

Agnieszka TRĘBICKA¹

ZASTOSOWANIE TECHNIK INFORMATYCZNYCH W PRACACH DOTYCZĄCYCH MODELOWANIA I SYMULACJI SIECI WODOCIĄGOWYCH

Zastosowanie technik informatycznych w pracach dotyczących modelowania i symulacji sieci wodociągowych ma ogromne znaczenie na dla rozwoju miast. W pracy przedstawiono przegląd dostępnego oprogramowania na rynku oraz metody modelowania parametrów hydraulicznych i ich wpływu na działanie sieci wodociągowej w warunkach rzeczywistych na przykładzie programu EPANET dla miasta Grajewo. Podjęcie badań w tym zakresie wynikało głównie z potrzeby oceny, jak też i zaproponowaniu lepszych rozwiązań w funkcjonowaniu podsystemu dystrybucji wody w warunkach eksploatacyjnych.

THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGY IN WORKS OF MODELLING AND SIMULATION OF WATER SUPPLY SYSTEM

The method of modelling the hydraulic parameters with regard on very large meaning of systems of distribution water for development of cities, in work was introduced was as well as investigation of their influence on working in real conditions the water-supply net on example of the Grajewo using with programme the EPANET.

Undertaking in this range the investigations resulted with need of opinion mainly, as also and the proposing the better solutions in functioning in exploational conditions the system of distribution of water. It such elements in work were used was how: the spatial distribution of load of net and her changeability in time.

1. WSTĘP

Wzrost wymagań, dotyczących jakości i czasu realizacji w zakresie opracowań projektowych wymaga zastosowania do obliczeń techniki komputerowej. Stosowanie maszyn cyfrowych wskazane jest między innymi wszędzie tam, gdzie występuje złożoność i duża liczba często powtarzanych obliczeń, a przede wszystkim kiedy dokładność ich wykonania jest pracochłonna. Bez użycia komputerów można by jedynie wykonać obliczenia przybliżone na podstawie doświadczenia, intuicji lub wykonanych wcześniej

¹ Politechnika Białostocka, Katedra Systemów Inżynierii Środowiska; 15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A.
tel. (85)746-49-59, e-mail: agusia@pb.edu.pl

prac projektowych. Należy wspomnieć też o przypadkach rozwiązań wielowariantowych, wymagających analiz techniczno-ekonomicznych czy też optymalizacji itp.

Powyższe uwarunkowania dotyczą szczególnie wodociągów i kanalizacji. Z tego względu przy ich projektowaniu należy i powinno stosować się technikę komputerową. Jednym z warunków efektywnego wykorzystania przez projektantów techniki komputerowej są aktualne i w miarę wszechstronne informacje o istniejącym oprogramowaniu w zakresie wodociągów, czy też kanalizacji. Programy te różnią się między sobą m.in. zakresem stosowalności, liczbą rozwiązywanych zadań, czasem obliczeń, dostępnością itp.

Możliwości techniczne oferowane przez rozwijające się technologie informacyjne tj.: telekomunikację i informatykę oraz cyfrowe media, stwarzają korzystne warunki, aby istniała ciągła potrzeba przeprowadzania przemyślanej i uporządkowanej informatyzacji kraju, obejmującej niedopracowane, bądź krytyczne dla jego rozwoju obszary aktywności gospodarczej i społecznej. Jednym z takich obszarów aktywności jest gospodarka wodno-ściekowa. Długoletnia stagnacja w transferze nowoczesnych technologii i rozwiązań technicznych, doprowadziła obecnie do wzmożonej aktywności przedsiębiorstw wodociągowych w dziedzinie wdrażania narzędzi informatycznych. Wynika to w głównej mierze, z konieczności ograniczania kosztów eksploatacyjnych systemów wodno-kanalizacyjnych, zwiększenia efektywności zarządzania przedsiębiorstwem oraz potrzeby wspomagania procesu inwestycyjnego. Począwszy od sprzedaży wody, przez obsługę finansowo-księgową i gospodarkę magazynowo-materiałową, planowanie i realizację inwestycji, do wizualizacji i sterowania procesami technologicznymi dużych obiektów (np. oczyszczalni ścieków), uzasadnione ekonomicznie i technicznie wydaje się stosowanie specjalistycznych programów komputerowych, stopniowo stających się standardami w określonych obszarach działalności.

