

JACEK **DAWIDOWICZ**
MARIA **WALERY**
WOJCIECH **KRUSZYŃSKI**
ZURAB **GVISHIANI**

**MODELOWANIE
SYSTEMÓW
DYSTRYBUCJI WODY
ZA POMOCĄ
PROGRAMU**

**EPANET
2.2**

WPROWADZENIE I ZESTAW ĆWICZEŃ

Białystok 2021

Politechnika
Białostocka

Jacek **Dawidowicz**
Maria **Walery**
Wojciech **Kruszyński**

Gruziński Uniwersytet
Techniczny

Zurab **Gvishiani**

MODELOWANIE
SYSTEMÓW
DYSTRYBUCJI WODY
ZA POMOCĄ PROGRAMU
EPANET 2.2

WPROWADZENIE
I ZESTAW ĆWICZEŃ

Białystok 2021

Recenzent:

prof. dr hab. inż. **Stanisław Biedugnis**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Instytut Bezpieczeństwa Wewnętrznego

Redaktor naukowy w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka:

dr hab. inż. **Izabela Anna Tałałaj**, prof. PB, Politechnika Białostocka

Redaktor skryptu:

dr hab. inż. **Jacek Dawidowicz**, Politechnika Białostocka

Adiustacja językowa: **Agata Porowska**

Projekt okładki / DTP: **Agencja Wydawnicza Ekopress**

© copyright by: J. Dawidowicz, M. Walery, W. Kruszyński, Z. Gvishiani

© copyright by: Agencja Wydawnicza Ekopress, Białystok 2021

WYDANIE I

Wydawca:

Agencja Wydawnicza Ekopress

ISBN:

978-83-962816-1-6



NARODOWA AGENCJA
WYMIANY AKADEMICKIEJ

Projekt finansowany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej
w ramach Programu Akademickie Partnerstwa Międzynarodowe

PRZEDMOWA

Skrypt przeznaczony jest dla studentów kierunków studiów, na których omawiany jest materiał z zakresu komputerowych symulacji systemów dystrybucji wody. Zestaw ćwiczeń ma pomóc w nabyciu umiejętności budowy modelu w programie EPANET, wprowadzaniu niezbędnych danych oraz ocenie uzyskanych wyników obliczeń.

Z założenia nie jest to instrukcja obsługi programu EPANET – publikacja obejmuje najważniejsze praktyczne informacje o komputerowych symulacjach systemów dystrybucji wody, zasadach wykonywania podstawowych czynności oraz zawiera ćwiczenia na podstawowym poziomie dla osób mających pierwszy kontakt z programem. Każde z ćwiczeń składa się z omówienia problemu, metody realizacji i zakresu sprawozdania.

Do korzystania ze skryptu niezbędna jest znajomość zagadnień z zakresu obliczeń hydraulicznych. Problematyka została omówiona w wielu dostępnych podręcznikach.

Przekazujemy w ręce Czytelników pierwsze wydanie skryptu. Zapewne mogły się zakraść błędy, za które z góry przepraszamy. Będziemy wdzięczni za uwagi i propozycje do kolejnych wydań książki (j.dawidowicz@pb.edu.pl).

Autorzy

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp	7
2.	Organizacja książki i oznaczenia	8
3.	Podstawy modelowania numerycznego systemów dystrybucji wody.....	10
3.1.	Odwzorowanie struktury systemu dystrybucji wody na potrzeby obliczeń numerycznych.....	10
3.2.	Matematyczny model systemu dystrybucji wody.....	12
3.3.	Rodzaje obliczeń systemów dystrybucji wody.....	14
4.	Podstawowe informacje o programie EPANET	16
4.1.	Program EPANET po uruchomieniu.....	16
4.2.	Obiekty modelu w programie EPANET.....	18
4.3.	Ustalenie jednostek miar i parametrów domyślnych do obliczeń	19
4.4.	Czynności powtarzalne i ułatwiające pracę z modelem.....	22
4.4.1.	Zapisywanie wyników obliczeń za pomocą funkcji Edit >> Copy To...	22
4.4.2.	Zapisywanie rysunków za pomocą funkcji Edit >> Copy To...	25
4.4.3.	Zmiana parametrów wyświetlania mapy	26
4.4.4.	Edycja parametrów zaznaczonej grupy obiektów	27
5.	Zestaw ćwiczeń w programie EPANET	29
5.1.	Wstawianie obiektów i uzupełnianie parametrów modelu systemu dystrybucji wody.....	29
5.1.1.	Wprowadzenie do ćwiczenia	29
5.1.2.	Realizacja ćwiczenia.....	29
5.1.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	40
5.2.	Dobór średnic przewodów wodociągowych.....	41
5.2.1.	Wprowadzenie do ćwiczenia	41
5.2.2.	Realizacja ćwiczenia.....	42
5.2.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	46
5.3.	Obliczenia strat ciśnienia w przewodach wodociągowych.....	47
5.3.1.	Wprowadzenie do ćwiczenia	47
5.3.2.	Realizacja ćwiczenia.....	47
5.3.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	50

5.4.	Wczytywanie podkładu numerycznego, trasowanie sieci wodociągowej, symulacje w dłuższym okresie czasu	51
5.4.1.	Wprowadzenie do ćwiczenia	51
5.4.2.	Realizacja ćwiczenia.....	54
5.4.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	63
6.	Podsumowanie	64
	Literatura	65
	Wykaz rysunków	67

1. WSTĘP

System zaopatrzenia w wodę jest jednym z najważniejszych elementów infrastruktury technicznej terenów miejskich i wiejskich. Powinien on zapewniać odbiorcy dostawę wody pod wymaganym ciśnieniem w odpowiedniej ilości i jakości, o każdej porze. Zaopatrzenie takie wymaga właściwego zaprojektowania poszczególnych elementów systemu, co związane jest z wykonaniem obliczeń, których celem jest wyznaczenie natężenia przepływu przez poszczególne przewody wodociągowe, dobór średnic rurociągów, obliczenie strat ciśnienia w rurociągach oraz jego wysokości w węzłach sieci. Ważnym zadaniem jest zaprojektowanie odpowiedniego układu stref ciśnienia oraz właściwa lokalizacja, m.in.: pompowni strefowych, zaworów redukcyjnych oraz ewentualnych zbiorników wodociągowych.

Modele numeryczne i realizowane przez nie obliczenia hydrauliczne są jednym z wielu etapów w procesie projektowania, rozbudowy lub eksploatacji systemów wodociągowych. Komputerowe modelowanie systemów zaopatrzenia w wodę pozwala poprawić strukturę sieci wodociągowej, zapewnić odpowiednie ciśnienie, zaniechać niewłaściwych inwestycji oraz zoptymalizować pracę pompowni wodociągowych. Rezultaty analizy hydraulicznej przeprowadzonej za pomocą modeli numerycznych są coraz częściej wykorzystywane w przedsiębiorstwach wodociągowych do wspomagania decyzji przedprojektowych i eksploatacyjnych.

2. ORGANIZACJA KSIĄŻKI I OZNACZENIA

W pierwszej części skryptu zamieszczono podstawowe informacje na temat modelowania numerycznego systemów dystrybucji wody. Scharakteryzowano metodykę reprezentacji struktury sieci wodociągowej w obliczeniach numerycznych oraz zasady obliczeń sieci o strukturze pierścieniowej. Opisano najważniejsze założenia do obliczeń hydraulicznych systemu dystrybucji wody. Następnie podano podstawowe informacje na temat programu EPANET.

W kolejnej części zamieszczono zestaw ćwiczeń z modelowania systemów dystrybucji wody za pomocą programu EPANET, które są skierowane do studentów różnych kierunków studiów technicznych, ze szczególnym uwzględnieniem inżynierii środowiska. W podręczniku zamieszczono zbiór ćwiczeń: od elementarnych do bardziej zaawansowanych. W podręczniku zamieszczono zbiór elementarnych ćwiczeń dla osób stawiających pierwsze kroki z programem.

Książka koncentruje się na zagadnieniach projektowania nowych systemów dystrybucji wody i porusza podstawowe zagadnienia modelowania istniejących systemów. Budowa modelu istniejącego systemu dystrybucji wody wiąże się z koniecznością pozyskania planów sytuacyjno-wysokościowych terenu z wytrasowaną siecią przewodów, dysponowaniem danymi na temat dobowej ilości wody dostarczanej do systemu, lokalizacji poborów wody przez odbiorców, charakterystykami zmienności poborów wody w poszczególnych węzłach sieci, przepływu przez wybrane przewody wodociągowe i wysokości ciśnienia w węzłach niezbędne do tarowania modelu. Powyższe zagadnienia wybiegają poza zakres niniejszego opracowania.

Przyjęto następujące oznaczenia:

L	długość odcinka obliczeniowego przewodu sieci wodociągowej [m]
D_w	średnica wewnętrzna przekroju poprzecznego przewodu wodociągowego [mm]
DN	średnica nominalna przewodu wodociągowego [mm]
Δh_l	wysokość liniowych strat ciśnienia [m]
Δh_m	wysokość miejscowych strat ciśnienia [m]
V	średnia prędkość strumienia w przekroju poprzecznym przewodu [m/s]
Q_z	wydajność źródła zasilania sieci [m^3/h ; l/s]
Q_i	natężenie dopływu lub odpływu z węzła [l/s]
Q_m	natężenie przepływu miarodajnego [l/s]
q_w	natężenie poboru (+) lub zasilania (-) w węźle sieci [l/s]
u_l	łuk grafu sieci, odcinek przewodu sieci wodociągowej
π	ludolfina
N_w	liczba węzłów modelu sieci wodociągowej
N_k	liczba odcinków obliczeniowych przewodów sieci wodociągowej
N_c	liczba pierścieni modelu sieci wodociągowej
ZW_i	zbiory przewodów połączonych w poszczególnych węzłach modelu sieci wodociągowej
ZP_c	zbiory przewodów tworzących pierścienie elementarne w modelu sieci wodociągowej
$Z1, Z2$	oznaczenia źródeł zasilania sieci wodociągowej
i, j	indeksy węzłów sieci wodociągowej
k, l	indeksy odcinków obliczeniowych przewodów sieci wodociągowej
H_w	wysokość ciśnienia w węźle [m]



Niezwykle ważne informacje, które zapobiegą powstaniu błędów w obliczeniach, często trudnego do zlokalizowania



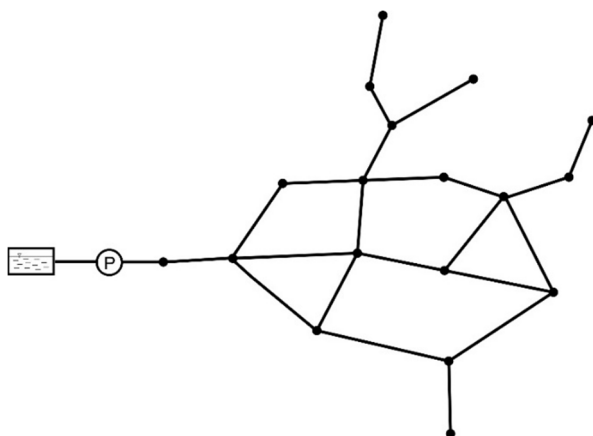
Istotne informacje, na które należy zwrócić uwagę, pozwolą zaoszczędzić wiele czasu lub ułatwią pracę z modelem

3. PODSTAWY MODELOWANIA NUMERYCZNEGO SYSTEMÓW DYSTRYBUCJI WODY

Technikę komputerową stosuje się od wielu lat w obliczeniach systemów dystrybucji wody, przede wszystkim z powodu znacznej ich złożoności oraz wzrostu wymagań dotyczących jakości i czasu realizacji opracowań projektowych. Pierwsze programy komputerowe pojawiły się w II połowie XX wieku (Adams, 1961; Epp i Fowler, 1970; Hoag i Weinberg, 1957; Ormsbee, 2006). Od tamtego czasu nastąpił widoczny postęp w możliwościach technicznych i udogodnieniach, jakie posiadają najnowsze programy do obliczeń systemów dystrybucji wody (Rossman, 2000), które coraz częściej korzystają z możliwości GIS (Kwietniewski, 2013; Shamshi, 2005; Taher i Labadie, 1996) oraz CAD (Walski i inni, 2003). Nie zmienia to jednak faktu, że poprawne wykonanie obliczeń wymaga dobrej znajomości zagadnień teoretycznych, będących podstawą algorytmów wykorzystywanych w programach obliczeniowych, wnikliwej oceny uzyskanych wyników oraz poprawności zastosowanych rozwiązań technicznych. Aktualnie bardzo popularnym programem do obliczeń systemów dystrybucji jest EPANET (Rossman, 2000).

3.1. ODWZOROWANIE STRUKTURY SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY NA POTRZEBY OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Najprostszym sposobem przedstawienia struktury systemu wodociągowego jest schemat graficzny przedstawiający położenie przewodów wodociągowych, źródeł wody, pompowni, zbiorników sieciowych oraz innych obiektów (Rys. 1). Niestety metoda powyższa nie nadaje się do reprezentacji struktury systemu wodociągowego w obliczeniach numerycznych.



Rys. 1. Odwzorowanie struktury systemu wodociągowego za pomocą schematu

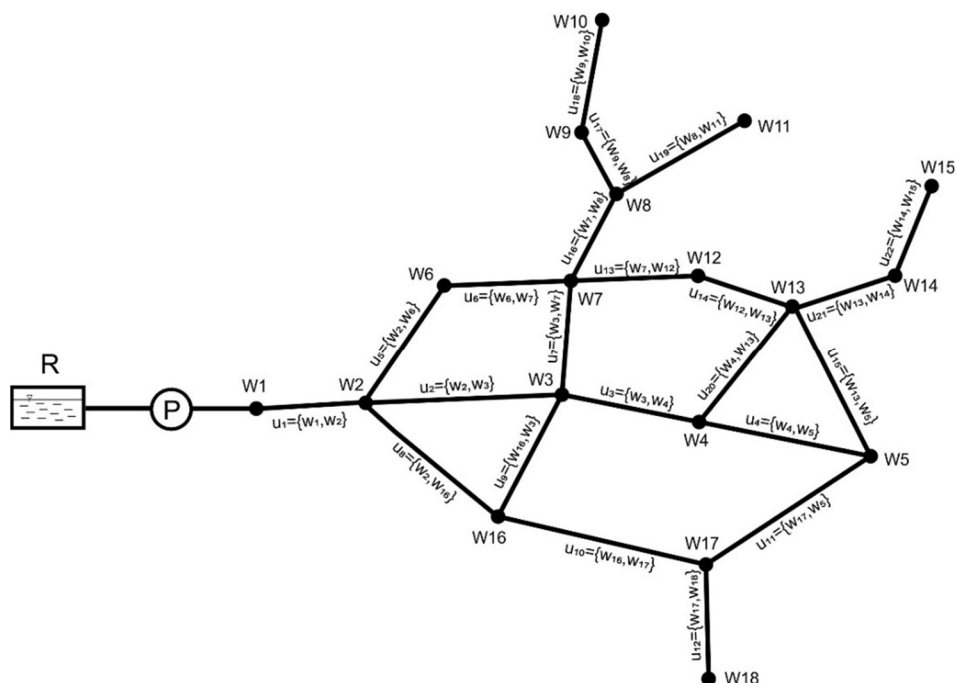
Obliczenia numeryczne systemów dystrybucji wody, wymagają odwzorowania geometrycznej budowy sieci w pamięci operacyjnej komputera. W tym celu powszechnie wykorzystuje się teorię grafów (Deo, 2017; Boulos, 1991; Chandarshekar i Kesavan, 1972). System dystrybucji wody rozumiany jest jako zbiór łuków grafu odpowiadających przewodom sieci wodociągowej oraz innym elementom opisanym za pomocą obiektu liniowego, np. w programie EPANET pompowni wodociągowych, zaworów regulacyjnych oraz węzłów grafu opisujących zakończenia i połączenia obiektów liniowych. Węzły w modelu mogą pełnić rolę punktów poboru lub magazynowania wody. Graf pozwala odtworzyć strukturę sieci wodociągowej w sposób umożliwiający wykonywanie na nich operacji numerycznych (Rys. 2).

Graf G jest określony w następujący sposób:

- graf jest zbiorem G składającym się z dwóch podzbiorów W i U

$$G = \{W, U\}$$

- $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ jest skończonym podzbiorem wszystkich węzłów grafu $w_1, \dots, w_n$
- $U = \{u_l = \langle w_i, w_j \rangle, l = 1, \dots, m\}$ jest skończonym podzbiorem zawierającym pary $\langle w_i, w_j \rangle$ wszystkich łuków u_l łączących węzły grafu.



Rys. 2. Odzworowanie struktury systemu wodociągowego za pomocą grafu

W związku z powyższym zbiór danych do obliczeń hydraulicznych i uzyskanych wyników, składa się z dwóch tabel zawierających informacje na temat obiektów węzłowych i liniowych. Węzły grafu odpowiadają węzłom sieci wodociągowej (*Junctions*), źródłom zasilania w wodę (*Reservoirs*) i zbiornikom (*Tanks*), a łuki grafu przewodom (*Pipes*), pompowniom wodociągowym (*Pumps*) lub zaworom regulacyjnym (*Valves*). Węzły są najczęściej identyfikowane przez przyporządkowane im numery lub nazwy, obiekty liniowe opisane są identyfikatorami dwóch ograniczających je węzłów.

3.2. MATEMATYCZNY MODEL SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY

Na potrzeby analizy hydraulicznej systemu dystrybucji wody opisywane są za pomocą modelu matematycznego w postaci układu równań nieliniowych, wynikającego z dwóch podstawowych praw hydrauliki: bilansu masy w węzłach oraz równowagi energii w pierścieniach (Bhave i Gupta, 2006; Lansey i Mays, 2000).

Obliczenia hydrauliczne sieci wodociągowych prowadzi się przy następujących założeniach:

- pobory w punktach podłączeń zastępuje się poborami skupionymi w węzłach sieci,
- dla określonych warunków rozbioru wody sieć pracuje w warunkach ustalonych.

Warunki ustalone obliczeń hydraulicznych systemów dystrybucji wody polegają na następujących założeniach:

- natężenie przepływu na odcinku obliczeniowym pomiędzy węzłami ograniczającymi jest stałe,
- średnia prędkość przepływu na odcinku obliczeniowym jest stała,
- nie zmienia się średnica przewodu wodociągowego na odcinku obliczeniowym,
- stała jest wartość współczynnika chropowatości na odcinku obliczeniowym.

