

TRĘBICKA Agnieszka<sup>1</sup>

## Ocena efektywności modelu w procesie symulacji komputerowej

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

### Streszczenie

W pracy podjęto próbę zastosowania komputerowego modelowania do poprawy przepływów wody i regulacji ciśnień w wodociągu w miejscowości Rutka. Dynamiczny model sieci wodociągowej jest więc wysoce wydajnym narzędziem wspomagającym obserwację i regulowanie ciśnień i przepływów wody, pozwalającym na podejmowanie uzasadnionych decyzji odnośnie eksploatacji, modernizacji i rozbudowy całego systemu wodociągowego miasta lub gminy.

### EVALUATION OF EFFICIENCY A MODEL IN COMPUTER STIMULATION MODEL

#### Abstract

*It the paper used of computer modelling to improvement of waters flows and the control of pressures in water-pipe the populaces Rutka. The dynamic model of water-supply net is so the extremely effective helping the tool observation and regulation the pressures and the flows of water, permitting on undertaking of well-founded decisions regarding the exploitation, modernization and extension of whole system of water-supply city or the populaces.*

#### 1. WSTĘP

Istota oceny efektywności modelu w procesie symulacji komputerowej polega na odtworzeniu rzeczywistych warunków pracy sieci w stopniu możliwie najbardziej wiarygodnym, czyli uwzględniającym czasową i przestrzenną zmienność rozmiarów wody, jej dystrybucji i magazynowania w systemie. Ponadto proces symulacji pracy sieci wodociągowej jest źródłem znacznie większego zasobu informacji (np. ciśnień węzłowych, oporności jednostkowej poszczególnych przewodów wodociągowych, przepływów, jakości wody), wymaga to jednak zaimplementowania do modelu większej ilości danych wejściowych. Możliwe staje się w tym przypadku również odwzorowanie szczególnych warunków pracy sieci wodociągowej dla zdarzeń losowych, takich jak awarie i pobory wody do celów przeciwpożarowych oraz ich wpływ na innych użytkowników systemu. Wszystko to wiąże się z dynamicznością całego procesu symulacyjnego jak i samego modelu. Dynamiczny model sieci wodociągowej jest więc wysoce wydajnym narzędziem wspomagającym pracę inżyniera, pozwalającym na podejmowanie decyzji.

#### 2. ROLA PROCESU SYMULACJI NA TLE GRUPY ZADAŃ ZWIĄZANYCH Z EKSPLOATACJĄ SYSTEMÓW WODOCIĄGOWYCH

Symulacja komputerowa przepływu wody może ułatwiać podejmowanie decyzji i wykonywanie bieżących zadań w przedsiębiorstwie wodociągów i kanalizacji. Analizy i obliczenia symulacyjne możliwe są do wykonania zarówno dla sieci już istniejących, modernizowanych lub przy projektowaniu nowych.

W ramach grupy zadań związanych z ewidencją sieci, analizy symulacyjne ułatwiają kontrolę zakresów, logiki i spójności danych opisowych. Natomiast w ramach grupy zadań związanych z eksploatacją symulacja komputerowa staje się pomocna, przy ocenie stopnia wykorzystania sieci, oszacowaniu możliwości jej dociążenia bez ponoszenia dodatkowych kosztów związanych z rozbudową sieci. Symulacja komputerowa, może również wspomagać proces planowania remontu fragmentu sieci. Wykonanie obliczeń symulacyjnych, jest też bardzo ważne przy szacowaniu skutków remontu i zakresu (obszaru), objętego skutkami planowanych wyłączeń. Obliczenia symulacyjne pozwalają ocenić skutki nagłego przerwania dopływu wody do fragmentu sieci, system może wskazać armaturę niezbędną do odcięcia dopływu wody do miejsca awarii [1, 7].

W ramach grupy zadań związanych z modernizacją i rozbudową sieci, symulacja komputerowa, pozwala na oszacowanie skutków planowanej modernizacji oraz zmianę przyjętych założeń projektu, w jego wczesnej fazie, w przypadku uzyskania negatywnych wyników obliczeń dla pierwotnych założeń. Można w ten sposób uniknąć, na przykład przewymiarowania sieci w stosunku do potrzeb i zaoszczędzenia tym samym znacznych środków finansowych.

