Agnieszka Trębicka

MODELOWANIE I PROGNOZOWANIE PROCESÓW ZWIĄZANYCH Z SYSTEMEM DYSTRYBUCJI WODY

Agnieszka Trębicka, dr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Systemów Inżynierii Środowiska
ul. Wiejska 45 A, 15 – 351 Białystok
e-mail: a.trebicka@pb.edu.pl

MODELING AND PROGNOSING OF PROCESSES LINKED WITH WATER SUPPLY SYSTEM

SUMMARY: The opinion of existing state of water-supply system commune was the aim of work the Choroszcz conducted for help of programme computer EPANET 2.0, and having for task the improvement of efficiency the studied. It commune Choroszcz, is careful for one from the best developing populace in podlaskie province. Analysis yoke water-supply net reinforced from formulation No. 1 in Choroszczy. The data made up with summers 2005 the basis of opinion-2010 throw open through Institution of Thermal Energetics of Water-pipes and the Sewage system in Choroszczy.
It the arrangements of water-supply system with exact heights, the diameters, lengths were imitated was for basis of digital maps. It computer simulations were conducted was near help of Epanet programme, which is generally accessible as well as used in scientific aims often how and practical uses. The investigative part be based on chosen the relating variants real and the founded breakdowns as well as the having on aim the improvement of efficiency of net workings.

KEY WORDS: water supply system, dynamic model, digital system modeling, computer analysis

Wstęp

Modelowanie systemów opiera się na najbardziej wiarygodnym odtworzeniu rzeczywistych warunków pracy, z uwzględnieniem zmienności rozbiorów wody oraz jej dystrybucji[1]. Wprowadzenie większej liczby danych pozwala na odtworzenie warunków pracy sieci wodociągowej dla zdarzeń losowych, czyli poboru wody na potrzeby przeciwpożarowe, awarii, a także ich wpływu na innych odbiorców sieci wodociągowej[2].

Hydrauliczny model sieci wodociągowej daje ogromne możliwości w podejmowaniu uzasadnionych decyzji odnośnie do modernizacji, eksploatacji oraz rozbudowy systemu zaopatrzenia w wodę, ale przede wszystkim wspomaganie komputerowe jest gwarancją sprawnego funkcjonowania modelu.[3] Posiadanie informacji o pracy systemu wodociągowego jest podstawą do poprawnego funkcjonowania przedsiębiorstwa[4]. Posługiwanie się hydraulicznym modelem sieci wodociągowej jako narzędziem wspomagającym proces eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę wydaje się celowe.

Analiza sieci wodociągowych a rola programów komputerowych

W przedsiębiorstwach wodociągowych wiele zadań projektowych, a zarazem prognozowych, może być wspomaganych komputerowo, za pomocą programów komputerowych, poprzez statyczną symulację rozpływu wody w sieci wodociągowej. Proces ten może pomóc w podejmowaniu decyzji i wykonywaniu działań w systemach zaopatrzenia w wodę. Analizę i obliczenia można przeprowadzić dla istniejących, projektowanych i modernizowanych sieci. Symulacja, prognozowanie to nieodzowne elementy podczas realizacji: eksploatacji, rozbudowy oraz ewidencji sieci wodociągowych.[5]

Istnieje wiele programów komputerowych wspomagających zakłady wodociągowe. Można do nich zaliczyć: Piccolo, Mike Urban, Geosecma, Aquis, Epanet.

---

[1] T. Walski, D. V. Chase, D.A. Sawic, *Water distribution modeling,* Haestad Press, Waterbury, CT, USA 2001; B. Ulanicki, A. Zehnpfund, F. Martinez, *Simplification of Water Network Models. Proceedings of Hydroinformatics,* International Conference, International Association for Hydraulic Research, ETH, Zurich 1996.

[2] S.J.T. Pollard, *Risk Management for Water and Wastewater Utilities,* IWA Publishing, London 2008.

