

SimNet SSWater – program do symulacji statycznej sieci wodociągowych SimNet SSWater – a program for steady state simulation water supply networks

Andrzej J. Osiadacz^{1,2*} , Łukasz Kotyński^{1,2} , Maciej Chaczykowski¹ 

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

² Fluid Systems Sp. z o.o.

* Kontakt / Correspondence: andrzej.osiadacz@pw.edu.pl

Streszczenie:

W artykule omówiono pakiet SimNet SSWater służący do symulacji statycznej sieci wodociągowych w którym technologia GIS jest wykorzystywana do przechowywania i zobrazowania graficznych i alfanumerycznych informacji o obiektach sieci. Opisano strukturę pakietu oraz właściwości obliczeniowe. Załączony przykład świadczy o poprawności jego działania.

Słowa kluczowe: symulacja komputerowa, sieci wodociągowe, stan ustalony, technologia GIS

Abstract:

The article discusses the SimNet SSWater package used to simulate steady state water supply networks, in which GIS technology is used to store and display graphical and alphanumeric information about network objects. The structure of the package and its computational properties are described. The attached example proves that it works correctly.

Keywords: computer simulation, water networks, steady state, GIS technology

1. Wstęp

Symulacja komputerowa sieci wodociągowych umożliwia badanie zachowania się sieci w różnych warunkach dostawy i zużycia wody. Rezultatem badań symulacyjnych są m.in. wartości przepływu, prędkości strumienia wody, ciśnienia w wybranych punktach sieci co pozwala ocenić jakość eksploatacji sieci. Analiza jakości eksploatacji sieci z wykorzystaniem programów symulacyjnych dostarcza informacji, na podstawie których można podejmować decyzje dotyczące nie tylko zmiany wybranych parametrów eksploatacji, ale także jest bardzo pomocnym narzędziem w fazie budowy lub rozbudowy sieci.

2. Symulacja sieci

Pakiet SimNet SSWater jest aplikacją obliczeniową z przyjaznym interfejsem użytkownika pracującą w systemie MS Windows. Wykorzystuje się w nim technologię GIS do przechowywania i zobrazowania graficznych (geograficznych) i alfanumerycznych informacji o obiektach sieci wodociągowej, potrzebnych do wykonania obliczeń symulacyjnych tej sieci. Informacje geograficzne (dotyczące topologii sieci) i informacje alfanumeryczne (opisowe) elementów sieci przechowywane są w standardowych wektorowych plikach graficznych oraz plikach relacyjnej bazy danych, odpowiednio formatu

*.shp oraz *.dbf. Moduł obliczeniowy pozwala na wykonywanie obliczeń symulacyjnych sieci wodociągowych o dowolnej strukturze i dowolnym poziomie ciśnienia. W obliczanej sieci może występować dowolna liczba źródeł o różnych wartościach ciśnienia lub wydajności oraz dowolna liczba innych elementów nierurowych (zawory, reduktory, źródła, pompy, zbiorniki). Warto podkreślić funkcjonalnością oprogramowania jest sposób zapisu elementów nierurowych, reprezentowanych za pomocą dwóch węzłów: wejściowego i wyjściowego oraz jednego z pięciu parametrów: ciśnienie wejściowe, ciśnienie wyjściowe, stosunek ciśnienia na wyjściu do ciśnienia na wejściu (stopień redukcji / spiętrzenia), natężenie przepływu, przyrost / spadek ciśnienia. Proponowany opis matematyczny elementu nierurowego pozwala w elastyczny sposób określać jego nastawy i umożliwia łatwą modyfikację oprogramowania na potrzeby wprowadzania charakterystyk pomp, reduktorów, zaworów, zbiorników itp. Przyjmuje się, że struktura sieci składa się z następujących elementów: węzły, odcinki, źródła, pompy/pompownie, zbiorniki, reduktory, zawory, przyłącza.

Dodatkowym wymaganie jest posiadanie informacji na temat obciążenia sieci, parametrów zasilania sieci oraz poziomu wody w zbiornikach. Specyfikacja standardowej analizy sieci w stanie ustalonym została przedstawiona poniżej.