Prawa bilansu masy w węzłach oraz równowagi energii w pierścieniach, będące podstawą modelowania systemów dystrybucji wody, przedstawiają się następująco:

- **I prawo**, tzw. warunek ciągłości w węzłach sieci, mówi że algebraiczna suma natężenia dopływów i odpływów oraz poborów wody dla każdego węzła jest równa zeru, czyli:

$$\sum_{u_l \in ZW_i} Q_i + q_w = 0 \quad (1)$$

- **II prawo** mówi, że algebraiczna suma strat ciśnienia w każdym zamkniętym pierścieniu jest równa zeru; zakłada się, że znak dodatni przyjmują straty hydrauliczne na odcinkach, w których kierunek przepływu jest zgodny z przyjętym kierunkiem obiegu w pierścieniu, znak ujemny przy przeciwnym kierunku przepływu:

$$\sum_{u_l \in ZP_c} \Delta h = 0 \quad (2)$$

gdzie: Δh oznacza wysokość strat ciśnienia w rurociągu u_l należącym do danego pierścienia ZP_c .

Model matematyczny systemu dystrybucji wody o strukturze pierścieniowej jest układem równań nieliniowych, który składa się z (Biedugnis, 1998):

- N_w – l równań dla węzłów, wynikających z warunków ciągłości w węzłach,
- N_c równań dla pierścieni, wynikających z warunków równowagi w pierścieniach.

Z praw bilansu masy w węzłach oraz równowagi energii w pierścieniach wynikają dwa dodatkowe warunki równowagi występujące w sieciach wodociągowych:

- **warunek równości zasilania i poboru** mówi, że algebraiczna suma wszystkich rozbiorów węzłowych q_w sieci oraz natężenia dopływu ze wszystkich źródeł zasilania równa się zeru, przy założeniu, że dopływy do sieci uwzględniane są ze znakiem minus:

$$\sum q_w + \sum Q_z = 0 \quad (3)$$

- **warunek współdziałania źródeł zasilania** polega na tym, że różnica rzędnych linii ciśnienia dwu źródeł zasilania Δh_{Z1-Z2} równa się sumie spadków ciśnienia w przewodach sieci wchodzących w skład dowolnej drogi łączącej te źródła:

$$\Delta h_{Z1-Z2} - \sum_{Z1}^{Z2} \Delta h = 0 \quad (4)$$

W równaniu (4) spadek wysokości ciśnienia Δh dla poszczególnych odcinków drogi od Z1 do Z2 przyjmuje znak {+}, jeżeli przepływ w przewodzie u_i odbywa się w kierunku zgodnym lub {-}, gdy w kierunku przeciwnym do kierunku od Z1 do Z2. Przyjmuje się, że w źródle Z1 występuje wyższa rzędna linii ciśnienia niż w źródle Z2.

Znanych jest wiele metod obliczania układu równań opisującego wielopierścieniowe systemy dystrybucji wody. Proces obliczeniowy określany jako hydrauliczne równoważenie sieci (ang. *hydraulically balancing*) polega na iteracyjnym poszukiwaniu rozwiązania spełniającego prawa równowagi dla węzłów i pierścieni sieci. Do jednej z najważniejszych metod należy pierwsza opracowana przez Hardy Cross'a w 1936 r. (Cross, 1936). Kolejne prace przyniosły metody: gradientową (Todini i Pilati, 1987), hybrydową (Hamam i Brameller, 1971) oraz określaną jako „Newton Loop-Node Method” (Osiadacz, 1987). W programie EPANET została zastosowana metoda gradientowa Todini'ego.

3.3. RODZAJE OBLICZEŃ SYSTEMÓW DYSTRYBUCJI WODY

W programie EPANET symulacje komputerowe mogą być prowadzone na dwa sposoby: dla jednego wybranego przedziału czasu, czyli tzw. analiza jednookresowa (ang. *Single Period Analysis*) oraz w dłuższym okresie czasu (ang. *Extended Period Analysis*).

Analiza jednookresowa prowadzona jest najczęściej dla warunków funkcjonowania systemu dystrybucji wody, które są podstawą wymiarowania średnic przewodów wodociągowych, czyli godziny maksymalnych rozbiorów wody. Mogą to być również inne warunki rozbioru, np. dla maksymalnego tranzytu wody do zbiornika, dla minimalnych rozbiorów wody. W związku z powyższym wartości rozbiorów wody w węzłach powinny odpowiadać obliczeniowym dla analizowanych warunków, gdyż nie są one korygowane przez mnożnik z histogramu poboru wody w jednostce osadniczej.

Symulacje w dłuższym okresie czasu (ang. *Extended Period Analysis*) odbywają się najczęściej dla jednej doby przy zmieniających się rozbiorach wody w węzłach, parametrach pracy pompowni lub zaworów regulacyjnych oraz z uwzględnieniem napełniania się lub opróżniania z wody zbiorników. W przypadku analizy współpracy zbiornika z siecią wodociagową korzystniejsze są dłuższe symulacje niż jedna doba. Kroki czasowe używane podczas rozszerzonej symulacji czasowej mogą być ustawiane przez użytkownika, ale typową długością kroku jest jedna godzina.

4. PODSTAWOWE INFORMACJE O PROGRAMIE EPANET

Program komputerowy do symulowania systemów dystrybucji wody EPANET dostępny jest na stronie internetowej U.S. Environmental Protection Agency (EPA) pod adresem <https://www.epa.gov/water-research/epanet>. EPANET to oprogramowanie bezpłatne, które może być swobodnie kopiowane i rozpowszechniane.

Program EPANET przeznaczony jest do pracy w środowisku Windows. Instrukcja do programu znajduje się na stronie internetowej EPA, w której można znaleźć informacje na temat instalowania, uruchamiania, budowy modelu oraz przeprowadzania symulacji systemów dystrybucji wody (Rossman, 2000). Program EPANET pozwala pracować jednocześnie nad jednym modelem systemu dystrybucji wody.



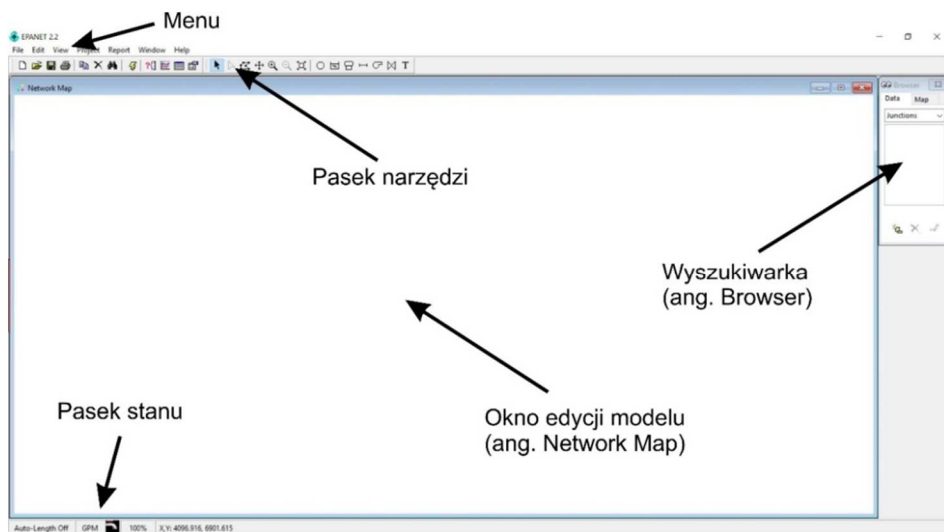
W programie EPANET jako separatora do oddzielenia części całkowitej od części ułamkowej w zapisie liczby używamy **kropki**, a nie przecinka.

4.1. PROGRAM EPANET PO URUCHOMIENIU

Po uruchomieniu programu EPANET na ekranie pokazują się następujące elementy (Rys. 3):

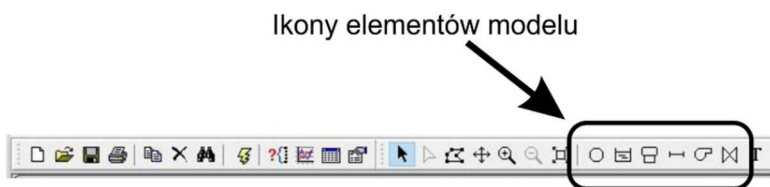
- na samej górze pasek z nazwą i wersją programu z lewej strony (np. EPANET 2.2) oraz z ikonami zamknięcia, minimalizacji i maksymalizacji okna z prawej strony ekranu,
- pasek menu zawierający system rozwijanych opcji, umożliwiający dostęp do większości funkcji programu,
- pasek narzędzi zawierający ikony powiązane z najczęściej wykorzystywanymi funkcjami programu (Rys. 4),
- obszar roboczy z dwoma oknami:
 - **Network Map** – główne okno edycji modelu, umożliwiające tworzenie projektu i przeglądanie danych obiektów składających się na model sieci,
 - **Browser** – okno składające się dwóch zakładek:

- **Data** – umożliwia wybór i przeglądanie poszczególnych obiektów modelu (Rys. 5a),
- **Map** – pozwala na przeglądanie wyników obliczeń w oknie **Network Map** wyświetlanych obok poszczególnych obiektów modelu. Ponadto poszczególne obiekty modelu mogą być oznaczone za pomocą kolorów w zależności od zdefiniowanych przedziałów wartości i odpowiadających im kolorów (Rys. 5b).
- pasek stanu – zawierający informacje o metodzie wstawiania długości obiektów liniowych modelu, przyjętych jednostkach przepływu oraz aktualnego stanu symulacji.

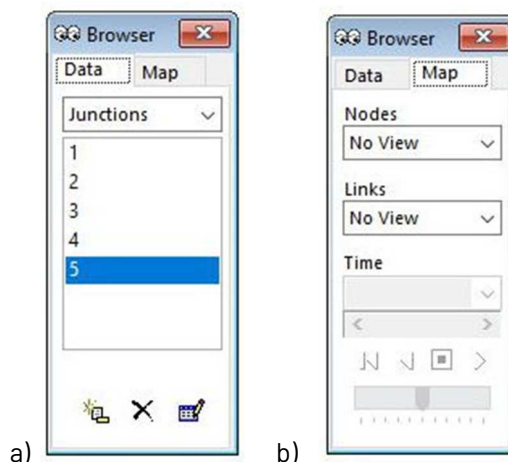


Rys. 3. Widok programu EPANET po uruchomieniu

Na pasku narzędzi (Rys. 4) znajdują się ikony obiektów modelu numerycznego, które nie są dostępne poprzez menu programu.



Rys. 4. Pasek narzędzi z zaznaczonymi ikonami obiektów modelu programu EPANET



Rys. 5. Okno **Browser** umożliwiające wyszukiwanie obiektów modelu i wyświetlanie wyników na mapie: a) zakładka Data; b) zakładka Map

4.2. OBIEKTY MODELU W PROGRAMIE EPANET

Obiekty fizyczne modelu w programie wstawiane są na mapę modelu (ang. *Network Map*) za pomocą następujących ikon na pasku narzędzi:



nodes, pipe junctions (węzły, złącza), punkty w sieci łączące obiekty liniowe, którymi mogą być przewody wodociągowe, pompownie lub zawory regulacyjne, w węzłach skupione są pobory wody przez użytkowników systemu dystrybucji wody (*BaseDemand*),



reservoirs (źródła wody), obiekty dostarczające nieograniczoną ilość wody do sieci wodociągowej,



tanks (zbiorniki retencyjno-wyrównawcze), posiadające wewnętrzną pojemność, napełniające się przy wydajności pompowni większej niż rozbiory w węzłach; oddają one wodę do sieci przy rozbiorach w węzłach większych niż dostawa z pompowni, podczas pracy zmienia się również poziom wody w zbiorniku,



pipes (przewody wodociągowe), elementy służące do rozprowadzania wody po obszarze zaopatrywanym w wodę,



pumps (pompy),



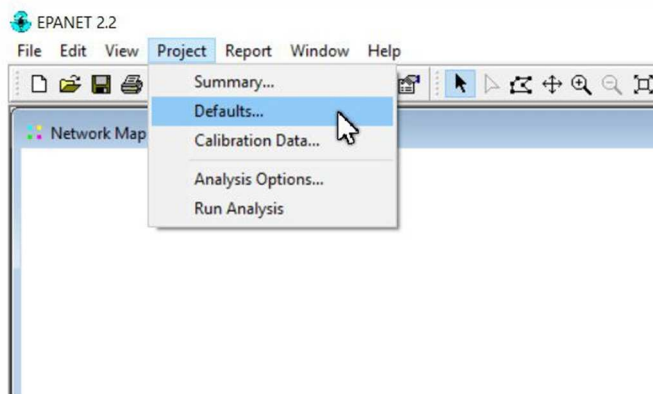
valves (zawory regulacyjne), w programie wyróżnia się kilka rodzajów zaworów regulacyjnych; należy zaznaczyć, że opcja powyższa nie służy do wstawiania zasuw sieciowych służących do zamykania przewodów wodociągowych, jak również zaworów zwrotnych, które są uwzględnione we właściwościach przewodów wodociągowych.

4.3. USTALENIE JEDNOSTEK MIAR I PARAMETRÓW DOMYŚLNYCH DO OBLICZEŃ

Pracę nad nowym projektem należy rozpocząć od ustalenia jednostek miar, wzoru wykorzystywanego do obliczania liniowych strat ciśnienia oraz wartości domyślnych parametrów obiektów modelu.

Ustalenia jednostek miar dokonujemy wykonując następujące kroki:

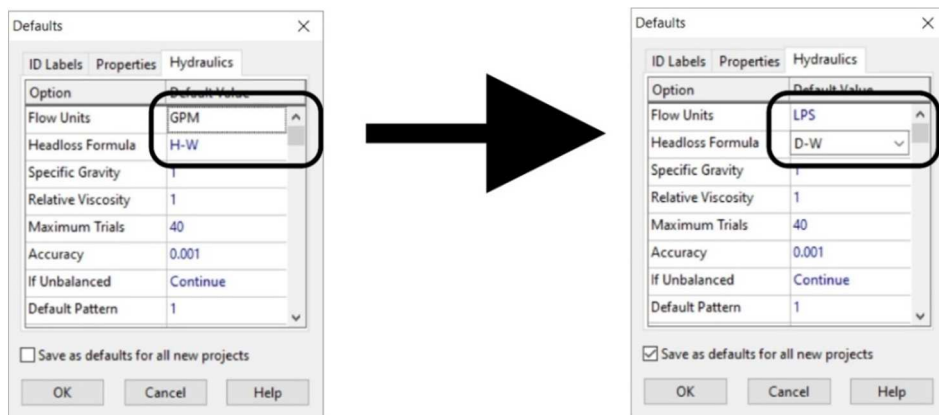
1. Wybieramy w menu programu [Project >> Defaults...](#) (Rys. 6):



Rys. 6. Wybór opcji [Project >> Defaults....](#)

2. Po wybraniu opcji menu [Defaults](#) wyświetla się okno z trzema zakładkami:
 - **ID Label** – nadawanie przedrostków identyfikatorom obiektów modelu,
 - **Properties** – przypisywanie wartości domyślnych parametrom obiektów modelu,
 - **Hydraulics** – ustalanie m.in. jednostek miar i wzoru do obliczeń liniowych strat ciśnienia.

3. W oknie **Defaults** wybieramy zakładkę **Hydraulics**, a następnie opcję **Flow Units** zmieniamy na LPS oraz **Headloss Formula** na D-W (wzór Darcy-Weisbacha) (Rys. 7).



Rys. 7. Ustawienie jednostek miar i wzoru do obliczania liniowych strat ciśnienia



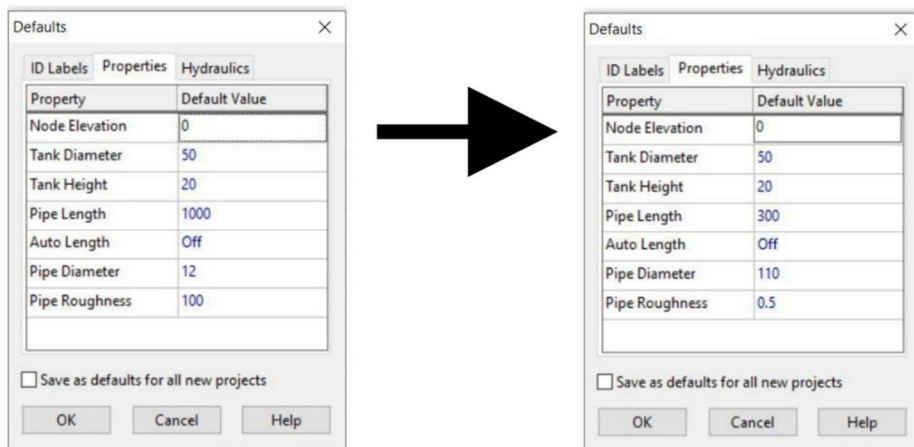
Domyślnie w programie EPANET ustawione są amerykańskie jednostki miar, czyli natężenie przepływu wyrażone jest w galonach na minutę (GPM – *gallon per minute*), długość w stopach (ft), średnica przewodu wodociągowego w calach (in), ciśnienie w funtach na cal kwadratowy (psi). Zmieniając jednostkę natężenia przepływu na litry na sekundę (LPS – *liter per second*), zmieniają się wszystkie pozostałe jednostki na metryczne, tzn. poszczególne zmienne wyrażone są za pomocą następujących jednostek: ciśnienie – msw (metry słupa wody), średnica – mm, długość – m, wysokość – m(n.p.m.).



W programie EPANET dostępne są trzy wzory do obliczeń liniowych strat ciśnienia. W niniejszym skrypcie wzorem stosowanym do obliczeń jest wzór Darcy-Weisbacha.

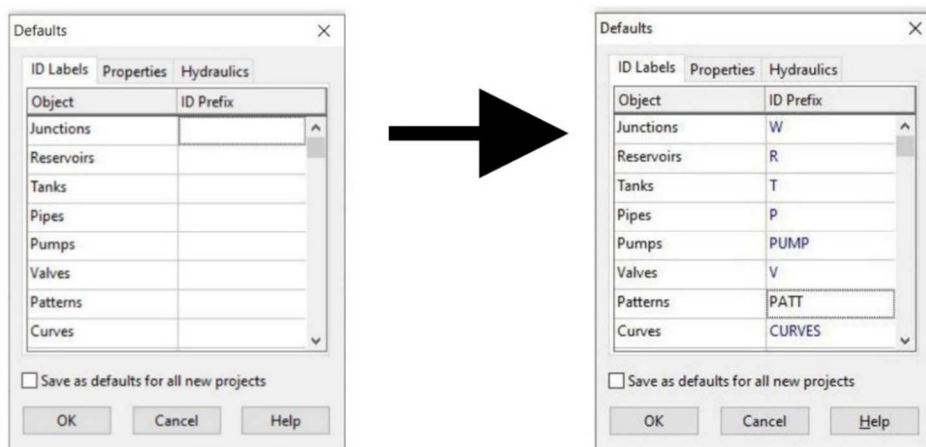
Po zmianie jednostek miar na metryczne korzystnie jest zmodyfikować wartości parametrów domyślnych. Parametry wyjściowe dostosowane są do jednostek amerykańskich. Przykładowo, domyślna średnica przewodu wodociągowego w wersji amerykańskiej wynosi 12 cali. Po zmianie jednostek na metryczne program będzie odczytywał tę wartość jako średnicę 12 mm, co z pewnością będzie skutkowało błędami w obliczeniach. Korzystnie jest wstawić domyślną wartość średnicy, np. 110 mm. Bardzo ważna jest również zmiana chropowatości przewodu, jeśli obliczenia będziemy prowadzić za pomocą wzoru Darcy-Weisbacha. Zmiany parametrów domy-

ślnych dokonujemy w ustawieniach **Project >> Defaults** w zakładce **Properties** (Rys. 8).



