

# Modelowanie hydrauliczne sieci wodociągowych – wybrane aspekty

Grzegorz Ścieranka

Zadaniem modeli hydraulicznych jest pomoc w uzyskaniu szybkiej odpowiedzi na pytania dotyczące warunków panujących w sieci wodociągowej, których nie można uzyskać w inny sposób lub których uzyskanie w oparciu o badania na rzeczywistej sieci wodociągowej byłoby skomplikowane i czasochłonne. Modele hydrauliczne znajdują zastosowanie szczególnie w przypadku sieci pierścieniowych, dla których obliczenie przepływów chwilowych metodami tradycyjnymi jest skomplikowane. Przewaga modeli komputerowych polega również na możliwości dynamicznej obserwacji zmienności parametrów hydraulicznych w założonym czasie symulacji z przyjętym dowolnym krokiem czasowym.

Tworzenie modelu hydraulicznego sieci wodociągowej polega na jej odwzorowaniu w komputerze w układzie możliwie jak najbardziej zbliżonym do występującego w terenie. Proces ten przeprowadza się z wykorzystaniem odpowiednich programów komputerowych. Na rynku dostępne są programy komercyjne, które cechują się rozbudowanym układem wprowadzania danych oraz posiadają szereg interesujących funkcji wspomagających analizę wyników modelowania. Większość z oferowanych programów bazuje na silniku obliczeniowym programu Epanet 2.0. Program ten, udostępniany wraz z kodami źródłowymi dla silnika obliczeniowego i interfejsu graficznego przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US EPA), jest obecnie najpopularniejszym narzędziem do budowy modeli hydraulicznych sieci wodociągowych. Niewątpliwie ma na to wpływ możliwość nieograniczonego bezpłatnego użytkowania oraz dostęp do wspomnianych kodów źródłowych i tym samym możliwość wprowadzania

modyfikacji w zależności od potrzeb użytkownika.

Podstawowymi informacjami uzyskiwanymi z modelu hydraulicznego są: chwilowe wartości natężenia przepływu, strat ciśnienia, prędkości przepływu wody na poszczególnych odcinkach sieci wodociągowej oraz wartości ciśnienia w węzłach sieci. Ponadto można uzyskać informację np. o poziomach napełnień zbiorników, wydajności pomp czy zużyciu energii na pompowanie wody.

W oparciu o model hydrauliczny można między innymi:

- sprawdzać możliwości i warunki podłączenia nowych odbiorców i rozbudowy sieci;
- optymalizować dobór średnic dla nowych i przebudowywanych sieci;
- prognozować pracę sieci wodociągowej w warunkach awaryjnych;
- badać warianty sterowania ciśnieniem;
- wyznaczać strefy zasilania z poszczególnych źródeł wody;
- analizować pracę sieci w warunkach poboru wody na cele przeciwpożarowe;
- wyszukiwać miejsca, w których występują zjawiska nietypowe, np.: zwiększone wycieki wody, przymknięte zasuw, przewężenia przekrojów, „ucieczka” wody do innej strefy itp.;
- dobierać pompy;
- projektować zbiorniki sieciowe;
- wskazywać miejsca do zabudowy stałego monitoringu.

Przed przystąpieniem do budowy modelu hydraulicznego sieci wodociągowej należy zgromadzić dane o geometrii sieci, źródłach wody, rozbiorach wody i stratach wody oraz sposobach sterowania ciśnieniem. Jakość danych wejściowych decyduje o poprawności modelu. Nie każdy model musi być jednak zbudowany w oparciu o bardzo szczegółowe dane. Do celów opracowań koncepcyjnych

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano wybrane możliwości programu Epanet 2.0 w zakresie tworzenia modeli hydraulicznych sieci wodociągowych oraz wykonywania symulacji i analiz. Wskazano ogólne zasady budowy modeli oraz możliwe korzyści. Zwrócono uwagę na przykładowe problemy procesu kalibracji modeli.

**Abstract:** The paper presents selected capabilities of Epanet 2.0 software for the creation of hydraulic network modeling of water distribution systems and create a simulations and analysis. The article discusses the general principles of model building and potential benefits. The example shows some of typical problems that are found in calibration process.

można budować modele hydrauliczne na podstawie schematów sieci wodociągowych i szacowania wielkości rozbiorów wody. Należy mieć świadomość, że model hydrauliczny nie jest celem samym w sobie, lecz źródłem informacji wspomagającym podejmowanie decyzji przez operatora sieci.

Podstawowymi elementami modelu są odcinki i węzły obliczeniowe, ponadto w modelu występują źródła wody oraz opcjonalnie pompy, zbiorniki sieciowe i armatura odcinająca i regulacyjna.