<sup>1</sup>Politechnika Białostocka, Katedra Systemów Inżynierii Środowiska; 15-354 Białystok, ul. Wiejska 45A.  
tel. (85)746-49-59, e-mail: agusia@pb.edu.pl

Symulacja komputerowa zapewnia skuteczne wspomaganie procesu obsługi aktualnych i przyszłych klientów. W przypadku zgłoszenia się nowego klienta do przedsiębiorstwa wodociągów i kanalizacji można wykonać obliczenia symulacyjne, uwzględniające włączenie go i uzyskać odpowiedź na pytanie, czy włączenie tego klienta w określonym miejscu jest możliwe tak, aby nie pogorszyć warunków dostawy wody i odbioru ścieków z istniejących już gospodarstw domowych, zakładów, instytucji usługowych i użyteczności publicznej bez ponoszenia dodatkowych inwestycji [5, 6]. Podobne analizy można wykonać dla istniejącego już klienta w przypadku chęci rozszerzenia usług na dostawę wody i odbiór ścieków.

Symulacyjne metody badań systemów są narzędziem służącym do rozwiązywania problemów związanych z rejestracją, eksploatacją, modernizacją, rozbudowa sieci, czy też z ochroną środowiska i z obsługą aktualnych i przyszłych odbiorców przy pomocy odpowiednio sformułowanych modeli matematycznych. Za jeden z podstawowych warunków takiego modelu uważa się reprezentację istotnych cech rzeczywistego systemu, gdzie dane muszą podlegać weryfikacji i odpowiadać rzeczywistości.

### 3. ROLA DYNAMICZNEGO MODELU HYDRAULICZNEGO I JEGO PRZYDATNOŚĆ

Dynamiczne modele, systemów dystrybucji wody są szczególnie przydatne w diagnozowaniu stanu eksploatowanego systemu, opracowywaniu koncepcji rozbudowy bądź modernizacji wodociągów. Model dynamiczny pracy sieci wodociągowej pozwala na uzyskanie o wiele dokładniejszych parametrów hydraulicznych w porównaniu z klasycznymi metodami obliczeniowymi.

Dynamiczne modele hydrauliczne są szczególnie przydatne do [3]:

- 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, 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.

### 4. DIAGNOSTYKA SIECI WODOCIĄGOWEJ NA PODSTAWIE ZASTOSOWANIA DYNAMICZNEGO O MODELU HYDRAULICZNEGO

Przystępując do prac nad modelami należy mieć na uwadze, że stanowią one odzwierciedlenie wiedzy badającego o strukturze działania tego systemu oraz o procesach w nim zachodzących. Stopień użyteczności modelu do prowadzenia badań dotyczących właściwości systemu zależy więc od umiejętności w zakresie modelowania oraz od przyjętego celu badań.

Wykorzystanie w praktyce dynamicznych modeli hydraulicznych poprzedza wcześniejsze przeprowadzenie ich kalibracji. Kalibracja modelu jest procesem jego poprawiania i udoskonalania, przy określonym poziomie dokładności, oraz zgodności z rzeczywistymi warunkami pracy analizowanego obiektu. Kalibracja to też proces wielokierunkowy zmierzający do uzyskania zgodności między obiektem a jego modelem [4].

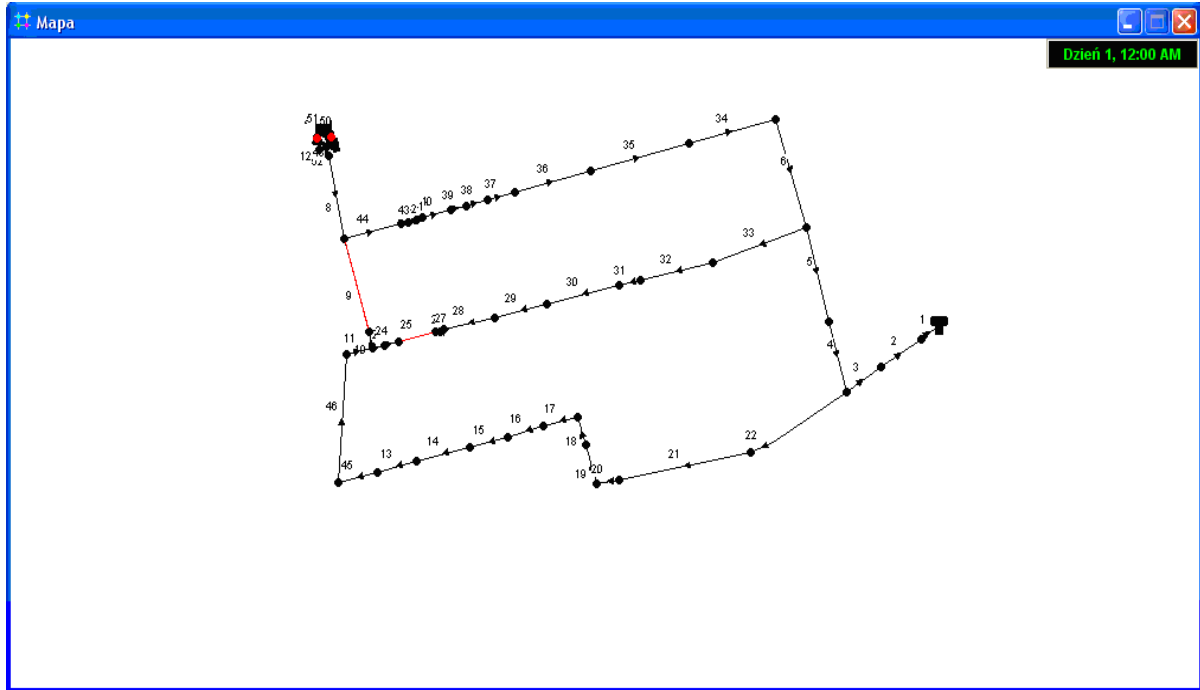
Diagnostyka sieci wodociągowej polega na sprawdzaniu różnych elementów, takich jak: chropowatość rur czy też generowanych strat ciśnienia, w celu określenia faktycznej kondycji rurociągu. Skalibrowany model posiada parametry przypisane głównie do elementów, które służą zweryfikowaniu stanu sieci.

