

MODELOWANIE FUNKCJONOWANIA ELEMENTÓW PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY W WARUNKACH DYNAMICZNYCH

Agnieszka TRĘBICKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy podjęto próbę analizy podsystemu dystrybucji wody miasta Białystok w przestrzennym i czasowym ujęciu z zastosowaniem modelowania komputerowego. Podjęcie badań w tym zakresie wynikało z potrzeby wypełnienia powstałej luki oraz podkreślenia faktu, iż podsystem dystrybucji wody pełni zasadniczą rolę w systemie zaopatrzenia miasta w wodę. Przedstawiono metodę konstruowania modelu sieci wodociągowej miasta Białystok, uwzględniającego dynamiczne warunki funkcjonowania, jego weryfikację i wykorzystanie wyników obliczeń. W ramach pracy opisana została ocena funkcjonowania podsystemu dystrybucji wody (PDW), na podstawie modelowania komputerowego określonych przypadków zmian wartości natężenia przepływu i ciśnienia wody oraz analizy reakcji podsystemu w całości lub na wybranych jego fragmentach na wprowadzane modyfikacje.

Słowa kluczowe: model matematyczny, system wodociągowy, sieć wodociągowa, modelowanie systemu.

1. Wprowadzenie

Podsystemy dystrybucji wody przedstawiają obraz złożonych struktur technicznych rozproszonych na bardzo dużych obszarach. Jednym z zasadniczych elementów związanych z zarządzaniem nimi, planowaniem modernizacji oraz możliwością rozbudowy są analizy produkcji i poboru wody przez odbiorców oraz wiarygodne prognozy przyszłych potrzeb wodnych. W sytuacjach nadzwyczajnych, tj. awarie, klęski żywiołowe itp., brak możliwości dostosowania pracy podsystemu dystrybucji wody do sytuacji zbliżonej do panujących w rzeczywistości warunków nie pozwala na skuteczną reakcję na te zdarzenia. Analizy tego rodzaju można wykonać z wykorzystaniem technik komputerowych pozwalających na zwiększenie możliwości różnych wariantów pracy PDW, przez co uzyskuje się większą liczbę alternatywnych rozwiązań, spośród których wyodrębnić można te, które najlepiej spełniają założone kryteria techniczne, ekonomiczne, czy też niezawodnościowe. Woda jest coraz cenniejsza, dlatego też konstruuje się różnego rodzaju algorytmy numeryczne umożliwiające odwzorowanie zmiennych warunków poboru wody i pracę podsystemów dystrybucji wody (Ambrose i Connolly, 1982; Bush i Uber, 1998). W pracy przedstawiono metodę modelowania parametrów hydraulicznych oraz badanie ich wpływu na działanie sieci wodociągowej w warunkach rzeczywistych

na przykładzie miasta Białegostoku, ze względu na bardzo duże znaczenie podsystemów dystrybucji wody dla rozwoju miast.

2. Charakterystyka badanego systemu zaopatrzenia w wodę

System zaopatrzenia w wodę Białegostoku powstał w pierwszych dekadach XIX wieku. Głównym źródłem wody dla miasta jest rzeka Supraśl. Woda jest ujmowana za pomocą dwóch ujęć wody. Jednym z nich jest ujęcie wody powierzchniowej z rzeki Supraśl, wspomagane wodami infiltracyjnymi, pochodzącymi również z tej rzeki. Ujęcie wody zlokalizowane jest w Wasilkowie ze stacjami uzdatniania wody w Wasilkowie i Pietraszach oraz pompownią wody II-stopnia w Pietraszach. Na terenie miasta przeważa zabudowa wielorodzinna. Aktualna liczba mieszkańców miasta wynosi około 287 500 osób. Liczba mieszkańców w zabudowie wielorodzinnej wynosi około 75% ogólnej liczby mieszkańców miasta. Realizowane budynki mieszkalne wyposażone są w pełnym zakresie w instalacje wodociągowo-kanalizacyjne. Zabudowa mieszkaniowa z okresu sprzed 1939 roku uległa stopniowej modernizacji i likwidacji. Budynki są modernizowane, wyposażane w instalacje wodociągowo-kanalizacyjne. Rozwój zakładów i obiektów użyteczności publicznej

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: agusia@pb.edu.pl

oraz zakładów przemysłowych w okresie ostatniego 10-lecia uległ ograniczeniu.