Tabela 1. Specyfikacja standardowej analizy sieci
Table 1. Standard network analysis specification

Elementy projektu	Wymagane dane	Rezultaty
Sieć Rura	Topologia sieci Długość, średnica, chropowatość	Przepływ, prędkość przepływu, ciśnienie w węzłach
Zbiornik	Poziom wody	Ciśnienie
Węzły	Obciążenie	Ciśnienie
Pompy	Charakterystyka pompy	Ciśnienie, przepływ
Zawory regulacyjne	Kierunek przepływu, wartość zadana	Przepływ, ciśnienie

- Rezultaty symulacji spełniają poniższe warunki:
- a) Algebraiczna suma wszystkich przepływów (w tym zapotrzebowania konsumentów) wpływających do węzła lub z niego wypływających wynosi zero.
 - b) Algebraiczna suma wszystkich spadków ciśnienia w dowolnym oczku sieci wynosi zero.
 - c) Strata ciśnienia w rurach i pompach jest funkcją przepływu. Ciśnienie na wejściu, ciśnienie na wyjściu oraz przepływ przez zawór regulacyjny są zgodne z równaniem regulacji zaworu.

Nieliniowy charakter równania przepływu powoduje, że symulacja polega na iteracyjnym rozwiązywaniu układu równań algebraicznych nieliniowych. Aplikacja SimNet SSWater wykorzystuje swój własny silnik obliczeniowy oparty na metodzie oczkowo-węzłowej. Dokładny opis metody oczkowo-węzłowej znajduje się w [1].

Prezentowany model przepływu opisuje zarówno straty tarcia jak i straty lokalne:

$$\Delta h_{i,j} = h_i - h_j = g_{i,j}(q_{i,j}) = R_{i,j}q_{i,j}|q_{i,j}|^{\alpha-1}$$

(1)

- gdzie:
- $q_{i,j}$ – przepływ w rurze łączącej węzły „i” i „j”,
 - $R_{i,j}$ – oporność hydrauliczna,
 - A – wykładnik empiryczny.

W literaturze można odnaleźć trzy podstawowe formuły definiujące parametry modelu:

- formuła Darcy-Weisbach’a,
- formuła Hazen-Williams’a,
- formuła Chezy-Manning’a.

Tabela 2. Parametry R_f oraz α
Table 2. Parameters R_f and α

Formuła	Współczynnik oporności hydraulicznej (R_f)	Wykładnik (α)
Hazen-Williams’a	$1,21216 \cdot 10^{10} C_{HW,i,j}^{-1,852} D_{i,j}^{-4,87} L_{i,j}$	1,852
Darcy-Weisbach’a	$8,27 \cdot 10^7 f(C_{DW,i,j}, D_{i,j}, q_{i,j}) D_{i,j}^{-5} L_{i,j}$	2
Chezy-Manning’a	$4,66 \cdot C_{MN,i,j}^2 D_{i,j}^{-5,33} L_{i,j}$	2

- gdzie:
- $C_{HW,i,j}$ – współczynnik Hazen-Williams’a,
 - $C_{DW,i,j}$ – współczynnik Darcy-Weisbach’a,
 - f – współczynnik tarcia (funkcja $C_{DW,i,j}, D_{i,j}, q_{i,j}$),
 - $C_{MN,i,j}$ – współczynnik Manning’a,
 - $D_{i,j}$ – średnica rury [mm],
 - $L_{i,j}$ – długość rury [m].

