

MODELOWANIE SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY NA PRZYKŁADZIE MIASTA ŁAPY

Agnieszka Trębicka¹

¹ Katedra Systemów Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok,
e-mail: a.trebicka@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono proces komputerowego modelowania w celu odtworzenia rzeczywistych warunków pracy sieci wodociągowej miasta Łapy, leżącego w powiecie białostockim. Wykonane obliczenia umożliwiły stworzenie symulacji funkcjonowania sieci i podjęciu decyzji wpływających na efektywne działanie całego systemu. Wykorzystano program komputerowy EPANET 2.0, autorstwa U.S. Environmental Protection Agency (EPA), amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska, który umożliwia okresowe symulacje hydrauliczne i daje obraz zachowania wody w sieci rurociągów ciśnieniowych. Zakres opracowania obejmował model sieci poddany ocenie w aspekcie podstawowych parametrów jakościowych, takich jak: prędkości przepływu, ciśnienie, straty jednostkowe, wiek wody oraz warunki pracy podczas symulowanych awarii sieci.

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

MODELING OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM AT THE EXAMPLE OF ŁAPY CITY

ABSTRACT

The paper presents the process of computer modeling to reconstruct the actual working conditions of the water supply network in Łapy, Białystok county. The calculations made it possible to simulate the operation of the network and make decisions affecting the efficiency of the entire system. Computer program EPANET 2.0 was used, which was created by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA). It allows for periodic hydraulic simulations and provides an image of water operation in the pressure pipeline network. The study included the model of the evaluated network in terms of basic quality parameters such as flow velocity, pressure, unit losses, water age and operating conditions during simulated network failure.

Keywords: mathematical model, water tower, water supply, dynamical model, computer modelling

WSTĘP

Model komputerowy systemu dystrybucji wody (SDW), uwzględniający zmienność w czasie i przestrzeni jej charakterystycznych parametrów ma wiele zalet, które czynią go atrakcyjnym narzędziem pracy [Boulos and Wood 1995]. Podsystemy dystrybucji wody przedstawiają obraz złożonych struktur technicznych rozproszonych na bardzo dużych obszarach. Jednym z zasadniczych elementów związanych z ich zarządzaniem, planowaniem modernizacji oraz możliwością rozbudowy są analizy produkcji i poboru wody przez odbiorców oraz wiarygodne prognozy przyszłych

potrzeb wodnych. W sytuacjach nadzwyczajnych tj. awarie, klęski żywiołowe itp., brak możliwości dostosowania pracy podsystemu dystrybucji wody do sytuacji zbliżonej, do panujących w rzeczywistości warunków nie pozwala na skuteczną reakcję na zdarzenia. Analizy tego rodzaju można wykonać z wykorzystaniem technik komputerowych pozwalających na zwiększenie możliwości różnych wariantów pracy SDW, przez co uzyskuje się większą ilość alternatywnych rozwiązań spośród których wyodrębnić można te, które najlepiej spełniają założone kryteria techniczne, ekonomiczne, czy też niezawodnościowe [Denczew 2006, Rossman and Boulos 1996].

Ze względu na bardzo duże znaczenie podsystemów dystrybucji wody dla rozwoju miast, w pracy przedstawiono metodę modelowania parametrów hydraulicznych oraz badanie ich wpływu na działanie sieci wodociągowej w różnego rodzaju wariantach pracy. Podjęcie badań w tym zakresie wynikało z faktu potrzeby oceny, jak też i zaproponowania lepszych rozwiązań w funkcjonowaniu podsystemu dystrybucji wody w warunkach eksploatacyjnych, ewentualną jego modyfikację z uwzględnieniem potrzeb wodnych miasta wraz z uzasadnieniem ekonomicznym i oceną niezawodności systemu dystrybucji wody.

BADANIA NAD OPTYMALNOŚCIĄ I EFEKTYWNOŚCIĄ PRACY SDW

Problematyka badań nad optymalnością i efektywnością pracy SDW, którego podstawą jest wnikliwa analiza eksploatacji poszczególnych elementów sieci, wciąż wymaga nowych rozwiązań. 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 [Siwoń 2004]. Wszelkie dotychczasowe opracowania opierają się na danych z eksploatacji przy uwzględnieniu stałych wydajności pompowni, wyselekcjonowanych wartościach poborów wody i stałych napełnieniach zbiorników w ekstremalnych warunkach pracy SDW [Knapik 2000]. Dla tak dobranych wartości dokonuje się sprawdzenia pracy podsystemu dystrybucji wody, a uzyskane wyniki i pełny techniczny opis są oceną jakości działania istniejącego lub projektowanego SDW.