Badania sieci wodociągowej Białegostoku miały na celu sformułowanie nowych, bardziej racjonalnych warunków eksploatacji (zmniejszenie wartości ciśnienia) oraz określenie sposobów rozbudowy i modernizacji sieci wodociągowej, a w szczególności określenie rozmieszczenia pojemności wyrównawczej i rezerwowej awaryjnych zbiorników.

3. Założenia struktury badanego modelu podsystemu dystrybucji wody

Dla potrzeb opracowania przyjęto następujące założenia dotyczące badanego modelu podsystemu dystrybucji wody, a mianowicie:

- przeprowadzono schematyzację przestrzennego położenia węzłów i połączeń przewodów, a następnie zdefiniowano ich parametry;
- określono wysokości położenia węzłów oraz wartości długości średnic, współczynnik chropowatości bezwzględnej i współczynnik strat lokalnych przewodów;
- dobrano wielkość współczynnika chropowatości, co wiązało się ze specjalistycznymi badaniami na wyszczególnionych rurociągach o zróżnicowanej średnicy i czasie ich eksploatacji; w tym przypadku, konieczna jest znajomość roku budowy i rodzaju materiału z jakiego jest budowany rurociąg, aby na ich podstawie i przy wykorzystaniu danych zdefiniowanych w poszczególnych opcjach programu dokonać opcjonalnego liczenia;
- ustalono dla każdego węzła wartości dobowego poboru wody i obowiązującego godzinowego rozkładu z podziałem na dyskretne odcinki czasowe, co zaliczane jest do najistotniejszych etapów konstruowania modelu; obliczenia przeprowadzać można wówczas dla dowolnego fragmentu i dla całej doby przy jej podziale na etapy;
- obliczono wielkość poboru wody dla każdego kroku czasowego indywidualnie dla poszczególnych węzłów, na podstawie zadanej wielkości dobowego zapotrzebowania godzinowego rozkładu poboru wody i czynnika redukcyjnego, uwzględniającego wpływ niedoboru ciśnienia w stosunku do wymaganej jego wartości.

Wspomniane wyżej dane wprowadzono do odpowiednio skonstruowanej komputerowej bazy danych programu ISYDYW opracowanego w Instytucie Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej (Knapik, 1989).

Utworzono model zawierający:

- 269 węzłów,
- 293 odcinki (rurociągów),
- 5 rodzajów pomp, o odpowiednio przyporządkowanej liczbie jednostek pompowych zlokalizowanych na terenie dwóch pompowni Pietrasze i Jurowce (rys. 1).

4. Jakościowe szacowanie funkcjonowania podsystemu dystrybucji wody w ujęciu czasowym i przestrzennym ze strony odbiorców wody oraz eksploataatorów

Istniejący system PDW powinien podlegać ocenie zarówno ze strony użytkowników jak i ze strony eksploataatorów (Knapik, 1989):

- ocena ze strony użytkownika sprowadza się do oszacowania wymaganej ilości wody dostarczonej przy odpowiednim ciśnieniu i w określonym czasie;
- ocena ze strony eksploataatora określa stopień wykorzystania poszczególnych elementów PDW, ich współdziałanie oraz spełnianie założeń techniczno-ekonomicznych.

Określono:

- Wskaźnik Warunków Poboru Wody (WWPW), [%],
- Potencjał Wysokości Ciśnienia w Węzłach (PWCW), [m],
- Potencjał Wysokości Położenia Węzłów (PWPW), [m npm],
- Wskaźnik Wysokości Ciśnienia Nominalnego Pompowni (WCNP), [%],
- Wskaźnik Strat Ciśnienia na Sieci WSCS, [%],
- Potencjał Wysokości Ciśnienia Pompowni PWCP, [m].

