tego, obecna sieć wodociągowa jest przewymiarowana. Prędkości przepływu wody w większości odcinków sieci są niższe od zalecanej o 0,5 m/s, a nawet dochodzi do zjawiska stagnacji wody. W obawie przed wtórnym zanieczyszczeniem wody, zarządca zmuszony jest do podejmowania działań prewencyjnych – płukania sieci oraz opracowywania strategii poprawy jakości wody przez przebudowę sieci.

Zakład Wodociągów i Kanalizacji za najważniejszy obecnie problem uważa przebudowę ujęć wody. Rozpatruje przełączenie zaopatrzenia sieci z trzech dotychczasowych, na jedno ujęcie poprzez wyłączenie zbędnych i uruchomienie jednego zlokalizowanego na osiedlu Wity. Na potrzeby tej modernizacji poczynił kroki w postaci zakupu nieruchomości pod budowę i wykonał projekt.

Świeża woda wpływa do sieci ze zbiorników lub źródła. Wiek wody w rurach jest parametrem określającym świeżość wody. Program EPANET uwzględnia czas, w jakim woda przebywa w danym odcinku od momentu wpłynięcia z ujęcia i wymieszania ze znajdującą się już wodą w sieci. EPANET jest programem, który umożliwia modelowanie zmiany w wieku wody w całym systemie dystrybucji.

Przeprowadzona analiza SDW i wykonane badania, przedstawione w pracy wykazały obszary, gdzie stojąca woda starzeje się nie mając ujścia i nie ustępując miejsca świeżej. Stagnacja wody szczególnie ma miejsce w północno-zachodniej części Łap Osse (rys. 2). Przy analizie trwającej 240 godzin (10 dni), woda w tym

rejonie ma wiek ponad 8 dni, co ma wpływ na jej jakość. Jest to potencjalne miejsce pojawienia się wtórnego skażenia. Wodę w tym rejonie należy częściej monitorować pod względem fizykochemicznym i bakteriologicznym oraz regularnie płukać rurociągi.

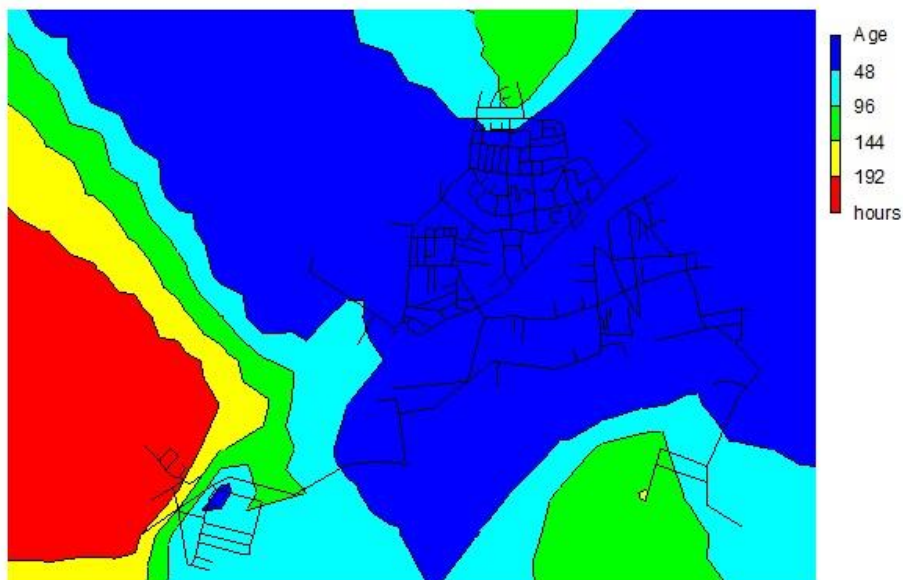
Pozostałe obszary, gdzie zaobserwowano pogorszenie jakości wody to północna dzielnica Łap – Binduga i Łapy Szolajdy, gdzie wiek wody może przekraczać 6 dni. Zaobserwowana sytuacja wynika z odległości od ujęć. Wymienione obszary są najbardziej oddalone od ujęć i naturalnie transportowana woda dociera tu najpóźniej.

Na rysunku 3 wyznaczono linię określającą wiek wody w poszczególnych rurach. Różnice w wysokości pomiędzy poszczególnymi punktami wskazują stopień zróżnicowania świeżości wody w sieci.

