

Ewa BURSZA-ADAMIAK^{1*}, Justyna SYNOWIECKA¹, Andrzej PRZERWA^{2**}

¹ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska

pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

*email: ewa.bursza-adamiak@up.wroc.pl

² Świdnickie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Świdnicy Sp. z o.o.

ul. Wrocławska 10, 58-100 Świdnica

**email: aprzerwa@spwik.com.pl

Zastosowanie programu WaterCAD do modelowania i symulacji sieci wodociągowej

Prezentowano możliwości programu WaterCAD V8i firmy Bentley (wersji akademickiej) w zakresie tworzenia modelu hydraulicznego oraz prowadzenia symulacji i analiz. Sposoby wizualizacji danych i wyników zaprezentowano w końcowej części artykułu. Dane wprowadzane do modelu dotyczyły rzeczywistej sieci wodociągowej, będącej pod zarządem Świdnickiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Świdnicy Sp. z o.o. Analizy hydrauliczne, obrazujące pracę świdnickiej sieci wodociągowej, przeprowadzono w warunkach ustalonych (*Steady State*) oraz w dynamicznych (*EPS - Extended Period Simulation*), a także w warunkach prawdopodobnych, używając do tego celu tzw. scenariuszy. Otrzymane w programie WaterCAD V8i wielkości przepływów oraz rozbiórów wody u poszczególnych odbiorców w znacznej mierze odzwierciedlają stan faktyczny, jednak prędkości przepływów oraz wysokości ciśnień różnią od wartości wynikających z okresowych pomiarów prowadzonych w punktach kontrolnych przez SPWiK. Przyczyną takiej rozbieżności może być znaczna generalizacja sieci oraz niedostateczna kalibracja wynikająca z nadal mało rozbudowanej sieci monitoringu SPWiK. Wyniki analiz scenariuszy, przewidujących znaczne zwiększenie zużycia wody w strefie Zawiszów, dowodzą możliwości przyłączenia do sieci dodatkowych odbiorców komunalnych, jak również pozwalają na zwiększony pobór wody przez zakłady przemysłowe.

Słowa kluczowe: System Informacji Geograficznej (GIS), WaterCAD, model hydrauliczny, symulacja sieci wodociągowej

Wprowadzenie

Rozproszona struktura sieci wodociągowej, zmienność parametrów pracy przy jednoczesnej potrzebie podejmowania wielu decyzji w jednym czasie powodują, że zarządzanie infrastrukturą sieciową jest procesem złożonym. Ten trudny proces decyzyjny może być wspierany przez dostępne systemy geoinformacyjne, które są opracowywane z myślą o zarządcach systemów dystrybucji wody [1, 2]. Należą do nich systemy typu GIS (Systemy Informacji Geograficznej), których integralną część stanowią oprogramowania komputerowe, służące do modelowania i symulacji sieci wodociągowej.

Opracowywany w programach komputerowych model hydrauliczny systemu zaopatrzenia w wodę jest jednym z podstawowych narzędzi badawczych, wykorzy-

stywanych do analizy właściwości i działania systemu wodociągowego miasta [3]. Wyniki analiz prowadzonych na modelach hydraulicznych mogą być pomocne w podejmowaniu decyzji związanych z modernizacją i rozbudową systemów wodociągowych. Pozwalają także na minimalizowanie skutków zdarzeń losowych, a co za tym idzie, na zmniejszenie ryzyka i kosztów ponoszonych przez przedsiębiorstwa wodociągowe. Wśród oprogramowań hydraulicznych modeli sieci wodociągowej na szczególną uwagę zasługują pakiety komputerowe: EpaNet, PICCOLO, MikeNet, ISYDYW, OHIO [3, 4]. Do mniej znanych pakietów, pozwalających na obliczenie wartości parametrów hydraulicznych w systemie dystrybucji wody oraz symulację pracy sieci wodociągowej, należy program WaterCAD V8i firmy Bentley.

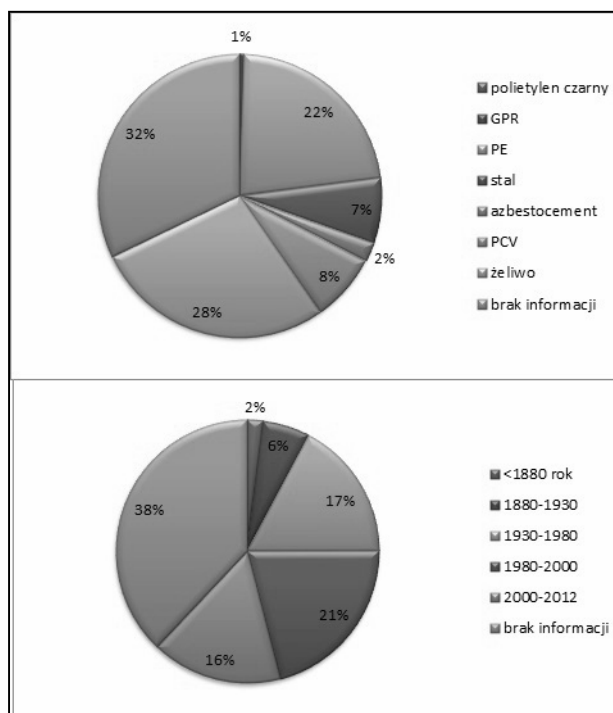
Celem artykułu było przedstawienie możliwości prowadzenia symulacji i analiz na przykładzie programu WaterCAD V8i (wersji akademickiej). Zaprezentowano etapy opracowywania modelu hydraulicznego, przedstawiono opcje możliwe do wykorzystania podczas pracy z programem oraz podano wybrane sposoby prezentacji otrzymanych parametrów hydraulicznych. Dane wprowadzane do modelu dotyczyły rzeczywistej sieci wodociągowej będącej pod zarządem Świdnickiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Świdnicy Sp. z o.o. Wyniki analiz komputerowych odniesiono do danych eksploatacyjnych świdnickiej sieci wodociągowej.