### 5. SYMULACJE W SIECI WODOCIĄGOWEJ W MIEJSCOWOŚCI RUTKI

Korzystając programu Epanet dokonano przeglądu symulacji wybranych stanów awaryjnych w miejscowości Rutki. Przeprowadzono warianty symulacje pracy sieci, poprzez zamknięcie lub odłączenie wybranych elementów, analizując stany awaryjne i prace modernizacyjne. Analizie zostały poddane tylko te elementy systemu wodociągowego, które powodują widoczne zmiany na sieci wodociągowej. Przeprowadzono następujące symulacje:

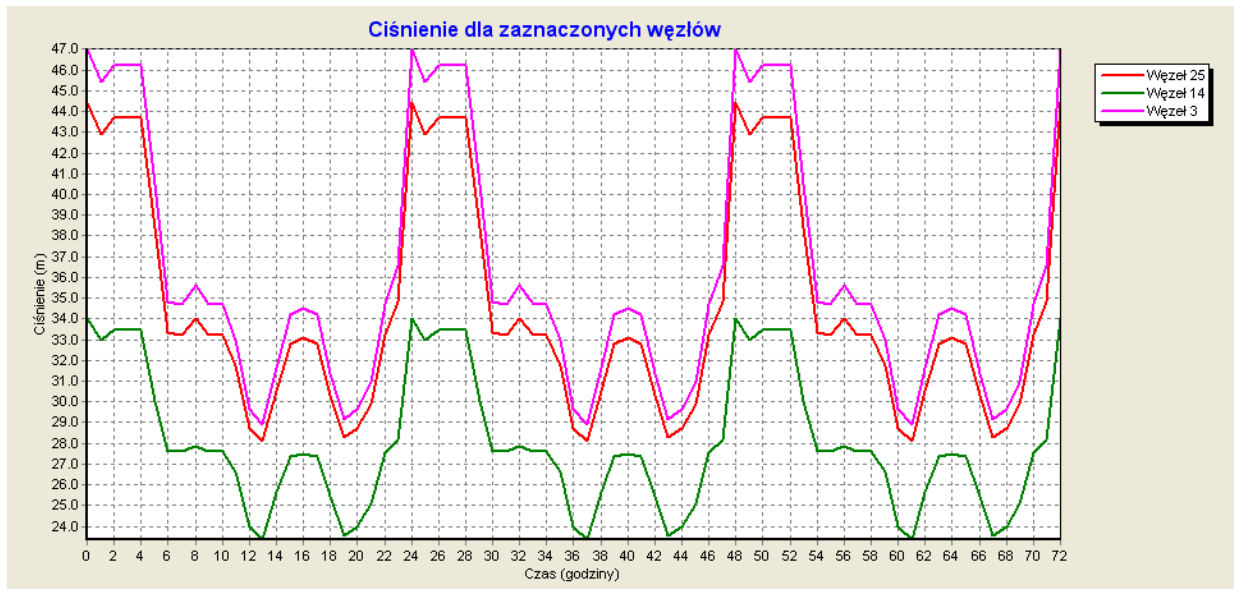
- S1 - praca sieci w trakcie odłączenia odcinka nr 25,
- S2 - praca sieci w trakcie odłączenia odcinka nr 9,
- S3 - praca sieci w trakcie odłączenia odcinków 25 i 9 jednocześnie,
- S4 - praca sieci w trakcie wyłączenia pompy 12,
- S5 - praca sieci w trakcie wyłączenia dwóch pomp 12 i 48 jednocześnie.