Węzły obliczeniowe w modelu dzielą odcinki obliczeniowe. Przez odcinek obliczeniowy rozumie się taki odcinek sieci, dla którego na całej długości panują takie same warunki hydrauliczne transportu wody. Tym samym węzły należy przyjmować:

- na wszystkich rozgałęzieniach i końcówkach przewodów;
- w miejscach zmiany średnicy wewnętrznej;
- w miejscach zmiany chropowatości przewodu (zwykle jest to związane ze zmianą materiału i wieku przewodu);
- w miejscach występowania dużych rozbiorów wody, mających lokalny wpływ na wartość przepływów odcinkowych.

Ponadto dla zwiększenia pogłębokości węzłów w punktach najniżej i najwyżej położonych na sieci oraz w punktach pośrednich, dzieląc długie odcinki obliczeniowe na mniejsze.

W programie Epanet definiuje się następujące główne parametry węzłów obliczeniowych:

- rzędna węzła, m;
- bazowy rozbiór wody, m<sup>3</sup>/h lub l/s;
- wzorzec rozbioru dla danej kategorii odbiorców;
- współczynnik wydatku otworu  $C$  rozumiany jako wartość przepływu przez

otwór, przy którym zachodzi spadek ciśnienia o 1 m (do symulacji strat wody lub swobodnego wypływu z hydrantu).

Podstawowe parametry odcinków obliczeniowych to:

- długość odcinka, m;
- średnica wewnętrzna odcinka, mm;
- współczynnik chropowatości  $k$  dla równania Darcy-Weisbacha;
- współczynnik strat miejscowych  $\xi$ .

Proces wprowadzania danych w programie Epanet można częściowo zautomatyzować, wykorzystując dostępne programy wspomagające. Dysponując np. płaskim modelem geometrii sieci w pliku o formacie dxf, można w prosty sposób importować do modelu układ sieci w planie wraz z długościami odcinków. Wykorzystuje się do tego celu powszechnie jeden z dwóch programów: EpaCAD lub dxf2epa. Należy mieć świadomość, że podczas takiego importu może dojść do wprowadzenia części danych z błędami, np. w połączeniach odcinków, nakła-

daniu się węzłów itp. Błędy te wymagają ręcznego usunięcia.

Po wprowadzeniu wszystkich danych do modelu należy poddać go weryfikacji w procesie kalibracji. Proces ten polega na porównaniu wyników pomiarów ciśnienia i przepływów wykonanych na sieci wodociągowej z wynikami uzyskanymi z modelu hydraulicznego. Jest to etap, który pozwala na wyszukanie i korektę błędnie wprowadzonych danych. Do pomiarów na czynnej sieci wodociągowej wykorzystuje się istniejący monitoring oraz dodatkowe ruchome punkty pomiarowe do pomiaru ciśnienia. Istniejący monitoring ogranicza się zwykle do pomiaru przepływu i ciśnienia na studni pomiarowej lub rurociągu tłocznym pompowni wody stanowiących punkty zasilania w wodę badanej strefy wodociągowej. Dodatkowe pomiary ciśnienia wykonuje się zwykle w miejscach najmniej korzystnych hydraulicznie, czyli na końcówkach sieci oraz w punktach charakterystycznych – na wzniesieniach

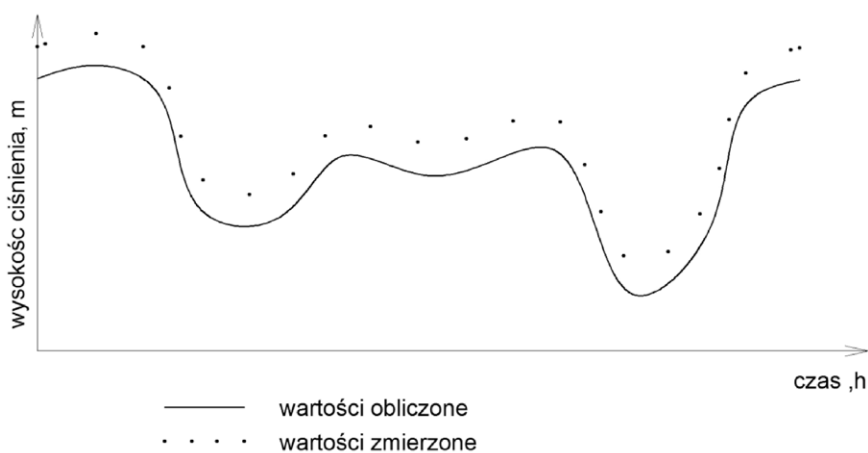
i w zagłębieniach terenu, w miejscach zagęszczonej zabudowy itp. Wykorzystuje się do tego celu przetworniki ciśnienia uzbrojone w rejestratory z zasilaniem bateryjnym. Praktycznym rozwiązaniem jest wykorzystanie urządzeń zblokowanych, przystosowanych do bezpośredniej zabudowy na hydrantach.