Sprawność funkcjonowania SDW jako końcowego ogniwa w systemach zaopatrzenia w wodę jest przede wszystkim miernikiem sprawności całego systemu, a funkcja, którą wypełnia jest dość złożona. Podsystem dostarcza wodę do różnych odbiorców, rozrzuconych przy tym na pewnym obszarze. Dostarczana woda powinna spełniać określone wymagania ilościowe, jakościowe i wymagania dotyczące ciśnienia.

Efektywność oraz praktyczna przydatność modeli przepływów w SDW są zależne od jakości i stopnia wiarygodności danych wyjścio-

wych do symulacji komputerowych, co z kolei związane jest z optymalną decyzją eksploatacyjną. Niektóre spośród wielu programów komputerowych aktualnie dostępnych na rynku informatycznym służących głównie do hydraulicznego obliczania SDW, nie spełniają wymagań niezbędnych dla ich wykorzystania w modelowaniu przepływów w praktyce eksploatacyjnej, projektowaniu czy rozbudowie systemów istniejących [Walski et al. 2001, Trębicka 2011]. Obecnie na rynku informatycznym dostępnych jest wiele programów do hydraulicznego obliczania podsystemów dystrybucji wody i matematycznego modelowania oraz do analizy SDW.

SYMULACJA KOMPUTEROWA I MONITORING PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI

Podstawą przeprowadzenia symulacji komputerowych w warunkach normalnej pracy, jak również w sytuacjach awaryjnych rozpatrywanego podsystemu dystrybucji wody, stała się potrzeba zbadania możliwości zachowania się podsystemu na zmiany parametrów hydraulicznych: natężenia przepływu oraz ciśnienia wody przy czym przyjęto założenie, iż PDW pracuje jako układ zmienny w czasie. Zwrócono szczególną uwagę na czasową zmienność ruchu wody, dlatego też uwzględniono czynnik czasu i rozpatrywano wybrane sytuacje, kiedy praca podsystemu odbywa się w warunkach awaryjnych, które najczęściej są przyczyną złego funkcjonowania podsystemu, a przede wszystkim powodują niedobór w dostawach wody. Czas zajścia awarii (zdarzenia), jak i czas jego trwania mają szczególne znaczenie dla określenia negatywnych skutków awarii i skuteczności ewentualnych przedsięwzięć mających na celu zmniejszenie dotkliwości tych zająć. Możliwość odwzorowania dynamicznego charakteru pracy podsystemu dystrybucji wody to jedna z podstawowych własności jakie uzyskać można przy wykorzystaniu czasowej i przestrzennej symulacji komputerowej. Uzyskane wyniki umożliwiają ocenę jakości funkcjonowania rozpatrywanego modelu z punktu widzenia zarówno użytkownika jak i eksploatatora, które w głównej mierze dotyczą oceny stopnia obciążenia i rezerw poszczególnych podsystemów i obiektów [Knapik 2000].

BADANIA SYMULACYJNE SIECI WODOCIĄGOWEJ

Pojęte badania polegały na symulacji funkcjonowania sieci wodociągowej miasta Łapy leżącego w powiecie białostockim, przy pomocy stworzonego modelu komputerowego. Podjęto próbę odtworzenia rzeczywistych warunków pracy w środowisku modelowym.

Zakres prac obejmował model sieci poddany ocenie pod kątem podstawowych parametrów jakościowych, jakie powinna spełniać sieć, takich jak: prędkości przepływu, ciśnienie, straty jednostkowe, wiek wody oraz warunki pracy podczas symulowanych awarii sieci. W przeprowadzonych symulacjach uwzględniono zagadnienia prędkości przepływu oraz wieku wody w rurach. Ocena wyników symulacji umożliwiła podjęcie prac nad zoptymalizowaniem sieci wodociągowej poprzez jej modernizację.