2. PROGRAMY KOMPUTEROWE I ICH FUNKCYJNOŚĆ W PROCESIE MODELOWANIA I SYMULACJI SIECI WODOCIĄGOWYCH

Proces modelowania i symulacji sieci wodociągowej, przy pomocy nowoczesnych programów komputerowych obejmuje poza samym zaprojektowaniem sieci wodociągowej, jej ewidencję, eksploatację (poprzez monitoring) oraz modernizację i rozbudowę sieci. Punktem wyjściowym do poprawnej eksploatacji sieci i planowania ekonomicznie uzasadnionych inwestycji jest posiadanie dostatecznej ilości informacji o pracy systemu wodociągowego. Z tego też względu, celowe wydaje się posługiwanie dynamicznym modelem hydraulicznym sieci, jako narzędziem wspomagającym proces eksploatacji aktywów wodociągowych i procesów decyzyjnym [2, 3]. Dostępne na rynku programy do budowy dynamicznych modeli hydraulicznych i symulacji pracy sieci różnią się między sobą zastosowanymi rozwiązaniami, funkcjami modułów, liczbą możliwych do wykonania operacji, sposobem przechowywania danych, możliwościami współpracy z innymi programami, przyjętym do obliczeń algorytmem, sposobem wprowadzania i wymiany danych oraz prezentacją wyników. Tym niemniej w kwestii budowy i późniejszego użytkowania modelu, programy te posiadają pewne cechy wspólne, które można uznać za standardowe [1]. Należą do nich:

- możliwość graficznego budowania modelu, co pozwala na dodawanie, wstawianie, przesuwanie, edycję i usuwanie elementów sieci, również krzywoliniowych,

- wyświetlanie w tle obrazów rastrowych,
- eksport i import danych tabelarycznych,
- edycja grupy elementów modelu,
- wizualizacja otrzymanych wyników (parametrów pracy sieci takich jak, na przykład prędkości przepływu wody w rurociągach),
- współpraca z innymi programami poprzez pliki wymiany,
- spójne podejście do problemu modelowania hydraulicznych warunków pracy sieci i jakości wody,
- obliczenie kosztów pracy pomp,
- przypisanie wielu profili rozbiorów do tego samego węzła,
- symulacje pracy sieci w dowolnym przedziale czasowym z wybranym krokiem czasowym,
- symulacje pracy armatury specjalistycznej i pomp ze zmienną prędkością,
- użycie powszechnych i standardowych metod obliczania spadków naporu hydraulicznego,
- śledzenie wzrostu lub rozkładu substancji (np. chloru) w czasie przepływu przez sieć wodociągową,
- określenie wieku wody w każdym węźle i elemencie analizowanego systemu,
- użycie do budowy modelu różnych typów źródeł zasilania i retencjonowania wody,
- tworzenie raportów, wykresów i profili,
- wybór jednostek projektu,
- prostą edycję danych metodą wskaź i kliknij,
- wyświetlenie wyników w formie serii czasowych,
- kompatybilność ze standardowymi systemami operacyjnymi.

3. PROCES SYMULACJI I JEJ PRZEBIEG NA BAZIE DYNAMICZNEGO MODELU HYDRAULICZNEGO

Symulacja komputerowa przepływu wody może ułatwiać podejmowanie decyzji oraz umożliwić dokonania bieżących zadań w przedsiębiorstwie wodociągów i kanalizacji. Analizy i obliczenia symulacyjne możliwe są do przeprowadzenia zarówno dla sieci już istniejących, modernizowanych lub przy projektowaniu nowych [7]. Należy w tym miejscu podkreślić rangę dynamiczności modelu. Dynamiczne modele hydrauliczne systemów dystrybucji wody, pozwalają na uzyskanie o wiele dokładniejszych parametrów hydraulicznych w porównaniu z klasycznymi metodami obliczeniowymi. Wykorzystanie technik komputerowych i dostępnych programów, daje praktycznie nieograniczone możliwości rozwiązywania problemów związanych z dystrybucją wody, co przy stosowaniu tradycyjnych metod nie byłoby możliwe (np. jakość wody) [6].