Wyszczególnione powyżej wskaźniki pozwalają na obliczenie przy pomocy liczb wymiernych wielkości opisujących jakość działania podsystemu dystrybucji wody. Otrzymane wyniki reprezentują wartości przeciętne i zawierają statyczny zakres ich zmienności. Do oceny działania PDW zastosowano w pracy system mierników, pozwalający przedstawić ogromną liczbę wyników obliczeń symulacyjnych w sposób wymierny i przeglądowy. Kryteria wartościowania wskaźników przyjęto przy założeniu, że zostały one określone dla doby o średnim poborze wody.

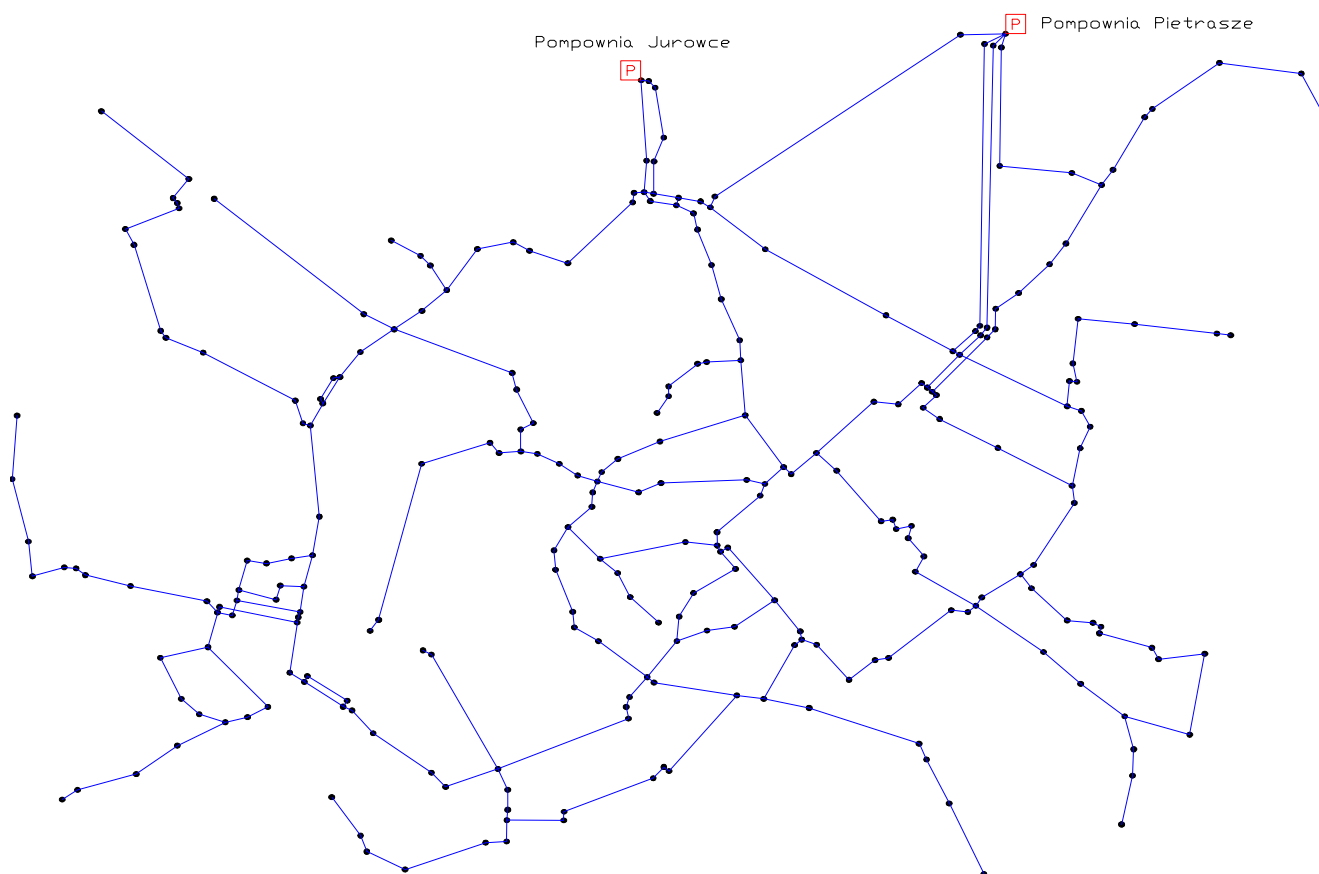
5. Opis wyników badań symulacyjnych podsystemu dystrybucji wody

Obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla wybranych spośród całego układu PDW serii wariantów A, B, C, D i E, które dotyczyły funkcjonowania PDW, w których każdy odcinek modelu poddany został dokładnej obserwacji. Analizowano zmiany zachodzące nie tylko w samym elemencie podsystemu, ale również na obszarze całego PDW. Ponieważ nie wszystkie zaobserwowane sytuacje wywoływały istotne reakcje modelu, w związku z tym dokonano wyboru najbardziej reprezentatywnych (Trębicka, 2006). Wykorzystano wyniki obliczeń otrzymanych za pomocą skonstruowanego modelu zapotrzebowania na wodę i obliczeniowego modelu matematycznego analizowanego PDW miasta Białegostoku. Każda z rozpatrywanych serii badań została przeprowadzona dla dobowych cykli pracy (od godziny 6 do godziny 6) PDW odpowiadających dobie o średnim zapotrzebowaniu z podziałem na 15 minutowe kroki

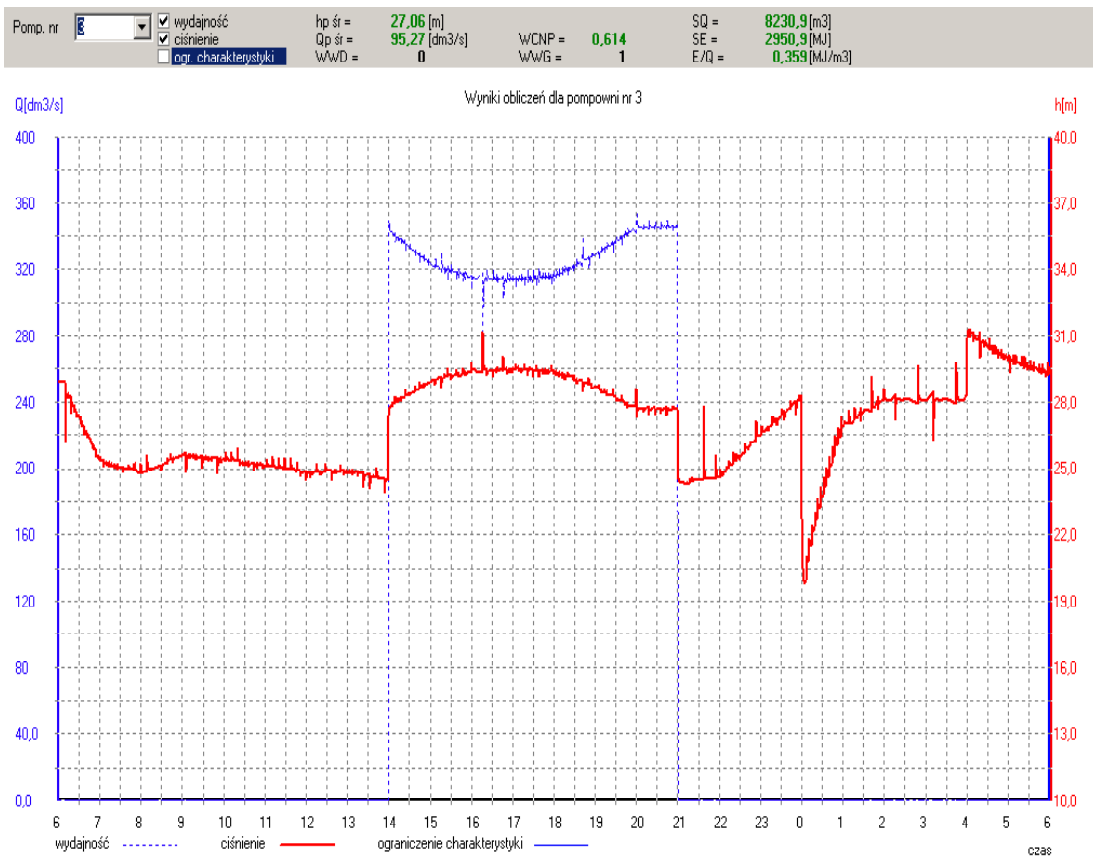
czasowe w ramach oceny funkcjonowania PDW dla różnych zakładanych przypadków oraz w celu oceny skutków hydraulicznych powstałych zdarzeń, w wyniku zaobserwowanych zmian. Seria wariantów **A** miała na celu odwzorowanie układu hydraulicznego sieci wodociągowej dla stanu istniejącego, będącego bazą do dalszych badań i porównań. Wyniki dla tej serii wykazały odpowiedni poziom układu symulującego normalne warunki eksploatacji PDW stanowiące poziom odniesienia i porównania dla kolejnych rozpatrywanych serii B, C, D i E. Warianty serii **B** obejmowały obliczenia dotyczące pojedynczych awarii sieci, w godzinach maksymalnego zapotrzebowania na wodę. Kolejno przeprowadzona została seria wariantów **C**. Obejmowały one obliczenia dotyczące kilku awarii PDW (2 lub 3) jednocześnie w godzinach maksymalnego rozbioru wody. Seria badań C, a zwłaszcza analiza jej wyników i stany zachowawcze pracy całego PDW stała się bazą do kolejnego eksperymentu oznaczonego jako seria **D**, która