Na rysunku Rys. 1 przedstawiono schemat sieci wodociągowej miejscowości Rutki z zaznaczonymi fragmentami rurociągów.

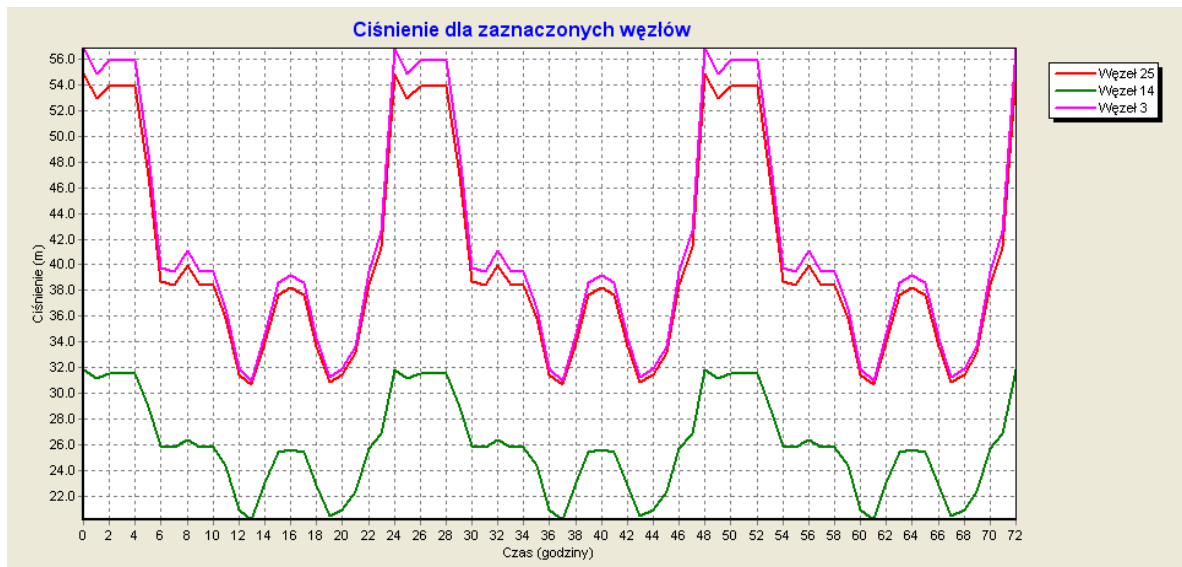


Rys. 1. Schemat sieci z zaznaczonymi fragmentami wyłączzonego rurociągu

Dla zobrazowania przeprowadzonej analizy w pracy prezentuje się przykład symulacji: S1 i S5.