Pełne zdefiniowanie właściwości i dokładności hydraulicznego modelowania są podstawowym warunkiem efektywnego modelowania jakości wody [8]. Wszelkiego rodzaju programy specjalistyczne (Epanet, Piccolo, Mike Urban, Geosecma, Woda) wykorzystują najaktualniejsze znane algorytmy do analizy hydraulicznej, które:

- pozwalają analizować dowolnie dużą i skomplikowaną sieć,
- uwzględniają miejscowe straty ciśnienia na łukach, zwężkach,
- dają możliwość modelowania stałej lub zmiennej prędkości pracy pomp,

- obliczają koszty zużycia energii dla pomp,
- pozwalają na modelowanie różnych typów zaworów takich jak: zawory zwrotne, zawory odcinające, regulatory ciśnienia i zawory kontrolujące przepływy,
- uwzględniają stosowanie dowolnych kształtów zbiorników retencyjnych,
- uwzględniają wiele kategorii rozbiorów w węzłach (każdy ze swoim przebiegiem czasowym),
- modelują przepływy zależnie od ciśnienia w wypływach (zraszacach),
- umożliwiają ustalenie podstawowych operacji systemowych w zależności od poziomu cieczy w zbiornikach, od upływu czasu, a nawet od kombinacji obu tych czynników,
- uzależnienie współczynnika natężenia reakcji przyściennej do chropowatości rury,
- zmienianie w czasie stężenia albo masy dostarczonej w dowolnym miejscu w sieci,
- modelowanie zbiorników retencyjnych albo jako zbiorników całkowicie wymieszanych, zbiorników z przepływem tłokowym albo jako dwukomorowych reaktorów.

Dynamiczne modele hydrauliczne są szczególnie przydatne do [4]:

- diagnostyki stanu eksploatowanego systemu wodociągowego dzięki czemu uzyskujemy informacje o rzeczywistych hydraulicznych warunkach pracy sieci i jakości wody,
- zweryfikowania stanu aktywów podziemnych (oporności jednostkowej i chropowatości bezwzględnej) na podstawie pomiarów terenowych ciśnienia i przepływu oraz symulacji pracy sieci,
- sprawdzenia poprawności istniejących rozwiązań z uwagi na kryteria ekonomiczno-techniczne, usystematyzowania informacji o podziemnych aktywach wodociągowych w formie elektronicznej (baza danych o aktywach wodociągowych oraz mapa sieci, której elementy mają przypisane cechy),
- analizy sytuacji wyjątkowych i szczególnych, np. poboru wody do celów ppoż., oceny skutków zmiany kierunków przesyłu wody na wypadek awarii i wyłączenia z użytku wybranych rurociągów,
- analizy wydajności sieci pod kątem planowanej rozbudowy, zmian związanych z dystrybucją wody (np. wyłączenie z użytku zbiornika wieżowego), zwiększonych rozbiorów wody (np. mieszkańcy sezonowi), modernizacji sieci (np. rehabilitacji wybranych przewodów o dużej oporności jednostkowej),
- przeprowadzenia optymalizacji pracy sieci wodociągowej, ze względu na ekonomikę dystrybucji wody (minimalizację kosztów eksploatacyjnych), włączając strefowanie wodociągu [1],
- zarządzanie ciśnieniem w poszczególnych strefach, pracę ujęć i pompowni strefowych, pracę zbiorników retencyjnych i armatury specjalistycznej,
- wytyczenia działań inwestycyjnych związanych z poprawą jakości wody i niezawodności jej dostawy.