dotyczyła głównie różnych sytuacji ekstremalnych w pompowniach II0, zlokalizowanych w węźle nr 1 (stacja wodociągowa Pietrasze) i w węźle nr 23 (stacja wodociągowa Jurowce), jak też i problemów z odcinkami przynależnymi do nich węzłowo. Do analizy wykorzystano odcinki 178, 12, 4, 8, 21, 22. Jako ostatnia, została rozpatrzona seria wariantów E, w której poddano analizie awarie jednostek pompowych na stacji Pietrasze i Jurowce (rys. 1).

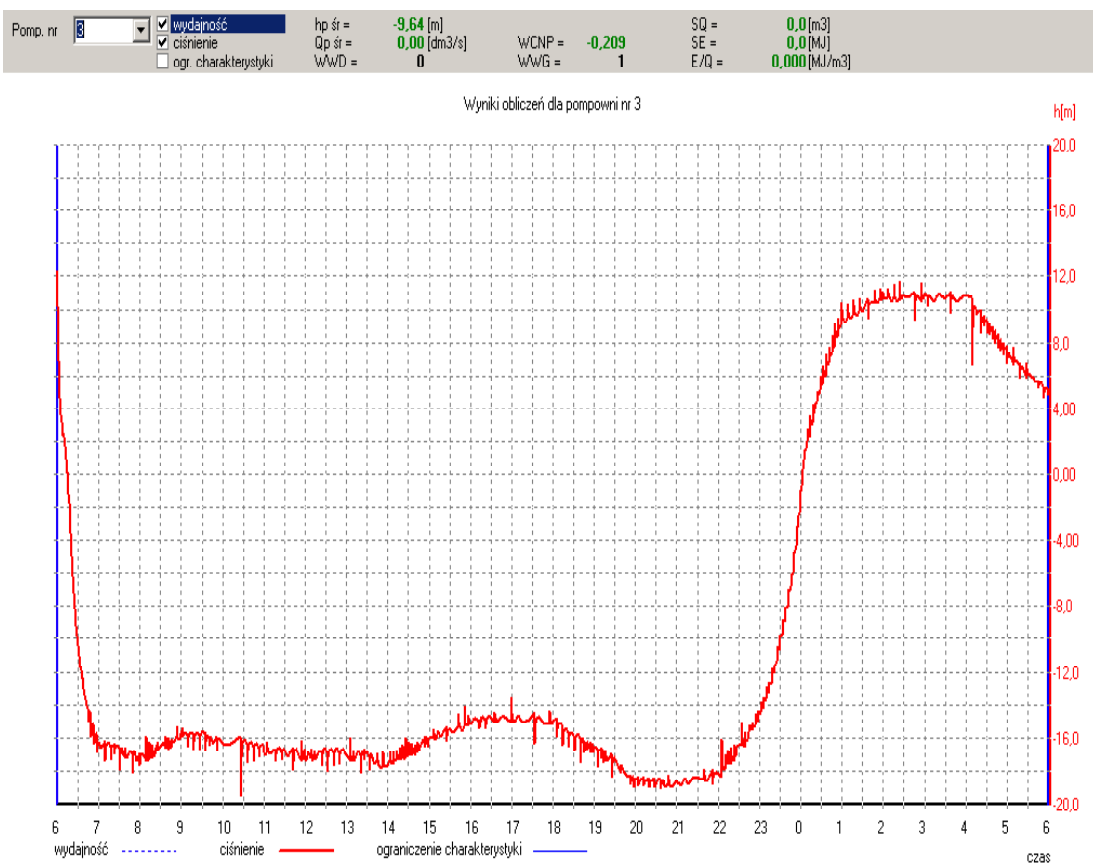
Przykład na rysunku 1 przedstawia schemat PDW Białegostoku z wyróżnionymi badanymi elementami wariantu E (pompowniami Jurowce i Pietrasze) wariantu E oraz porównania wykresów czasowego przebiegu parametrów pracy pompy P3 w pompowni Pietrasze (węzeł nr 1) dla wariantu A (rys. 2) i wykres czasowego przebiegu parametrów pracy pompy P3 w pompowni Pietrasze (węzeł nr 1) dla wariantu E4 (rys. 3) oraz wykres czasowych zmian WWPW dla obu wariantów (rys. 4 i 5).



Rys. 1. Schemat PDW Białegostoku z wyróżnionymi badanymi elementami wariantu E (pompownie Jurowce i Pietrasze)