Rys. 8. Ustawienie parametrów domyślnych obiektów modelu

Program EPANET po zainstalowaniu stosuje identyfikatory numeryczne, jednak oznaczenia obiektów modelu mogą być alfanumeryczne. Dobrą praktyką jest stosowanie identyfikatorów, które swoją nazwą określają rodzaj obiektu. Dzięki temu model staje się bardziej czytelny. W ustawieniach projektu **Project >> Defaults** w zakładce **ID Labels** można zdefiniować jakie przedrostki będą stosowane dla poszczególnych rodzajów elementów (Rys. 9).



Rys. 9. Ustawienie przedrostków identyfikatorów obiektów modelu

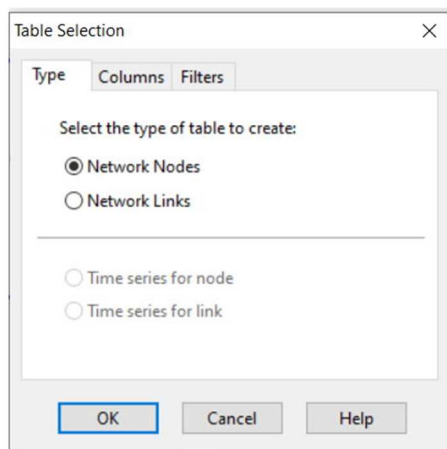
4.4. CZYNNOŚCI POWTARZALNE I UŁATWIAJĄCE PRACĘ Z MODELEM

4.4.1. Zapisywanie wyników obliczeń za pomocą funkcji [Edit >> Copy To...](#)

Wyniki obliczeń w programie EPANET nie są automatycznie zapisywane w dedykowanych plikach. Po wykonaniu symulacji przed sporządzeniem tabel należy zdefiniować formę i zakres wyników, które chcemy zapisać.

Wyniki mogą być zapisywane dla całej sieci oddzielnie dla węzłów i obiektów liniowych, m.in. przewodów wodociągowych, ale dla wybranego kroku czasowego. Inną formą jest zapisywanie wyników dla jednego wybranego obiektu dla wszystkich kroków czasowych. Pozwala to przeanalizować pracę obiektu w ciągu całego okresu symulacji, najczęściej doby.

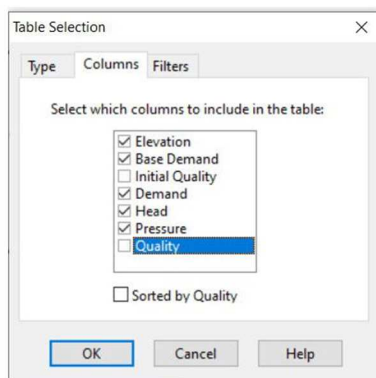
Sporządzenie tabelarycznych zestawień wyników rozpoczyna się od wybrania opcji menu [Raport >> Table](#) lub ikony na pasku narzędzi . Powoduje to wyświetlenie okna (Rys. 10).



Rys. 10. Okno wyboru typu i zakresu tabeli z wynikami

W zakładce [Type](#) okna [Table Selection](#) w górnej części okna wybieramy, czy chcemy wykonać tabelę dla węzłów, czy dla obiektów liniowych. W dolnej części okna możemy wykonać tabelę dla jednego obiektu, ale dla całego czasu symulacji. Opcja ta jest aktywna, jeśli zostały zrealizowane symulacje w dłuższym okresie czasu.

W zakładce [Columns](#) okna [Table Selection](#) określamy, które parametry wyników powinny znaleźć się w zestawieniu tabelarycznym (Rys. 11).

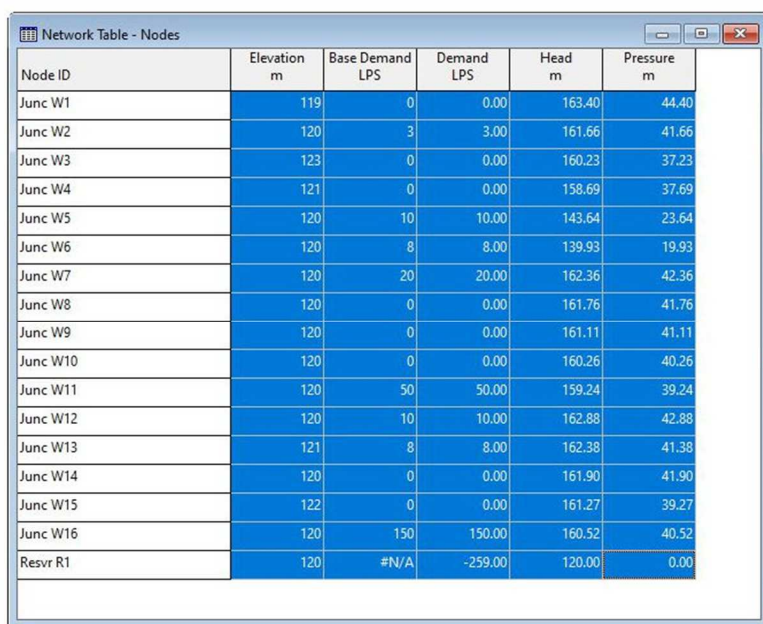


Rys. 11. Wybór kolumn w tabeli wyników

Po zaakceptowaniu typu tabeli i wykazu kolumn, ukazuje się okno z wynikami obliczeń (Rys. 12). Wyniki zamieszczone w tabeli zapisuje się za pomocą kopiowania do schowka lub pliku tekstowego. Zostają skopiowane komórki tabeli zaznaczone na niebiesko, stąd chcąc zapisać cały arkusz z wynikami należy kliknąć myszką na komórkę z napisem **Node ID** lub w przypadku obiektów liniowych – **Link ID**. Powoduje to zaznaczenie całej tabeli z wynikami (Rys. 13).

Network Table - Nodes					
Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc W1	119	0	0.00	163.40	44.40
Junc W2	120	3	3.00	161.66	41.66
Junc W3	123	0	0.00	160.23	37.23
Junc W4	121	0	0.00	158.69	37.69
Junc W5	120	10	10.00	143.64	23.64
Junc W6	120	8	8.00	139.93	19.93
Junc W7	120	20	20.00	162.36	42.36
Junc W8	120	0	0.00	161.76	41.76
Junc W9	120	0	0.00	161.11	41.11
Junc W10	120	0	0.00	160.26	40.26
Junc W11	120	50	50.00	159.24	39.24
Junc W12	120	10	10.00	162.88	42.88
Junc W13	121	8	8.00	162.38	41.38
Junc W14	120	0	0.00	161.90	41.90
Junc W15	122	0	0.00	161.27	39.27
Junc W16	120	150	150.00	160.52	40.52
Resvr R1	120	#N/A	-259.00	120.00	0.00

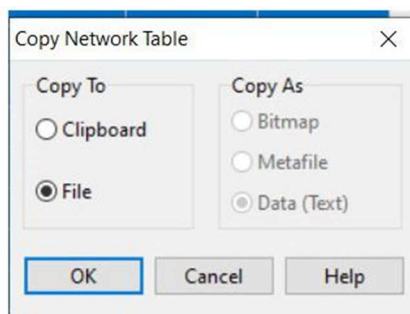
Rys. 12. Tabela z arkuszem wyników dla węzłów



Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc W1	119	0	0.00	163.40	44.40
Junc W2	120	3	3.00	161.66	41.66
Junc W3	123	0	0.00	160.23	37.23
Junc W4	121	0	0.00	158.69	37.69
Junc W5	120	10	10.00	143.64	23.64
Junc W6	120	8	8.00	139.93	19.93
Junc W7	120	20	20.00	162.36	42.36
Junc W8	120	0	0.00	161.76	41.76
Junc W9	120	0	0.00	161.11	41.11
Junc W10	120	0	0.00	160.26	40.26
Junc W11	120	50	50.00	159.24	39.24
Junc W12	120	10	10.00	162.88	42.88
Junc W13	121	8	8.00	162.38	41.38
Junc W14	120	0	0.00	161.90	41.90
Junc W15	122	0	0.00	161.27	39.27
Junc W16	120	150	150.00	160.52	40.52
Resvr R1	120	#N/A	-259.00	120.00	0.00

Rys. 13. Tabela z zaznaczonym wszystkimi komórkami arkusza do skopiowania

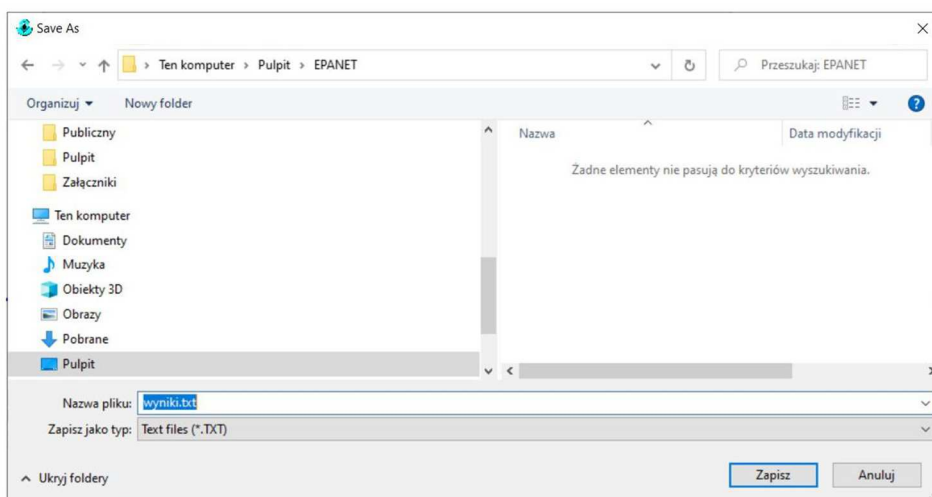
Po zaznaczeniu komórek do skopiowania w tabeli wyników należy wybrać w menu opcję **Edit >> Copy To...**, co powoduje otwarcie okna wyboru miejsca, w którym mają być umieszczone komórki (Rys. 14).



Rys. 14. Wybór miejsca docelowego kopiowania wyników z tabeli

Jeśli wybierzemy plik tekstowy na dysku, otwiera się standardowe okno Windows do zapisywania plików (Rys. 15).

Zakładka **Filters** okna **Table Selection** pozwala zdefiniować wiersze w tabeli wyników według kryteriów, które muszą spełniać wybrane zmienne wyjściowe.

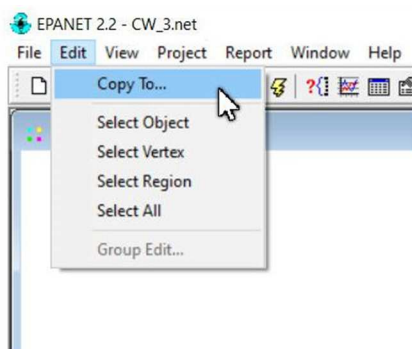


Rys. 15. Okno Windows do zapisywania plików na dysku

W przypadku tworzenia tabeli dla obiektów liniowych postępujemy analogicznie jak dla węzłów.

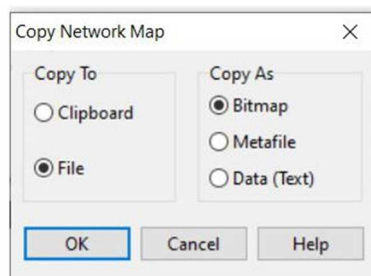
4.4.2. Zapisywanie rysunków za pomocą funkcji **Edit >> Copy To...**

Schematy z okna **Network Map**, jak i wszystkie wykresy sporządzone jako wyniki mogą być zapisywane w schowku lub w pliku graficznym na dysku. W EPANET dostępne są dwa typy plików: Bitmap i Metafile. Okno z którego chcemy zapisać rysunek musi być aktywne. Następnie wybieramy opcję menu **Edit >> Copy To...** (Rys. 16).



Rys. 16. Wybór opcji **Edit => Copy To...** do zapisywania wyników obliczeń

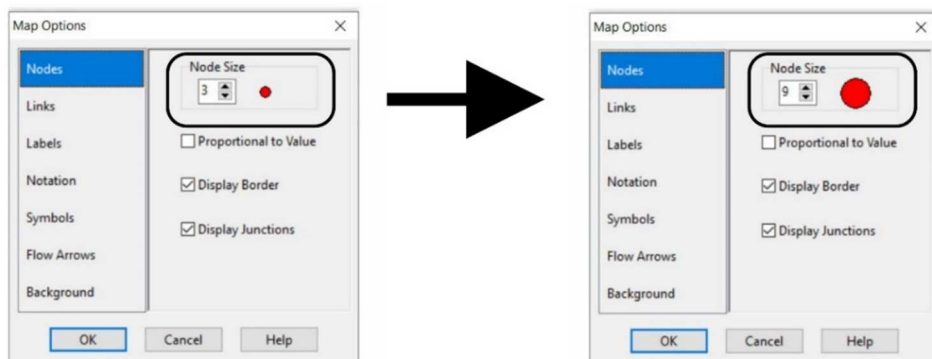
Powoduje to otwarcie okna do wyboru miejsca, w którym rysunek ma być zachowany oraz formatu pliku (Rys. 17). W przypadku wyboru pliku, otwiera się standardowe okno Windows do zapisywania plików.



Rys. 17. Wybór opcji zapisu pliku graficznego

4.4.3. Zmiana parametrów wyświetlania mapy

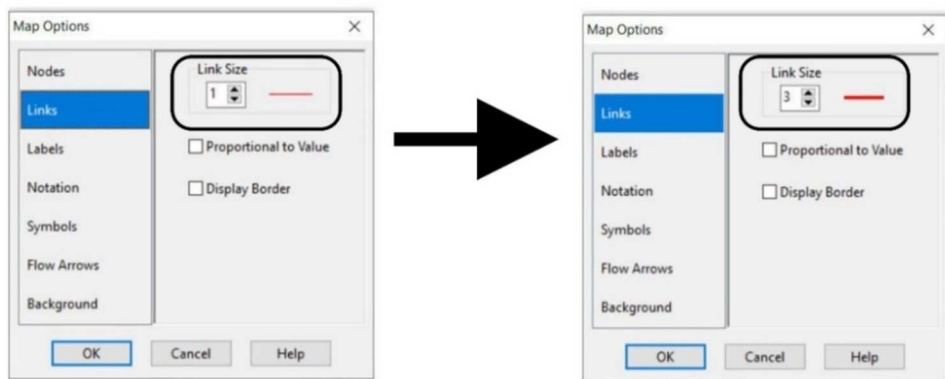
W celu łatwiejszego operowania obiektami w oknie **Network Map** za pomocą opcji wyświetlania mapy (**Map Options**) powiększamy węzły. W tym celu wybieramy opcję menu **View >> Options...** i zakładkę **Nodes**. Zwiększamy wielkość wyświetlanych obiektów węzłowych (Rys. 18).



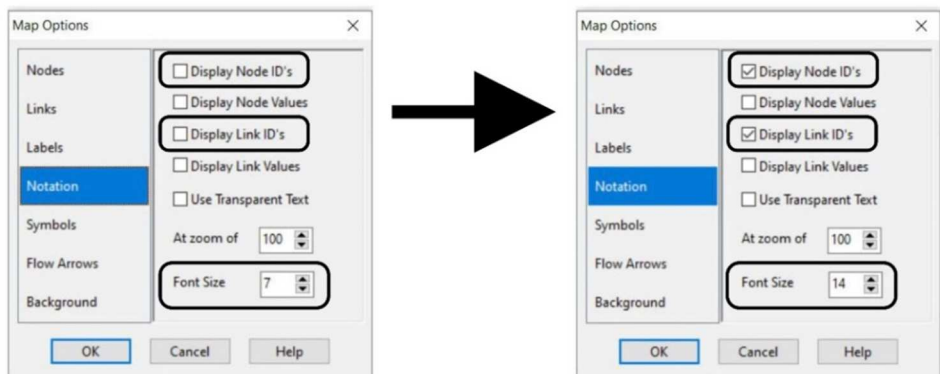
Rys. 18. Zwiększanie wielkości węzła w opcjach wyświetlania mapy

Następnie w oknie **Map Options** wybieramy zakładkę **Links** i zwiększamy grubość wyświetlanych obiektów liniowych (Rys. 19).

Z kolei po wybraniu zakładki **Notation** wybieramy opcje wyświetlania identyfikatorów węzłów i połączeń oraz zwiększamy czcionkę wyświetlanych identyfikatorów (Rys. 20).