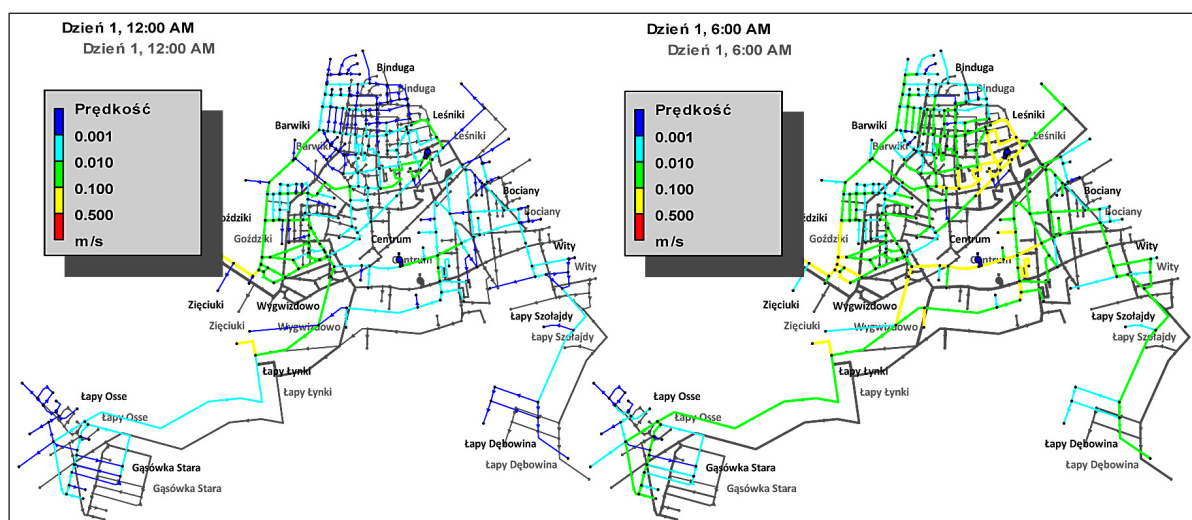
PROBLEM PRĘDKOŚCI PRZEPIYWU WODY W SIECI

Prędkość przepływu wody w rurociągach ma znaczenie dla samooczyszczania rur, oraz czystości biologicznej wody. Zbyt mała prędkość wody w sieci wodociągowej powoduje odkładanie osadów na dnie rurociągów. Z czasem dochodzi do zmniejszenia drożności w rurach, co powoduje wzrost ciśnienia i zwiększenie prędkości przepływu wody w danym odcinku. Duża prędkość przepływu może powodować porwanie nagromadzonego osadu i wypływ zanieczyszczonej wody u odbiorcy końcowego. Jest to zjawisko bardzo

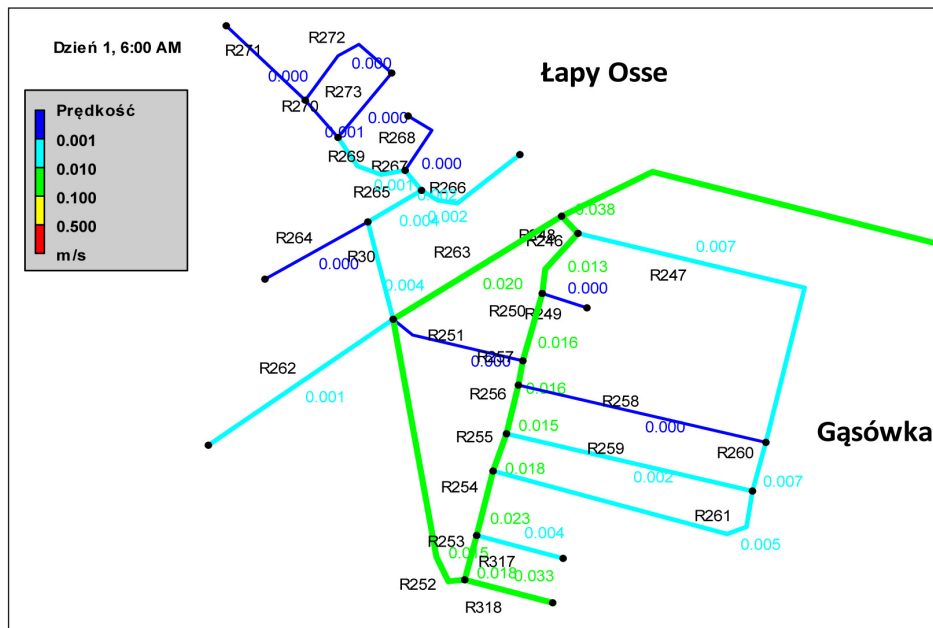
niekorzystne. Przy dłuższych odcinkach i małych prędkościach płynięcia wody zachodzi natomiast zjawisko zalegania wody w rurociągu, a co za tym idzie groźba wtórnego namnożenia się bakterii. Stąd zalecenia, aby prędkość wody mieściła się w przedziale od 0,5 do 1,3 m/s [Rozporządzenie w sprawie... 12 kwietnia 2002 r.].