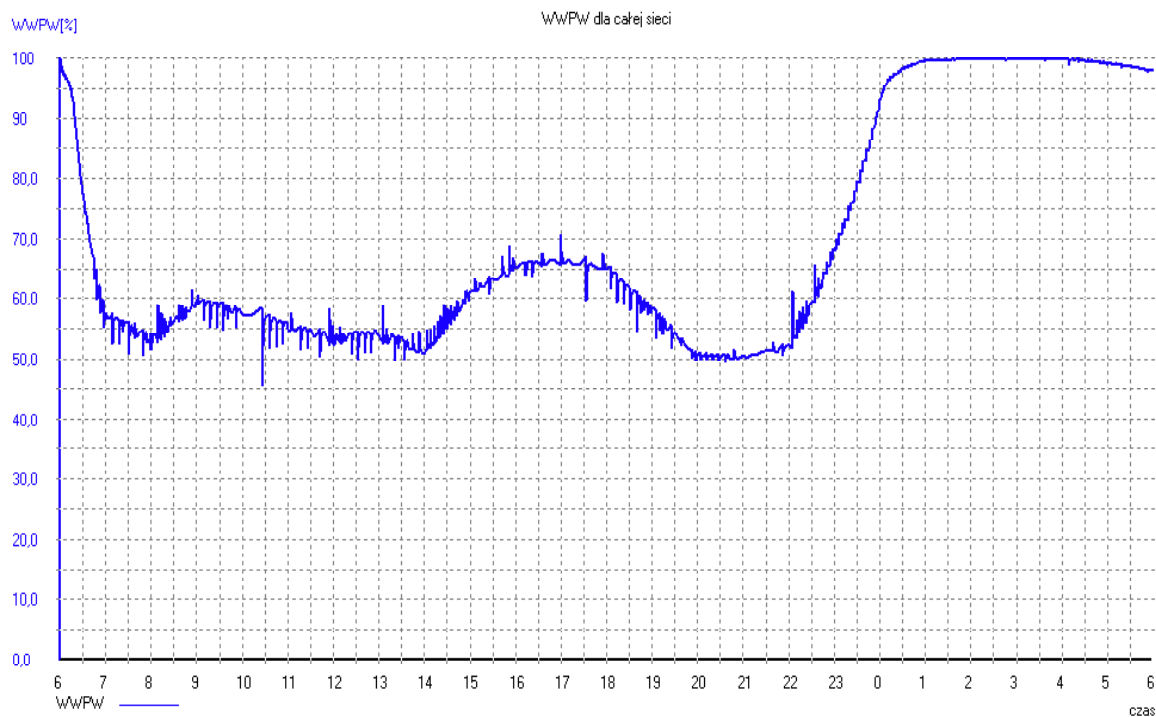


Rys. 2. Wykres czasowego przebiegu parametrów pracy pompy P3 w pompowni Pietrasze (węzeł nr 1) dla wariantu A