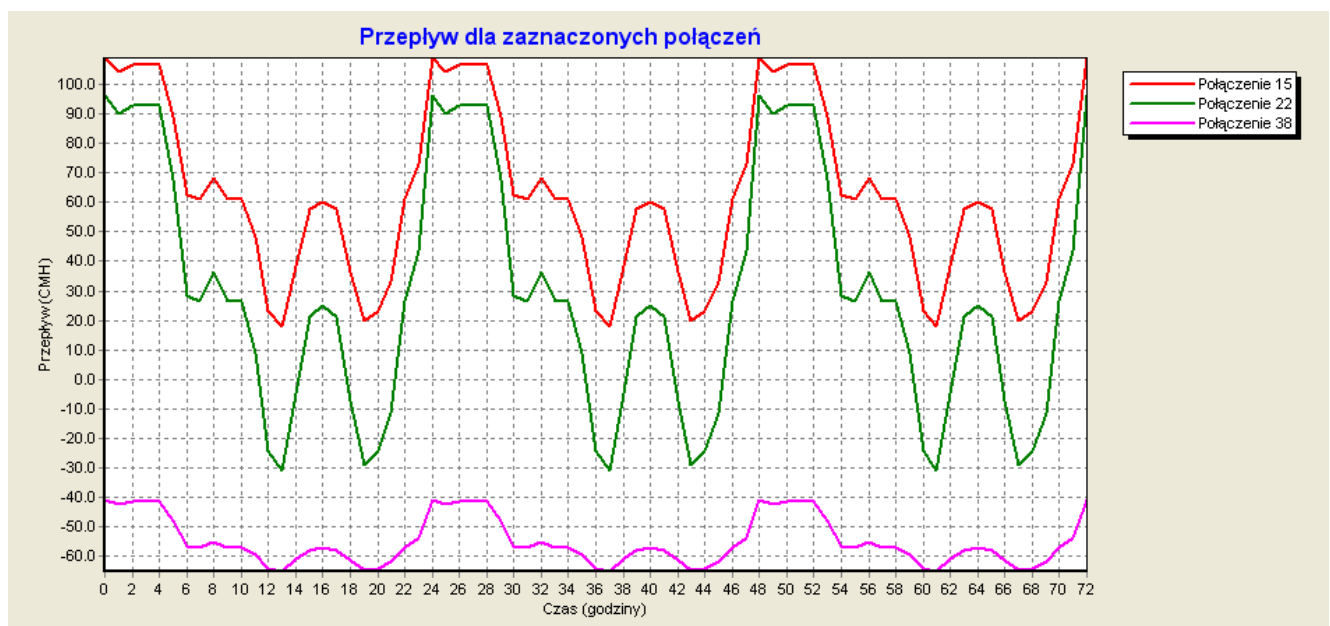


Rys. 2. Wielkość ciśnienia dla wybranych węzłów przed wystąpieniem awarii

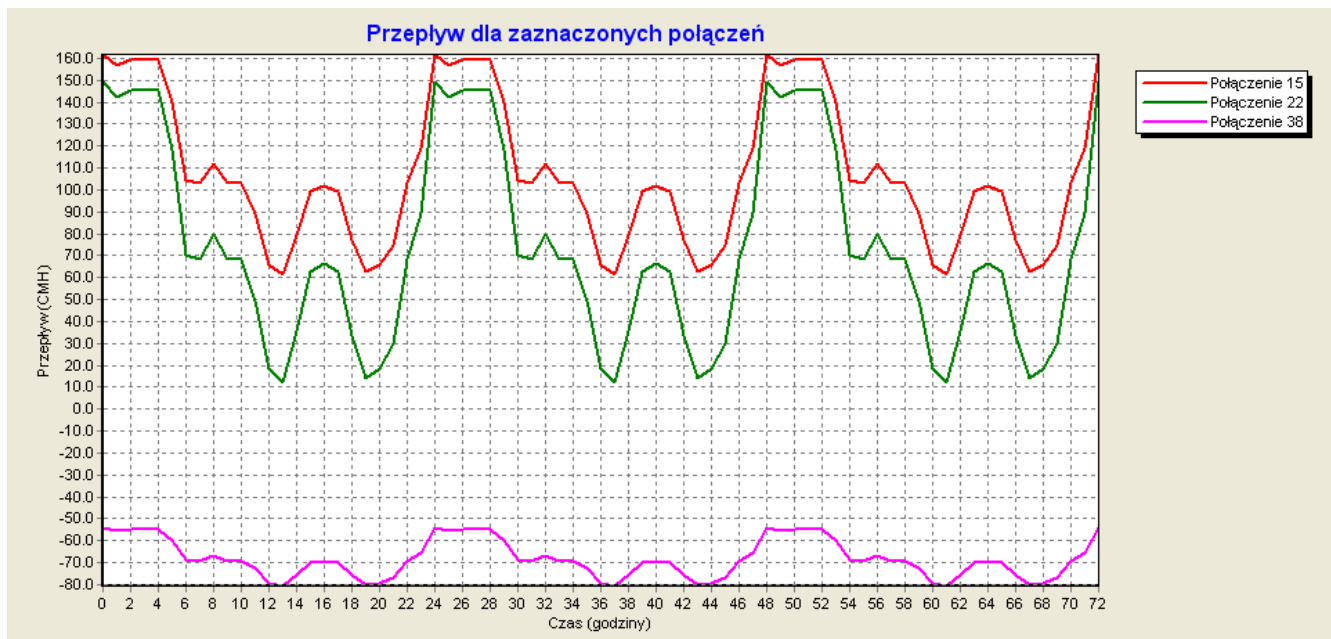


Rys. 3. Wielkość ciśnienia dla wybranych węzłów w czasie uszkodzenia rurociągu nr 25

Z przedstawianych wykresów wynika iż podczas awarii odcinka numer 25, w węzłach: 25 i 3 następuje wzrost ciśnienia w godzinach maksymalnego rozbioru wody, a w węźle 14 występuje spadek wartości ciśnienia w ciągu całej doby. Dokonując analizy przepływu wody w sieci, sporządzono wykres przepływu wody dla wybranych połączeń w warunkach ustalonej pracy sieci, zaprezentowano to na rysunku rys. 2, natomiast na rysunku rys. 3, przedstawiono przepływ wody dla wybranych połączeń w trakcie trwania awarii odcinka numer 25.