1. Charakterystyka świdnickiej sieci wodociągowej

Woda, w którą zaopatrywani są mieszkańcy Świdnicy, pochodzi z dwóch ujęć głębinowych - Zakładu Uzdatniania Wody (ZUW) w Pszennie oraz nowo wybudowanego Zakładu Uzdatniania Wody znajdującego się przy ulicy Boksterskiej. W ZUW Pszenno eksploatuje się 6 studni głębinowych o łącznej wydajności 631 m³/h, natomiast w obrębie ZUW Boksterska pracuje 9 studni o sumarycznej wydajności ponad 400 m³/h. Ilość wody pobranej z ujęć wynosi 4317,66 tys. m³ (stan na 2011). Dobowe zużycie wody na jednego mieszkańca Świdnicy na podstawie sprzedaży wody gospodarstwom domowym wynosi 89,6 dm³ na osobę. Ponadto liczba mieszkańców korzystających z wodociągu liczy 59 134 osób, jest to 98% ludności miasta [5].

Długość świdnickiej sieci wodociągowej wynosi 298 km, z czego 69 km stanowią przyłącza domowe, a 138 km przewody rozdzielcze. Prawie 90 km dodatkowo zainwentaryzowanej w systemie sieci stanowią instalacje, znajdujące się za studniami wodomierzowymi, należące m.in. do większych zakładów przemysłowych. Około 1 km sieci ze względu na pełnioną funkcję pozostaje niezidentyfikowane [5]. Świdnicka sieć wodociągowa jest podzielona na siedem stref wodociągowych. Modelowaniu hydraulicznemu poddano jedną z nich - Zawiszów, znajdującą się w północnej części miasta. ŚPWK w Świdnicy nie posiada jeszcze modelu hydraulicznego sieci wodociągowej, dlatego też stworzony graf sieci z przypisanymi mu atrybutami może stanowić pierwowzór wersji pilotażowej w przyszłym rozwoju

przedsiębiorstwa. Powierzchnia rozpatrywanego rejonu wodociągowego liczy 2,66 km². Sieć wodociągowa strefy Zawiszów jest stosunkowo nowa. Wszystkie przewody zostały wybudowane nie później niż w 1980 roku. Długość rurociągów liczy 31 km, co stanowi ponad 10% całkowitej świdnickiej sieci. Najczęściej zastosowanymi materiałami dla rurociągów jest PCV, polietylen oraz żeliwo (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład procentowy materiałów oraz wieku świdnickiej sieci wodociągowej

Fig. 1. Age percentage distribution and Świdnica supply network materials

Na wejściu do strefy zamontowany został w studni pomiarowej przepływomierz elektromagnetyczny, który monitoruje online objętości wpływającej wody do Zawiszowa. Dane o rozbiórach pochodzące z monitoringu oraz pozyskane bezpośrednio z firmy Colgate-Palmolive (jednego z największych zakładów przemysłowych na rozpatrywanym terenie) były parametrami wykorzystywanymi do budowania i analizy modelu hydraulicznego.

2. Etapy realizacji modelu hydraulicznego

Budowa modelu hydraulicznego wiąże się z wprowadzeniem danych o przebiegu sieci, położeniu punktów węzłowych oraz zdefiniowaniu właściwości poszczególnych obiektów systemu dystrybucyjnego zarówno tych fizycznych, tj. materiału, średnicy, jak i właściwości hydraulicznych, tj. rozbiórów wody [6-10].

Podstawą analiz hydraulicznych sieci wodociągowej jest proces kalibracji danych. Pozwala on na wierne odwzorowanie rzeczywistych zjawisk zachodzących na sieci [3]. Świdnickie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji jest na etapie montażu urządzeń pomiarowych, które pozwolą na rozbudowę sieci monitoringu i przyszłą kalibrację modelu. W trakcie tworzenia niniejszego modelu opierano się głównie na danych pochodzących z przepływomierza elektromagnetycznego zainstalowanego w studni pomiarowej na wejściu do strefy [11]. Z tych względów prowadzone badania należy traktować jako pilotażowe.