[3] Z. Siwoń, *Kalibracja symulacyjnych modeli przepływów w miejskich systemach dystrybucji wody,* I Ogólnopolska Konferencja „Współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska", Koszalin-Łazy 2004.

[4] S. Denczew, *Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Wyd. Arkady, Warszawa 2003.

[5] K. Knapik, *Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych*, „Monografia" 279, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2000; L.A. Rossman, P.F. Boulo, *Numerical methods for modeling water quality in distribution systems: a comparison*, „Journal of Water Resources Planning and Management" 1996 nr 122(2), s. 137-146.

W ocenie stanu sieci wodociągowej oprócz oceny wizualnej, na przykład stopnia skorodowania przewodów wodociągowych, warto zwrócić uwagę na parametry analizowanej sieci. Za pomocą programów komputerowych jednak nie można ocenić sieci wizualnie, dlatego też cała analiza opiera się na charakterystycznych parametrach sieci. Do takich parametrów można zaliczyć:

- prędkość przepływu wody [$M \times s^{-1}$];
- ciśnienie wody [mH_2O];
- współczynnik strat liniowych [-];
- przepływ wody [$l \times s^{-1}$];
- straty ciśnienia [$m \times km^{-1}$].

W programach komputerowych wyżej wymienione parametry przedstawiane są w postaci szeregu danych, najczęściej zestawione tabelarycznie. Porównywanie tych parametrów w warunkach normalnych, początkowych z warunkami na przykład symulacji awarii pozwala uniknąć błędów podczas inwestycji oraz ocenić stan sieci wodociągowej[6].

W pracy posłużono się programem Epanet 2.0. Program ten wybrano ze względu na to, że jest on ogólnie dostępny, niezwykle dokładny, jak również wykorzystywany przez liczne firmy do rozwiązywania problemów z systemami zaopatrzenia w wodę w sposób przyjazny i czytelny.

Charakterystyka systemu wodociągowego miasta i gminy Choroszcz

W gminie Choroszcz 91,1% gospodarstw domowych jest zaopatrywanych w wodę z wodociągów, w tym 78,4% posiada zaopatrzenie z gminnych systemów wodociągowych. Gospodarstwa domowe znajdujące się w zabudowie kolonijnej nie posiadają dostępu do scentralizowanego systemu zaopatrzenia w wodę. Jest to spowodowane znacznymi odległościami i kosztami. Gospodarstwa te posiadają lokalne źródła zaopatrzenia w postaci studni kopanych i wierconych. Mieszkańcy Klepacz zaopatrywani są w wodę z centralnego wodociągu w Białymstoku. Niektóre gospodarstwa pobierają wodę w dwojaki sposób. Badania ankietowe zrealizowane na terenie gminy wykazały, że z wody ze studni korzystało 8,9% gospodarstw domowych, a 19,5%, mając wodę z wodociągów, również korzystało z wody z własnej studni[7].

Sieć wodociągowa mieszcząca się na terenie gminy ma 144,1 km długości. Do sieci podłączone są 1884 budynki. Średnie zużycie wody przez mieszkańców gminy w gospodarstwach domowych wynosi 25,9 m^3 wody na osobę w ciągu

[6] P.F. Boulos i in., *Comprehensive Water Distribution Systems Analysis Handbook for Engineers and Planners,* MWH Soft, Inc. Pasadena, CA., 2004; A.J. Dunn, D.A. Frodsham, R.V. Kilroy, *Predicting the risk to permit compliance of new sewage treatment works,* „Water Science Technology" 1998 t. 38, nr 3, s. 7–14

[7] Materiały z danymi dotyczącymi produkcji, sprzedaży w sieci wodociągowej gminy Choroszcz, Zakład Energetyki Cieplnej Wodociągów i Kanalizacji w Choroszczy.

roku. Stanowi to średnio: w mieście 96,4 litra wody na dobę, a na terenach wiejskich 50,7 litra wody na dobę.