Jakość modelu sieci wodociągowej zależy od poprawności wprowadzonych danych. Źródłem danych o geometrii sieci są bazy danych przedsiębiorstwa wodociągowego, które mogą zawierać błędy lub być niekompletne, a ich weryfikacja, zważywszy na ułożenie rurociągów pod ziemią, jest w praktyce niemożliwa. Również rozbiory wody w poszczególnych obszarach sieci mogą się kształtować wg wzorców innych, niż założono na podstawie danych o sprężadzie wody i odczytów z przepływomierzy w punktach zasilania sieci w wodę. Zatem żaden model nigdy nie będzie w sposób idealny odzwierciedlał stanu rzeczywistego. Do celów praktycznych jednak nie jest to konieczne.

Kryteria oceny zgodności modelu powinny być ustalane indywidualnie, a wytyczne literaturowe należy traktować jedynie jako zalecenia. Należy dostosować przyjęte kryteria w zależności od wielkości modelu, jego funkcji i celu [1].

Biorąc pod uwagę warunki hydrauliczne panujące w większości sieci wodociągowych, nie zaleca się przeprowadzania procesu kalibracji dla typowych warunków pracy. Regułą są bardzo małe prędkości przepływu w poszczególnych odcinkach sieci wodociągowej i to nawet w godzinach maksymalnego rozbioru wody. Na taką sytuację ma wpływ kilka czynników:

- spadek zużycia wody;
- konieczność spełnienia przy projektowaniu wymagań przeciwpożarowych w zakresie minimalnych wymaganych średnic przewodów oraz wymaganej wydajności hydrantów;
- skłonność do przewymiarowania średnic nowo projektowanych przewodów



Rys. 1. Porównanie wartości obliczonych i zmierzonych wysokości ciśnienia w węzle przy zawyżonej wartości rzędnej terenu

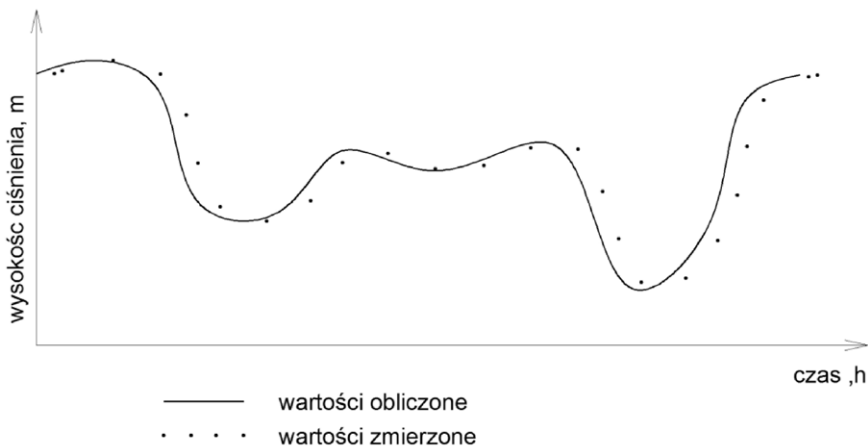
sieci w myśl zasady: „lepsza za duża niż za mała”.

W konsekwencji opory przepływu w sieci wodociągowej są znikome, a wysokość straty ciśnienia, mierząc od punktu zasilania do najniekorzystniejszego węzła, może nie przekraczać kilku metrów. Można zaryzykować stwierdzenie, że kalibracja modelu w typowych warunkach pracy sieci wodociągowej bez względu na jego poprawność da prawie zawsze pozornie prawidłowy wynik nawet przy bardzo zaostrzonych kryteriach zgodności (o ile tylko poprawnie wprowadzono rzędne w węzłach sieci). Jak zatem ocenić poprawność modelu hydraulicznego sieci wodociągowej? Skutecznym rozwiązaniem jest przeprowadzenie szarży pomiarowej podczas wymuszonego zwiększonego przepływu wody. Można to osiągnąć najprościej przez mierzony pobór wody z wybranych hydrantów. Innym rozwiązaniem jest zamknięcie zasuw na wybranych odcinkach sieci i wymuszenie tym samym zwiększonego przepływu na pozostałych odcinkach. W każdym przypadku konieczna jest indywidualna ocena koniecznych działań. Można przyjąć, że działania te powinny doprowadzić do takiego wzrostu oporów przepływu, któ-