Formuła Hazen-Williams’a jest rozsądnym kompromisem między dokładnością modelu, a prostotą jego opisu. Jest ona najczęściej używaną formułą przy modelowaniu sieci dystrybucji wo-

dy. Jak wynika z tabeli rezystancja hydrauliczna jest określona zależnością:

$$R_{i,j} = \frac{1,21216 \cdot 10^{10} L_{i,j}}{C_{HW,i,j}^{1,852} D_{i,j}^{4,87}}$$

(2)

Po uwzględnieniu wartości wykładnika α model przyjmuje postać:

$$\Delta h_{i,j} = h_i - h_j = g_{i,j}(q_{i,j}) = R_{i,j}q_{i,j}|q_{i,j}|^{0,852}$$

(3)

Symulacja sieci dotyczy stanu ustalonego, a więc obliczeń parametrów sieci dla stałych wartości dostawy oraz odbioru wody. W przypadku, gdy dysponujemy prognozą zużycia w określonym przedziale czasowym np. 24 godzinnym, symulacja składa się z serii obliczeń sieci w stanie ustalonym dla kolejnych wartości odbioru wody.

W tych obliczeniach zbiorniki mogą być traktowane jako elementy o przedziałami stałym ciśnieniu (poziomie), pompy o przedziałami stałej prędkości a urządzenia sterujące o różnych wartościach zadanych w każdej serii obliczeń.

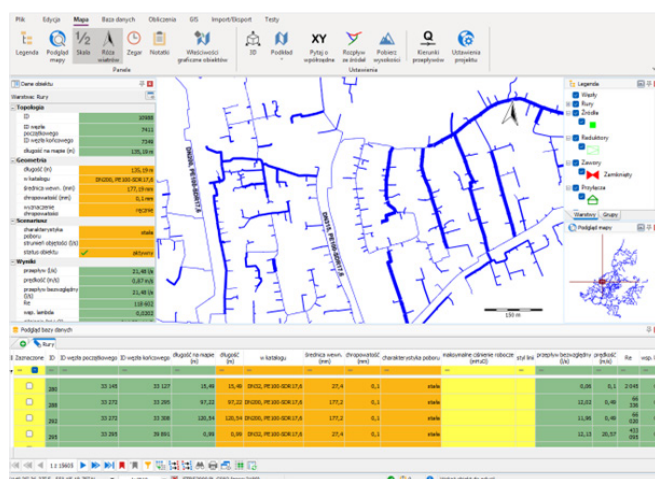
3. SimNet SSWater

Program symulacyjny SimNet SSWater zapewnia pełen zakres funkcji zarówno do symulacji sieci, jak i tradycyjnej analizy sieci w stanie ustalonym.

Zarchiwizowane wyniki obejmują pełne analizy sieci, zawierające wartości ciśnienia w węzłach sieci, przepływów w rurach, poziomów wody w zbiornikach, status elementów nierurowych itp. w każdej serii obliczeń. Istnieje możliwość zarówno prezentacji kompletu wyników dla wybranego przedziału czasu symulacji jak również zmiany wybranego parametru podczas symulacji w całym okresie badania sieci. Mechanizm tworzenia scenariuszy pracy sieci pozwala w prosty sposób dokonać analizy stanu sieci wodociągowej dla różnych wartości parametrów wejściowych a następnie otrzymane wyniki przedstawić graficznie w przyjaznej dla użytkownika formie.

Aplikacja SimNet posiada nowoczesny interfejs oparty na menu wstążki znane z aplikacji Microsoft Office. Pozwala to na łatwą obsługę programu i szybkie nauczanie się nawigacji po menu. Okno wprowadzania danych jest bardzo podobne do tego znanego z aplikacji EPANET [2] jednak jest dużo bardziej rozbudowane. Poszczególne grupy parametrów są rozróżnione za pomocą kolorów oraz kategorii. Pola do wprowadzania w zależności od typu informacji posiadają wbudowane kalkulatory, listy rozwijane, symbole graficzne, kalendarze i rozbudowane pola tekstowe. Wprowadzanie danych o sieci może zostać znacznie uproszczone przez mechanizmy importu danych z plików i zewnętrznych baz danych. W celu przyspieszenia wprowadzania informacji można skorzystać z wbudowanych katalogów rur, składów płynu, charakterystyk poboru czy chropowatości rur. Samo wprowadzanie sieci jest oparte na środowisku GIS co pozwala na dokładne odzwierciedlenie trasy przebiegu sieci wzdłuż rzeczywistych rurociągów. Wykorzystanie GIS-u posiada również wiele innych zalet. Sieć może zostać wprowadzona ręcznie oraz wczytana automatycznie z gotowych warstw wektorowych. W skład rozpoznawanych formatów plików wchodzi prawie 30 formatów plików wektorowych oraz prawie 20 formatów plików rastrowych, które mogą być wykorzystywane jako podkład. Użytkownik może podłączyć nieograniczoną liczbę dodatkowych warstw do projektu sieci takich jak podkłady geodezyjne,