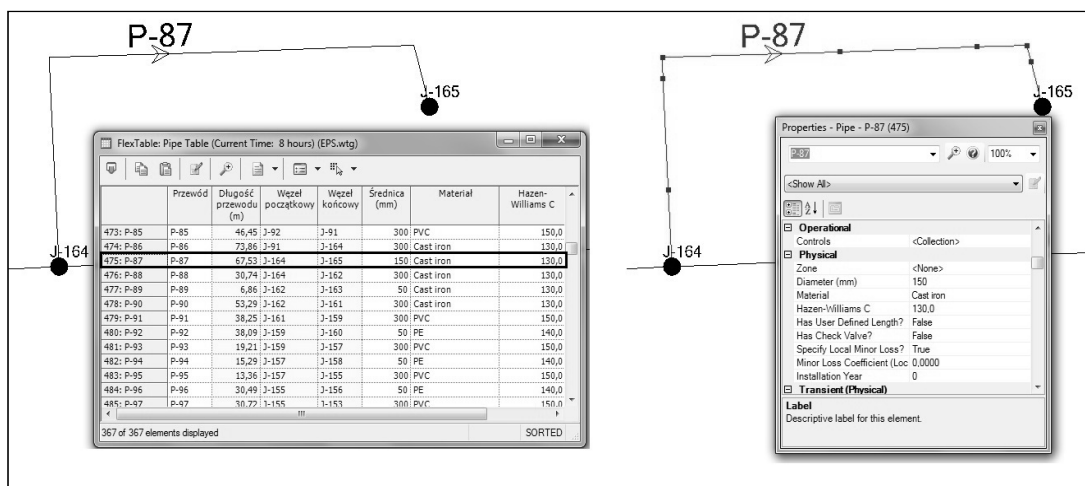
Dane graficzne, niezbędne do stworzenia schematu graficznego sieci, w przypadku świdnickiej sieci wodociągowej zostały zaimportowane z programu ArcMap do aplikacji WaterCAD V8i. Był to niewątpliwie najbardziej czasochłonny etap tworzenia modelu hydraulicznego sieci. Przed podjęciem pracy z modelem przeprowadzono generalizację sieci, gdyż w przypadku wymiany danych o strukturze sieci z programami typu GIS użytkownik ma do czynienia z nadmiarem danych. Proces ten polegał na częściowym uproszczeniu struktury systemu wodociągowego i pozostawieniu tylko tych elementów sieci, które miały istotny wpływ na wyniki obliczeń hydraulicznych. Proces generalizowania i inwentaryzacji sieci był przeprowadzany jeszcze w programie do zarządzania danymi (ArcMap). Po tej czynności możliwe było zaimportowanie w postaci podkładu mapowego szkieletu systemu. Każda z wybranych warstw tematycznych była przeniesiona w formacie .shp lub .dxf za pomocą funkcji *Background Layers* (warstwy podkładowe) w programie WaterCAD. Przy realizacji tego zadania napotkano problem. Zaimportowane warstwy spełniały jedynie rolę podkładu mapowego. Pomimo iż program WaterCAD odczytywał pliki zapisane w formacie .shp, nie definiował poszczególnych elementów mapy oraz ich atrybutów. Wynikiem tego była konieczność manualnej identyfikacji przewodów oraz węzłów poprzez wykorzystanie narzędzi graficznych programu *Pipe* (rurociąg) oraz *Junction* (węzeł).

Efektem końcowym tego etapu prac na przykładzie sieci wodociągowej miasta Świdnicy (strefy Zawiszów) było wprowadzenie 367 przewodów ograniczonych przez 359 punktów węzłowych.

Proces wprowadzania atrybutów opisowych wszystkich elementów sieci w programie WaterCAD odbywał się na dwa sposoby. Pierwszy z nich polegał na wykorzystaniu formy tabelarycznej zapisu danych w tzw. *Flex Table* (dopasowujące się tabele). Drugi natomiast bazował na miejscowym wpisywaniu informacji dzięki uruchomieniu właściwości wybranego komponentu sieci. Zapisanie zmian w jednej z form powodowało automatyczną jej aktualizację w drugiej. Przykład wprowadzania tego samego rodzaju danych dla wybranego przewodu przedstawiono na rysunku 2.

Dla analizowanej świdnickiej sieci wodociągowej w programie WaterCAD dla rurociągów przypisano materiał, średnicę oraz współczynnik chropowatości wg Hazena-Williamsa. Długość jako jedyna wielkość została uzupełniona (nadpisała się) automatycznie po procedurze ręcznego definiowania przebiegu przewodów. Informacje na temat materiału, z którego wykonane były poszczególne odcinki oraz

ich średnicy, pozyskiwano z programu ArcMap oraz odszukiwano jego odpowiednik w bibliotece materiałów programu WaterCAD. Po określeniu materiału, z którego wykonana jest dana część sieci, współczynnik chropowatości dla większości przewodów był samoczynnie przypisywany. Jak wspomniano w opisie świdnickiej sieci, infrastruktura Zawiszowa jest stosunkowo nowa, jednak z uwagi na znaczne przyrosty chropowatości dla przewodów żeliwnych o okresie eksploatacji dłuższym niż 15 lat manualnie przypisano odpowiednią wartość współczynnika chropowatości [12, 13].

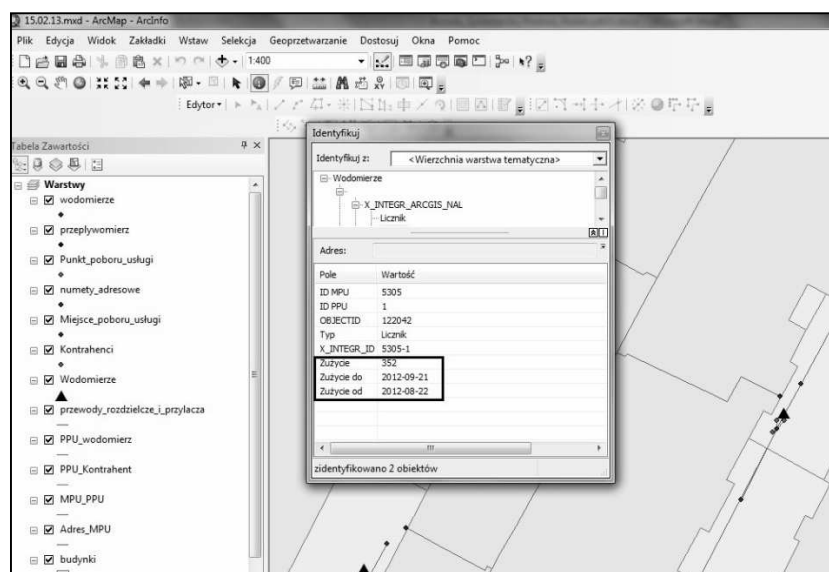


Rys. 2. Wprowadzanie danych za pomocą funkcji *Flex Table* oraz miejscowo dla pojedynczego elementu