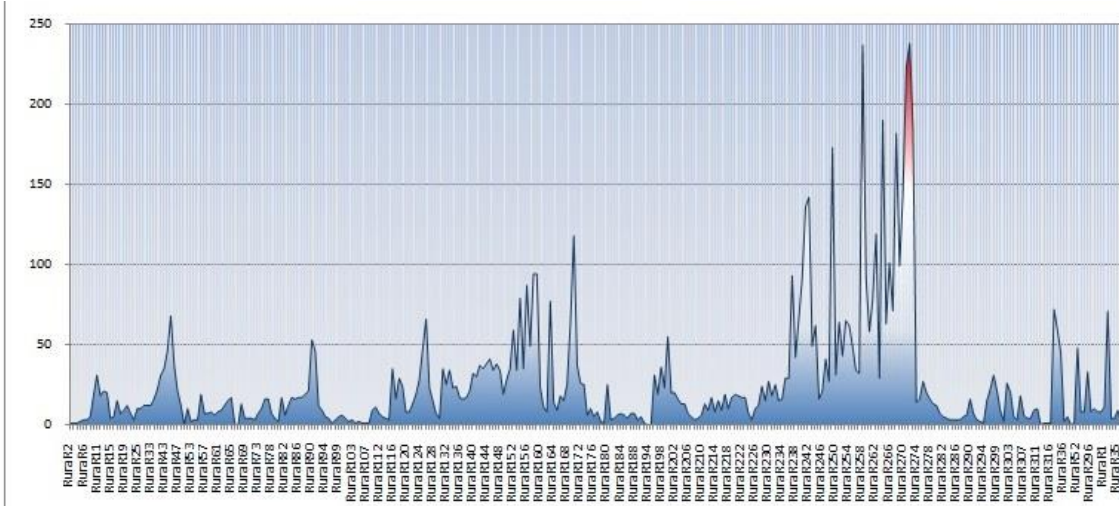
Analizowane zagadnienie oddaje z dużą precyzją, wykres przebiegu czasowego dla wybranych połączeń (rys. 4). W przypadku połączenia R30 wiek wody stabilizuje się już po 40 godzinach, natomiast dla odcinka R264 do końca trwania analizy nie osiągnął wartości stabilnej.

Ważnym parametrem w modelu, przy analizie jakości wody ze względu na wiek, jest czas trwania symulacji. Rysunek 5 wskazuje, że kończąc analizę po czasie 150-160 h, można by odczytać wyniki, opisując wodę w połączeniu R169, jako świeższą od tej płynącej w rurze R152, natomiast dłużej trwająca analiza rozpoczyna przejście linii na korzyść odcinka R169. Podobnie we wcześniejszym przykładzie z powodu czasu trwania analizy odcinek R264 nie osiągnął maksymalnej wartości przebiegu charakterystyki.

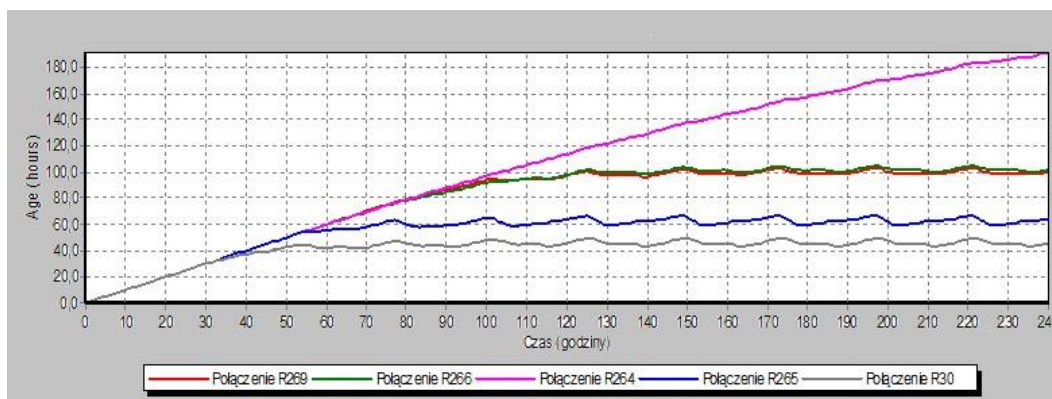
Program EPANET pozwala szybko odnaleźć anomalie panujące w rozpatrywanej sieci. Rysunek 6 ewidentnie wskazuje odcinki: R258 i R272, w których panuje zastój wody. Analizując sytuację, polegającą na wstawieniu w nich zaworów zwrotnych, nie otrzymano poprawy sytuacji, stąd pojawia się wniosek, iż należałoby ze strony zarządcy rozważyć możliwości odłączenia badanych odcinków z użytkowania.