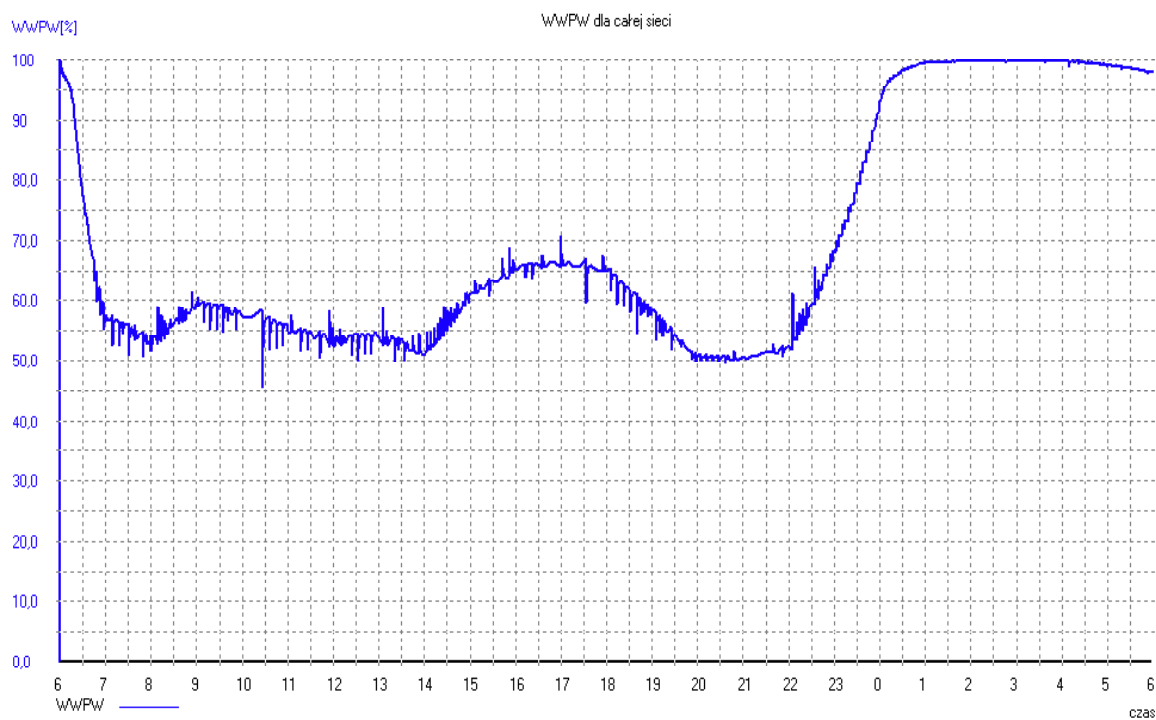
Rys. 3. Wykres czasowego przebiegu parametrów pracy pompy P3 w pompowni Pietrasze (węzeł nr 1) dla wariantu E4