Fig. 2. Data entry using *Flex Table* function and locally for a single item

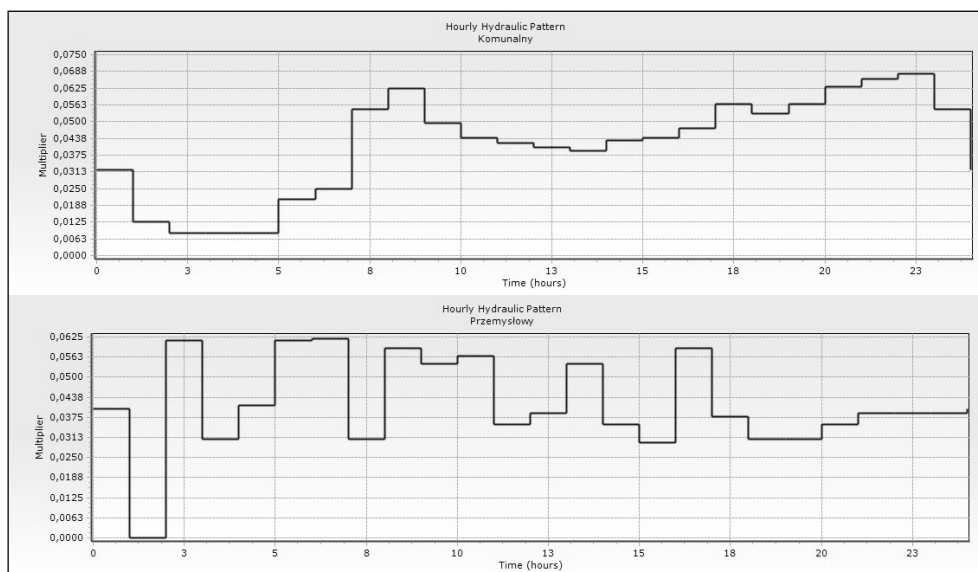
Właściwości węzłów obliczeniowych wymagały zdefiniowania rzędnej terenu, strefy zasilania wodociągowej oraz przepływu, a w przypadku węzłów końcowych rozbiórów wody w poszczególnych punktach poboru. Wszystkie ww. informacje pozyskano na podstawie danych zapisanych w programie ArcMap. ŚPWik w Świdnicy posiada zintegrowane odczyty inkasenckie z lokalizacją poszczególnych przyłączy wodociągowych na mapie. Dzięki stworzeniu takiej relacji i powiązaniu z działem księgowości i rozliczeń możliwy był wgląd w miesięczną wartość poboru wody przez poszczególnych odbiorców (rys. 3). Powyższe działania pozwoliły na pozyskanie wartości poborów wody w węzłach końcowych. Wartości odcinkowe dla węzłów pośredniczących obliczono z wykorzystaniem metody Crossa [14].

Do przeprowadzenia obliczeń hydraulicznych wymagane było zdefiniowanie godzinowych rozbiórów wody, które w programie prezentowane są w formie histogramów. Przyjęcie wzorca rozbiórów dla prowadzonych obliczeń dotyczyło określenia nierównomierności rozbiórów z uwzględnieniem ich cyklu (24-godzinny) [15].



Rys. 3. Zintegrowany system odczytów wodomierzowych dla określonego przyłącza zlokalizowanego na mapie

Fig. 3. Integrated water measurement system for a specified connector located on the map



Rys. 4. Wzorce rozbioru wody: komunalny (na górze) oraz przemysłowy (na dole)

Fig. 4. Cutting patterns of water: municipal (top) and industrial (bottom)

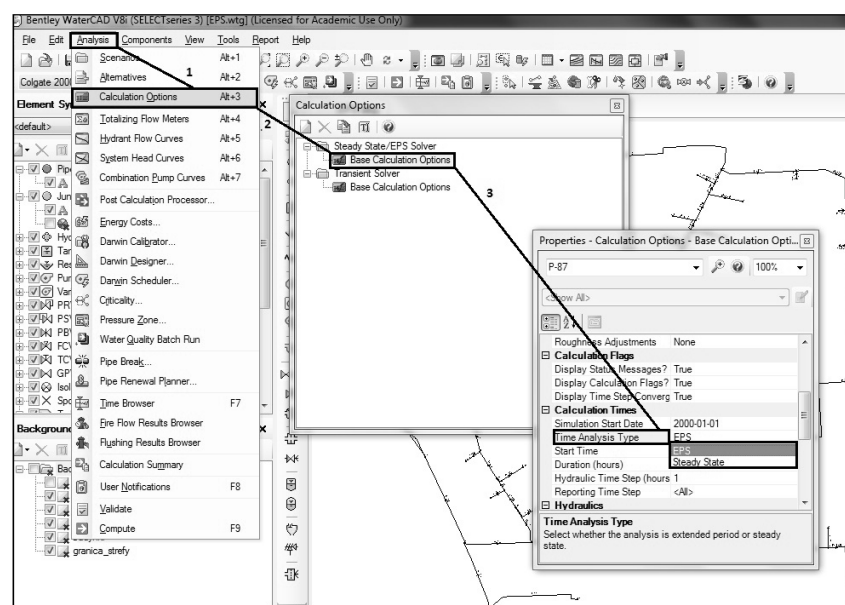
W przypadku świdnickiej strefy Zawiszów dystrybucja wody odbywa się dla zaspokojenia potrzeb przemysłowych oraz komunalnych. Z tych względów w programie WaterCAD opracowano dwa typy wzorców rozbiorów (rys. 4). Do celów

przemysłowych wzorców rozbioru wody powstał na podstawie danych dostarczonych przez koncern Colgate-Palmolive. Jest on ściśle związany z cyklami realizowanych procesów produkcyjnych w tym zakładzie. Rozkład rozbioru wody przez mieszkańców strefy określono na podstawie wartości literaturowych [13].