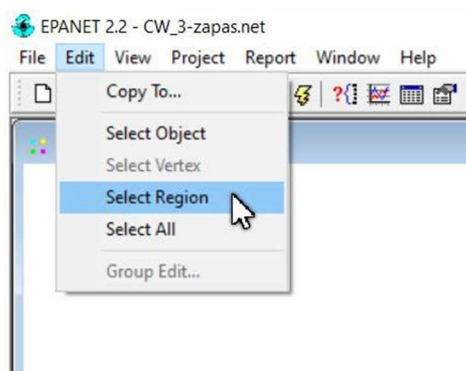
Rys. 19. Zwiększanie grubości obiektów liniowych w opcjach wyświetlania mapy



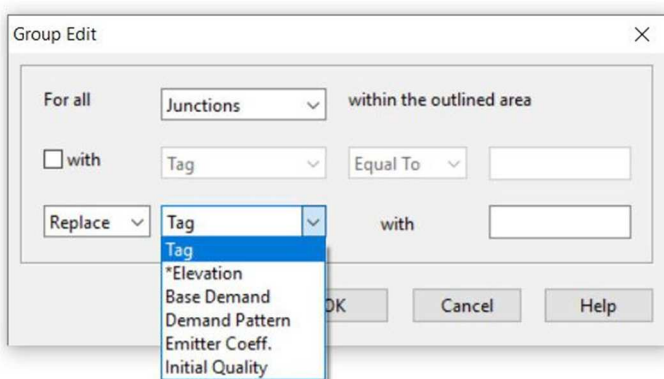
Rys. 20. Opcje wyświetlania identyfikatorów węzłów i połączeń oraz zwiększenie czcionki wyświetlanych identyfikatorów

4.4.4. Edycja parametrów zaznaczonej grupy obiektów

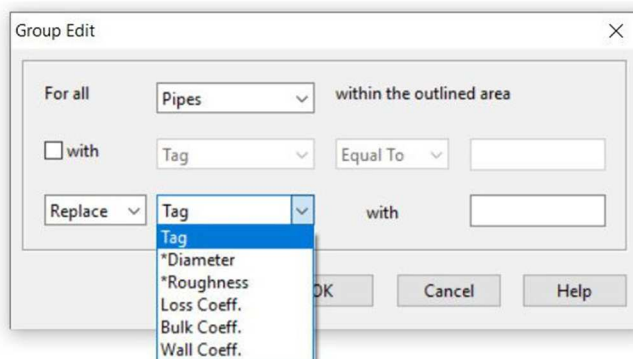
W przypadku, gdy chcemy zmienić takie same parametry wejściowe w większej liczbie tego samego typu obiektów, możemy skorzystać z funkcji edycji grupowej. Istnieje możliwość zaznaczenia całego widocznego w oknie [Network Map](#) obszaru: [Select All](#) lub części: [Select Region](#) (Rys. 21). Po wybraniu obszaru uaktywnia się opcja [Group Edit ...](#), która otwiera okno, gdzie możemy dokonać zmian parametrów dla większej liczby węzłów (Rys. 22) oraz obiektów liniowych (Rys. 23).



Rys. 21. Opcja wyboru obszaru do wspólnej edycji obiektów



Rys. 22. Wybór parametru do wspólnej edycji dla zaznaczonych węzłów



Rys. 23. Wybór parametru do wspólnej edycji dla zaznaczonych przewodów

5. ZESTAW ĆWICZEŃ W PROGRAMIE EPANET

5.1. WSTAWIANIE OBIEKTÓW I UZUPEŁNIANIE PARAMETRÓW MODELU SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY

5.1.1. Wprowadzenie do ćwiczenia

Pierwsze ćwiczenie ma charakter elementarny dla początkujących użytkowników programu EPANET. Budowa modelu rozpoczyna się od umieszczenia w oknie [Network Map](#) wymaganych obiektów. Model składa się elementów węzłowych oraz liniowych. W pierwszej kolejności wstawiamy obiekty węzłowe, gdyż obiekty liniowe są zawsze ograniczone dwoma elementami węzłowymi. Kolejnym krokiem jest uzupełnianie odpowiednich wartości parametrów w poszczególnych obiektach. Zostanie utworzona przykładowa sieć wodociągowa wykorzystywana w kolejnych ćwiczeniach.

5.1.2. Realizacja ćwiczenia

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące kroki:

1. Ustawianie sposobu wyświetlania obiektów i identyfikatorów modelu

Sposób wyświetlania obiektów na mapie oraz identyfikatorów ustawiamy według metodyki opisanej w rozdziale 4.4.3.

2. Wstawianie źródła zasilania w wodę

W tym celu klikamy ikonę na pasku narzędzi [Reservoir](#) (Rys. 24).



Rys. 24. Wstawianie obiektu [Reservoir](#)

Po wybraniu ikony **Reservoir** kursor zmienia się w celownik do wskazania miejsca posadowienia obiektu (Rys. 25).



Rys. 25. Kursor w kształcie celownika do wstawiania obiektów **Reservoir** i **Junction**

Kursorem w kształcie celownika wskazujemy miejsce lokalizacji źródła wody w oknie **Network Map**, a następnie wstawiamy obiekt poprzez pojedyncze kliknięcie lewego przycisku myszki. Należy uważać, aby nie wstawić w jednym miejscu większej liczby obiektów przez kolejne kliknięcia przycisku myszy. Często nakładają się na siebie, co jest trudne do zauważenia w oknie **Network Map**, a nadmiarowe obiekty generują błędy danych.



W programie EPANET nie ma funkcji **Cofnij**. Jeżeli przez przypadek wstawimy zbędne obiekty, należy je skasować. Można je w tym celu zaznaczyć na mapie lub wybrać w oknie **Browser**. Dobrą praktyką jest zapisywanie pliku projektu pod nową nazwą po realizacji kilku kroków zadania, a szczególnie gdy dokonujemy poważniejszej korekty modelu. Wersje projektu mogą być zapisywane jako: Projekt v.1.1, Projekt v.1.2, itd. W przypadku błędu pozwoli to na szybki powrót do poprzedniego etapu przez wczytanie wcześniej zapisanego pliku.



Jeśli chcemy zrezygnować ze wstawiania kolejnych obiektów najwygodniej jest wybrać na pasku narzędzi ikonę **Select Object**.

3. Wstawianie węzłów

W tym celu wybieramy na pasku narzędzi ikonę **Junction** (Rys. 26)



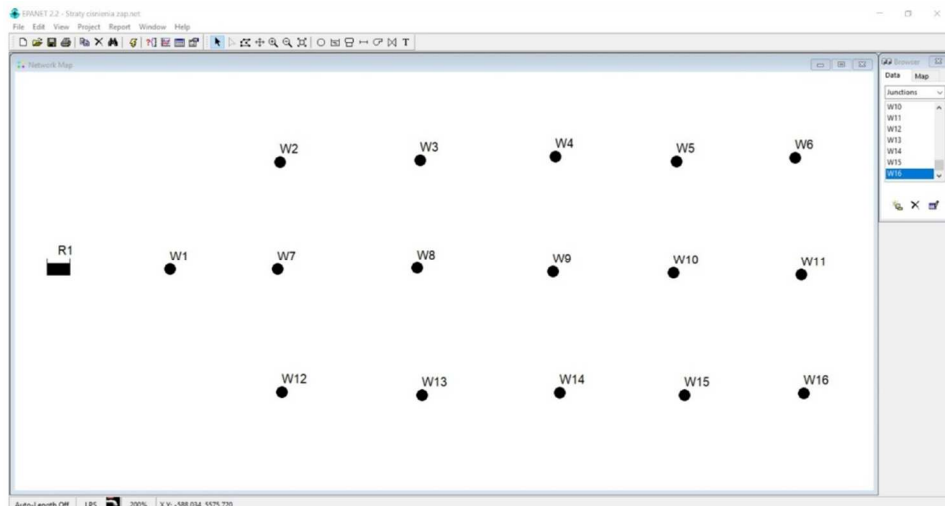
Rys. 26. Wstawianie obiektu **Junction**

Kursorem w kształcie celownika (Rys. 25) wskazujemy miejsca lokalizacji węzłów w oknie **Network Map**. W ćwiczeniu wstawiamy 16 węzłów tworzą-

cych sieć rozgałęzioną z trzema równoległymi trasami przewodów wodociagowych. Jeden początkowy węzeł pełniący rolę rozgałęzienia oraz trzy gałęzie po 5 węzłów. W oknie **Network Map** powinniśmy uzyskać efekt pokazany na rysunku 27.



Jeśli węzeł będzie położony w niewłaściwym miejscu, można go przesunąć zaznaczając przez pojedyncze kliknięcie myszką i przesunięcie przy wciśniętym lewym przycisku myszki.



Rys. 27. Źródło zasilania i węzły przykładowego modelu sieci wodociagowej z ustawionymi opcjami wyświetlania mapy



Numery węzłów i innych obiektów w poszczególnych kategoriach zależą od kolejności wstawiania do modelu.

4. Wstawianie pompowni

W celu wstawienia pompowni klikamy ikonę na pasku narzędzi **Pumps** (Rys. 28).



Rys. 28. Wybór ikony **Pumps** na pasku narzędzi

Kursor zmienia się w krzyż $\oplus$. Wybieramy kursorem węzeł początkowy, którym w naszym przykładzie jest źródło zasilania w wodę **Reservoir**. Następnie kursor zamienia się w ołówek połączony z węzłem początkowym przerywaną linią (Rys. 29). Naprowadzamy ołówek na węzeł docelowy i wstawiamy pompę przez pojedyncze kliknięcie na węźle.

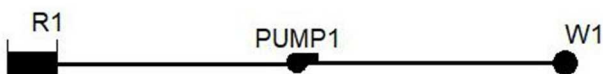


Przy wstawianiu pompowni do modelu należy koniecznie zachować odpowiednią kolejność wybieranych węzłów ograniczających. Pierwszym węzłem musi być zawsze źródło zasilania w wodę lub węzeł sieci połączony ze źródłem.



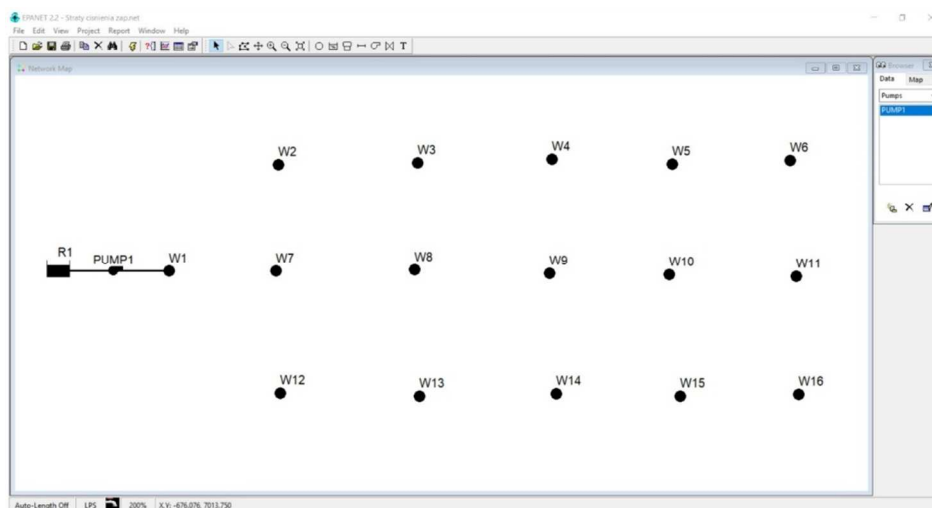
Rys. 29. Wstawianie pompowni do modelu

Wstawiona pompa musi być skierowana wylotem w kierunku pompowania wody w systemie (Rys. 30).



Rys. 30. Wstawiona pompownia pomiędzy źródłem R1 i węzłem W1

Po wstawieniu pompy otrzymujemy schemat sieci (Rys. 31).



Rys. 31. Model sieci z wstawioną pompownią PUMP1 pomiędzy węzłami R1 i W1

5. Wstawianie przewodów wodociągowych

W tym celu klikamy ikonę na pasku narzędzi **Pipe** (Rys. 32)

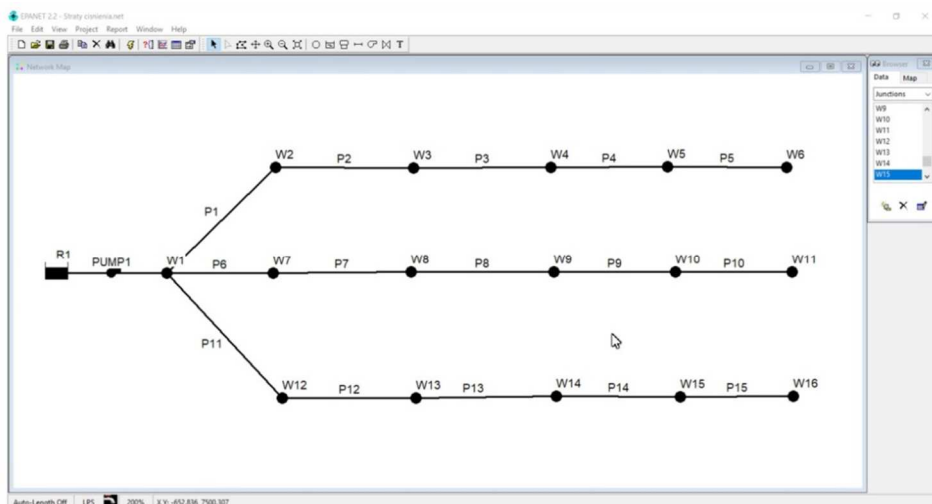


Rys. 32. Wstawianie przewodów wodociągowych

Kursor zmienia się w krzyż $+$, którym wybieramy węzeł początkowy. Następnie kursor zamienia się w ołówek połączony z węzłem początkowym przerywaną linią, identycznie jak przy wstawianiu pompy (Rys. 29). Naprowadzamy ołówek na węzeł docelowy i wstawiamy przewód wodociągowy poprzez pojedyncze kliknięcie na węźle. W przypadku wstawiania przewodów wodociągowych kolejność węzłów jest dowolna. Wyjątkiem są przewody w których przewiduje się zawór zwrotny, w których przepływ może odbywać się wyłącznie od węzła początkowego do końcowego. Wstawiamy przewody wodociągowe, tak aby uzyskać schemat sieci pokazany na rysunku 33.



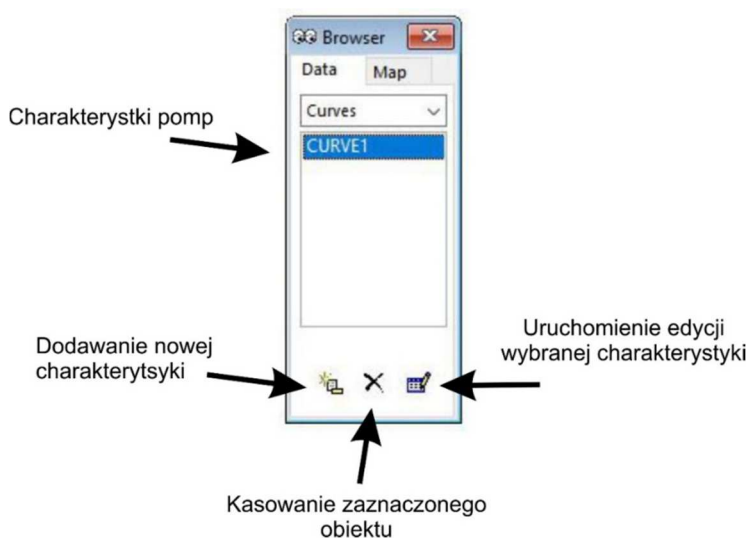
W przypadku wstawiania przewodów wodociągowych kolejność wyboru węzłów jest dowolna. Wyjątkiem są przewody w których przewiduje się zawór zwrotny, w których przepływ może odbywać się wyłącznie od węzła początkowego do końcowego. Zawór zwrotny wstawia się w parametrze „Initial Status” w danych przewodu wodociągowego.



Rys. 33. Schemat przykładowej sieci wodociągowej

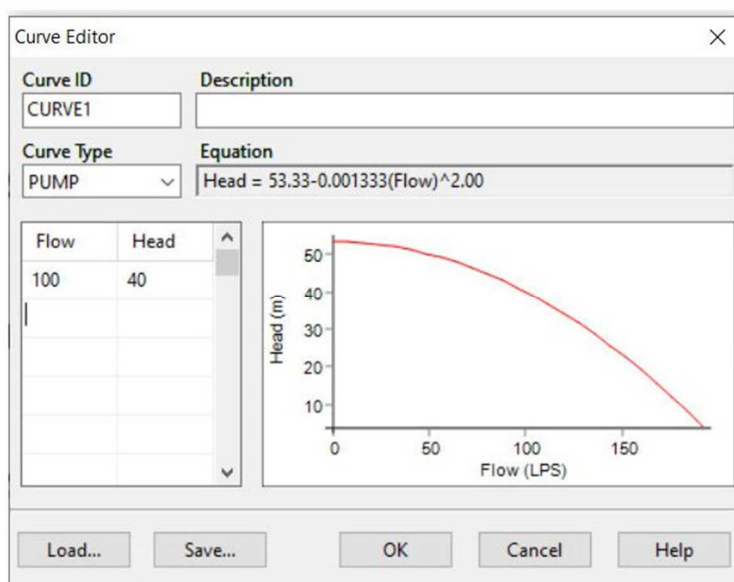
6. Utworzenie charakterystyki pompy

Model pompowni wymaga przypisania charakterystyki pompy, którą należy utworzyć. W tym celu w oknie **Browser** w zakładce **Data** należy wybrać w rozwijanym okienku opcję **Curves** (Rys. 34). Wybieramy w dolnej części okna przycisk dodawania nowych obiektów, w tym przypadku charakterystyki pompy. Spowoduje to wyświetlenie okna edytora charakterystyki pompy (Curve Editor) (Rys. 35).



Rys. 34. Okno **Browser** z wyświetloną zakładką do tworzenia i przeglądania charakterystyk pomp

W edytorze charakterystyki pompy w arkuszu kalkulacyjnym z lewej strony okna wpisujemy wartości wydajności pompy **Flow** oraz wysokości podnoszenia **Head**. Utworzymy charakterystykę na podstawie jednego punktu nominalnego pracy pompy. Punkt ten znajduje się w środkowej części charakterystyki. Po wpisaniu danych do arkusza klikamy myszką na wiersz niżej, co spowoduje wygenerowanie wzoru i wykresu charakterystyki. Jeżeli tych dwóch elementów nie będzie, obliczenia nie zostaną wykonane. Wstępnie wstawiamy **Flow** = 100 l/s, **Head** = 40 m.



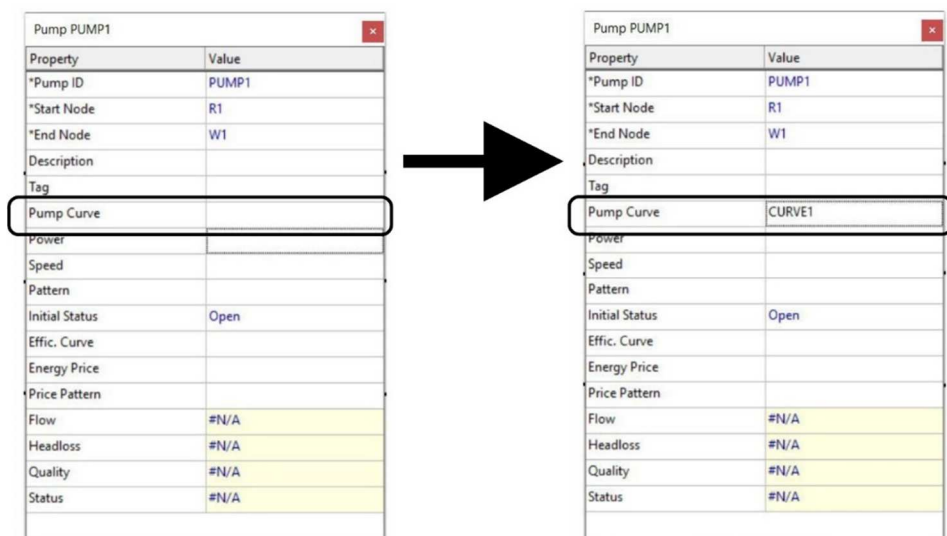
Rys. 35. Edytor charakterystyki pompy

7. Dodawanie charakterystyki pompy do obiektu pompy

Utworzoną charakterystykę pompy „CURVE1” należy przypisać do obiektu pompy. W tym celu otwieramy okno edycji danych pompy. Klikamy dwa razy pompę na schemacie w oknie [Network Map](#). Otworzy się okno edycji parametrów pompy (Rys. 36). Z lewej strony wypisane są nazwy parametrów, z prawej wartości. W pozycji [PumpCurve](#) wpisujemy nazwę utworzonej wcześniej charakterystyki pompy.