Model badawczy sieci wodociągowej

Proces tworzenia modelu obranego fragmentu sieci wodociągowej gminy Choroszcz rozpoczęto od przeniesienia z cyfrowej mapy, uzyskanej z ZECWiK w Choroszczy – zaopatrzenie w wodę istniejącą sieć wodociągową wsi Barszczewo, Ogrodniki i Oliszki do programu Epanet. Następnym etapem było wprowadzenie danych do programu: średnic, długości, chropowatości poszczególnych odcinków sieci, rzędnych węzłów, rozbioru wody, jak również charakterystyk pomp. Współczynnik chropowatości dla przewodów wodociągowych wykonanych z PVC wynosi 0,5. Wykonanie projektu wariantowych awarii wodociągu Barszczewo miało na celu badanie i analizę zmian parametrów sieci, takich jak: prędkość przepływu wody [m/s] oraz ciśnienie wody [mH_2O], przy założonych awariach, które mogą wystąpić podczas eksploatacji sieci wodociągowej.

Badania i analiza fragmentu sieci wodociągowej gminy Choroszcz zostały oparte na modelu utworzonym w programie komputerowym Epanet 2. Obliczenia przeprowadzono dla wybranych wariantów spośród całego analizowanego układu. Punktem wyjściowym było odtworzenie układu hydraulicznego sieci wodociągowej wsi: Barszczewo, Ogrodniki i Oliszki, będącego podstawą do dalszych badań i pomiarów. Zmiany poszczególnych parametrów systemu porównywano do stanu ustalonego, czyli stanu bez zauważalnych zmian na sieci. Na wykresach przedstawiono ciśnienie wody w wybranych węzłach. Na rysunku 1 zaprezentowano godzinowy rozbiór wody, który jest wyrażony w procentowym zużyciu wody w ciągu doby.

Z rysunku 1 wynika, że największe rozbiory wody występują w godz.: 6 – 11 oraz 16 – 22, zaś najmniejsze w godz.: 22 – 6 oraz 11 – 16.

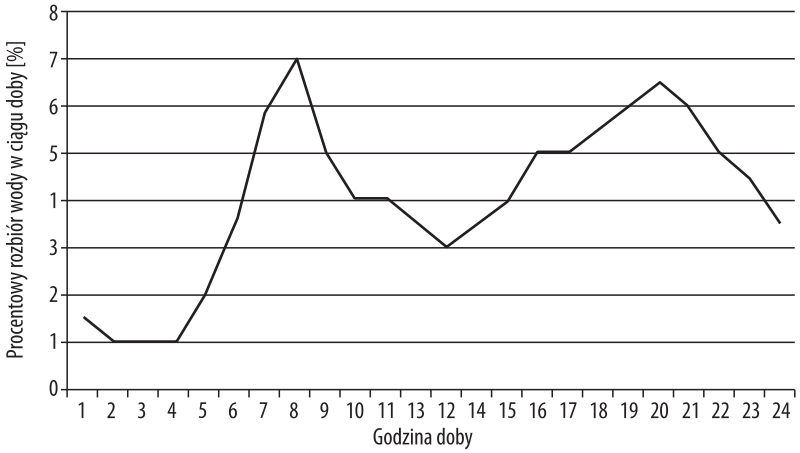
Na rysunku 2 przedstawiono schemat modelu sieci wodociągowej wsi Barszczewo, Ogrodniki i Oliszki wykonany w programie Epanet 2, na którym zamieszczono istniejące węzły, odcinki i pompownie, które poddano badaniu i weryfikacji.