Prace w końcowym etapie wprowadzania danych do modelu polegały na parametryzacji pompy oraz zbiornika wody. Charakterystykę pompy wprowadzono do programu WaterCAD poprzez zdefiniowanie trzech typowych punktów jako funkcji przepływu w m^3/h oraz wysokości podnoszenia w m. Zbiornik był obiektem, który w programie opisano poprzez podanie zakresu pracy (minimalny i maksymalny poziom wody), objętości oraz jego przekroju.

3. Analiza hydrauliczna

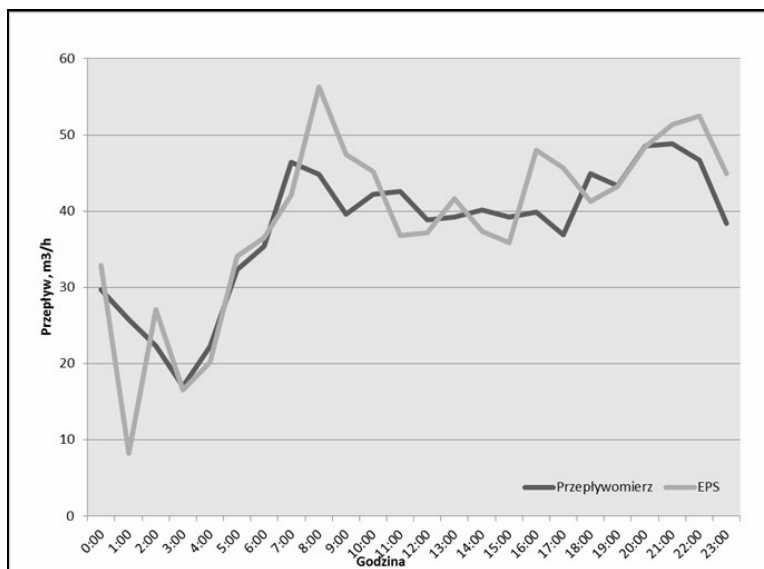
Program WaterCAD umożliwia przeprowadzenie dwóch rodzajów analiz hydraulicznych. Pierwsza z nich w warunkach ustalonych (*Steady State*) odzwierciedla zjawiska zachodzące na sieci w wybranym momencie, tzn. parametry w danym czasie nie ulegają zmianom. Drugi typ analiz opiera się na analizie sieci w warunkach dynamicznych (*EPS - Extended Period Simulation*). Analiza ta pozwala na obserwację zjawisk, które są warunkowane przez zmieniające się parametry w czasie pracy sieci, uwzględniając w obliczeniach wcześniej zdefiniowane godzinowe rozbiory wody. Procedurę wyboru odpowiedniej analizy przedstawiono na rysunku 5. Na opracowywanym modelu strefy wodociągowej Zawiszów miasta Świdnicy przeprowadzono oba rodzaje symulacji.



Rys. 5. Typy analiz hydraulicznych programu WaterCAD

Fig. 5. Hydraulic analyses types in WaterCAD

Pod względem mnogości informacji, które dostarczają nam dwa ww. typy analiz, EPS jest znacznie przydatniejsza do oceny zjawisk zachodzących na sieci. Podstawowym celem poddania danych analizie w warunkach dynamicznych było otrzymanie wykresu dobowego przepływu wody na wejściu do strefy (rys. 6). Działanie to umożliwiło skonfrontowanie wielkości otrzymanych w programie z przepływami zarejestrowanymi przez przepływomierz strefowy. Na wykresie obrazującym osiągnięte wielkości przepływów w rozkładzie dobowym można zauważyć znaczne podobieństwo przebiegu krzywych w obydwu przypadkach.



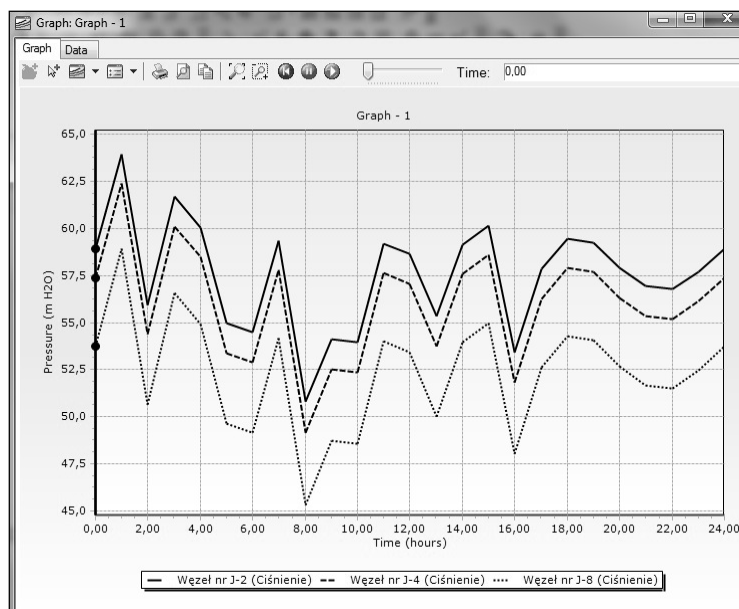
Rys. 6. Rozkład przepływów godzinowych na wejściu do strefy Zawiszów

Fig. 6. Hourly flow distribution at the entrance to the Zawiszów zone

Oprócz rozkładu przepływów w poszczególnych godzinach doby, analiza EPS umożliwiła także porównanie wartości ciśnień występujących w strefie (w rzeczywistości) z wartościami modelowymi. Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami w wybranych punktach kontrolnych przez ŚPWik ciśnienia panujące w Zawiszowie oscylują w granicach $41 \div 51,5$ mH₂O [3]. Na rysunku 7 przedstawiono wykres ciśnienia w poszczególnych godzinach doby dla trzech wybranych węzłów wodociągowych tworzących kolejne odcinki. Są one zawarte w zakresach maksymalnych ciśnień panujących na sieci. Otrzymywanie wyższych wartości ciśnień podczas modelowania hydraulicznego jest najprawdopodobniej spowodowane niedostateczną kalibracją modelu oraz jego generalizacją. Przy tak niewielkich możliwościach kalibracji modelu ważne jest, że ogólny schemat systemu wodociągowego został zachowany, a wartości zużycia wody odpowiadają wielkościom rzeczywistym.