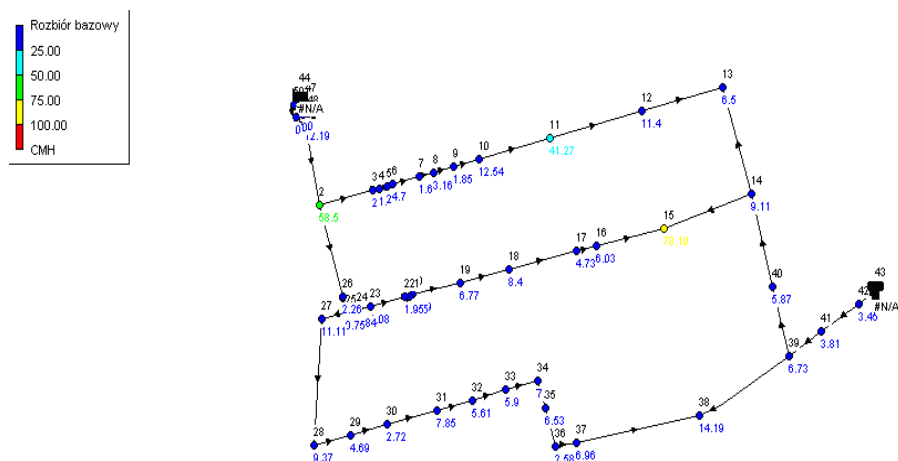
Analizy tego rodzaju, wykonywane z wykorzystaniem metod komputerowych, pozwalają na poszerzenie możliwości, przez co uzyskanie większej ilości alternatywnych rozwiązań i wyodrębnienie tych, które najlepiej spełniają założone kryteria techniczne, ekonomiczne, czy też niezawodnościowe.

4. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA SIECI WODOCIĄGOWEJ MIASTA GRAJEWO

System wodociągowy miasta Grajewa stanowi zintegrowany układ ciśnieniowy zasilany z ośmiu ujęć wód podziemnych (sześć z nich jest pełnosprawnych i eksploatowanych naprzemiennie, natomiast dwa pozostałe stanowią rezerwę), ujmujących czwartorzędowe piętro wodonośne. Ujęcie wody zlokalizowane jest na północno-wschodnich obrzeżach miasta Grajewa na działkach stanowiących własność Miasta. Zarządcą ujęcia jest zakład Wodociągów i Kanalizacji w Grajewie. Łączna dobową zdolność produkcyjna ujęć wody wynosi około 8,1 tysięcy m^3 /dobę, średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę wynosi około 4,2 tysiąca m^3 /dobę. W celu pokrycia wzrostu poboru wody z wodociągu w dniach i godzinach jej maksymalnego zużycia wykorzystuje się rezerwę wody zgromadzonej w dwóch retencyjnych zbiornikach o pojemności $1000m^3$ każdy. Dobowa zdolność produkcyjna urządzeń uzdatniania wody wynosi 9,6 tysięcy m^3 /dobę, a całego wodociągu 15,6 tysięcy m^3 /dobę. Ogółem ilość wody pobranej z ujęć w roku 2009 wynosiła $896m^3$ /rok. Wielkość strat wody wynosiła 113 tysięcy m^3 /rok. Zużycie wody w 2009 roku wynosiło 733 tysiące m^3 /rok.

Całkowita długość sieci wodociągowej w Grajewie wynosi 42,4 km, w tym 5,5 km stanowią przewody magistralne, sieć rozdzielcza 36,9 km, długość przyłączy 26,5 km. Do sieci wodociągowej miasta Grajewa przyłączonych jest 1736 budynków mieszkalnych i zbiorowego zamieszkania. Sieć wodociągowa na terenie miasta zaopatruje w wodę 21,1 tysiące osób, co stanowi około 88,8% mieszkańców miasta Grajewa.

Wydajność miejskiego ujęcia i stacji uzdatniania wody jest wystarczająca na pokrycie potrzeb na wodę wszystkich mieszkańców miasta [<http://www.grajewo.pl/>].