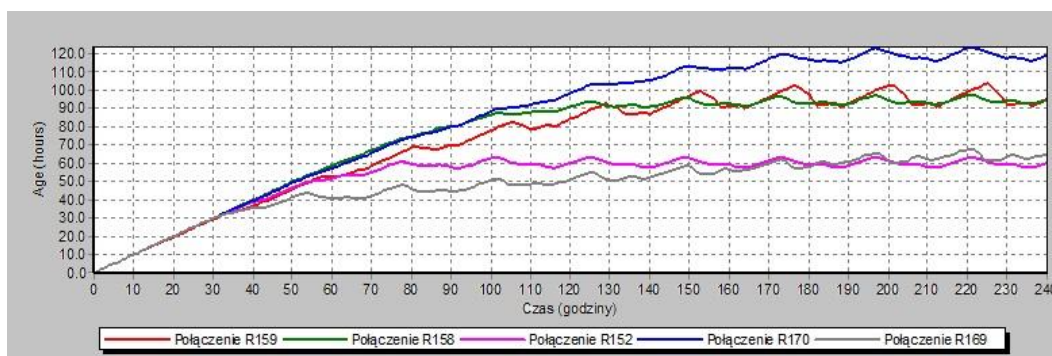
Rys. 2. Wiek wody SDW Łapy w czasie podczas symulacji trwającej 240 h



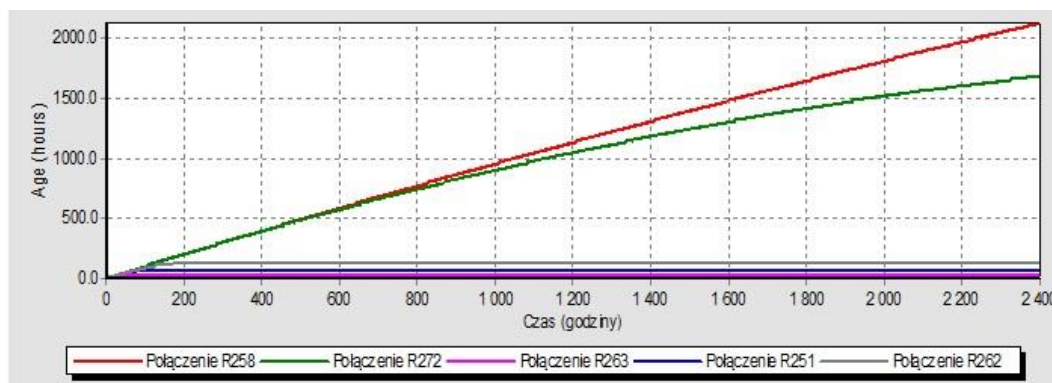
Rys. 3. Wiek wody w sieci po 10 dniach pracy



Rys. 4. Przebieg czasowy dla wybranych połączeń



Rys. 5. Przebieg czasowy dla wybranych połączeń ze względu na analizowaną lokalizację



Rys.6. Obserwacja parametru: wiek wody, trwająca 100 dni

Analizując sieć miejską w Łapach zaobserwowano pogorszenie jakości wody spowodowaną przewymiarowaniem sieci (Darsono i Labadie, 2007). Szczególnie w dzielnicy Łapy Osse, gdzie do odbiorców dociera nieświeża woda. Analiza sytuacji pokazuje również zaletę programu EPANET, jako narzędzia do obserwacji świeżości wody. Generalnie do czasu pojawienia się na rynku programów do obliczeń hydraulicznych raport świeżości wody nie byłby możliwy bez czasochłonnych badań w terenie. Model komputerowy natychmiast dostarcza te wyniki. Ogranicza go jedynie moc obliczeniowa maszyny i ilość danych wprowadzonych wstępnie do obliczeń (Trębicka, 2017).

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona symulacja komputerowa ujawniła istniejące braki w zarządzaniu systemem dystrybucji wody sieci wodociągowej miasta Łapy i pozwoliła poprzez odwzorowanie czasowego przebiegu poboru wody na znacznie głębszą informację dotyczącą pracy całego systemu, jak i możliwość usprawnienia jego funkcjonowania. Stała się pomocnym narzędziem umożliwiającym rozwinięcie metody wnioskowania o zmienności w czasie charakterystycznych parametrów podsystemu dystrybucji wody. Z niezwykłą precyzją oddaje ich wpływ na zmiany wieku wody oraz umożliwia czerpanie informacji o zachowaniu się poszczególnych obiektów rzeczywistych, na podstawie obserwacji opracowanego modelu systemu dystrybucji wody symulującego ich zachowanie.