Program WaterCAD umożliwia także rozpatrywanie zjawisk na sieci w warunkach prawdopodobnych (scenariusze). Scenariusze pozwalają na wprowadzanie zmian do bazowego modelu bez ingerencji w jego strukturę. Dzięki scenariuszom

istnieje możliwość sprawdzenia zmian w modelu, jakie nastąpią po uwzględnieniu np. dodatkowych odbiorców, wyłączeniu z eksploatacji fragmentu sieci itp. Program WaterCAD pozwala na przygotowanie kilku scenariuszy, uruchomienie ich na bazowym modelu i porównanie wyników symulacji.



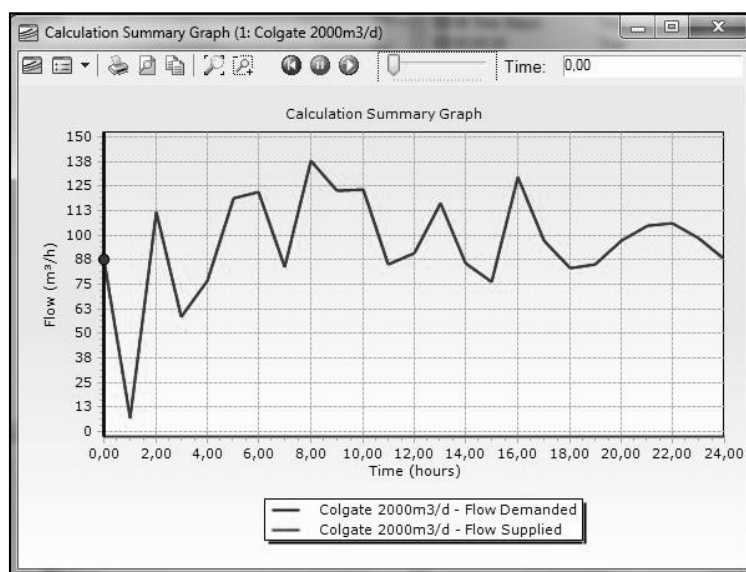
Rys. 7. Rozkład ciśnień w poszczególnych godzinach doby w wybranych węzłach

Fig. 7. Pressure distribution in different hours of the day at selected nodes

W przypadku sieci wodociągowej Zawiszowa w scenariuszu założono zwiększony pobór wody przez zakład przemysłowy Colgate-Palmolive z 394 do 2000 m³/d. Przyjęty do analizy wariant wynika z założonego w przyszłości rozwoju tego rejonu miasta.

Na podstawie wyników pierwszego scenariusza można zauważyć, iż kształt krzywej w porównaniu z jej poprzednią wersją (por. rys. 6 i 8) jest bardzo zbliżony. Godziny największego i najmniejszego rozbioru wody także pozostają bez zmian, ponieważ wzorce zapotrzebowania nie uległy modyfikacji. Istotną różnicą są maksymalne wartości osiągane przez przepływy. We wcześniejszej wersji największy przepływ występujący o godzinie 8⁰⁰ wynosił około 56 m³/h. Analizowany scenariusz wykazuje 2,5-krotne zwiększenie tego przepływu - do 138 m³/h. Analiza scenariusza przewidującego zwiększony pobór wody miała za zadanie także sprawdzenie, czy wielkość średnicy rurociągu doprowadzającego wodę do zakładu jest wystarczająca. Nie zostały wyświetlone żadne komunikaty informujące o wadliwym działaniu sieci na tym konkretnym odcinku.

Przed uruchomieniem funkcji obliczeniowej *Compute* konieczna była wcześniejsza weryfikacja poprawności wpisanych danych. Pozwala ona na wykrycie ewentualnych braków oraz umożliwia interpretację ich sensu logicznego.

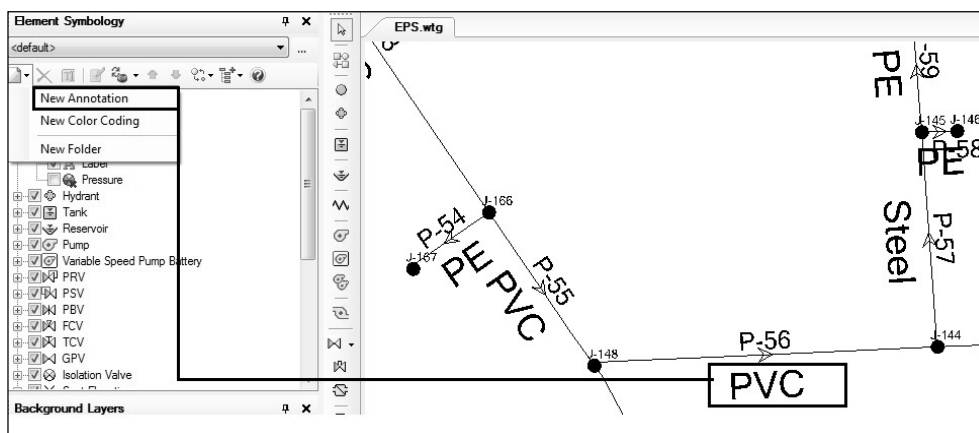


Rys. 8. 24-godzinny wykres przepływów wody w strefie Zawiszów dla zwiększonego zużycia wody przez zakład przemysłowy