sieci branżowe, mapy pogodowe, uzbrojenie terenu czy zdjęcia satelitarne. Wykorzystanie GIS-u daje również możliwość podłączenia map internetowych z serwisów WMS, WMTS, WFS czy WCS. Podłączane warstwy mogą być zapisane w dowolnych układach współrzędnych a pomimo to zostaną poprawnie odwzorzone w przestrzeni i nałożone na siebie w odpowiednich miejscach. Możliwości te są gotowe do wykorzystania w aplikacji i nie wymagają dodatkowych rozszerzeń jak w przypadku aplikacji EPANET. Wbudowane narzędzia do podglądu wyników dają dużo więcej możliwości niż w darmowych aplikacjach symulacyjnych. Do wyboru jest podgląd bazy danych z zaawansowanymi możliwościami sortowania, filtrowania, edycji, eksportu czy raportowania. Wszystkie informacje można również wyświetlić za pomocą różnej kolorystyki, rozmiaru czy kształtu obiektów. Etykiety wyświetlane na mapie mogą być dowolnie rozbudowywane o dane wejściowe, wyniki symulacji oraz informacje użytkownika. Podobnie jak EPANET wyniki symulacji można również zobrazować za pomocą wykresów, które w aplikacji SimNet są jednak dużo bardziej rozbudowane i umożliwiają na dowolne zaprezentowanie potrzebnych informacji. Dodatkowo przygotowane wykresy mogą zostać wydrukowane lub zapisane do pliku graficznego. Aplikacja SimNet umożliwia również przygotowanie szablonów wydruku, które po personalizacji przez użytkownika pozwalają szybko i sprawnie tworzyć profesjonalnie wyglądające mapy cyfrowe.



Rys. 1. Główne okno aplikacji

Fig. 1. Main application window

4. Elementy sieci

Warunkiem koniecznym efektywnego formułowania układu równań algebraicznych nieliniowych będących głównym elementem algorytmu symulacji sieci jest odpowiedni zapis struktury (topologii sieci). Musi to być zapis prosty, jednoznaczny i łatwy do modyfikacji. Te kryteria spełnia teoria grafów. Struktura sieci zapisana w postaci grafu (jej reprezentacji macierzowej) zawiera pełną informację o incydencji poszczególnych elementów sieci.

Węzłem grafu-sieci jest punkt, w którym jest spełniony jeden z poniższych warunków:

- spotyka się trzy lub więcej rur,
- spotykają się dwie rury o różnych średnicach,
- rura zmienia swój kierunek,

- znajduje się punkt odbioru wody.

Łukiem grafu skierowanego odwzorowującego topologię sieci jest odcinek rurociągu opisany przez węzeł początkowy, węzeł końcowy, średnicę, długość oraz chropowatość bezwzględną.

Elementy nierurowe występujące w sieci takie jak:

- źródło – węzeł zasilający,
- reduktor,
- zawór,
- pompa/przepompownia,
- zbiornik,

opisane są przez uporządkowaną parę węzłów (v_x, v_y) gdzie: v_x – oznacza węzeł początkowy, a v_y – oznacza węzeł końcowy.

Każdy element sieci jest przedstawiony graficznie. Symbole graficzne podano na rysunku 2. Użytkownik może w dowolny sposób dostosować wygląd symboli poszczególnych elementów do swoich wymagań.