Do obliczeń wybrano moment największego i najmniejszego dziennego rozbioru wody. O godzinie 0:00 przyjęto najmniejsze rozbiory wody w sieci, a o godz. 6:00 największe, co odpowiada, największym różnicom w prędkościach przepływu. Ocena przyjętego modelu komputerowego wskazuje na niekorzystne prędkości przepływu w najbardziej oddalonych od oraz w końcowych, rozgałęzieniach sieci doprowadzającej wodę do pojedynczych odbiorców (rys. 1). Nawet w przyjętym maksymalnym rozbiorze (w godzinie 6:00 do 7:00, gdzie przyjęto 200% średniego dobowego rozbioru), na odcinkach R170, R159 prędkość płynięcia wody nie przekracza 8 m/h (7,2 m/h). Wartość tą można traktować jako zastój wody. W tych miejscach konieczne jest zatem regularne płukanie rur doprowadzających wodę.

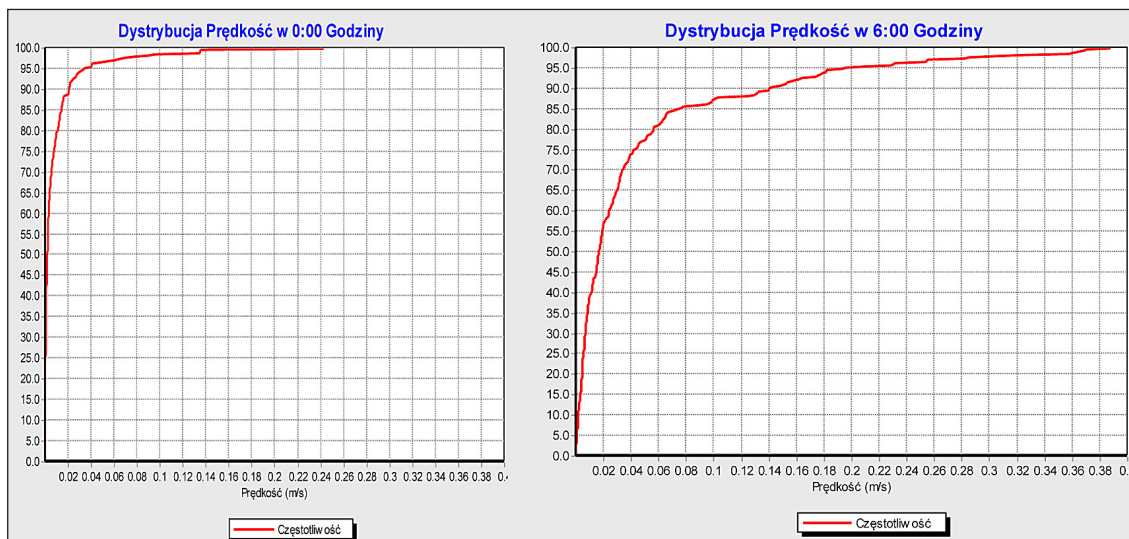
Liczne zastoje wody spotykamy również w dzielnicy Łapy Osse (rys 2). Stwierdzono pięć niekorzystnych wyników obliczeń symulacji prędkości wody. Może to wynikać nie tyle z niewielkiej liczby mieszkańców w tej dzielnicy oraz małego zapotrzebowania na wodę, ale raczej ze zbyt dużych średnic rurociągów zaprojektowanych w tym rejonie. Wybudowano sieć wodociągową z rur o średnicy DN100, co na tym terenie stanowi wyraźne przewymiarowanie. Obserwowane prędkości przepływów są niedopuszczalnie niskie, także w czasie



Rys. 1. Prędkość przepływu w czasie najmniejszego i największego rozbioru wody



Rys. 2. Prędkości przepływu w dzielnicy Łapy Osse



Rys. 3. Porównanie wartości prędkości przepływu w procentach częstotliwości występowania dla dwóch stanów rozbiórów

największego rozbioru. Wodę w tym rejonie należy częściej monitorować pod względem fizykochemicznym i bakteriologicznym oraz regularnie płukać rurociągi.