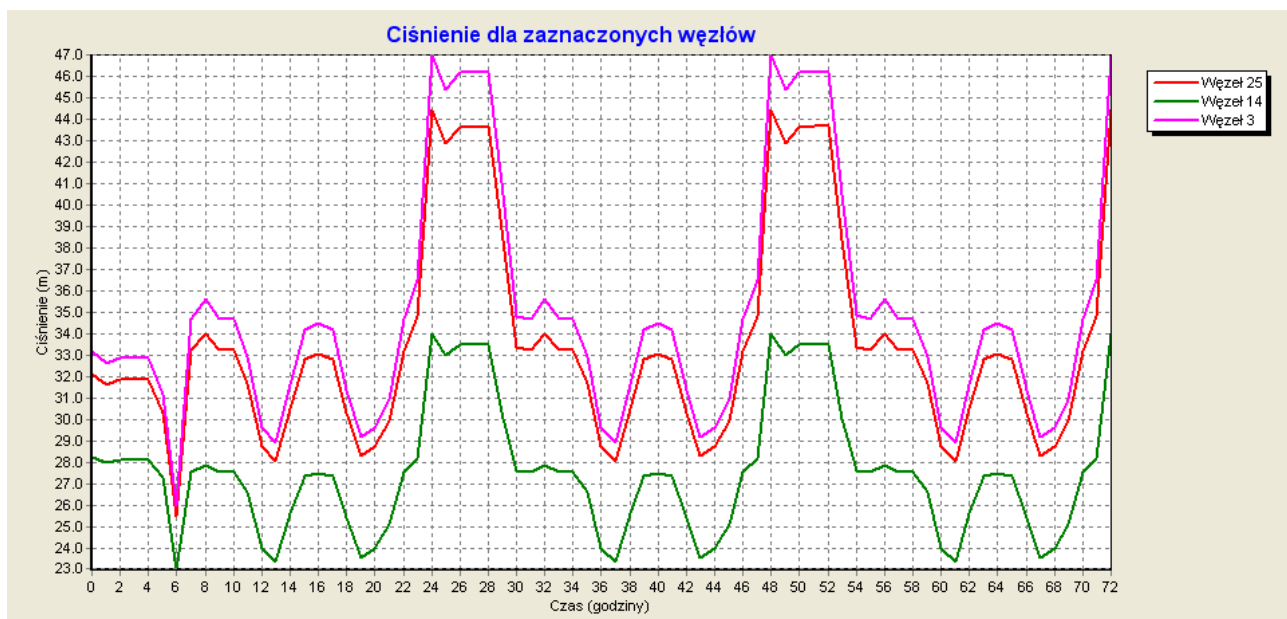
Rys. 4 Przepływ wody dla wybranych połączeń w warunkach ustalonej pracy sieci



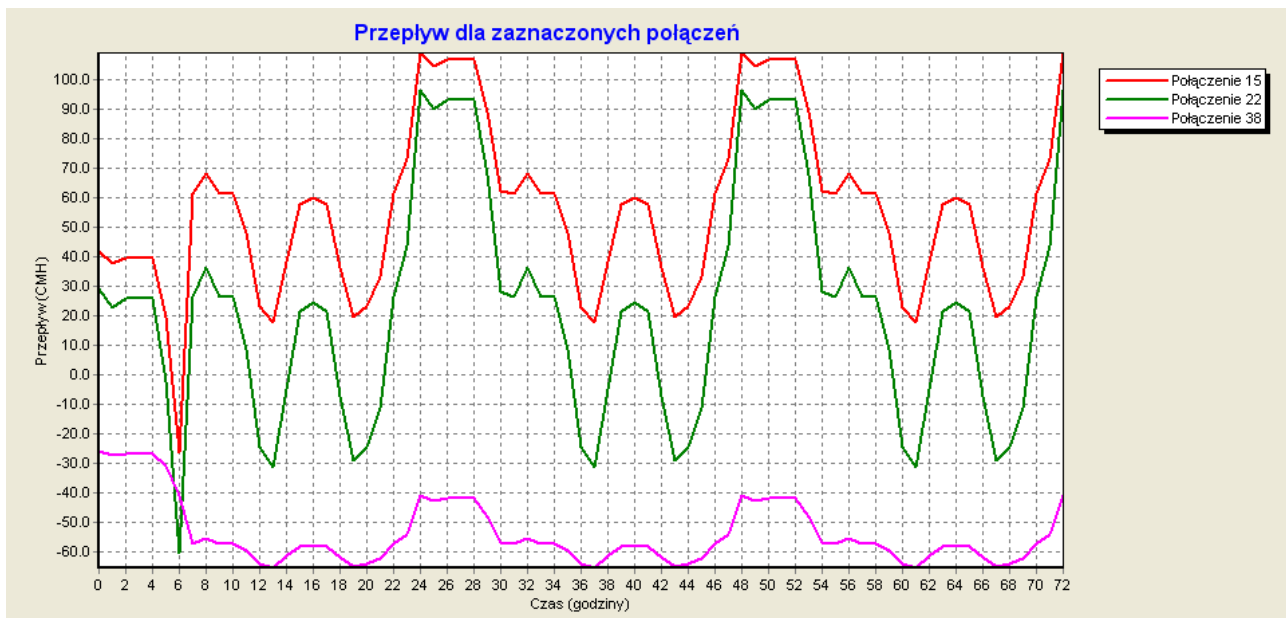
Rys.5. Przepływ wody dla wybranych połączeń w trakcie trwania awarii odcinka numer 25