Wpisując nazwę charakterystyki pompy należy zachować wielkość liter, np. CURVE1 i Curve1 oznaczają inne charakterystyki.



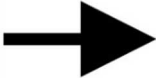
Rys. 36. Edytor danych pompy – wstawiane charakterystyki pompy



W dolnej części okna edytora danych obiektu znajdują się parametry wyliczane przez program. Jeśli obliczenia symulacyjne nie zostały wykonane w tej części do parametrów przypisane jest oznaczenie #N/A.

8. Edycja danych węzłów

Na tym etapie część danych węzła nie posiada żadnych wartości, część wypełniona jest domyślnymi ustalonymi w opcji [Defaults](#). Dane każdego węzła należy dostosować do warunków wynikających z uwarunkowań projektu. W tym celu otwieramy okno edycji danych przez dwukrotne kliknięcie lewym przyciskiem myszki wybranego węzła. Jeśli okno edycji danych jest już otwarte dla innego obiektu, zmiany edytowanego obiektu dokonujemy przez jednokrotne kliknięcie lewym przyciskiem myszki nowego obiektu. Z lewej strony okna edycji wypisane są nazwy parametrów, z prawej wartości. W ćwiczeniu wstawiamy do wszystkich węzłów rzędną terenu 120 m n.p.m (Rys. 37). Czynność powyższą można wykonać przez wybranie każdego węzła oddzielnie i zmianę wartości rzędnej terenu lub przez edycję grupy węzłów, opisaną w rozdziale 4.4.4.



Property	Value
*Junction ID	W1
X-Coordinate	1170.569
Y-Coordinate	5172.798
Description	
Tag	
*Elevation	0
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Property	Value
*Junction ID	W1
X-Coordinate	1170.569
Y-Coordinate	5172.798
Description	
Tag	
*Elevation	120
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Rys. 37. Edytor danych węzła – wstawiane rzędnej terenu



Jeżeli nazwa parametru zaczyna się od gwiazdki (jak np. Elevation) to znaczy, że wartość jest wymagana, chociaż w niektórych przypadkach może być równa 0.

Dane i wyniki węzła przedstawiają się następująco:

- **Parametry wejściowe:**

Junction ID – identyfikator węzła;

X-Coordinate – poziome położenie węzła na mapie mierzone w jednostkach odległości mapy;

Y - Coordinate – pionowe położenie węzła na mapie mierzone w jednostkach odległości mapy;

Description – tekstowy opis węzła;

Tag – etykieta umożliwiająca grupowanie obiektów, np. do edycji;

Elevation – rzędna terenu w węźle, m n.p.m.;

Base Demand – średnie lub nominalne zapotrzebowanie na wodę (w zależności od rodzaju obliczeń), wartość ujemna służy do wskazania zewnętrznego dopływu wody, l/s;

Demand Pattern – identyfikator rozkładu (histogramu) poboru wody, czyli tabeli mnożników umożliwiających przeliczenie średniego rozbioru wody;

(Base Demand) na wartości w poszczególnych krokach czasowych, najczęściej godzinach doby;

Demand Categories – liczba kategorii poborów wody przypisana do danego węzła. Do jednego węzła można przypisać większą liczbę kategorii odbiorców wody, każdy z innym rozkładem poboru wody (Demand Pattern). Jeżeli jest większa liczba odbiorców w danym węźle, w polu Base Demand wyświetlana jest wartość przypisana do odbiorcy głównego, tj. wpisanego w pierwszym wierszu tabeli grupy kategorii odbiorców;

Emitter Coeff. – współczynnik wydatku emitera (zraszacz lub dyszy),

Initial Quality – początkowa jakość wody (jednostka miary zależna od wybranej opcji obliczeń);

Source Quality – jakość wody w przypadku, gdy węzeł jest źródłem wody.

- **Parametry obliczane** (wartości dla aktualnego kroku czasowego):

Actual Demand – aktualny pobór wody;

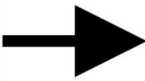
Total Head – rzędna linii ciśnień, m n.p.m.;

Pressure – ciśnienie, m;

Quality – jakość wody, jednostka miary zależna od wybranej opcji obliczeń.

9. Edycja danych przewodów wodociągowych

Wymagane w ćwiczeniu parametry przewodów wodociągowych opisane są wartościami domyślnymi. Należy zmienić średnice domyślne dla odcinków P1, P6, P11 z wartości 110 na 315 (Rys. 38).



Property	Value
*Pipe ID	P6
*Start Node	W1
*End Node	W7
Description	
Tag	
*Length	300
*Diameter	110
Roughness	0.3
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Unit Headloss	#N/A
Friction Factor	#N/A
Reaction Rate	#N/A
Quality	#N/A
Status	#N/A

Property	Value
*Pipe ID	P6
*Start Node	W1
*End Node	W7
Description	
Tag	
*Length	300
*Diameter	315
Roughness	0.3
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Unit Headloss	#N/A
Friction Factor	#N/A
Reaction Rate	#N/A
Quality	#N/A
Status	#N/A

Rys. 38. Edytor danych przewodu wodociągowego – korekta średnicy

Wykonujemy czynności analogicznie jak dla edycji węzłów. W otwartym oknie edycji danych przewodu wodociągowego zmieniamy średnicę.

Dane i wyniki przewodu wodociągowego przedstawiają się następująco:

- **Parametry wejściowe:**

Pipe ID – identyfikator odcinka;

Start Node – identyfikator węzła, w którym zaczyna się przewód;

End Node – identyfikator węzła, w którym kończy się przewód;

Description – tekstowy opis przewodu;

Tag – etykieta umożliwiająca grupowanie obiektów, np. do edycji;

Length – długość przewodu, m;

Roughness – współczynnik chropowatości rury, dla wzoru Darcy-Weisbacha wyrażona w mm, dla wzorów Hazena-Williamsa i Chezy-Manninga wartość niemianowana;

Loss Coefficient – współczynnik strat miejscowych;

Initial Status – stan początkowy; określa, czy przewód jest początkowo otwarty, zamknięty, czy zawiera zawór zwrotny. Jeśli określono zawór zwrotny, przepływ w rurze musi przebiegać od węzła początkowego do węzła końcowego;

Bulk Coefficient – współczynnik reakcji objętościowej, uwzględniany w modelu jakościowym;

Wall Coefficient – współczynnik reakcji przyściennej, uwzględniany w modelu jakościowym.

- **Parametry obliczane** (wartości dla aktualnego kroku czasowego):

Flow – natężenie przepływu, l/s;

Velocity – prędkość, m/s;

Unit Headloss – jednostkowe straty ciśnienia, m/km;

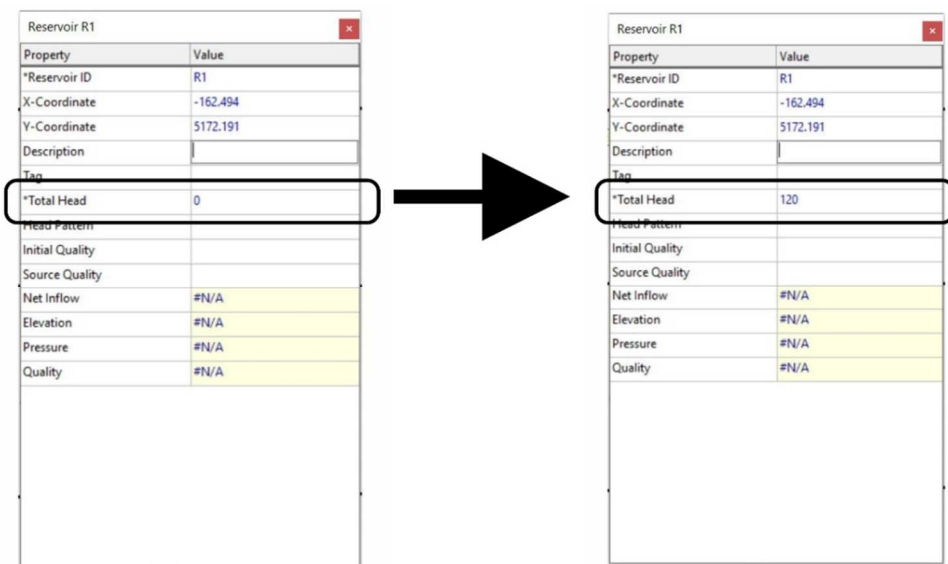
Friction Factor – współczynnik oporów;

Quality – jakość, jednostka miary zależna od wybranej opcji obliczeń;

Status – status.

10. Edycja danych źródła zasilania

W oknie edycji danych źródła zasilania parametr Total Head z wartości 0 zmieniamy na 120 m n.p.m (Rys. 39). Total Head, czyli wysokość całkowita, jest sumą wysokości położenia w m n.p.m. oraz wysokości ciśnienia (m). W ćwiczeniu rozważamy źródło wody otwarte, stąd parametr Total Head interpretowany jest jako rzędna zwierciadła wody w zbiorniku źródła zasilania.



Rys. 39. Edytor danych przewodu wodociągowego – korekta wysokości

5.1.3. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy zamieścić kopię okna [Network Map](#) ze schematem modelu przykładowej sieci wodociągowej oraz rzędnymi węzłów i średnicami przewodów wodociągowych (Rys. 40).



Rys. 40. Schemat mapy systemu do sprawozdania z ćwiczenia nr 1

Wyświetlanie identyfikatorów węzłów i przewodów należy ustawić według zasad opisanych w rozdziale 4.4.3. Wartości parametrów węzłów wyświetlić korzystając z funkcji w oknie [Browser](#) na zakładce [Map](#).

5.2. DOBÓR ŚREDNIC PRZEWODÓW WODOCIĄGOWYCH

5.2.1. Wprowadzenie do ćwiczenia

Podstawowym kryterium doboru średnic przewodów jest prędkość przepływu wody. Przybliżoną średnicę wewnętrzną można wyliczyć ze wzoru (5) na podstawie przepływu miarodajnego dla najbardziej niekorzystnych warunków i założonej prędkości:

$$D_w = \sqrt{\frac{4Q_m}{\pi V}} \quad (5)$$

Znajomość wzoru i zasad doboru średnic przewodów jest konieczna, jednak dla dużej sieci wodociągowej jest to metoda kłopotliwa w zastosowaniu. Rachunkowe dobieranie średnic szczególnie jest uciążliwe w przypadku analizy różnych wariantów sieci pierścieniowej, w której mogą się w znaczny sposób zmieniać przepływy w poszczególnych odcinkach obliczeniowych przewodów wodociągowych. W niniejszym ćwiczeniu przeprowadzimy dobór średnic przewodów wodociągowych wykorzystując możliwości programu EPANET.

Zalecane prędkości przepływu w przewodach sieci wodociągowych wynoszą:

- w sieci wodociągowej rozdzielczej: 0,5-1,0 m/s,
- w sieci wodociągowej magistralnej i tranzytowej: 1,3-3,0 m/s.

Należy jednak mieć na uwadze, że skrajne wartości prędkości przepływu w sieciach wodociągowych wynoszą od 0,2 do 3,0 m/s. Szczególnie w sieciach wodociągowych, które muszą spełniać warunki dostawy wody na cele przeciwpożarowe, zachowanie wyższych prędkości niż 0,5 m/s przy przepływach gospodarczych może być trudne lub niemożliwe.

Odpowiedni dobór średnic przewodów jest niezwykle ważny z punktu widzenia funkcjonowania sieci wodociągowej oraz kosztów eksploatacji. Wyższe prędkości są przyczyną znacznych strat ciśnienia, co skutkuje wyższymi kosztami pompowania wody oraz mogą powodować uderzenia hydrauliczne. Zbyt niskie prędkości przepływu sprzyjają powstawaniu osadów na ściankach przewodów i skutkują długim przestojem wody w przewodach wodociągowych.

W ćwiczeniu nr 2 należy dokonać doboru średnic przewodów przyjmując zalecane prędkości przepływu w przewodach wodociągowych. Minimalna średnica rurociągu DN110 mm. Typoszereg średnic przewodów HDPE przedstawia się następująco: DN110, DN160, DN225, DN250, DN280,

DN315, DN400, DN450, DN500, DN630. Należy przyjąć współczynnik chropowatości dla rur HDPE w wysokości $k = 0,01$ mm.



Na potrzeby ćwiczenia będziemy korzystać ze średnic nominalnych przewodów DN, czyli w przypadku rur HDPE są to średnice zewnętrzne. Należy mieć jednak na uwadze, że rzeczywiste obliczenia należy wykonywać stosując średnice wewnętrzne przewodów. Ma to znaczny wpływ na wysokość strat ciśnienia w przewodach.

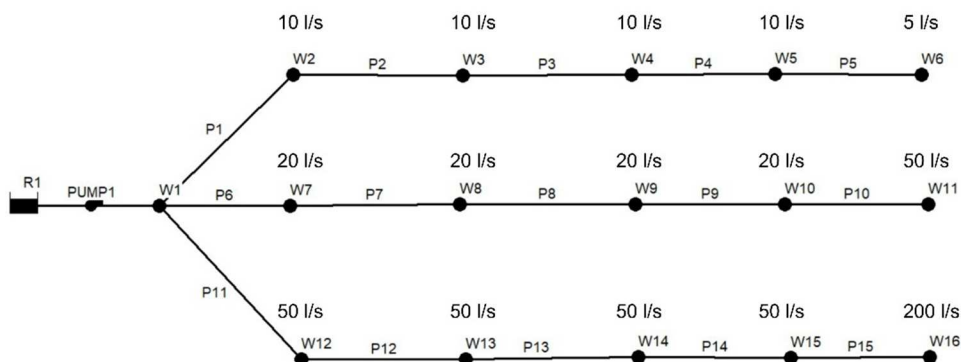
5.2.2. Realizacja ćwiczenia

W ćwiczeniu nr 2 wykorzystamy schemat sieci wodociągowej sporządzony w ćwiczeniu nr 1. Wczytujemy plik z projektem i ustawiamy opcje wyświetlania mapy według zasad opisanych w rozdziale 4.4.

W celu realizacji ćwiczenia wykonujemy następujące kroki:

1. Wpisanie wydatków węzłowych Base Demand w przykładowej sieci wodociągowej

Wartości, które należy wstawić do poszczególnych węzłów przedstawia rysunek 41. Wielkości wydatków węzłowych wygenerują przepływy w różnych zakresach w poszczególnych przewodach wodociągowych do doboru średnic z całego typoszeregu. Węzeł W1, jako rozdzielczy na trzy gałęzie systemu, pozostaje bez wydatku węzłowego.



Rys. 41. Wartości wydatków węzłowych „BaseDemand”

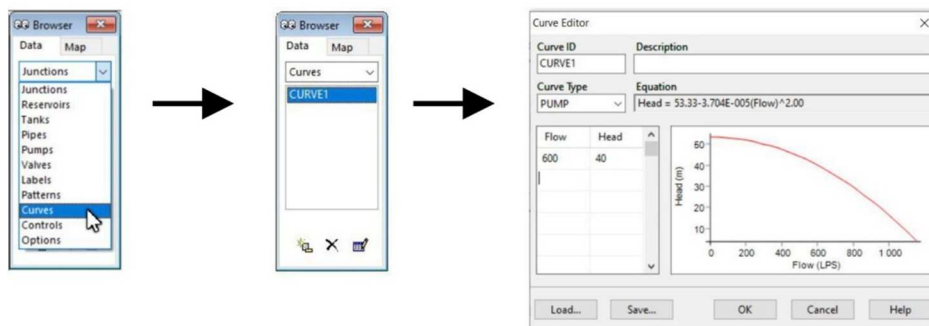
W celu wpisania wydatków przez dwukrotne kliknięcie węzła otwieramy edytor danych węzła (Rys. 42). Jeśli okno edytora jest otwarte, następne węzły wystarczy kliknąć jeden raz w celu wyświetlenia danych wybranego węzła. Uzupełniamy parametr Base Demand wartościami ze schematu na rysunku 41.

Property	Value
*Junction ID	W5
X-Coordinate	7218.415
Y-Coordinate	6463.483
Description	
Tag	
*Elevation	120
Base Demand	10
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Rys. 42. Edytor danych węzła – wstawianie poborów wody „Base Demand”

2. Dobór pompy

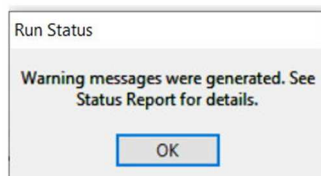
Otworamy za pomocą okna [Browser](#) edytor charakterystyk (krzywych) (Rys. 43) i korygujemy parametry pompy. Wydajność Flow przyjmujemy jako sumę wydatków ze wszystkich węzłów przykładowej sieci wodociągowej, wysokość podnoszenia Head o wartości 40 m. Wartość Flow możemy zaokrąglić nieznacznie w górę.



Rys. 43. Wybór i edycja charakterystyki pompy

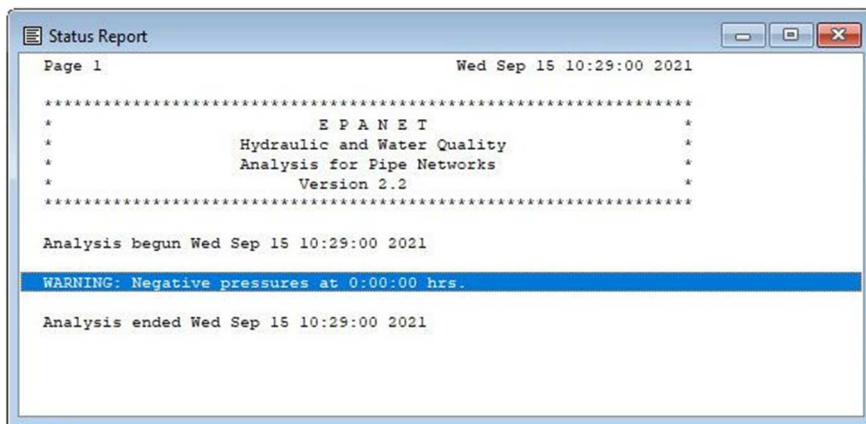
3. Pierwsze uruchomienie obliczeń

Wybierając opcje menu **Project >> Run Analysis** lub ikonę  uruchamiamy obliczenia systemu dystrybucji wody. Po pierwszym uruchomieniu, w przypadku gdy przewody wodociągowe mają wartości domyślne DN110, wystąpią bardzo wysokie straty ciśnienia. Spowoduje to wyświetlenie komunikatu o ostrzeżeniach (Rys. 44), a następnie okna **Status Report** z informacją o negatywnym ciśnieniu (Rys. 45).