Prezentacja wybranych wariantów

W tabeli 1 przedstawiono warianty, na podstawie których dokonano oceny badanej sieci wodociągowej. Wybór wariantów do przeprowadzonych symulacji został zaproponowany przez Zakład Energetyki Cieplnej Wodociągów i Kanalizacji w Choroszczy w celu sprawdzenia funkcjonowania sieci wodociągowej podczas awarii, jak i wymiany odcinków. Przeprowadzone symulacje umożliwiły sprawdzenie poprawności systemu zaopatrzenia w wodę oraz podjęcie działania dotyczącego poprawy struktury sieci wodociągowej.

Rysunek 1

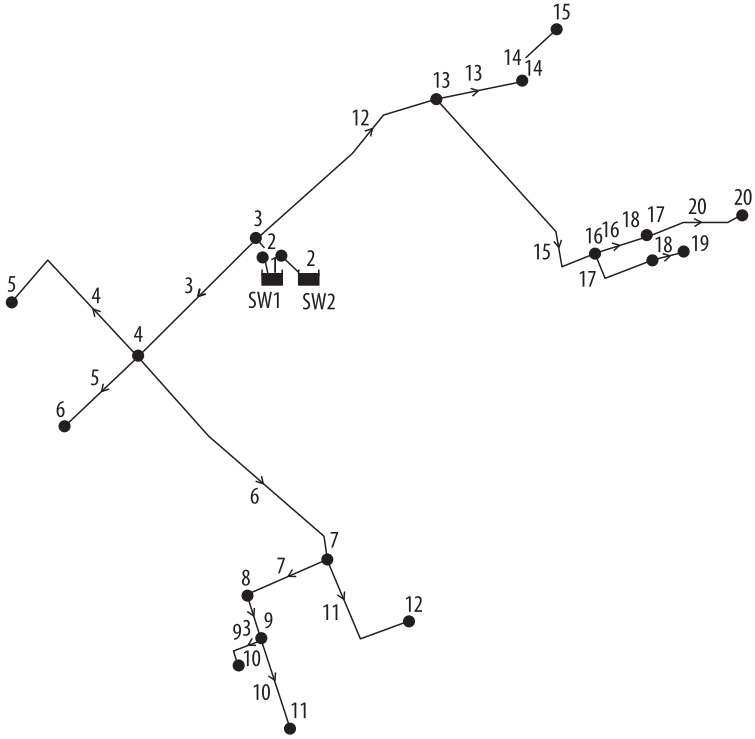
Godzinowy rozbiór wody fragmentu sieci wodociągowej gminy Choroszcz



Źródło: materiały z danymi dotyczącymi produkcji, sprzedaży w sieci wodociągowej gminy Choroszcz, Zakład Energetyki Cieplnej Wodociągów i Kanalizacji w Choroszczy.

Rysunek 2

Model sieci wodociągowej wsi Barszczewo, Ogrodniki i Oliszki



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1

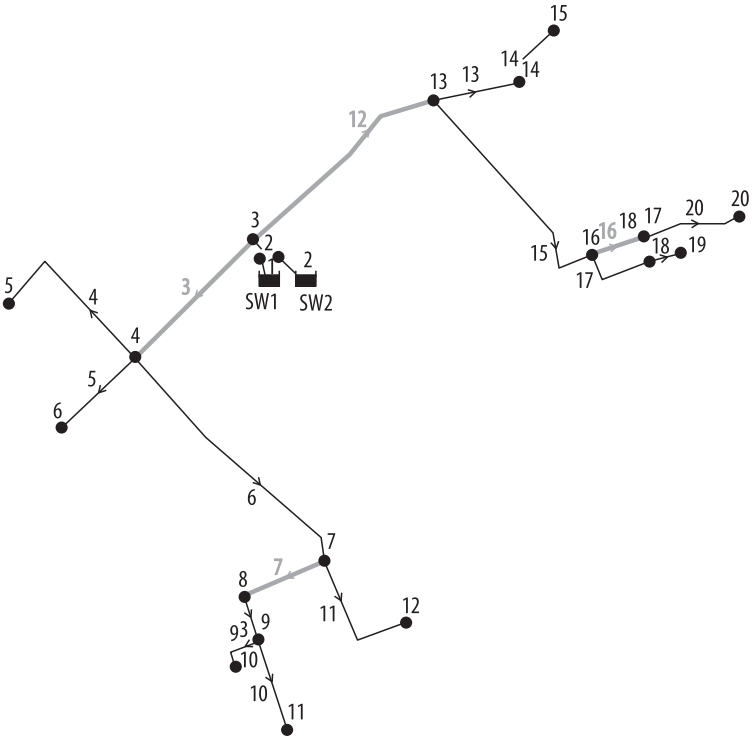
Zestawienie wariantów symulacji fragmentu sieci wodociągowej gminy Choroszcz