Rys. 1 Fragment modelu sieci wodociągowej miasta Grajewa

Przy użyciu odpowiednich danych, w aplikacji Epanet zaprojektowano model sieci wodociągowej miasta Grajewo, której część najbardziej odpowiedzialną za dystrybucję wody, zamieszczono na rysunku Rys. 1.

5. ANALIZA SIECI WODOCIĄGOWEJ NA PRZYKŁADZIE MIASTA GRAJEWO

Program Epanet umożliwił przeprowadzenie analizy sieci wodociągowej pod kontem pięciu kategorii: hydraulika, jakość, reakcje, czas i energia. Po dokonaniu analizy sieci istnieje możliwość podglądu wyników w formie różnych typów map, wykresów, tabel i raportów specjalnych.

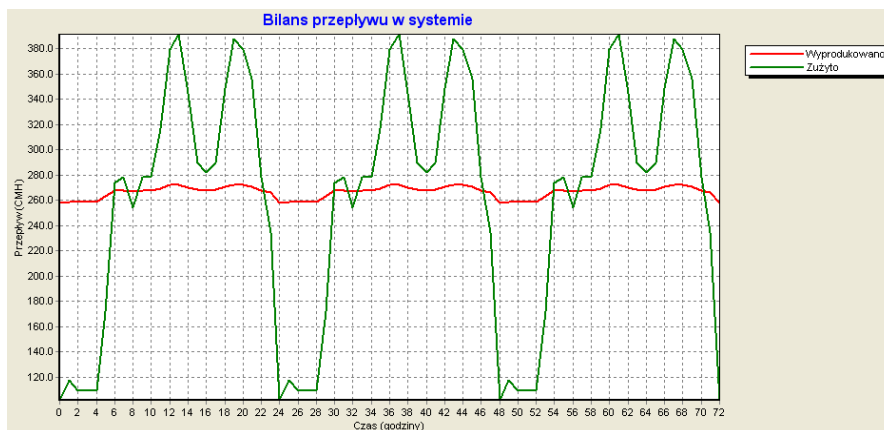
Dla zaprezentowania dokonanej analizy fragmentu sieci wodociągowej miasta Grajewo sporządzono raport zużycia energii, który zaprezentowano w tabeli Tab. 1.

Tab. 1 Raport zużycia energii na analizowanym fragmencie sieci

Tabela		Wykres				
Pompa	Procent Zużycie	Srednia Sprawność	kWh /m3	Srednia kW	Szczytowa kW	Koszt /day
12	100.00	89.00	0.12	16.37	20.00	204.25
48	100.00	89.00	0.12	16.29	19.94	203.35
Koszt całkowity						407.61
Demand Charge						0.00

Przy pomocy raportu energii w szybki i łatwy sposób uzyskuje się informacje o ilości zużytej energii i dziennych kosztach eksploatacji analizowanej sieci. W przypadku opisywanego fragmentu modelu sieci wodociągowej miasta Grajewo wynika, iż według zużycia energii, całkowity koszt dziennej eksploatacji wynosi 407.61 zł.

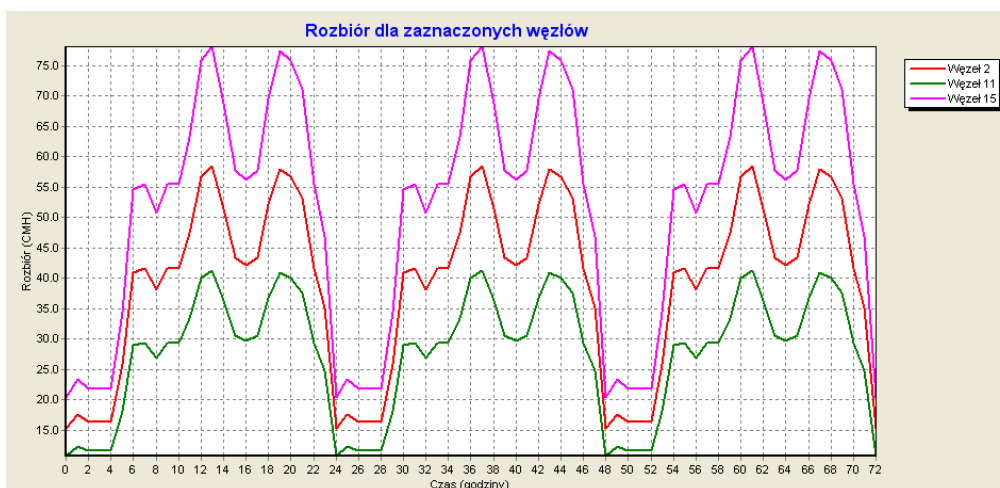
Analizując opisywaną sieć wodociągową sporządzono wykres „Bilans przepływu w systemie”, przedstawiono to rysunek Rys.2, za pomocą którego ilustruje się wielkość wyprodukowanej i zużytej wody w określonym czasie.