Rys. 2. Symbole graficzne elementów sieci

Fig. 2. Graphic symbols for network elements

średnica wewn.	Zaznaczone	ID węzła początkowego	ID węzła końcowego	długość na mapie (m)	długość w katalogu (m)	chropowatość (mm)	charakterystyka poboru	maksymalne ciśnienie robocze (mH ₂ O)	styl lin
27,39 (I)									
średnica wewn. : 27,4 (I)									
średnica wewn. : 27,89 (I)									
średnica wewn. : 27,9 (I)									
średnica wewn. : 32,2 (I)									
średnica wewn. : 32,6 (I)									
21		39 189	39 186	20,83	20,83	PE100-SDR 11	0,1	stała	
19									
32		35 044	35 067	7,95	7,95	PE100-SDR 11	0,1	stała	
13									
średnica wewn. : 35,4 (I)									
średnica wewn. : 35,4 (I)									
średnica wewn. : 41,09 (I)									
średnica wewn. : 41,1 (I)									
średnica wewn. : 44,2 (I)									
20		33 775	33 729	35,34	35,34	DN50 PE100-SDR 17,6	0,1	stała	
54									

Rys. 3. Podgląd bazy danych dla rur agregowanych według średnicy wewnętrznej

Fig. 3. Database preview for pipes aggregated by internal diameter

4.1. Źródła o stałym ciśnieniu

W źródłach i dużych zbiornikach (w których wahania poziomu wody można pominąć) przyjmuje się stałą wartość ciśnienia w węzłach wyjściowych.

4.2. Zbiorniki o zmiennym ciśnieniu

W przypadku zbiorników, w których poziom wody może ulegać zmianie podczas wielokrotnej symulacji, przyjmuje się przedziałami stałą wartość ciśnienia w węźle wyjściowym. Obliczaną na podstawie charakterystyki zbiornika.

4.3. Rury

Zakłada się, że jest to prosty odcinek rurociągu o stałej średnicy i chropowatości.

Wymagane parametry:

- węzeł początkowy,
- węzeł końcowy,
- średnica,
- długość,
- wartość współczynnika tarcia.

Wartość współczynnika tarcia to wartość C według wzoru Hazena-Williamsa lub wartość chropowatości k (mm) według wzoru Colebrook-White'a, w zależności od tego, który wzór jest wykorzystywany. Tabele wartości C i k można znaleźć odpowiednio w [3] oraz [4].

4.4. Pompy

Zarówno pompy źródłowe (węzeł wyjściowy o stałym ciśnieniu), jak i pompy wspomagające mogą być modelowane jako elementy o stałej lub zmiennej prędkości przepływu. Wymagane parametry:

- węzeł początkowy,
- węzeł końcowy,
- prędkość nominalna (tylko w przypadku pomp o zmiennej prędkości),
- charakterystyka pompy (krzywa podnoszenia/przepływu).

Pompy o zmiennej prędkości można modelować bezpośrednio, jeśli określono prędkość nominalną, jeśli dane operacyjne zawierają zaplanowane zmiany prędkości i jeśli krzywa podnoszenia/przepływu ma postać kwadratową:

$$H = A Q^2 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 + B Q \left(\frac{n}{n_0} \right) + C \quad (4)$$

gdzie:

- H – wysokość podnoszenia,
- Q – przepływ,
- n – rzeczywista prędkość,
- A, B i C – stałe pompy.

4.5. Zawory regulacyjne

Zawory regulacyjne, opisywane są za pomocą jednego z wymienionych parametrów:

- ciśnienie w węźle wejściowym,
- ciśnienie w węźle wyjściowym,
- przepływ przez zawór,
- spadek ciśnienia na zaworze.

Pozostałe wartości parametrów obliczane są w trakcie procesu symulacji sieci.

Spadek ciśnienia na zaworze obliczany jest z zależności:

$$\Delta P = Q^2 K_v^{-2} \quad (5)$$

gdzie:

- ΔP – spadek ciśnienia,
 - K_v – współczynnik dławienia,
 - Q – przepływ.
- lub

$$\Delta P = 132,15 (Q^2 K_v^{-2}) \quad (6)$$

gdzie:

- ΔP – spadek ciśnienia w metrach słupa wody,
- Q – przepływ.