Fig. 8. 24-hour water flow chart at Zawiszów zone for increased water consumption by the industrial plant

4. Sposoby prezentacji danych i wyników analiz

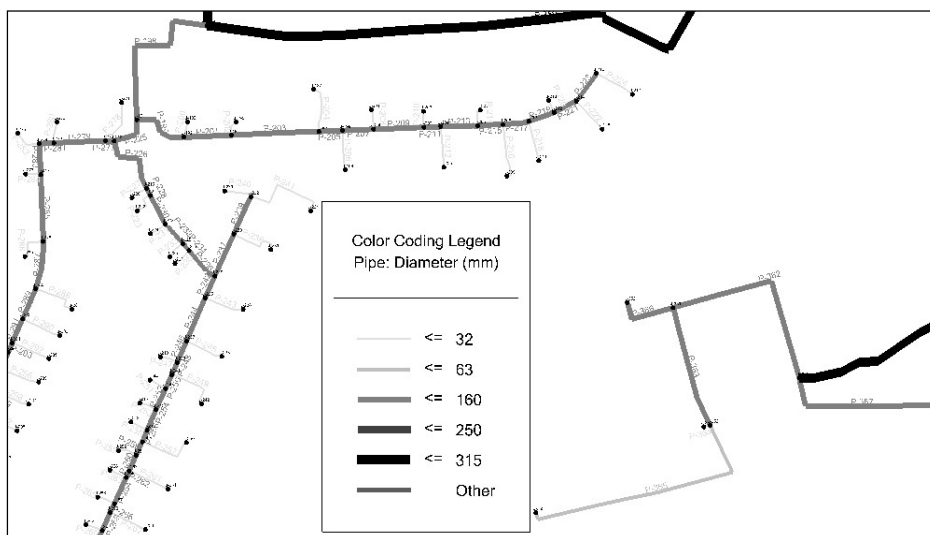
Program do modelowania hydraulicznego WaterCAD pozwala na prezentację zarówno wprowadzonych informacji wejściowych, jak i pozyskanych wyników. Umożliwia przedstawienie efektów analiz w formie wykresów, tabel oraz raportów (rys. 9), które mogą być eksportowane do plików zewnętrznych.



Rys. 9. Tworzenie adnotacji dotyczącej materiału przewodów

Fig. 9. Annotations on the material of wires

Praktycznie każdy parametr może zostać zwizualizowany także za pomocą ww. wariantów przy dodatkowym uwzględnieniu podkreślenia ich rangi ważności poprzez adnotację (rys. 10), kolor lub rozmiar na poziomie okna edycji (rys. 11). Różne warianty przedstawienia efektów pracy w programie WaterCAD mają na celu przede wszystkim ułatwienie czynności wnioskowania oraz zobrazowania zjawisk występujących na sieci, co niewątpliwie ułatwia ich zrozumienie przez użytkownika.



Rys. 10. Zastosowanie funkcji kodowania rozmiarem oraz kolorem w celu pokazania średnic rurociągów

Fig. 10. Use of encoding features for sizing and coloring pipe diameters

Current Time: 8 hours						
Przewód	Długość przewodu (m)	Wzł. początkowy	Wzł. końcowy	Średnica (mm)	Materiał	Hazen-Williams C
P-3	15,31	J-3	J-2	50	PE	140,0
P-4	29,30	J-2	J-4	250	PE	140,0
P-5	17,18	J-4	J-5	32	PE	140,0
P-6	46,08	J-4	J-6	250	PE	140,0
P-7	14,71	J-6	J-7	63	PE	140,0
P-8	171,08	J-6	J-8	250	PE	140,0
P-9	12,48	J-8	J-9	63	PE	140,0
P-10	147,42	J-8	J-10	250	PE	140,0
P-11	92,44	J-10	J-11	90	PE	140,0
P-12	66,92	J-10	J-12	250	PE	140,0
P-13	64,97	J-12	J-161	300	Castiron	130,0
P-14	90,93	J-12	J-13	300	Castiron	130,0
P-15	44,87	J-13	J-14	40	PE	140,0
P-16	251,12	J-13	J-15	300	Castiron	130,0
P-17	733,23	J-15	J-16	160	PE	140,0
P-18	2,32	J-16	J-17	160	PE	140,0
P-19	4,76	J-16	J-18	160	PE	140,0
P-20	9,56	J-15	J-19	300	PVC	150,0
P-21	260,03	J-19	J-20	200	PE	140,0
P-22	11,09	J-20	J-21	160	PE	140,0
P-23	645,83	J-20	J-22	200	PE	140,0
P-24	493,75	J-22	J-23	200	PVC	150,0
P-25	79,18	J-23	J-24	160	PE	140,0
P-26	86,36	J-23	J-25	200	PVC	150,0