Rys. 2 Bilans przepływu wody w systemie dla badanego fragmentu sieci wodociągowej

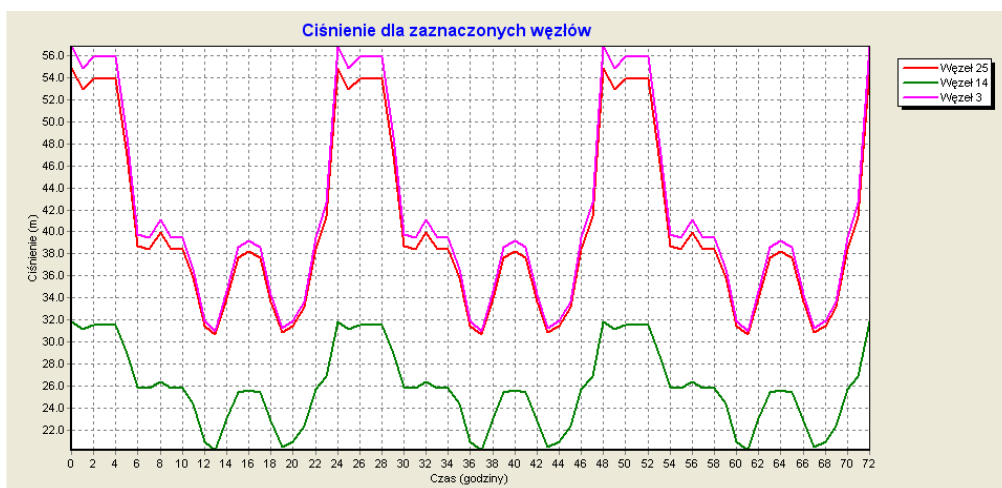
Na zaprezentowanym wykresie możemy zaobserwować zjawisko maksymalnego rozbioru. Najwyższe zużycie wody występuje od godziny 10.00 do 15.00 i od godziny 17.00 do 22.00. W celu pokrycia wzrostu poboru wody z wodociągu w czasie jej maksymalnego zużycia, wykorzystuje się rezerwę wody, która jest zgromadzona w zbiornikach retencyjnych.

Dla potwierdzenia powyższej analizy i jednocześnie podkreślenia przydatności jej stosowania sporządzono wykres rozbioru dla trzech dowolnie wybranych węzłów, i zaprezentowano go na rysunku Rys. 3. Na uwagę w tym przypadku zasługuje fakt, iż na tego typu wykresie istnieje możliwość obrazowego porównania rozbioru pomiędzy interesującymi węzłami.



Rys. 3 Rozbiór wody dla trzech wybranych przez użytkownika węzłów

Korzystając z programu Epanet, przeprowadzono również szereg symulacji pracy sieci wodociągowej podczas awarii. Na analizowanym modelu sieci miasta Grajewa (Rys.1) wybrano, według wcześniej dokonanych analiz i ocen, najbardziej charakterystyczne odcinki, które mogłyby powodować widoczne zmiany na sieci wodociągowej.