Wariant A – stan ustalony	Wariant B – awaria				Wariant C – stan krytyczny – awaria pompy w studni SW1 oraz odcinka nr 3
	B1 – awaria odcinka nr 7	B2 – awaria odcinka nr 12	B3 – awaria odcinka nr 16	B4 – awaria pompy w studni SW1	

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3

Symulacja awarii odcinków nr: 3, 7, 12 i 16



Źródło: opracowanie własne.

Symulacje, które przeprowadzono, dały możliwość sprawdzenia poprawności działania systemu zaopatrzenia w wodę.

Na rysunku 3 zaprezentowano odcinki, które posłużyły do przeprowadzenia awarii.

Podczas symulacji rozpatrywanych wariantów otrzymano szereg decyzyjnych wyników, które poddano dogłębnej analizie, polegającej na weryfikacji i utworzeniu szeregu zestawień statystycznych ciśnień, sieci wodociągowej w postaci tabel i wykresów. Zgromadzone dane stały się decydującą bazą wiedzy

Tabela 2
Parametry węzłów badanej sieci podczas awarii pompy w studni SW1 oraz odcinka nr 3 w godzinie maksymalnego rozbioru wody – godz. 7

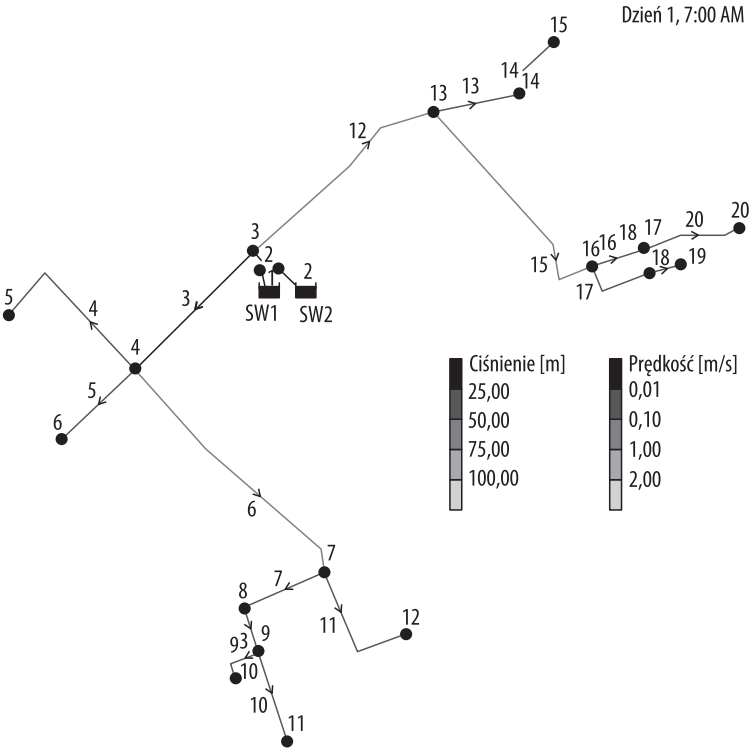
Węzeł ID	Rzędna m	Rozbiór bazowy LPS	Rozbiór LPS	Wysokość hydrauliczna m	Ciśnienie m
Połącz 3	124,4	0,55	0,92	–5027025,00	–5027150,00
Połącz 4	126,9	0,99	1,66	–1.009034E7	–1.009047E7
Połącz 5	135,2	0,25	0,42	–1.009034E7	–1.009048E7
Połącz 6	133,2	0,13	0,22	–1.009034E7	–1.009048E7
Połącz 7	124,2	0,66	1,11	–1.009034E7	–1.009047E7
Połącz 8	125,2	0,13	0,22	–1.009034E7	–1.009047E7
Połącz 9	126,9	0,25	0,42	–1.009034E7	–1.009047E7
Połącz 10	129,7	0,06	0,10	–1.009034E7	–1.009047E7
Połącz 11	136,9	0,13	0,22	–1.009034E7	–1.009048E7
Połącz 12	126,9	0,2	0,34	–1.009034E7	–1.009047E7
Połącz 13	129,4	0,81	1,36	–5027027,00	–5027157,00
Połącz 14	131,2	0,2	0,34	–5027027,00	–5027159,00
Połącz 15	128,2	0,07	0,12	–5027027,00	–5027156,00
Połącz 16	124,4	0,53	0,89	–5027028,00	–5027152,00
Połącz 17	124,2	0,23	0,39	–5027028,00	–5027153,00
Połącz 18	123,2	0,2	0,34	–5027028,00	–5027152,00
Połącz 19	122,2	0,05	0,08	–5027028,00	–5027151,00
Połącz 20	122,2	0,12	0,20	–5027028,00	–5027151,00
Zbiór 1	124,4	#N/A	–4,67	124,40	0,00
Zbiór 2	124,4	#N/A	–4,67	124,40	0,00