W chwili najmniejszego rozbioru (0:00h) wartości prędkości przepływu nie przekraczają w górnych granicach 0,25 m/s (odcinek R320: 0,243m/s), zaś średnia prędkość sieci to 0,01 m/s. Stagnacja wody występuje w 87 odcinkach sieci wodociągowej. Z rysunku 3, wynika, że niemal w 90-ciu procentach odcinków sieci prędkość wody w czasie najmniejszych rozbiórów nie przekracza 0,02 m/s. Natomiast w godzinie największego rozbioru prędkość do

0,02 m/s obserwuje się w ok. 55% odcinków sieci. O godz. 6:00 (maksymalny rozbiór), najwyższa obserwowana prędkość wynosi 0,39 m/s (odcinek R195), zaś średnia prędkość w sieci wynosi 0,04 m/s. Zastój wody stwierdzono w 10 odcinkach.

Na uwagę zasługuje odcinek R272 (ul. Letnia w m. Łapy Osse), ponieważ nawet w godzinie maksymalnego rozbioru praktycznie nie obserwuje się przepływu wody. Średnia dobową prędkość przepływu wody dla całej sieci wynosi 0,03 m/s. Amplituda wahań wartości prędkości wynosi maksymalnie 0,348 m/s. Jest to wartość dla odcinka R195 – wodociąg rozbioreczy przy ujęciu w

ul. Spółdzielczej. Znaczne wahania przepływów wynika z tego, że mamy tutaj początek sieci i jednocześnie rurociąg zasilający osiedle bloków mieszkalnych oraz kilka punktów o charakterze przemysłowo-usługowym.

Największe prędkości przepływów wody w rurociągach powinny występować na początku sieci, przy ujęciach. W rozpatrywanym przypadku bezpośrednio na wylocie z ujęć odnotowano prędkości od 0,24 do 0,36 m/s, oraz na odcinkach zasilających bezpośrednio dużych odbiorców zaobserwowano prędkości: R319 – 0,19 m/s, R320-0,46 m/s, R316 – 0,29 m/s.

Ocena modelu komputerowego w aspekcie prędkości przepływu wody pozwala stwierdzić, że sieć wodociągowa miasta Łapy jest przewymiarowana. Zauważono, że nawet w czasie największego rozbioru prędkości przepływu wody nie osiągają minimalnych wartości zalecanych dla sieci wodociągowych wynoszących 0,5 m/s.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona symulacja komputerowa ujawniła istniejące braki w zarządzaniu systemem dystrybucji wody sieci wodociągowej miasta Łapy. W oparciu o wyniki obliczeń symulacyjnych, dokonano opracowania warunków pracy rozpatrywanej sieci, zwracając szczególną uwagę na stany awaryjne. W przeprowadzonej ocenie wyników symulacji uwzględniono parametry prędkości przepływu oraz wieku wody w rurach. Uzyskane wyniki obliczeń mogą być wykorzystane do zapobiegania awariom w nieprzewidzianych sytuacjach oraz umożliwiają dokonanie modernizacji systemu wodociągowego. Wybór najlepszego scenariusza pracy systemu wodociągowego oparty o wyniki symulacji komputerowej, uzasadnia zastosowanie tej techniki planowania i zarządzania wraz z wykorzystaniem odpowiedniego oprogramowania.

Podziękowania

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

BIBLIOGRAFIA

1. Boulos P.F., Wood D.J. 1995. Explicit calculation of pipe Network parameters, *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(11).
2. Denczew S. 2006. Podstawy modelowania systemów eksploatacji wodociągów i kanalizacji, teoria i praktyka. Monografia. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska.
3. Knapik K. 2000. Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych. Monografia 279, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
4. Materiały z danymi dotyczącymi produkcji, sprzedaży w sieci wodociągowej gminy Choroszcz. Zakład Energetyki Ciepłej Wodociągów i Kanalizacji w Łapy, 2005.
5. Rossman L.A. 2000. Instrukcja obsługi programu EPANET 2, US EPA.
6. Rossman, L.A. and Boulos, P.F. 1996. Numerical methods for modeling water quality in distribution systems: a comparison. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(2), 137-146.
7. Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, 12 kwietnia 2002 r.
8. Siwoń Z. 2004. Kalibracja symulacyjnych modeli przepływów w miejskich systemach dystrybucji wody. W: Materiały I-ej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska”, Koszalin-Łazy.
9. Trębicka A. 2011. Odwzorowywanie stanów zachowawczych podsystemu dystrybucji wody metodą symulacji komputerowej. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 59-67.
10. Walski T., Chase D.V., Sawic D.A. 2001. *Water distribution modeling*. Haestad Press, Waterbury, CT, USA.