5. Rezultaty symulacji

Program realizuje cztery podstawowe funkcje dotyczące obliczeń hydraulicznych:

- wprowadzanie i sprawdzanie poprawności danych,
- sprawdzanie spójności grafu sieci,
- symulacja sieci,
- analiza wyników.

Poza obliczeniami, program może być również wykorzystywany jako baza danych majątku sieciowego z dokładną lokalizacją poszczególnych obiektów. Symulacja sieci jest zasadniczo serią analiz chwilowych w różnych momentach okresu symulacji. Pojedyncza analiza oblicza ciśnienia w węzłach, przepływy w rurach, stan pomp i zaworów, poziomy zbiorników oraz inne informacje, np. prędkość, straty ciśnienia itp. Obliczenia są procesem iteracyjnym i trwają do momentu spełnienia warunku zakończenia obliczeń.

5.1. Interfejs graficzny

Moduł geograficzny wykorzystuje mapowe, obiektowe oprogramowanie GIS, charakteryzujące się następującymi cechami:

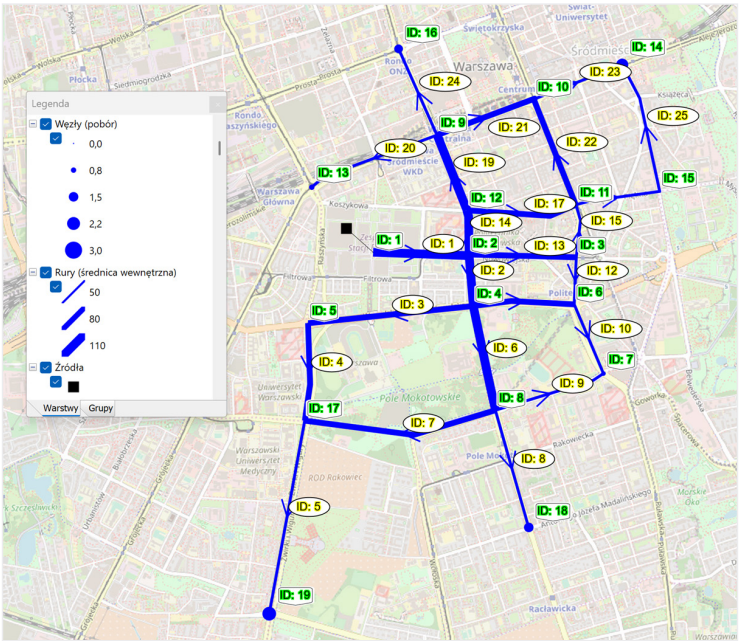
- możliwość jednoczesnego otwarcia nieograniczonej liczby warstw (związanych nie tylko z symulacją),
- gradientowanie kolorem i rozmiarem etykiet i obiektów, zmiany wyglądu (kolor, styl, wypełnienie, obramowanie, symbol, przezroczystość, itp.), w oparciu o wartości parametrów będących danymi do obliczeń sieci lub wyniki symulacji,
- wyświetlanie dowolnych warstw użytkownika:
 - pliki wektorowe m.in.: SHP, TAB, MID/MIF, DXF, DGN, oraz warstwy z baz danych SQL,
 - pliki graficzne m.in.: GeoTIFF, World File, TAB, GIF, TIF, JPEG, PNG, BMP,
- import, eksport warstw GIS w tym migracja projektów z aplikacji EPANET, która umożliwia szybkie przeniesienie danych do nowego programu,
- import danych alfanumerycznych z zewnętrznych baz danych lub arkuszy kalkulacyjnych.

Podczas tworzenia nowego projektu znaczna część danych, jeśli nie będzie mogła zostać automatycznie zaimportowana przez wbudowane mechanizmy, może zostać wprowadzona ręcznie z pomocą przygotowanych katalogów danych. Wybierając gotowe zestawy danych z katalogów rur czy innych można znacznie przyspieszyć etap tworzenia lub modyfikacji projektu. Użytkownik może samodzielnie modyfikować pozycje w katalogach, dzięki czemu raz wprowadzone dane mogą być wykorzystane dla kolejnych projektów.