Rys. 44. **Run Status** – Komunikaty o ostrzeżeniach

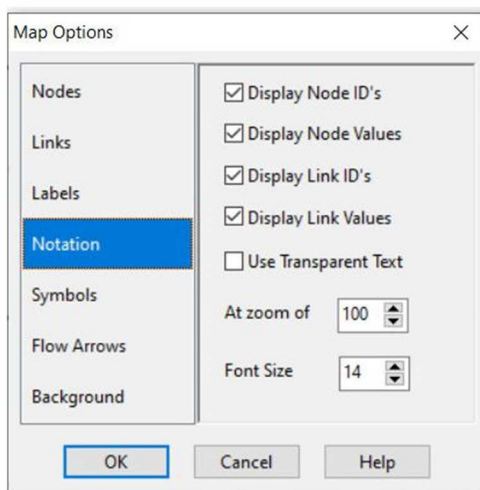
Komunikat „Negative pressures” mówi o tym, że rzędne linii ciśnień są niższe niż rzędne terenu. Spowodowane to jest dużym spadkiem linii ciśnień. Rozwiązaniem tego problemu jest poprawne dobranie średnic przewodów.



Rys. 45. **Status Report** – Komunikat „Negative pressures”

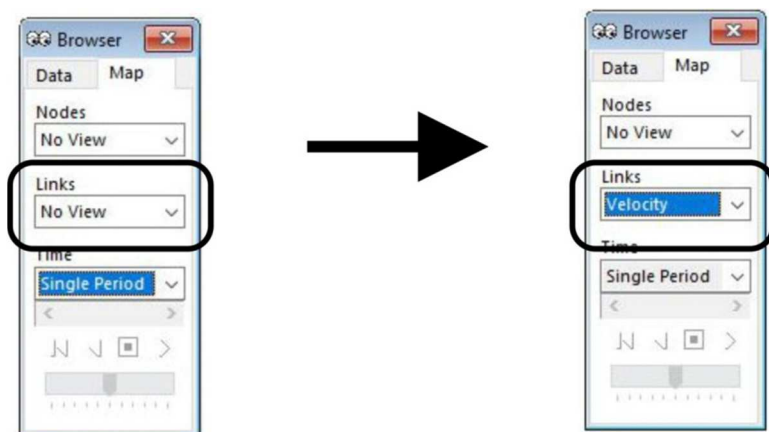
4. Dobór średnic przewodów w oknie **Map Network** z wykorzystaniem opcji w zakładce **Map** okna **Browser**

W celu skorzystania z możliwości doboru średnic za pomocą okna **Map Network** w opcjach wyświetlania mapy **Map Options** zaznaczamy wyświetlanie parametrów dla przewodów. Na rysunku 46 zaznaczono identyfikatory oraz parametry dla węzłów i obiektów liniowych.



Rys. 46. Ustawienie wyświetlania identyfikatorów i wartości parametrów węzłów i obiektów liniowych

Następnie w zakładce **Map** okna **Browser** ustawiamy parametr Velocity (czyli prędkość), wyświetlany w oknie **Map Network** obok obiektów liniowych (Rys. 47).



Rys. 47. Ustawienie wyświetlania prędkości w przewodach wodociągowych

Schemat systemu dystrybucji wody w oknie **Map Network** powinien wyglądać jak na rysunku 48. Widać na nim, że prędkości przepływu w większości przewodów są zdecydowanie za wysokie. Na odcinkach W1-W2 oraz W5-W6 prędkości są poprawne, stąd średnice na tych przewodach nie wymagają korekty. W oknie wyświetla się również legenda

z przypisanymi przedziałami prędkości do kolorów, którymi oznaczone są przewody wodociągowe.



Rys. 48. Schemat system dystrybucji wody z prędkościami przepływu w przewodach wodociągowych przed korektą średnic

Za pomocą edytora danych przewodów zwiększamy średnice w przewodach, w których prędkości są za wysokie. Przed każdą korektą średnic warto projekt zapisać w pliku pod nową nazwą, by w razie błędu w prosty sposób wrócić do poprzedniego wariantu średnic.

5. Kolejne uruchomienie obliczeń

Po korekcie średnic przeprowadzamy następne obliczenia . Ponownie wyświetlamy schemat systemu dystrybucji wody z prędkościami przepływu w przewodach wodociągowych. Proces powtarzamy aż do uzyskania średnic przewodów zapewniających zalecane prędkości przepływu.

5.2.3. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu z ćwiczenia nr 2 należy zamieścić dwa schematy przykładowego systemu dystrybucji wody:

1. schemat z wartościami prędkości przepływu przy przewodach wodociągowych;
2. schemat z dobranymi średnicami przy przewodach wodociągowych.

Schematy z okna [Network Map](#) zapisać za pomocą opcji [Edit >> Copy To...](#) opisanej w rozdziale 4.4.2.

5.3. OBLICZENIA STRAT CIŚNIENIA W PRZEWODACH WODOCIĄGOWYCH

5.3.1. Wprowadzenie do ćwiczenia

Sieć wodociągowa składa się z przewodów doprowadzających wodę od źródła do odbiorców wraz z niezbędnym uzbrojeniem. Podczas przepływu wody na długości przewodu wodociągowego występują opory spowodowane tarciem płynącej cieczy o ścianki przewodu oraz tarciem wewnątrz cieczy. Wielkość tarcia o ścianki przewodu zależy od chropowatości (szorstkości) ścianek, natomiast wielkość tarcia wewnętrznego – od lepkości cieczy. Wartość współczynnika lepkości kinematycznej ν zależy od temperatury. Przyjmuje się, że w przewodach wodociągowych temperatura wynosi 10°C. Miara chropowatości ścian przewodu jest średnica ziaren piasku użytego do oklejenia wewnętrznej powierzchni rur w doświadczeniach przeprowadzonych przez Nikuradsego – jest to chropowatość bezwzględna, oznaczona literą k (Mielcarzewicz, 2000).

Jedną z zależności do obliczania liniowych strat ciśnienia Δh_l jest wzór Darcy-Weisbacha w postaci:

$$\Delta h_l = \lambda \cdot \frac{L}{D_w} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Współczynnik chropowatości bezwzględnej k używany jest w obliczeniach współczynnika oporów liniowych λ . Współczynnik chropowatości k w zależności od materiału i wieku przewodów przyjmuje wartości z bardzo dużego zakresu: od 0,001 mm do kilkudziesięciu mm, stąd w obliczeniach należy bardzo wnikliwie oceniać wartość tej zmiennej, mającej decydujący wpływ na λ .

W obliczeniach sieci wodociągowych nie ma konieczności uwzględniania strat miejscowych jako znacznie mniejszych w stosunku do strat ciśnienia na długości przewodu. Straty miejscowe należy uwzględniać w przypadku obliczania krótkich odcinków przewodów z zamontowaną dużą liczbą kształtek i armatury, np. w pompowniach.

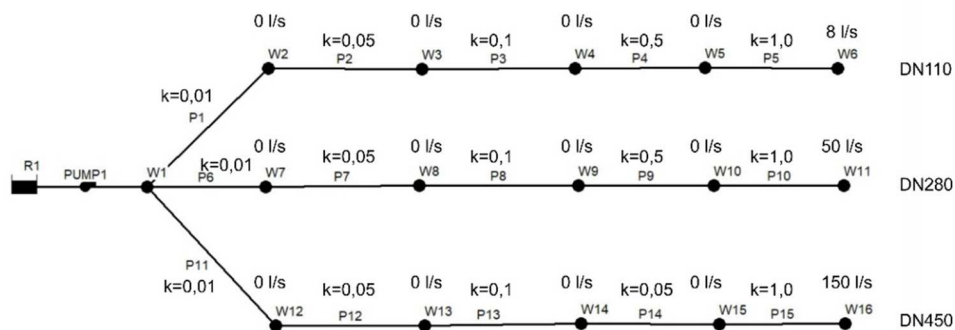
5.3.2. Realizacja ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest policzenie strat ciśnienia dla przewodów wodociągowych przykładowej sieci wodociągowej dla różnych wartości chropowatości bezwzględnej k . W ćwiczeniu nr 3 wykorzystamy schemat sieci

W celu realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące kroki:

- 1. Wpisanie parametrów modelu systemu dystrybucji wody do obliczeń strat ciśnienia**
Wartości, które należy wpisać do poszczególnych węzłów i przewodów wodociagowych zamieszczono na rysunku 49.

Wartości, które należy wpisać do poszczególnych węzłów i przewodów wodociagowych zamieszczono na rysunku 49.



Rys. 49. Schemat systemu dystrybucji wody

W każdej gałęzi pobory wody będą wyłącznie z końcowych węzłów. Zapewni to stały przepływ przez przewody oraz jednakowe średnice w gałęziach systemu. Również długości przewodów we wszystkich gałęziach systemu będą jednakowe – 300 m. Poszczególne odcinki gałęzi systemu będą różniły się wartością współczynnika chropowatości bezwzględnej k .

2. Uruchomianie obliczeń

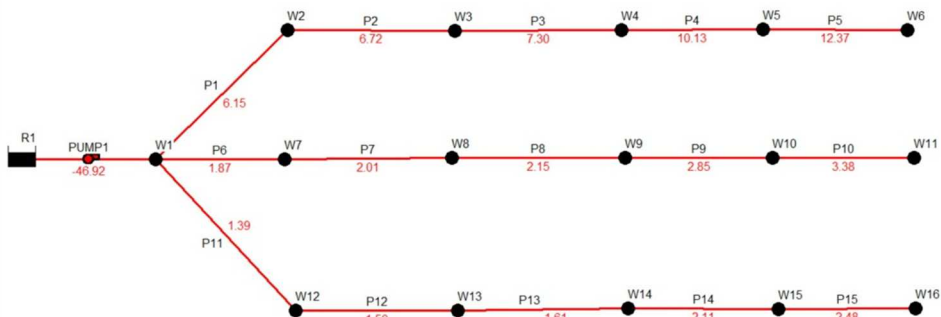
Wybieramy menu **Project >> Run Analysis** lub ikonę  i uruchamiamy obliczenia systemu dystrybucji wody.

3. Sporządzanie wyników obliczeń dla przewodów wodociagowych

Należy sporządzić tabelę wyników dla wszystkich przewodów wodociągowych i zapisać w pliku tekstowym według zasad opisanych w rozdziale 4.4.1. W tabeli należy uwzględnić następujące zmienne: długość, średnicę, chropowatość, przepływ, prędkość i jednostkową stratę ciśnienia (Rys. 50). Sporządzić schemat systemu dystrybucji wody z jednostkowymi stratami ciśnienia przypisanymi do przewodów wodociągowych (Rys. 51).

Link ID	Length m	Diameter mm	Roughness mm	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km
Pipe P1	300	110	0.01	8.00	0.84	6.15
Pipe P2	300	110	0.05	8.00	0.84	6.72
Pipe P3	300	110	0.1	8.00	0.84	7.30
Pipe P4	300	110	0.5	8.00	0.84	10.13
Pipe P5	300	110	1.0	8.00	0.84	12.37
Pipe P6	300	280	0.01	50.00	0.81	1.87
Pipe P7	300	280	0.05	50.00	0.81	2.01
Pipe P8	300	280	0.1	50.00	0.81	2.15
Pipe P9	300	280	0.5	50.00	0.81	2.85
Pipe P10	300	280	1.0	50.00	0.81	3.38
Pipe P11	300	450	0.01	150.00	0.94	1.39
Pipe P12	300	450	0.05	150.00	0.94	1.50
Pipe P13	300	450	0.1	150.00	0.94	1.61
Pipe P14	300	450	0.5	150.00	0.94	2.11
Pipe P15	300	450	1.0	150.00	0.94	2.48
Pump PUMP1	#N/A	#N/A	#N/A	208.00	0.00	-46.92

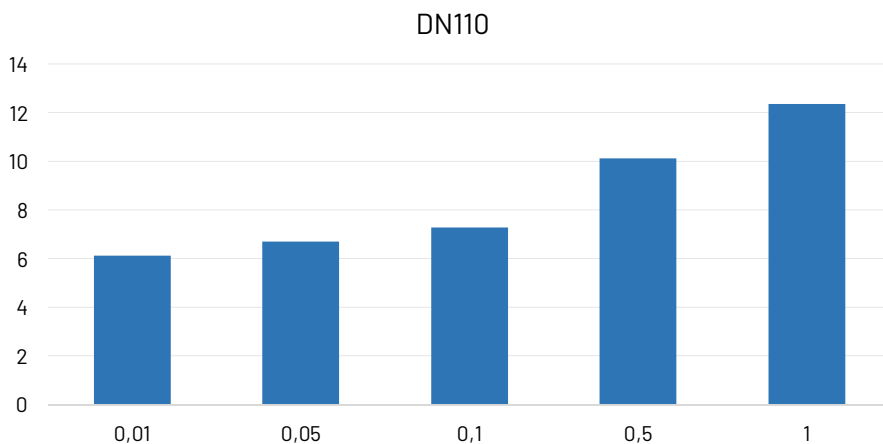
Rys. 50. Wyniki obliczeń dla przewodów wodociągowych z uwzględnieniem jednostkowych strat ciśnienia



Rys. 51. Schemat systemu z wartościami jednostkowych strat ciśnienia

4. Sporządzanie wykresów jednostkowych strat ciśnienia dla poszczególnych średnic przewodów

Za pomocą arkusza kalkulacyjnego sporządzić wykresy jednostkowych strat ciśnienia dla poszczególnych średnic nominalnych przewodów oraz współczynnika chropowatości bezwzględnej k według schematu (Rys. 52).



Rys. 52. Jednostkowe straty ciśnienia dla średnicy DN110 dla współczynników chropowatości k z zakresu 0,01 do 1,0 mm

5.3.3. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu z ćwiczenia nr 3 należy zamieścić dwa schematy przykładowego systemu dystrybucji wody:

1. schemat z wartościami chropowatości przy przewodach wodociągowych;
2. schemat z wartościami jednostkowych strat ciśnienia przy przewodach wodociągowych.

Ponadto sprawozdanie powinno zawierać tabelę z wynikami obliczeń przewodów wodociągowych oraz wykresy jednostkowych strat ciśnienia dla każdej gałęzi systemu:

3. tabela z wynikami dla przewodów wodociągowych;
4. wykresy jednostkowych strat ciśnienia dla przewodów każdej gałęzi systemu oddzielnie.

Schematy z okna **Network Map** zapisać za pomocą opcji **Edit => Copy To...** opisanej w rozdziale 4.4.2.

5.4. WCZYTYWANIE PODKŁADU NUMERYCZNEGO, TRASOWANIE SIECI WODOCIĄGOWEJ, SYMULACJE W DŁUŻSZYM OKRESIE CZASU

5.4.1. Wprowadzenie do ćwiczenia

Projektowanie systemu dystrybucji wody można sprowadzić do następujących kolejnych czynności:

- sporządzenie bilansu zapotrzebowania na wodę w jednostce osadniczej,
- zaprojektowanie układu sieci w planie (trasowanie sieci),
- ustalenie wydatków węzłowych,
- ustalenie przepływów na poszczególnych odcinkach sieci wodociągowej,
- dobór średnic przewodów,
- obliczenie strat ciśnienia,
- ustalenie linii ciśnień i sprawdzenie, czy zapewnia ona wszędzie potrzebną wysokość ciśnienia gospodarczego i pożarowego.
- korekta średnic, ponowne przeliczenie strat w przypadku niedostatecznego ciśnienia. Ostateczne ustalenie linii ciśnień.

Do przeprowadzenia trasowania sieci, polegającego na nadaniu sieci kształtu geometrycznego zależnego od układu komunikacyjnego i ukształtowania terenu, niezbędny jest warstwicowy plan miasta, osiedla czy dzielnicy w skali od 1:10 000 do 1:1000, przy czym najwygodniejsza jest skala 1:5000. Wybór skali uzależniony jest od powierzchni projektowanego obszaru. Trasowanie sieci wykonuje się przez wykreślenie linii oznaczających przewody wzdłuż ciągów komunikacyjnych i ulic. Przewody powinny być prowadzone w sposób zapewniający dostawę największych ilości wody w najkrótszej trasie. Oprócz planu miasta z warstwicami i siecią ulic istniejących i projektowanych niezbędny jest plan zagospodarowania przestrzennego z zaznaczeniem rodzaju zabudowy w poszczególnych strefach miasta.

W pierwszej kolejności należy obliczyć zapotrzebowanie na wodę w całej jednostce osadniczej, uwzględniając różne kategorie odbiorców i starty w sieci wodociągowej. Ze względu na zmienność zużycia wody wyróżnia się kilka charakterystycznych wielkości:

- Q_r – przewidywane roczne zapotrzebowanie na wodę przez wszystkich odbiorców wody w jednostce osadniczej, m^3/a ,
- Q_{dsr} – średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę:

$$Q_{d\acute{s}r} = \frac{Q_r}{365} \quad (7)$$

- Q_{dmax} – maksymalne dobowe zapotrzebowanie wyrażone, m³/d, które określa zapotrzebowanie na wodę w dobie maksymalnego rozbioru w roku; określa się je przez pomnożenie średniego dobowego zapotrzebowania na wodę $Q_{d\acute{s}r}$ przez współczynnik nierównomierności dobowej N_d :

$$Q_{dmax} = Q_{d\acute{s}r} \cdot N_d \quad (8)$$

- $Q_{h\acute{s}r}$ – średnie godzinowe zapotrzebowanie na wodę w dobie o maksymalnym rozborze, m³/h

$$Q_{h\acute{s}r} = \frac{Q_{dmax}}{24} \quad (9)$$

- Q_{hmax} – maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na wodę w dobie o maksymalnym zapotrzebowaniu; można je obliczyć przez pomnożenie średniego godzinowego zapotrzebowania na wodę $Q_{h\acute{s}r}$ przez współczynnik nierównomierności godzinowej w dobie maksymalnego rozbioru N_h :

$$Q_{hmax} = Q_{h\acute{s}r} \cdot N_h \quad (10)$$

W praktyce projektowania sieci wodociągowej, w tym również w Polsce, najczęściej jako miarodajne do wymiarowania przewodów przyjmuje się maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na wodę Q_{hmax} w dobie o maksymalnym dobowym zapotrzebowaniu Q_{dmax} . Należy jednak mieć na uwadze, że nie odpowiada ono zapotrzebowaniu w maksymalnej godzinie z całego roku $Q_{hmax(a)}$, które może wystąpić w innej dobie niż Q_{dmax} . W większości systemów wodociągach w ciągu roku występuje godzina o zapotrzebowaniu większym od maksymalnego godzinowego $Q_{hmax(a)} > Q_{hmax}$. W wielu krajach wartość $Q_{hmax(a)}$ jest wartością miarodajną do wymiarowania sieci wodociągowej.