Źródło: opracowanie własne.

do podjęcia odpowiednich działań aby ulepszyć działania bądź zapobiec nieodpowiednim sytuacjom działania rozpatrywanej sieci wodociągowej. Dla przykładu zamieszczono i przedstawiono wariant badawczy dotyczący awarii pompy w studni SW1 oraz odcinka nr 3. Sytuację tę można określić jako stan krytyczny, w którym w tym samym czasie nastąpiła awaria pompy w studni SW1 oraz awaria odcinka nr 3. Odcinek nr 3 ma długość 612 m i średnicę 110 mm. Odcinek ten zasila w wodę wieś Ogrodniki. W tabeli 2 przedstawiono parametry charakteryzujące węzły badanej sieci podczas awarii pompy w studni SW1 oraz odcinka nr 3 w godzinie maksymalnego rozbioru wody – godz. 7.

Z tabeli 2 wynika, że podczas awarii pompy w studni SW1 oraz odcinka nr 3 odpowiednie ciśnienie nie jest zapewnione we wszystkich węzłach badanej sieci wodociągowej. Dzięki zastosowaniu programu Epanet możliwe stało się uniknięcie takiej sytuacji poprzez dodatkowe włączenie pompy w studni SW2 oraz

Rysunek 4
Ciśnienie i prędkość wody podczas awarii pompy w studni SW1 oraz awarii odcinka nr 3 w godzinie maksymalnego rozbioru wody



Źródło: opracowanie własne.