Wskaźnik Warunków Poboru Wody (globalny) (WWPW)	67.52 [%]	Potencjał Wysokości Położenia Węzłów (PWPW)	120.9 [m]
Średnia wartość średnicy odcinków (Dom)	451.32 [mm]	Potencjał Wysokości Ciśnienia w Węzłach (PWCW)	52.4 [m]
Średnia wartość prędkości przepływu (Vom)	0.13 [m/s]	Potencjał Wysokości Ciśnienia Pompowni (PWCP)	36.4 [m]
Wskaźnik Strat Wysokości Ciśnienia (WSWC)	0.01 [%]	Potencjał Wysokości Ciśnienia Zbiorników (PWCZ)	27.0 [m]



Rys. 4. Wykres czasowych zmian WWPW dla wariantu A

Wskaźnik Warunków Poboru Wody (globalny) (WWPW)	67.52 [%]	Potencjał Wysokości Położenia Węzłów (PWPW)	120.9 [m]
Średnia wartość średnicy odcinków (Dom)	451.32 [mm]	Potencjał Wysokości Ciśnienia w Węzłach (PWCW)	52.4 [m]
Średnia wartość prędkości przepływu (Vom)	0.13 [m/s]	Potencjał Wysokości Ciśnienia Pompowni (PWCP)	36.4 [m]
Wskaźnik Strat Wysokości Ciśnienia (WSWC)	0.01 [%]	Potencjał Wysokości Ciśnienia Zbiorników (PWCZ)	27.0 [m]



Rys. 5. Wykres czasowych zmian WWPW dla wariantu E4

6. Podsumowanie i wnioski

Możliwość gromadzenia i przetwarzania danych opisujących szczegółowo strukturę PDW miasta Białegostoku pozwoliła uzyskać narzędzie wspomagające proces nadzoru, eksploatacji i projektowania jego rozbudowy. Dzięki wprowadzeniu metody czasowego i przestrzennego modelowania, jako zestawu mierników liczbowych, dokonano dla każdego z opisanych wariantów określenia w sposób wymierny jakości pracy PDW nie tylko w całości, ale również dla poszczególnych jego elementów.

Dominującą cechą uzyskanych wyników pomiarów ciśnienia jest wyraźna jego zmienność czasowa. Poprzez czynnik czasu uzyskano zbilansowanie zasilania i poboru. Określono skutki wybranych stanów PDW poprzez ocenę skuteczności przedsięwzięć zmniejszających ich negatywne oddziaływanie. Ten zakres opisu wariantów funkcjonowania podsystemu dystrybucji wody stał się możliwy dzięki zastosowaniu czasowej i przestrzennej oceny działania, jak i praktycznego wdrożenia dynamicznego modelu rozpatrywanego podsystemu za pomocą programu ISYDYW, który wykazał swą przydatność.

Literatura

Ambrose R. B., Connolly J. P. (1982). WASP4. A Hydrodynamic and Water Quality Model – Model

- Theory, User's Manual and Programmer's Guide. U.S. Environmental Protection Agency. Athens Georgia.
- Bush C. A., Uber J. G. (1998). Sampling design methods for water distribution model calibration. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 124, 243-252.
- Knapik K. (1989). Czasowoprzestrzenna Symulacja Działania Systemu Dystrybucji Wody. Monografia 89. *Politechnika Krakowska*, Kraków.
- Trębicka A. (2006). Określenie wpływu zmian podstawowych parametrów hydraulicznych na działanie podsystemu dystrybucji wody na przykładzie miasta Białegostoku. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.

FUNCTIONING MODELLING OF WATER SUPPLY SYSTEM ELEMENTS IN THE DYNAMIC CONDITIONS

Abstract: An attempt to analyse Białystok water distribution subsystem using computer simulation was made for the first time, with shown in the paper. The subsystem was investigated in both time and space. In the paper a trial of description of the construction method of the Białystok water supply system model, which takes into account dynamical conditions of subsystem, performing model verification and using the results of examination was made. In frames of this work it was described the evaluation study of water distribution subsystem work conditions based on: a water flow rate and pressure computer modelling as well as the analysis of a subsystem response to introduced changes.