Występujące we wzorach (8) i (10) współczynniki nierównomierności zdefiniowane są następująco:

$$N_d = \frac{Q_{dmax}}{Q_{d\acute{s}r}} \quad (11)$$

$$N_h = \frac{Q_{hmax}}{Q_{h\acute{s}r}} \quad (12)$$

Wielkość zapotrzebowania na wodę oblicza się wykorzystując jednostkowe wskaźniki zapotrzebowania na wodę, które określają jej ilość w odniesieniu do jednego mieszkańca w mieście i jednostki czasu, l/M·d. W ćwiczeniu wykorzystane będą scalone wskaźniki zapotrzebowania na wodę dla różnych grup (kategorii) odbiorców na terenie jednostki osadniczej, w przeliczeniu na jednego mieszkańca. Wielkość wskaźników zmienia się wraz z wielkością jednostki osadniczej, wyrażoną przez liczbę mieszkańców.

Wskaźniki jednostkowego zapotrzebowania na wodę dla różnych grup odbiorców służą do obliczenia średniego $Q_{h\acute{s}r}$ i maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę Q_{dmax} w jednostce osadniczej. Maksymalne dobowe zapotrzebowanie obliczane jest jako suma iloczynów średniego dobowego zapotrzebowania na wodę poszczególnych kategorii odbiorców przez odpowiadający im współczynnik nierównomierności dobowej:

$$Q_{dmax} = \sum_{i=1}^n Q_{d\acute{s}r(i)} \cdot N_{d(i)} \quad m^3/d \quad (13)$$

$$Q_{d\acute{s}r(i)} = q_i \cdot L_M \quad m^3/d \quad (14)$$

gdzie:

$Q_{d\acute{s}r(i)}$ – średnie dobowe zapotrzebowanie i-tej kategorii odbiorców,

q_i – wskaźnik jednostkowego zapotrzebowania na wodę i-tej kategorii odbiorców,

L_M – liczba mieszkańców w jednostce osadniczej,

$N_{d(i)}$ – współczynnik nierównomierności dobowej i-tej kategorii odbiorców,

n – liczba kategorii odbiorców.

Maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na wodę Q_{hmax} w dobie Q_{dmax} oblicza się uwzględniając zmienność zapotrzebowania przez poszczególne kategorie odbiorców w ciągu doby. Nie wystarczy jednak przemnożenie średnich wartości godzinowych $Q_{h\acute{s}r(i)}$ dla poszczególnych kategorii odbiorców przez odpowiednie wartości współczynnika $N_{h(i)}$, gdyż wartości maksymalne dla kategorii mogą wystąpić w różnych godzinach doby.

W tym celu należy ustalić godzinowe rozkłady zapotrzebowania na wodę przez poszczególne kategorie odbiorców w ciągu doby i na podstawie tych rozkładów obliczyć wielkości zapotrzebowania na wodę w każdej godzinie tej doby, jako sumę poboru wszystkich kategorii odbiorców. Maksymalną godzinową wartością Q_{hmax} dla całej jednostki osadniczej jest wartość z godziny, w której suma $Q_{hmax(i)}$ dla wszystkich kategorii jest największa.

Na terenie miast i osiedli miejskich można wyróżnić kilka grup odbiorców wody wodociągowej. W sprawozdaniach przedsiębiorstw zajmujących się eksploatacją systemów wodociągowych często liczbę odbiorców ogranicza się do trzech:

- gospodarstwa domowe,
- przemysł,
- usługi.

W programie EPANET do obliczania Q_{hmax} wykorzystujemy rozkłady godzinowe poborów wody dla różnych kategorii odbiorców.

5.4.2. Realizacja ćwiczenia

Ćwiczenie zaczynamy od załadowania przykładowego (dydaktycznego) podkładu z układem ciągów komunikacyjnych i opisem zabudowy (Rys. 54). W ćwiczeniu przeprowadzimy obliczenia w horyzoncie czasowym wynoszącym 1 dobę, przy 1 godzinowym kroku czasowym. Tereny mieszkalne zostaną podzielone na dwie podkategorie: o zabudowie wielorodzinnej – 30% i jednorodzinnej – 70% mieszkańców jednostki osadniczej. W związku z powyższym zostaną wprowadzone rozkłady godzinowe rozbiórów wody dla czterech kategorii: ZW – zabudowa wielorodzinna, ZJ – zabudowa jednorodzinna, TP – tereny przemysłowe, U – tereny o zabudowie usługowej (Tab. 1).

Zakładamy, że jednostka osadnicza liczy 15 000 mieszkańców. Jednostkowe średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę q_i dla poszczególnych kategorii odbiorców oraz współczynniki nierównomierności dobowej N_d wynoszą:

- zabudowa wielorodzinna: $q_i = 140 \text{ l/M} \cdot \text{d}$, $N_d = 1,3$,
- zabudowa jednorodzinna: $q_i = 100 \text{ l/M} \cdot \text{d}$, $N_d = 1,5$,
- tereny przemysłowe: $q_i = 80 \text{ l/M} \cdot \text{d}$, $N_d = 1,2$,
- tereny usługowe: $q_i = 60 \text{ l/M} \cdot \text{d}$, $N_d = 1,3$.

Straty w sieci wodociągowej spowodowane jej nieszczelnością ustalono na 10% $Q_{d\text{śr}}$, są one rozłożone równomiernie we wszystkich godzinach doby.

Współczynnik chropowatości przewodów wykonanych z HDPE wynosi $k = 0,01 \text{ mm}$.

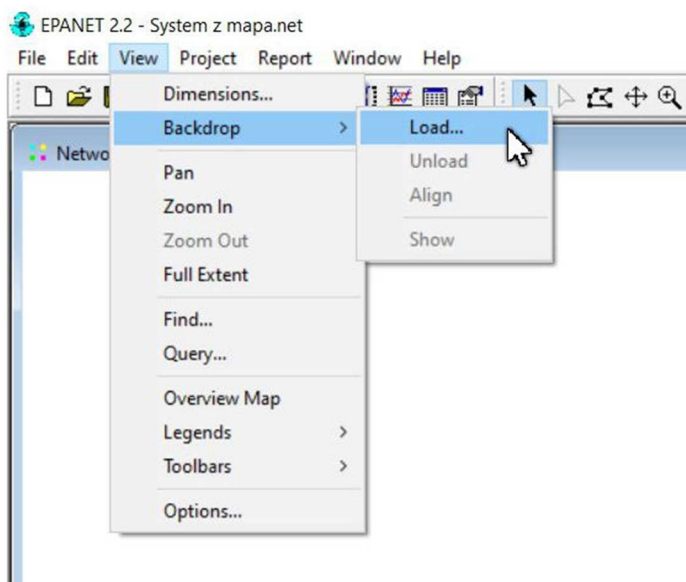
Tab. 1. Rozkłady godzinowe rozborów wody i mnożniki dla kategorii ZW, ZJ, U i TP

Godzina	Zużycie ZW %	Mnożnik ZW	Zużycie ZJ %	Mnożnik ZJ	Zużycie U %	Mnożnik U	Zużycie TP %	Mnożnik TP
1	1,50	0,4	0,50	0,1	2,40	0,6	5,10	1,2
2	1,50	0,4	0,50	0,1	2,25	0,5	5,10	1,2
3	1,50	0,4	0,50	0,1	2,85	0,7	5,00	1,2
4	1,50	0,4	1,50	0,4	2,45	0,6	4,85	1,2
5	2,50	0,6	2,50	0,6	2,45	0,6	3,80	0,9
6	3,50	0,8	3,50	0,8	3,45	0,8	1,35	0,3
7	4,50	1,1	5,00	1,2	5,00	1,2	1,95	0,5
8	5,50	1,3	6,50	1,6	4,25	1,0	6,20	1,5
9	6,25	1,5	7,00	1,7	4,70	1,1	6,35	1,5
10	6,25	1,5	7,00	1,7	4,70	1,1	6,40	1,5
11	6,25	1,5	7,00	1,7	4,30	1,0	7,25	1,7
12	6,25	1,5	6,25	1,5	5,90	1,4	6,40	1,5
13	5,50	1,3	4,00	1,0	4,40	1,1	5,70	1,4
14	5,50	1,3	4,00	1,0	6,10	1,5	6,90	1,7
15	6,00	1,4	6,00	1,4	4,90	1,2	4,30	1,0
16	6,00	1,4	7,00	1,7	5,60	1,3	2,10	0,5
17	6,50	1,6	7,00	1,7	4,80	1,2	3,05	0,7
18	6,50	1,6	6,25	1,5	4,30	1,0	1,90	0,5
19	6,00	1,4	6,00	1,4	4,20	1,0	2,60	0,6
20	4,00	1,0	4,50	1,1	5,35	1,3	2,40	0,6
21	3,00	0,7	4,00	1,0	4,45	1,1	2,60	0,6
22	1,50	0,4	2,00	0,5	5,55	1,3	2,70	0,6
23	1,50	0,4	1,00	0,2	3,15	0,8	2,25	0,5
24	1,00	0,2	0,50	0,1	2,50	0,6	3,75	0,9
	100	24,0	100,00	24,0	100	24,0	100	24,0

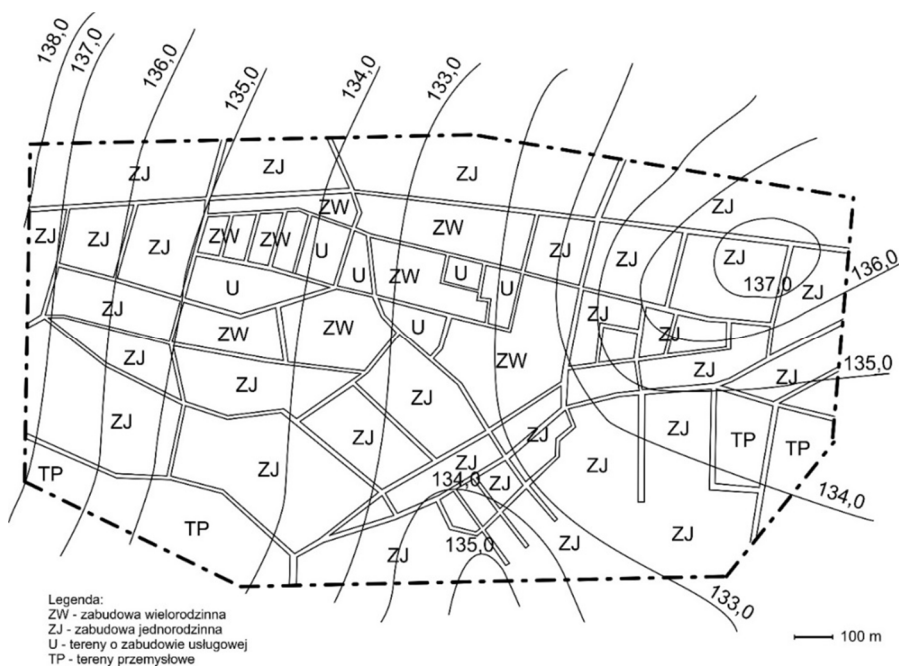
Realizacja ćwiczenia przebiega według następujących kroków:

1. Wczytanie mapy podkładu do trasowania przewodów sieci wodociągowej

Ładujemy mapy do programu przez opcję [View >> Backdrop >> Load...](#) (Rys. 53).



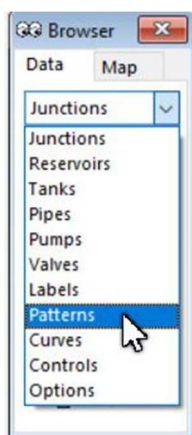
Rys. 53. Załadowanie mapy podkładu



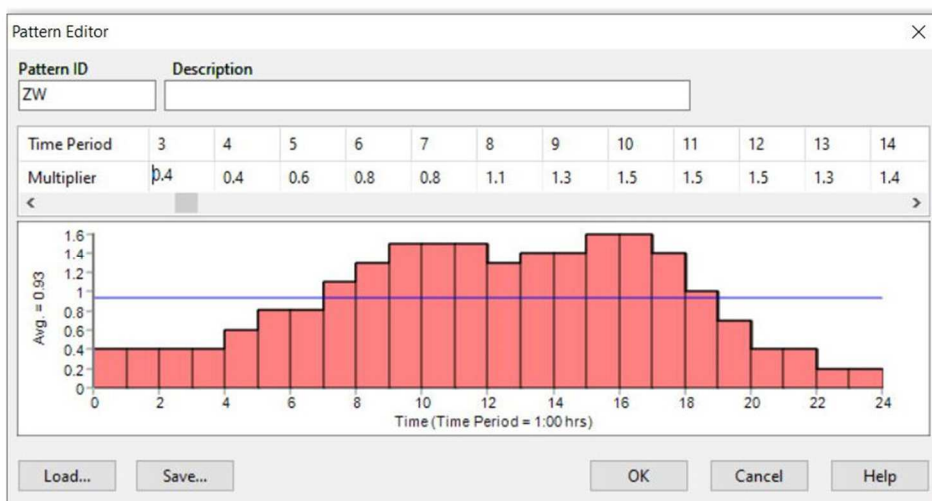
Rys. 54. Schematyczna mapa jednostki osadniczej do zajęć

2. Wpisanie danych do godzinowych rozbiórów wody (Demand Pattern)

Rozkłady godzinowe rozbiórów wody wpisujemy przez wybór w oknie **Browser** w zakładce **Data** opcji **Patterns** (Rys. 55). Klikając w dolnej części okna na ikonę **Add** uruchamiamy edytor wzorców (Rys. 56). Domyślną nazwę identyfikatora wzorca zmieniamy na skrót nazwy kategorii odbiorców z przykładu, np. ZW. W wierszu **Multiplier** wpisujemy wartości mnożnika w poszczególnych krokach czasowych z tabeli 1. Tworzymy cztery wzorce dla każdej kategorii odbiorców wody.



Rys. 55. Uruchomienie edytora wzorców



Rys. 56. Edytor wzorców rozbiórów wody



Do rozkładów godzinowych rozborów wody w programie EPANET nie wpisujemy wartości procentowych z poszczególnych godzin, lecz mnożniki korygujące wartości średnie poboru wody „Base Demand” w każdym węźle.

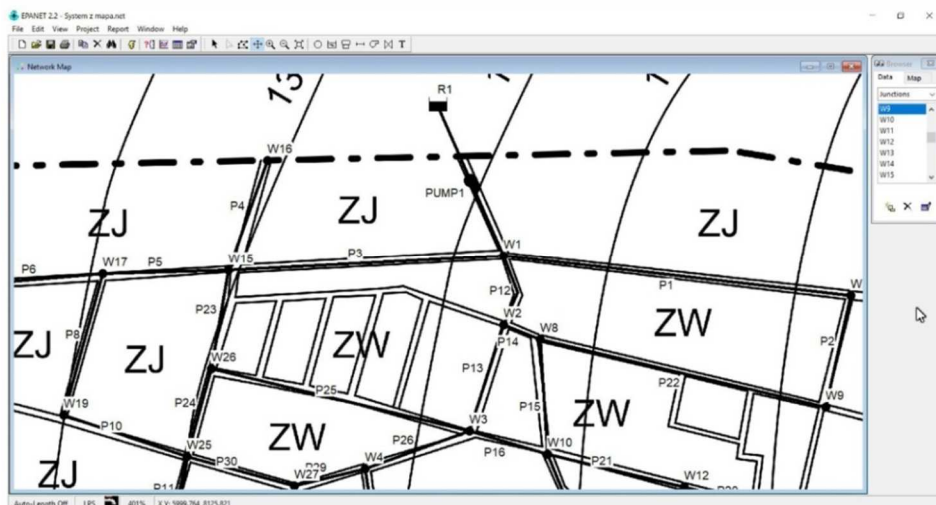


W programie EPANET jako separatora do oddzielenia części całkowitej od części ułamkowej w zapisie liczby używamy **kropki**, a nie przecinka.

3. Wstawianie źródła zasilania w wodę, węzłów i przewodów

Wykorzystując informacje z wcześniejszych ćwiczeń wstawiamy obiekty węzłowe oraz liniowe. Źródło zasilania zostało wstawione przy granicy jednostki osadniczej w miejscu, gdzie są niższe rzędne terenu. Zakładamy, że jest to zbiornik wody czystej za stacją uzdatniania wody pracujący przy ciśnieniu atmosferycznym.

Węzły wstawiono na skrzyżowaniach dróg oraz na końcówkach sieci wodociągowej. Przewody wodociągowe wytrasowano w ciągach komunikacyjnych.



Rys. 57. Trasowanie sieci wodociągowej na mapie

4. Uzupełnianie obiektów modelu wymaganymi danymi

Wprowadzone obiekty modelu uzupełniamy danymi, które były omówione we wcześniejszych ćwiczeniach. Następnie wprowadzamy średni godzinowy pobór $Q_{h\text{sr}}$ (Base Demand) wyrażony w l/s, który rozpisujemy w węzłach uwzględniając rodzaj zabudowy przyległy do węzła.

Suma poborów wody w węzłach, odpowiednio dla zabudowy jedno-rodzinnej i wielorodzinnej, powinna być równa wartościom wyliczonym w bilansie z uwzględnieniem strat wody. Ponadto w węzłach wpisujemy identyfikatory wzorców rozbiórów wody dla poszczególnych kategorii zabudowy graniczących z węzłem (Rys. 58).



W ćwiczeniu pobory węzłowe „Base Demand” wpisujemy orientacyjnie, mając na uwadze, że jest to projekt dydaktyczny mający na celu zapoznanie się z podstawowymi funkcjami programu EPANET. W rzeczywistości jest to zadanie niezwykle ważne i skomplikowane.

Edytor danych węzła dla dwóch kategorii odbiorców zamieszczono na rysunku 58. W przypadku większej liczby kategorii odbiorców przypisanych do węzła, w edytorze węzła wyświetlane są dane pierwszego odbiorcy, ale pod spodem podana jest liczba odbiorców wody (Rys. 59).