Rys. 4 Wielkość ciśnienia dla wybranych węzłów w czasie uszkodzenia rurociągu nr 25

Jedną z przeprowadzonych symulacji było m.in. odłączenie odcinka nr 25. Dla zobrazowania tego przypadku, na rysunku Rys. 4 zaprezentowano wielkość ciśnienia dla węzłów: 3, 14, 25 w czasie uszkodzenia danego rurociągu. W tym przypadku zaobserwowano zmianę kierunku przepływu wody w tej części sieci, gdzie wystąpiło uszkodzenie rurociągu.

6. WNIOSKI

Rozwój technik komputerowych w ostatnich latach doprowadził do powstania potężnych narzędzi inżynierskich, jakimi są niewątpliwie oferowane programy komputerowe. Ich wykorzystanie w praktyce zależy w dużej mierze od świadomości i kwalifikacji kadr, natomiast płynące korzyści są w rzeczywistości niewymierne.

Hydrauliczne i jakościowe modele sieci wodociągowych stanowią ogromne źródło informacji o eksploatowanym systemie [9]. Dynamiczne modele systemów dystrybucji wody są zaś szczególnie przydatne w diagnozowaniu stanu eksploatowanego systemu, opracowywaniu koncepcji rozbudowy bądź modernizacji wodociągów.

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz z zastosowaniem modelowania komputerowego uzyskano wyniki symulacyjne, na podstawie których określono następujące wnioski:

- praca z poprawnie wykonanym i skalibrowanym modelem pozwala uzyskać ogromne oszczędności, wynikające z wyeliminowania niewłaściwych inwestycji [5], poprzez przetestowanie różnych rozwiązań, a także porównanie skutków każdego z nich,

- w trakcie trwania awarii poszczególnych odcinków, dostrzeżono wzrost ilości energii pobranej przez każdą pompę, co jest adekwatne z wzrostem jej kosztów w przypadku analizowanego fragmentu sieci wodociągowej,
- analiza rozkładu prędkości wykonana na modelach stanu istniejącego badanej sieci wodociągowej wykazała iż w większości przewodów jej wartości są mniejsze od zalecanego poziomu 0,5 m/s. W ponad połowie przewodów panują wartości zbliżone do stagnacji wody – prędkość jest mniejsza niż 0,1 m/s,
- praca z siecią poprzez dynamiczny model hydrauliczny, umożliwia zaprojektowanie rozwiązań dotyczących okresowego wyłączenia z użytku wybranych odcinków wodociągu, na czas remontów lub dokonywania inwestycji w sposób najmniej uciążliwy dla odbiorców.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Biedugnis S.: *Metody informatyczne w wodociągach i kanalizacji*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1998.
- [2] Boulos P.F., Wood D. J.: *Explicit calculation of pipe Network parameters*. Journal of Hydraulic Engineering 1990.Vol. 116, no 11.
- [3] Bush C.,A., Uber J.,G: *Sampling Design Methods for Water Distribution Model Calibration*. Journal of Water Resources Planning and Management 124(1998), nr 2, p.243-252.
- [4] Knapik K.: *Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych*. Monografia 279, Kraków, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2000.
- [5] Schiller T., *Komputerowe modele sieci wodociągowej*, Wodociągi-Kanalizacja, ABRYŚ, 7-8 (16-17)/2005, str. 26-27.
- [6] Siwoń Z.: *Kalibracja symulacyjnych modeli przepływów w miejskich systemach dystrybucji wody*. I Ogólnopol. Konf. N-T „współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska” Koszalin-Łazy, 2004,
- [7] Ulanicki B., Zehnpfund A., Martinez F.: *Simplification of Water Network Models. Proceedings of Hydroinformatics96 International Conference, International Association for Hydraulic Research, ETH, Zurich, 1996*.
- [8] Walski T., Chase D.,V., Sawicki D.,A.: *Water distribution modeling*. Haestad Press, Waterbury, CT, USA, 2001.
- [9] Wosiewicz B.: *O modelowaniu i modelach numerycznych zjawisk hydraulicznych*. Gospodarka Wodna 1996,