Poniżej zaprezentowano zrzut wyników symulacji przykładowo-

wej sieci, który przedstawia wykorzystanie renderów do zobrazowania średnic wewnętrznych rur za pomocą grubości linii oraz wartości poboru wody za pomocą różnej wielkości symboli węzłów. Dodatkowo widoczne są opisy rur i węzłów przedstawia-

jące identyfikatory poszczególnych obiektów. Opisy mogą być dowolnie modyfikowana i prezentować dowolne dane wejściowe czy wyniki symulacji.



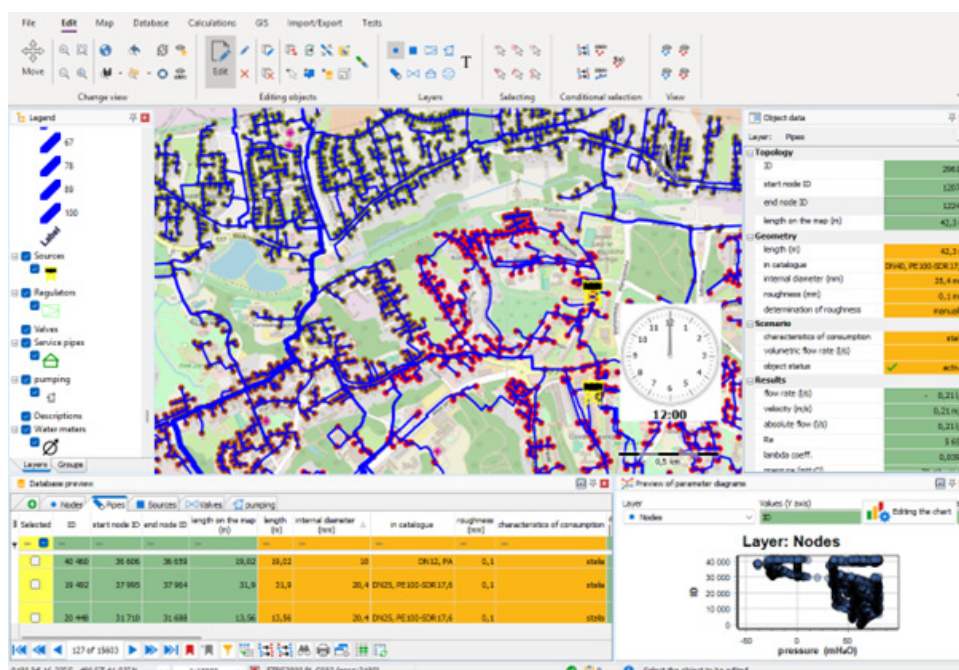
Rys. 4. Wyniki symulacji statycznej
Fig. 4. Results of steady state simulation

Tabela 3. Parametry węzłów
Table 3. Node parameters

ID	Wysokość [m]	Ciśnienie [mH ₂ O]	Strumień objętości [l/s]
1	115,	50,	0
2	114,4	43,83	0
3	113,	44,74	0
4	106,7	50,65	0
5	114,2	41,91	0
6	114,9	42,45	0
7	110,7	45,77	0,6
8	111,6	44,88	0
9	114,5	42,47	0
10	113,6	43,22	0
11	113,3	43,82	0
12	114,5	43,1	0
13	114,2	39,53	0,8
14	109,3	42,75	2
15	110,6	44,52	0,
16	114,4	36,33	1,4
17	112,1	43,28	0
18	109,9	36,25	1,6
19	110,3	9,52	2,4