	Base Demand	Time Pattern	Category
1	6	ZW	
2	2	ZJ	
3			
4			
5			
6			

OK Cancel Help

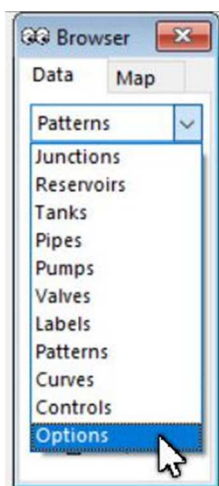
Rys. 58. Uzupełnianie danych o średnim zużyciu wody „Base Demand” oraz rozkładów rozbioru wody „Demand Pattern” dla kilku odbiorców w węzle

Junction W15	
Property	Value
*Junction ID	W15
X-Coordinate	2192.234
Y-Coordinate	7901.561
Description	
Tag	
*Elevation	135.00
Base Demand	6
Demand Pattern	ZW
Demand Categories	2
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

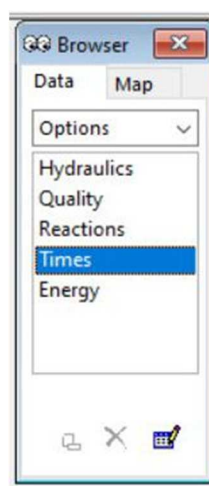
Rys. 59. Dane węzła dla dwóch kategorii odbiorców

5. Ustawianie opcji obliczeń w dłuższej perspektywie czasowej

Obliczenia w dłuższej perspektywie czasowej wymagają ustawienia liczby kroków symulacji. W tym celu w oknie [Browser](#) wybieramy [Options](#) (Rys. 60), a następnie [Times](#) (Rys. 61). W oknie [Times Option](#) ustawiamy parametr Total Duration na 24 godziny (Rys. 62).



Rys. 60. Uruchomienie edytora opcji obliczeniowych



Rys. 61. Wybór opcji ustawiania czasu obliczeń

Times Options	
Property	Hrs:Min
Total Duration	24
Hydraulic Time Step	1:00
Quality Time Step	0:05
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	1:00
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	12 am
Statistic	None

Rys. 62. Wybór opcji ustawiania czasu obliczeń

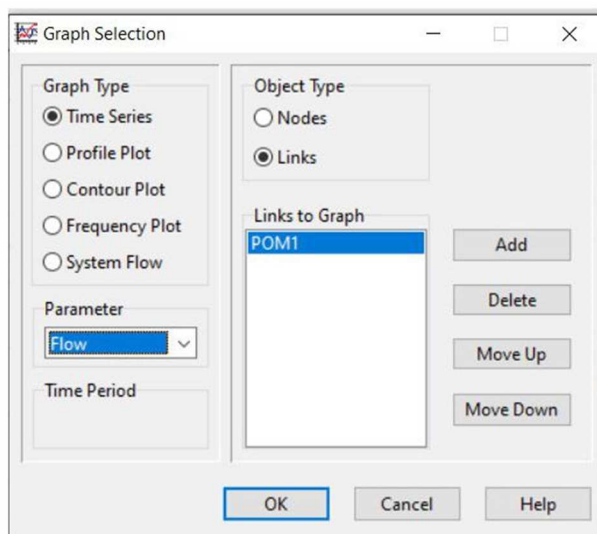
6. Przeprowadzenie symulacji hydraulicznej

Przeprowadzamy wstępne symulacje hydrauliczne dla 24 godzin według zasad omówionych we wcześniejszych ćwiczeniach. Mogą pojawić się komunikaty Negative pressure dla większej liczby godzin. Należy skorygować średnice lub sprawdzić wydajność pompowni.

7. Ustalanie godziny Q_{hmax} dla systemu dystrybucji wody

Przyjmujemy, że godzina Q_{hmax} wystąpi w przypadku maksymalnej wydajności pompowni. W celu ustalenia powyższej godziny sporządzamy wykres zmienności dobowej wydajności pompowni.

Zaznaczamy pompę w oknie [Network Map](#), a następnie tworzymy wykres poprzez wybór ikony . Otwiera się okno [Graph Selection](#) (Rys. 63), w którym wybieramy typ wykresu [Time Series](#), parametr Flow, natomiast [Object Type](#) i [Links to Graph](#) powinny podstawić się automatycznie po wcześniejszym zaznaczeniu pompy na mapie.



Rys. 63. Okno wyboru typu wykresu i parametrów rysunku

Otrzymujemy wykres (Rys. 64), na którym odszukujemy godzinę maksymalnego rozbioru wody w systemie. W naszym przykładzie jest to godzina 16.00.



Rys. 64. Zmienność wydajności pompowni w ciągu doby

8. Sporządzenie wyników obliczeń

Przeprowadzamy ponowne symulacje hydrauliczne dla 24 godzin. Mogą pojawić się komunikaty Negative pressure dla większej liczby godzin. Należy skorygować średnice dla godziny Q_{hmax} lub sprawdzić wydajność pompowni.

Sporządzamy wyniki obliczeń dla godziny Q_{hmax} dla węzłów i obiektów liniowych według zasad opisanych w rozdziale 4.4.1. Dokonujemy korekty średnic.

5.4.3. Sprawozdanie z ćwiczenia

Sprawozdanie powinno zawierać:

- okno **Network Map** z wytrasowanym systemem dystrybucji wody,
- wykres wydajności pompowni w ciągu doby,
- wyniki obliczeń hydraulicznych dla godziny maksymalnych rozbiórów Q_{hmax} dla węzłów i przewodów wodociągowych.

6. PODSUMOWANIE

W skrypcie zamieszczono podstawowe informacje na temat modelowania systemów dystrybucji wody, metodykę reprezentacji struktury sieci do celów modelowania numerycznego za pomocą grafów, ogólne zasady budowy modelu numerycznego systemu dystrybucji wody. W części praktycznej podano szczegółowy opis realizacji ćwiczeń z modelowania systemów dystrybucji wody na poziomie podstawowym.

LITERATURA

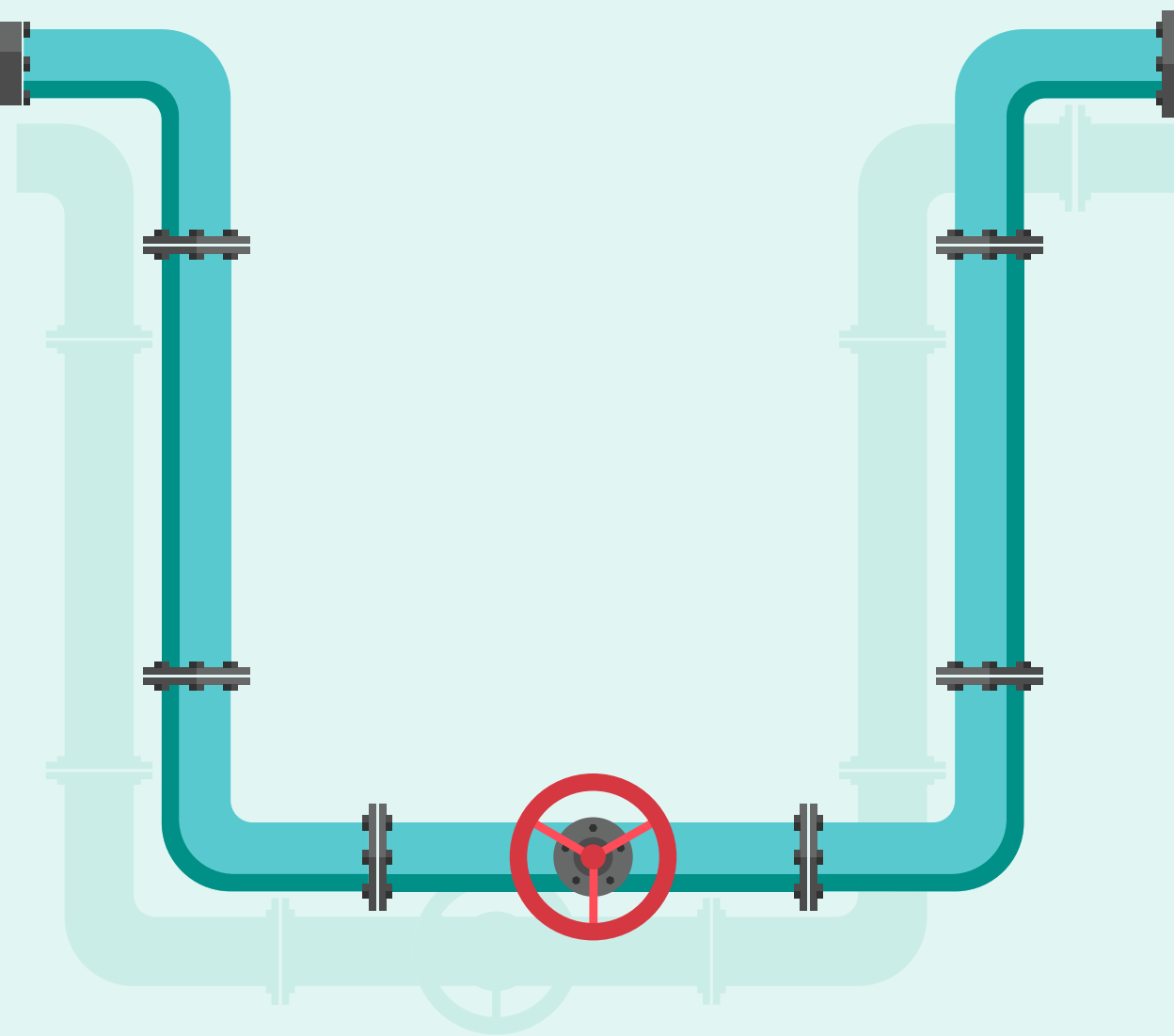
- Adams R.W., *Distribution Analysis by Electronic Computer*, "Institute of Water Engineers", vol. 15, 1961, pp. 415-428.
- Boulos P.F., *A Graph-Theoretic Approach to Explicit Pipe Network Optimization*, "Applied Mathematical Modelling", vol. 15, no. 9, 1991, pp. 459-466.
- Chandarshekar M., Kesavan H.K., *Graph-theoretic models for pipe network analysis*, "Journal of Hydraulics Division, ASCE", vol. 98, no. 2, 1972.
- Deo N., *Graph theory with applications*, Springer-Verlag GmbH, 2013.
- Epp R., Fowler A.G., *Efficient Code for steady state Flows in Networks*, "Journal of the Hydraulics Division, ASCE", vol. 96, no. HY1, 1970, pp. 43-56.
- Hoag L.N., Weinberg G., *Pipeline network analysis by electronic digital computer*, "Journal of the American Water Works Association, ASCE", vol. 49, no. 5, 1957, pp. 517-524.
- Kulbik M., *Komputerowa symulacja i badanie terenowe miejskich systemów wodociągowych*, Monografie 49, Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2004 (in Polish).
- Kwietniewski M., *GIS w wodociągach i kanalizacji*, PWN, Warszawa 2013.
- Lansey K., Mays L.W., *Hydraulics of Water Distribution Systems*, [in:] Mays L.W. (Ed.), *Water Distribution Systems Handbook*, Publisher McGraw-Hill 2000.
- Mays L.W., *Water distribution systems handbook*, McGraw-Hill, 2000.
- Mielcarzewicz E.W., *Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę*, Warszawa 2000.
- Ormsbee L.E., *The History of Water Distribution Network Analysis: The Computer Age*, Proceedings of the 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, ASCE, 27-30 August, Cincinnati, Ohio, USA 2006, pp. 1-6.

- Ormsbee L.E., Wood D.J., *Hydraulic Design Algorithms for Pipe Networks*, "Journal of Hydraulic Engineering, ASCE", vol. 112, no. 12, 1986, pp. 1195-1207.
- Rossman L.A., *EPANET 2 User's manual*, EPA/600/R-00/057, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA 2000.
- Shamir U., Howard D.D., *Water Distribution Systems Analysis*, "Journal of the Hydraulic Division, ASCE", vol. 94, no. HY1, 1968, pp. 219-234.
- Shamsi U.M., *GIS applications for water, wastewater and stormwater systems*, CRC Press INC, Taylor & Francis Group, New York 2005.
- Taher S.A., Labadie J.W., *Optimal design of water-distribution networks with GIS*, "Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE", vol. 122, no. 4, 1996, pp. 301-311.
- Todini E., Pilati S., *A Gradient Method for the Analysis of Pipe Networks*, International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution, Leicester Polytechnic, 1987, pp. 1-20.
- Walski M.T., Chase D.V., Savic D.A., Grayman W.M., Beckwith S., Koelle E., *Advanced Water Distribution Modeling And Management*, Haestad Methods Solution Center, Haestad Press 2003.
- Żuchowicki A.W., *Projektowanie sieci wodociągowej i kanalizacyjnej*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004.

WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 1. Odwzorowanie struktury systemu wodociągowego za pomocą schematu	11
Rys. 2. Odwzorowanie struktury systemu wodociągowego za pomocą grafu.....	12
Rys. 3. Widok programu EPANET po uruchomieniu.....	17
Rys. 4. Pasek narzędzi z zaznaczonymi ikonami obiektów modelu programu EPANET.....	17
Rys. 5. Okno Browser umożliwiające wyszukiwanie obiektów modelu i wyświetlanie wyników na mapie: a) zakładka Data; b) zakładka Map.....	18
Rys. 6. Wybór opcji Project >> Defaults.....	19
Rys. 7. Ustawienie jednostek miar i wzoru do obliczania liniowych strat ciśnienia	20
Rys. 8. Ustawienie parametrów domyślnych obiektów modelu.....	21
Rys. 9. Ustawienie przedrostków identyfikatorów obiektów modelu	21
Rys. 10. Okno wyboru typu i zakresu tabeli z wynikami	22
Rys. 11. Wybór kolumn w tabeli wyników.....	23
Rys. 12. Tabela z arkuszem wyników dla węzłów.....	23
Rys. 13. Tabela z zaznaczonym wszystkimi komórkami arkusza do skopiowania	24
Rys. 14. Wybór miejsca docelowego kopiowania wyników z tabeli.....	24
Rys. 15. Okno Windows do zapisywania plików na dysku.....	25
Rys. 16. Wybór opcji Edit => Copy To... do zapisywania wyników obliczeń.....	25
Rys. 17. Wybór opcji.....	26
Rys. 18. Zwiększanie wielkości węzła w opcjach wyświetlania mapy.....	26
Rys. 19. Zwiększanie grubości obiektów liniowych w opcjach wyświetlania mapy.....	27
Rys. 20. Opcje wyświetlania identyfikatorów węzłów i połączeń oraz zwiększenie czcionki wyświetlanych identyfikatorów	27
Rys. 21. Opcja wyboru obszaru do wspólnej edycji obiektów.....	28
Rys. 22. Wybór parametru do wspólnej edycji dla zaznaczonych węzłów.....	28
Rys. 23. Wybór parametru do wspólnej edycji dla zaznaczonych przewodów.....	28
Rys. 24. Wstawianie obiektu Reservoir	29
Rys. 25. Cursor w kształcie celownika do wstawiania obiektów Reservoir i Junction	30
Rys. 26. Wstawianie obiektu Junction.....	30
Rys. 27. Źródło zasilania i węzły przykładowego modelu sieci wodociągowej z ustawionymi opcjami wyświetlania mapy	31
Rys. 28. Wybór ikony Pumps na pasku narzędzi.....	31
Rys. 29. Wstawianie pompy do modelu.....	32
Rys. 30. Wstawiona pompownia pomiędzy źródłem R1 i węzłem W1	32
Rys. 31. Model sieci z wstawioną pompownią PUMP1 pomiędzy węzłami R1 i W1	32
Rys. 32. Wstawianie przewodów wodociągowych.....	33
Rys. 33. Schemat przykładowej sieci wodociągowej.....	33
Rys. 34. Okno Browser z wyświetloną zakładką do tworzenia i przeglądania charakterystyk pomp	34
Rys. 35. Edytor charakterystyki pompy.....	35

Rys. 36. Edytor danych pompy – wstawiane charakterystyki pompy	36
Rys. 37. Edytor danych węzła – wstawiane rzędnej terenu.....	37
Rys. 38. Edytor danych przewodu wodociągowego – korekta średnicy.....	38
Rys. 39. Edytor danych przewodu wodociągowego – korekta wysokości	40
Rys. 40. Schemat mapy systemu do sprawozdania z ćwiczenia nr 1	40
Rys. 41. Wartości wydatków węzłowych „BaseDemand”	42
Rys. 42. Edytor danych węzła – wstawianie poborów wody „Base Demand”	43
Rys. 43. Wybór i edycja charakterystyki pompy	43
Rys. 44. Run Status – Komunikaty o ostrzeżeniach.....	44
Rys. 45. Status Report – Komunikat „Negative pressures”	44
Rys. 46. Ustawienie wyświetlania identyfikatorów i wartości parametrów węzłów i obiektów liniowych.....	45
Rys. 47. Ustawienie wyświetlania prędkości w przewodach wodociągowych.....	45
Rys. 48. Schemat system dystrybucji wody z prędkościami przepływu w przewodach wodociągowych przed korektą średnic	46
Rys. 49. Schemat system dystrybucji wody.....	48
Rys. 50. Wyniki obliczeń dla przewodów wodociągowych z uwzględnieniem jednostkowych strat ciśnienia.....	49
Rys. 51. Schemat systemu z wartościami jednostkowych strat ciśnienia	49
Rys. 52. Jednostkowe straty ciśnienia dla średnicy DN110 dla współczynników chropowatości k z zakresu 0,01 do 1,0 mm.....	50
Rys. 53. Załadowanie mapy podkładu	56
Rys. 54. Schematyczna mapa jednostki osadniczej do zajęć	56
Rys. 55. Uruchomienie edytora wzorców.....	57
Rys. 56. Edytor wzorców rozbiorów wody	57
Rys. 57. Trasowanie sieci wodociągowej na mapie	58
Rys. 58. Uzupełnianie danych o średnim zużyciu wody „Base Demand” oraz rozkładów rozbioru wody „Demand Pattern” dla kilku odbiorców w węźle	59
Rys. 59. Dane węzła dla dwóch kategorii odbiorców.....	60
Rys. 60. Uruchomienie edytora opcji obliczeniowych.....	60
Rys. 61. Wybór opcji ustawiania czasu obliczeń.....	60
Rys. 62. Wybór opcji ustawiania czasu obliczeń.....	61
Rys. 63. Okno wyboru typu wykresu i parametrów rysunku	62
Rys. 64. Zmienność wydajności pompowni w ciągu doby	62



ISBN: 978-83-962816-1-6