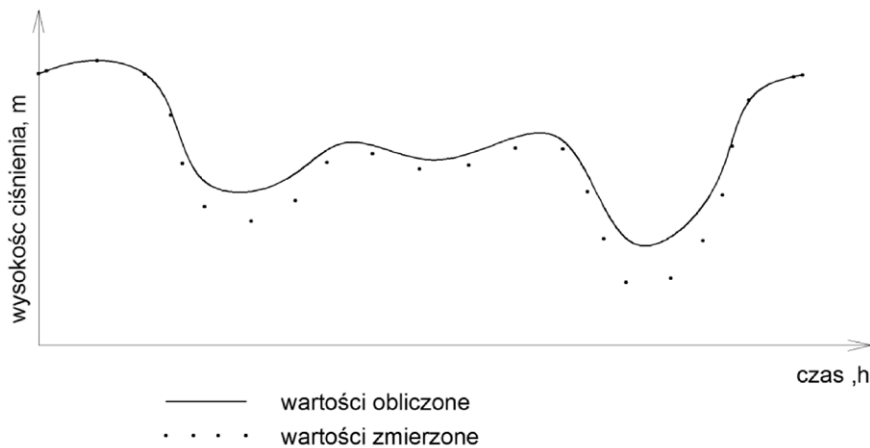
ry spowoduje dla typowej badanej sieci wodociągowej obniżenie położenia linii ciśnienia w punkcie kalibracji o min. kilkanaście metrów. Uzyskanie w takiej sytuacji zbieżności wysokości ciśnienia na poziomie nieprzekraczającym 2 m można w wielu przypadkach uznać za wystarczające. Przeprowadzenie takiej procedury kalibracji sprawi, że model będzie równie użyteczny w sytuacjach typowych, jak również do symulacji stanów awaryjnych i pożarowych.

Rozbieżności wyników obliczeń i pomiarów terenowych mogą mieć różne przyczyny. Jedną z nich są często niedokładne dane wysokościowe. W programie Epanet, podobnie jak w innych aplikacjach, wprowadza się rzędne terenu w węzłach obliczeniowych. W ten sposób uzyskuje się wyniki wysokości ciśnienia odniesione do powierzchni terenu. Źródłem rzędnych terenu mogą być mapy wysokościowe, karty studzienek, portale internetowe, operaty geodezyjne. W zależności od źródła dane te są obarczone mniejszymi lub większymi błędami. Najrzetelniejszą informację w tym zakresie można uzyskać, wykonując aktualne pomiary geodezyjne. Problem ten ma szczególne znaczenie na terenach objętych wpływem eksploatacji górniczej. Błąd tego rodzaju jest łatwy do wychwycenia, o ile we właściwym węzle dokonano pomiaru ciśnienia do kalibracji modelu. Błąd ten objawia się równoległym pionowym przesunięciem wykresów czasowych ciśnień zmierzonych i obliczonych (rys. 1).

reklama



Rys. 2. Porównanie wartości obliczonych i zmierzonych wysokości ciśnienia w węźle przy przesunięciu kroku czasowego wzorca rozbioru



Rys. 3. Porównanie wartości obliczonych i zmierzonych wysokości ciśnienia w węźle przy większych oporach na dopływie do węzła w sieci niż w modelu

Inny błąd, objawiający się równoległym przesunięciem poziomym wykresów czasowych ciśnień zmierzonych i obliczonych (rys. 2), jest wynikiem przesunięcia kroku czasowego wzorca rozbioru.

W przypadku, w którym wykresy ciśnień wartości zmierzonych i obliczonych są zbieżne w godzinach najmniejszych rozbiorów wody i oddalają się od siebie wraz ze wzrostem przepływów, mamy do czynienia ze zwiększonymi oporami

przepływu w sieci wodociągowej w porównaniu do modelu. W takim przypadku należy w pierwszej kolejności zweryfikować średnice rurociągów oraz sprawdzić ewentualne przymknięcie zasuw. W kolejnym kroku można wprowadzać korekty współczynników chropowatości zastępczej  $k$ . Wprowadzenie prawidłowych wartości współczynników chropowatości jest zadaniem trudnym, zwłaszcza w przypadku odcinków rurociągów podatnych na zmianę tego parametru w czasie eksploatacji. Współczynniki te w przypadkach wątpliwych należy wyznaczyć na podstawie badań terenowych polegających na pomiarze wartości strat ciśnienia przy zmiennym natężeniu przepływu na wybranych odcinkach sieci wodociągowej.

Należy mieć świadomość, że tylko prawidłowo skalibrowany model będzie użytecznym narzędziem wspomagającym zarządzanie siecią wodociągową zarówno w okresach typowej eksploatacji, jak i w stanach kryzysowych, takich jak np. awarie i pobory wody na cele pożarowe.

#### Literatura

- [1] T. M. WALSKI ET AL.: *Advanced water distribution modeling and management*. Haestad Methods, Waterbury, USA, 2003.

dr inż. Grzegorz Ścieranka –  
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii  
Środowiska i Energetyki;  
e-mail: grzegorz@polsl.pl

artykuł recenzowany

reklama



Preferujesz internet?

Wypromuj się na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)