W trakcie awarii odcinka numer 25 zaobserwowano znaczny wzrost ilości przepływającej wody (w granicach 50 – 62 jednostek [CMH – metry sześciennie na godzinę]) w przeciągu całej doby na połączeniach numer:15 i 25. Na odcinku numer 38 zaobserwowano natomiast spadek ilości przepływającej wody w ciągu doby o średnio 10 jednostek [CMH]. W czasie trwania awarii dostrzeżono wzrost ilości energii pobranej przez każdą pompę, co jest adekwatne z wzrostem jej kosztów w przypadku analizowanego fragmentu sieci wodociągowej.

Dokonując symulacji S5 - praca sieci w trakcie wyłączenia dwóch pomp 12 i 48 jednocześnie sporządzono następujące wykresy: na rysunku rys. 6, zaprezentowano wielkość ciśnienia dla wybranych węzłów w czasie odłączenia dwóch pomp jednocześnie, na rysunku rys. 7, przepływ wody dla wybranych połączeń w trakcie trwania tej samej awarii. Efekt końcowy, sporządzonej symulacji jest bardzo zbliżony do wyników uzyskanych podczas analizy wariantu S4 – określającego pracę sieci w trakcie wyłączenia pompy 12. W początkowej fazie awarii zaobserwowano spadek obu badanych czynników. Po upływie siedmiu godzin, od momentu odłączenia pomp, praca systemu jest stabilna, ale występują niewielkie zmiany ciśnienia i przepływu wody wynoszące 0,01 - 0,02 jednostki.



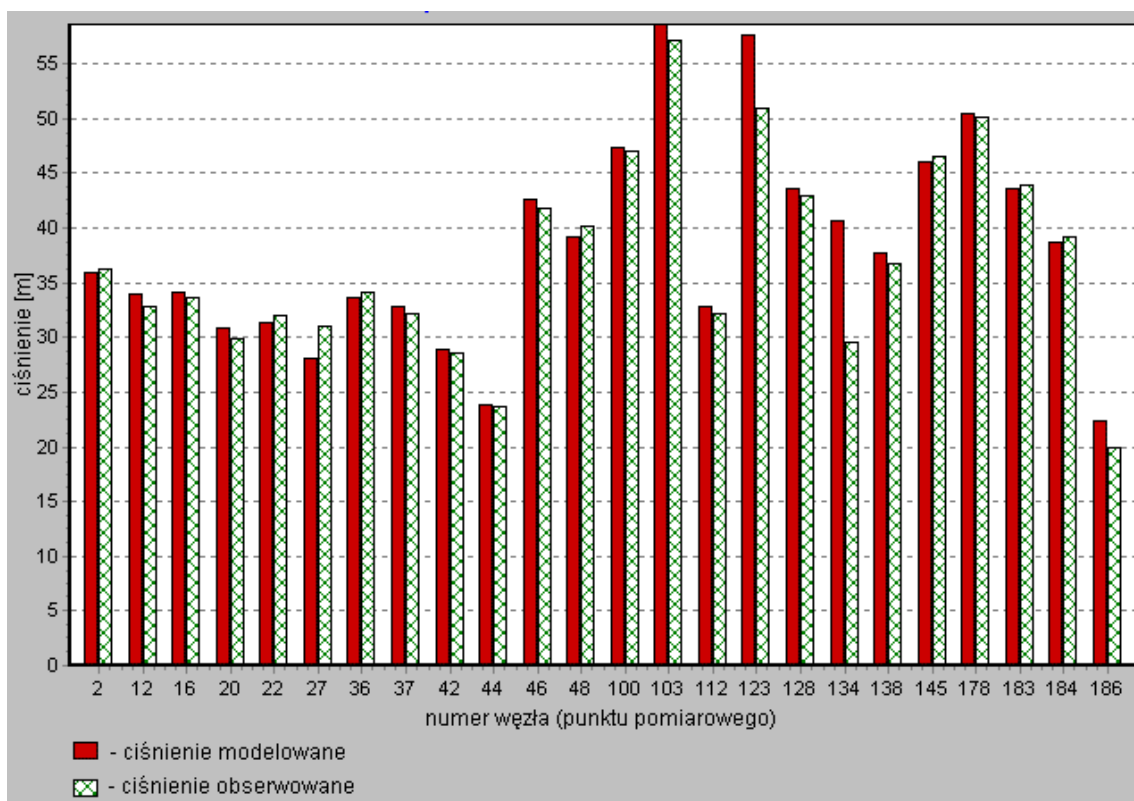
Rys 6. Wielkość ciśnienia dla wybranych węzłów w czasie awarii dwóch pomp jednocześnie