Przeprowadzona analiza dwóch bardzo ważnych problemów, jakim były: prędkość przepływu wody oraz analiza wieku wody w rurach wymagały dogłębnej analizy. Wynikało to głównie z faktu sprawdzania poprawności funkcjonowania, przy ustalonych chwilowych wartościach parametrów, bez uprzedniego uwzględnienia zdarzeń zaistniałych wcześniej. Zatem przyjęte w metodzie klasycznej warunki działania systemu dystrybucji wody mogły w praktyce nigdy nie zaistnieć – rzeczywiste zachowania się poszczególnych elementów przyjętego układu mogły okazać się odmienne od przyjętych do obliczeń.

Sieć w mieście Łapy kwalifikuje się do modernizacji. Dzięki narzędziu jakim jest EPANET można w prosty i tani sposób odnaleźć problematyczne parametry sieci i rozważyć koncepcje rozwiązań inżynierskich.

W oparciu o wyniki obliczeń symulacyjnych, dokonano przede wszystkim opracowania warunków pracy, przy różnych stanach zachowawczych. Odwzorowano warunki działania SDW przy losowo zdarzających się awariach i przeanalizowano ich wpływ na parametry poboru wody przez odbiorców (Studziński, 2014). Pojawiająca się zmienność parametrów pracy pompowni, zmienność poboru wody przez miasto, wymagały już od dłuższego czasu stworzenia i zastosowania badawczego narzędzia umożliwiającego odwzorowanie dynamicznego charakteru pracy, gdyż stosowana do tej pory metoda klasyczna nie zapewniała

takich możliwości i w bardzo pobieżny sposób przedstawiała parametry obrazujące warunki funkcjonowania SDW.

Przedstawiona metoda symulacji komputerowej posiada walory poznawcze oraz użytkarckie i jako technika komputerowa, także i w tym miejscu będzie miała swoje zastosowanie, wskazując na niezbędne uwarunkowanie prac remontowych za pomocą matematycznych obliczeń. Analiza wyników wykazała konieczność zoptymalizowania sieci poprzez modernizację.

Literatura

- Abe N., Peter B.C. (2010). EPANET Calibrator – An Integrated Computational Tool To Calibrate Hydraulic Models. *Integrating Water Systems Boxall & Maksimovic* (eds).
- Boulos P.F., K.E. Lansey, B.W. Kamey (2009). *Comprehensive Water Distribution Systems Analysis Handbook for Engineers and Planners. MWH Soft*, Pasadena.
- Darsono S., Labadie J.W. (2007). Neural-optimal control algorithm for real-time regulation of in-line storage in combined sewer systems. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 22, 1349-1361.
- Rafi F.M., Zaidi A.K., Levis A.H. (2009). Optimization of actions in activation timed influence nets. *Informatica*, Vol. 33, 285-296.
- Machón I., López H., Rodriguez-Iglesias J., Marañón E., Vázquez I. (2007). Simulation of a coke wastewater nitrification process using a feed-forward neuronal net. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 22, 1382-1387.
- Rossman L.A.. (2000). EPANET 2 Users Manual EPA. *United States Environmental Protection Agency*, Cincinnati.
- Siwoń Z. (2005). Symulacje modeli przepływów w systemach dystrybucji wody – problemy kalibracji i weryfikacji modeli: GIS modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacjami. W: *Materiały konferencyjne, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechniki Warszawskiej*, Saur Neptun Gdańsk, Warszawa, 158.
- Studziński J. (2014). Some algorithms supporting the water network management by use of simulation of network hydraulic model. W: *Industrial Simulation Conference ISC 2014*, 11-13.06.2014, Hoegskolan, EUROSIS 2014, 33-37.
- Trębicka A. (2017). Modelowanie systemu dystrybucji wody na przykładzie miasta Łapy. *Inżynieria Ekologiczna*, Vol. 18, nr 6, 105-109.
- ZWiK w Łapach (2009). *Mapy cyfrowe, Łapy*.

VARIABILITY IN TIME OF THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF THE WATER DISTRIBUTION SYSTEM AND THEIR IMPACT ON CHANGES IN THE WATER AGE

Abstract: The increase of requirements concerning quality and time of realization in the scope of design studies require the introduction of computer technology in calculations. The work presents processes based on mapping and refinement of specific conservative states of the water distribution system (SDW), using mathematical modelling taking into account the latest available computer techniques. There are also solutions to integrate measurements of water supply networks with GIS. The subject of application is the Łapy water supply network. The EPANET program was used in the work. The scope of the study

included the network model analysed for the basic quality parameters that should be met by the network, such as: flow rates, pressure, unit losses, water age and working conditions during simulated network failures broken down into scenarios.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer S/WBIIŚ/2/2014 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.