Tabela 4. Parametry rur
Table 4. Pipe parameters

ID	ID węzła początkowego	ID węzła końcowego	długość [m]	średnica wewn. [mm]	przepływ [l/s]
1	1	2	662,95	107,1	8,8
2	2	4	348,63	107,1	4,15
3	4	5	1 144,29	82,5	1,3
4	5	17	674,69	82,5	1,3
5	17	19	1 352,43	54,5	2,4
6	4	8	735,47	107,1	2,76
7	8	17	1 344,71	82,5	1,1
8	8	18	839,66	54,5	1,6
9	8	7	789,55	54,5	0,06
10	7	6	517,37	54,5	– 0,54
11	6	4	697,72	82,5	– 0,1
12	6	3	323,49	54,5	– 0,45
13	3	2	739,59	82,5	– 0,99
14	2	12	314,15	107,1	3,66
15	11	3	369,17	54,5	– 0,54
17	11	12	767,03	82,5	– 0,96
18	11	15	592,57	54,5	0,79
19	12	9	558,36	107,1	2,7
20	9	13	940,91	54,5	0,8
21	9	10	725,25	82,5	0,5
22	10	11	783,68	82,5	– 0,71
23	10	14	652,86	54,5	1,21
24	9	16	649,67	54,5	1,4
25	14	15	912,14	54,5	– 0,79



Rys. 5. Wizualizacja poziomów ciśnienia w węzłach sieci
Fig. 5. Visualization of pressure levels in network nodes

6. Zalety stosowania programu do symulacji sieci wodociągowej

- rozpoznanie warunków pracy poszczególnych odcinków sieci, np. wyznaczanie fragmentów, w których sieć jest przeciążona (wąskich gardeł) i tych, w których istnieją rezerwy przepustowości,
- planowanie bieżących prac eksploatacyjnych i naprawczych, wymagających czasowych zmian organizacji rozplywu w systemie - sprawdzanie jakości funkcjonowania sieci podczas remontów,
- określanie niezbędnej liczby urządzeń pomiarowych oraz ich lokalizacji (pomiaru w innych punktach systemu mogą być zastąpione wynikami obliczeń symulacyjnych),
- ocena jakości pracy systemu telemetrycznego i urządzeń pomiarowych w oparciu o porównanie wyników symulacji z wynikami pomiarów przeprowadzonych w wybranych punktach sieci (po wcześniejszej kalibracji modelu na podstawie sprawdzonych danych pomiarowych),
- eliminacja w fazie projektowania błędnych wariantów rozbudowy i modernizacji sieci,
- zwiększenie niezawodności zaopatrzenia w wodę przez wyznaczenie dróg awaryjnego zasilania poszczególnych rejonów miasta,
- poprawa parametrów pracy sieci (obniżenie ciśnień roboczych),
- ograniczenie strat wody, zarówno poprzez monitorowanie stanu pracy sieci jak i dzięki niższym ciśnieniom roboczym w miejscach niewielkich nieszczelności.

- podniesienie kwalifikacji pracowników służb dyspozytorskich, poprzez możliwość zobrazowania konsekwencji każdej ich ingerencji w pracę systemu,
- graficzna prezentacja wyników symulacji oraz informacji o elementach sieci,
- łatwe i szybkie wyszukiwanie obiektów na podstawie konkretnych parametrów wykorzystując technologię GIS,
- proste i szybkie tworzenie raportów i zestawień dotyczących wyników symulacji,
- zobrazowanie potrzebnych informacji za pomocą różnych rozwiązań (tabele, wykresy, opisy, symbole, kolory, wielkości),
- możliwość poszerzenia funkcjonalności aplikacji do potrzeb użytkownika.

7. Bibliografia

- [1] Osiadacz, A. J. (1988). Method of steady-state simulation of a gas network. *International Journal of Systems Science*, 19(11), 2395–2405. <https://doi.org/10.1080/00207728808964126>
- [2] Dawidowicz, J., Walery, M., Kruszyński, W., & Gvishiani, Z. (2021). *Modelowanie systemów dystrybucji wody za pomocą programu EPANET 2.2*. Białystok.
- [3] Institution of Water Engineers and Scientists. (1984). *Water practice manual No. 4 – Water distribution systems* (B. T. W. Brandon, red.).
- [4] Miller, D. S. (1971). *Internal flow: A guide to losses in pipe and duct systems*. British Hydromechanics Research Association.