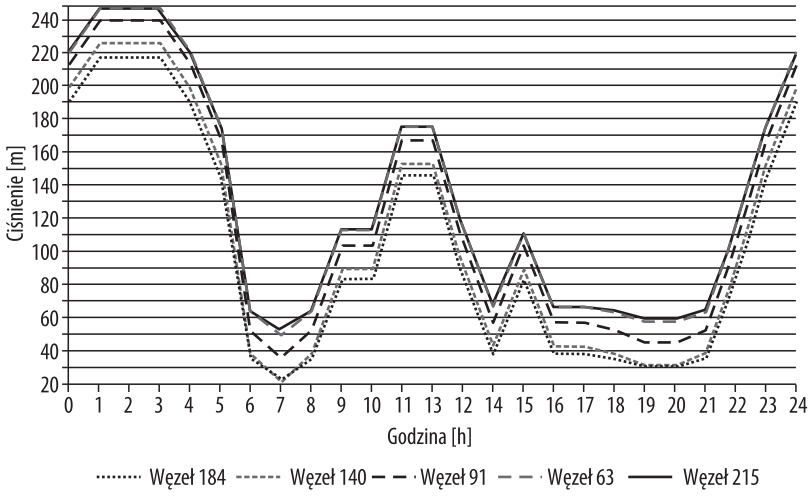
poprzez wybudowanie dodatkowego równoległego rurociągu do odcinka nr 3. Rurociąg ten będzie miał odpowiednio zmniejszoną średnicę i będzie połączony przewiązkami.

Na rysunku 4 zamieszczono ciśnienie i prędkość wody podczas awarii pompy w studni SW1 oraz awarii odcinka nr 3 w godzinie maksymalnego rozbioru wody.

W godzinie maksymalnego rozbioru wody podczas awarii pompy w studni SW1 oraz awarii odcinka nr 3 wartości ciśnienia we wszystkich węzłach oraz prędkości na wszystkich odcinkach nie zapewniają normalnego użytkowania wody. Natomiast tylko przy awarii pompy w studni SW-1 zaobserwowano, że prędkości wody na odcinkach oraz straty wody nie zmieniły się w porównaniu do stanu ustalonego. Program podaje informację, że przy działaniu pompy rezerwowej SW-2 pompa podstawowa SW-1B jest wyłączana lub też działa na niskiej wydajności. Na rysunku 5 przedstawiono ciśnienie wody w wybranych wcześniej punktach badanej sieci wodociągowej.

Rysunek 5

Wykres ciśnienia w wybranych węzłach dla stanu podczas awarii pompy w studni SW-1



Źródło: opracowanie własne.

Z wykresu ciśnienia (rysunek 5) wynika, że we wszystkich wybranych punktach utrzymane jest ciśnienie na poziomie zgodnym z rozporządzeniem Ministra[8]. W godzinach nocnych zdarza się, że zostaje przekroczone maksymalne dopuszczalne ciśnienie, dlatego też należy zamontować reduktory ciśnienia bądź wyłączać lub obniżyć wydajność jednej z pomp.

Podsumowanie

Po przeprowadzonej kompleksowej analizie i ocenie stanu istniejącego fragmentu sieci wodociągowej gminy Choroszcz z wykorzystaniem programu Epanet 2 uzyskano wyniki symulacji, na podstawie których sformułowano wnioski:

- wykonany model sieci wodociągowej, daje możliwość symulacji zdarzeń losowych podczas eksploatacji, jak na przykład awaria któregoś z odcinków;
- wyniki analizy funkcjonowania sieci wodociągowej dokonanej przy pomocy programu Epanet 2 dały możliwość minimalizacji skutków podczas zdarzeń losowych;
- badanie stanu ustalonego sieci wykazało, że we wszystkich węzłach w każdej godzinie rozbioru wody ciśnienie jest zachowane, czyli mieści się w granicach od 0,5 do 6 bar, natomiast w żadnym z przewodów nie jest zachowana minimalna prędkość przepływu wody, czyli 0,5 m/s;

[8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75 poz. 690).

- symulacja awarii odcinków nr 7 i 12 wykazała, że woda może dotrzeć do kolejnych odcinków sieci, ale należy wybudować dodatkowe równoległe rurociągi, które będą miały odpowiednio zmniejszone średnice;
- podczas symulacji awarii pompy w studni SW1 niemożliwy stał się proces przepływu wody na żadnym odcinku sieci, dlatego też została włączona pompa w studni SW2, dzięki której został przywrócony naturalny stan obiegu.