Rys. 7. Przepływ wody dla wybranych połączeń w trakcie odłączenia obu pomp jednocześnie

W celu oceny wiarygodności utworzonych modeli ze stanem rzeczywistym przeprowadzono statystyczną ocenę porównawczą wyników pomiarów i symulacji ciśnień.

Porównanie średnich wartości obserwowanych i modelowanych przedstawiono na wykresie (rys.8)



Rys. 8. Średnie wartości ciśnienia modelowane i obserwowane w punktach (węzłach) pomiarowych pomiaru w sieci wodociągowej gminy Rutka

## 6. WNIOSKI

Na podstawie analizy otrzymanych wyników sformułowano następujące wnioski:

- Przeprowadzenie symulacji komputerowych dało możliwość przetestowanie różnych rozwiązań, a także porównanie skutków każdego z nich;



- Awarie symulowane na wybranych odcinkach zostały przeprowadzone pomyślnie, a dokonane zmiany ich średnic umożliwiły, ustalenie zakresu eksploatacyjnego ciśnień w zakładanym zakresie 10-50 m słupa wody. Dzięki temu został wymodelowany pełny grafik analizowanej sieci wodociągowej.
- Znaczny wpływ na pracę badanego modelu sieci wodociągowej wywarła awaria odcinków numer: 9 i 25. Największe zmiany ciśnienia mają miejsce podczas odłączenia odcinka numer 9. W jednym z badanych węzłów (węzeł nr. 3), wystąpił znaczny wzrost ciśnienia o około 65 jednostek [m], utrzymujący się przez cały czas trwania awarii;
- Jednoczesne uszkodzenie odcinków o numerach: 9 i 25, wpłynęło znacząco na ilość przepływającej wody. W przypadku tym, ma miejsce największy spadek ilości przepływającej wody, odnotowano to na odcinkach numer 22, wynosi on około 120 jednostek [CMH] i występuje w godzinach 12.00 – 14.00; oraz 18.00 – 20.00;
- 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;
- Badane systemy dystrybucji wody projektowane były na dużo większe zapotrzebowania na wodę. Surowe normy przeciwpożarowe, które musiały spełniać budowane dawniej wodociągi, spowodowały wraz ze spadkiem zapotrzebowania na wodę, że obecnie wodociągi tego typu są przewymiarowane. Analiza rozkładu prędkości wykonana na modelach stanu istniejącego badanych sieci wodociągowych 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.

### 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Boulos P.F., Wood D. J.: *Explicit calculation of pipe Network parameters*, Journal of Hydraulic Engineering 1990.Vol. 116, no 11.
- [2] Heidrich Z., Kwietniewski M., Sosnowski S., Chudzicki J.: *Aktualizacja zapotrzebowania na wodę dla białostockiej aglomeracji miejskiej w okresie perspektywicznym na 2010 r. i dla okresu kierunkowego 2020 r.*, Politechnika Warszawska, 1998.
- [3] Knapik K.: *Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych*, Monografia 279, Kraków, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2000.
- [4] 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.
- [5] Ulanicki B., Zehnpfund A., Martinez F.: *Simplification of Water Network Models. Proceedings of Hydroinformatics96 International Conference, International Association for Hydraulic Research, ETH, Zurich, 1996.*
- [6] Walski T., Chase D.,V., Sawic D.,A.: *Water distribution modeling*. Haestad Press, Waterbury, CT, USA, 2001.
- [7] Wosiewicz B.: *O modelowaniu i modelach numerycznych zjawisk hydraulicznych*, Gospodarka Wodna 1996.