Rys. 11. Fragment raportu z programu WaterCAD

Fig. 11. Fragment of the report from WaterCAD

Wnioski

1. WaterCAD V8i jest programem, który pozwala na zrozumienie mechanizmów zachodzących w sieci, wspomagających sterowanie parametrami pracy sieci i przewidywania skutków podjętych decyzji.
2. Otrzymane w programie WaterCAD V8i wielkości przepływów oraz rozborów wody u poszczególnych odbiorców w znacznej mierze odzwierciedlają stan faktyczny, jednak prędkości przepływów oraz wysokości ciśnień różnią się od wartości wynikających z okresowych pomiarów w punktach kontrolnych przez ŚPWIK. Przyczyną takiej rozbieżności może być znaczna generalizacja sieci oraz niedostateczna kalibracja wynikająca z nadal mało rozbudowanej sieci monitoringu ŚPWIK.
3. Wyniki analiz scenariuszy przewidujących znaczne zwiększenie zużycia wody w strefie Zawiszów świadczą o możliwości przyłączenia do sieci odbiorców komunalnych, jak również pozwalają na dodatkowy pobór wody przez zakłady przemysłowe. Jest to zgodne z zadaniami zapisanymi w Strategii Rozwoju Miasta, przewidującej znaczną rozbudowę tego rejonu głównie pod kątem przemysłu.
4. Przedstawione w niniejszym artykule funkcje programu WaterCAD V8i to nie jedyne możliwości analiz, jakie mogą być prowadzone na opracowanym modelu hydraulicznym. W programie dostępna jest opcja m.in. oceny niezawodności systemu dystrybucji wody, symulowania efektu przepłukiwania sieci wodociągowej, analizy poboru wody na cele przeciwpożarowe, a także wykrywania wycieków oraz oceny jakości wody w sieci. Szeroki wachlarz zastosowań programu powoduje, że każdy użytkownik programu może odnaleźć te funkcje systemu GIS, których najbardziej w danej sytuacji potrzebuje.
5. Niezależnie od tego, jak bogato byłby wyposażony w funkcje program komputerowy, każdorazowo należy pamiętać, że opracowany model hydrauliczny wymaga bieżącego uaktualniania danymi rzeczywistymi. Dane te powinny być pozyskiwane z systemu monitoringu. Tylko taki poziom wymiany danych pozwala na przeprowadzenie procesu kalibracji, który jest podstawą prawidłowego działania modelu z uwzględnieniem realnej sytuacji panującej na sieci.
6. W związku z pilotażowym charakterem badań uzupełnienie ich w przyszłości o nowe informacje pochodzące z rozbudowywanego przez ŚPWIK monitoringu jest elementem koniecznym do otrzymania lepiej skalibrowanego modelu.

Literatura

- [1] Schiller T., Komputerowe modele sieci wodociągowej, *Wodociągi-Kanalizacja* 2005, 7-8(16-17), 26-27.
- [2] Gaska K., Generowicz A., Gądek W., GIS dla środowiska, *Ecomanager* 2011, 6/15, 39-41.
- [3] Kotowski A., Pawlak A., Wójtowicz P., Modelowanie miejskiego systemu zaopatrzenia w wodę na przykładzie osiedla mieszkaniowego Baranówka w Rzeszowie, *Ochrona Środowiska* 2010, 32, 2, 43-48.

- [4] Zimoch I., Zastosowanie modelowania komputerowego do wspomagania procesu eksploatacji systemu wodociągowego, *Ochrona Środowiska* 2008, 30, 3, 31-35.
- [5] Materiały Świdnickiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Świdnicy Sp. z o.o.: Ankieta przedstawiająca kondycję finansową oraz stan techniczny infrastruktury będącej w zarządzaniu przedsiębiorstwa za rok 2011.
- [6] Bentley WaterCAD V8i User's Guide (<http://docs.bentley.com>).
- [7] Karimi H.A., Houston B.H., Evaluating strategies for integrating environmental models with GIS: current trends and future needs, *Computers, Environment and Urban Systems* 1996, 20, 6, 413-425.
- [8] Kwietniewski M., GIS w wodociągach i kanalizacji, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- [9] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., GIS w zarządzaniu systemami wod-kan., *Wodociągi-Kanalizacja* 2008, 4(50), 24-26.
- [10] Walski T.M., Chase D.V., Introduction to Water Distribution Modeling, [w:] *Advanced Water Distribution Modeling and Management*, Haestad Press-Waterbury, CT USA 2003.
- [11] Burszta-Adamiak E., Synowiecka J., Przerwa A., Zastosowanie programu WaterCAD do analizy pracy sieci wodociągowej na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę w Świdnicy, *Instal* 2013, 11, 79-81.
- [12] Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W., Oporność hydrauliczna eksploatowanych żeliwnych i stalowych przewodów tranzytowych, *Instal* 2009, 5, 8-12.
- [13] Hołota E., Kowalska B., Kowalski D., Badanie współczynników chropowatości zastępczej wybranych rurociągów rzeczywistej sieci wodociągowej, *Instal* 2013, 9, 61-64.
- [14] Mielcarzewicz E.W., Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę, Wyd. Arkady, Warszawa 2000.
- [15] Bielicki M., Schellenberger M., Modelowanie i symulacja-przygotowanie danych i kalibracji, [w:] *GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi*, Wyd. Zarządu Głównego Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, Warszawa 2011.

Application of the WaterCAD Software for Modeling and Simulation of Water Supply System

The article presents the capabilities of WaterCAD V8i software (academic version) by Bentley for the creation of hydraulic model, conducting simulations and analysis. Data visualization techniques and the results of the analysis are presented at the end part of the article. The input data used in this model concerned a real water supply network, which is administered by Świdnickie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Świdnicy Sp. z o.o. (Water Supply and Sewage Company of Świdnica, henceforth referred to as ŚPiWK). Hydraulic analyses, presenting the water supply network of Świdnica operation, were carried out by using steady and dynamic states (EPS - Extended Period Simulation) as well as the likely conditions, using the so called scenarios. The obtained flow rates and water consumption in WaterCAD V8i in individual consumers largely resemble the factual situation, however, some parameters such as flow speed and pressure values differ from the periodic measurements values at the checkpoints by ŚPiWK. The reason for this discrepancy could be a significant generalization of the network and insufficient calibration resulting from the still little-developed ŚPiWK monitoring network. The results of scenario analyzes providing a significant increase in water consumption in the Zawisza zone, demonstrate the possibility future connections to the network, as well as allows industrial plants to increase their water consumption.

Keywords: Geographic Information System (GIS), WaterCAD, hydraulic model, simulation of water supply systems