

Agnieszka TRĘBICKA¹
Wojciech KRUSZYŃSKI²

DYNAMICZNY MODEL JAKO BAZA ANALIZY PARAMETRÓW UKŁADU ZAOPATRZENIA W WODĘ W GMINIE CZARNA BIAŁOSTOCKA

W pracy podjęto próbę zastosowania komputerowego modelowania do poprawy przepływów wody i regulacji ciśnień w wodociągu gminy Czarna Białostocka. Dynamiczny model sieci wodociągowej jest więc wysoce wydajnym narzędziem wspomagającym obserwację i regulowanie ciśnień i przepływów wody, pozwalającym na podejmowanie uzasadnionych decyzji odnośnie eksploatacji, modernizacji i rozbudowy całego systemu wodociągowego miasta lub gminy.

THE DYNAMIC MODEL AS THE BASE OF PARAMETER ANALYSIS OF THE WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN CZARNA BIAŁOSTOCKA DISTRICT

It the paper used of computer modelling to improvement of waters flows and the control of pressures in water-pipe the populaces Czarna Białostocka. The dynamic model of water-supply net is so the extremely effective helping the tool observation and regulation the pressures and the flows of water, permitting on undertaking of well-founded decisions regarding the exploitation, modernization and extension of whole system of water-supply city or the populaces.

1. WSTĘP

Zmiany zachodzące w gospodarce polskiej po roku 1989 zdecydowanie wpłynęły na spadek zapotrzebowania na wodę, zwłaszcza w małych miejscowościach i gminach, w których upadł lokalny przemysł. W regionach tych spadła liczba ludności. Kolejnymi czynnikami powodującymi mniejsze, niż planowane przy projektowaniu wodociągów zużycie wody, były wzrost cen za wodę i zainstalowanie wodomierzy u każdego indywidualnego odbiorcy (wymuszające kontrolę i oszczędzanie wody)[1, 2].

Analizowany układ zaopatrzenia w wodę projektowano z zastosowaniem norm przeciwpożarowych wymuszających znaczne przewymiarowanie średnic przewodów.

¹Politechnika Białostocka, Katedra Systemów Inżynierii Środowiska; 15-354 Białystok, ul. Wiejska 45A.
tel. (85)746-49-59, e-mail: agusia@pb.edu.pl

² N Politechnika Białostocka, Katedra Systemów Inżynierii Środowiska; 15-354 Białystok, ul. Wiejska 45A.
tel. (85)746-49-59, e-mail: wojkrus@pb.edu.pl

Długoletnia stagnacja w transferze nowoczesnych technologii i rozwiązań technicznych doprowadziła obecnie do wzrostu zainteresowania przedsiębiorstw wodociągowych w dziedzinie wdrażania narzędzi informatycznych wspomagających modelowanie i monitoring sieci wodociągowych[3, 4]. Wynika to w głównej mierze z konieczności ograniczania kosztów eksploatacyjnych, poprawy działania istniejących sieci, a także zwiększenia efektywności zarządzania przedsiębiorstwem.

2. OPIS OBIEKTU - SIEĆ WODOCIĄGOWA GMINY CZARNA BIAŁOSTOCKA

2.1 Lokalizacja

Miasto i gmina Czarna Białostocka położone są na terenie województwa podlaskiego, w jego środkowo-wschodniej części, około 23 km na północny-wschód od Białegostoku. Administracyjnie Czarna Białostocka wchodzi w skład powiatu białostockiego. Geograficznie położona jest w rejonie Niziny Podlaskiej pomiędzy Wysoczyzną. Miasto Czarna Białostocka tworzy jednostkę administracyjną - gminę wraz z 17 wsiami sołeckimi, o łącznej powierzchni 206 km kw. Obszar ten zasiedla 11.775 mieszkańców, w tym 9.796 osób - w mieście.

2.2 Informacje ogólne o obecnie eksploatowanym systemie wodociągowym

Gmina Czarna Białostocka „zwodociągowana” jest w 98% i jak na warunki polskie jest to wynik bardzo dobry. Całkowita długość sieci wodociągowej wynosiła w roku 2007 około 90,7 km. Większość odbiorców wody na terenie miasta i gminy posiada przyłącza pozwalające korzystać z wodociągu publicznego (około 1640 sztuk).

Obecnie, system dystrybucji wody w Mieście i Gminie Czarna Białostocka tworzą w rzeczywistości dwa niezależnie pracujące wodociągi - grupowy zasilany z ujęć w Czarnej Wsi Kościelnej i Niemczynie oraz miejski, zaopatrujący w wodę głównie miasto Czarną Białostocką.

Analizowany system wodociągowy cechuje się dość dużą rozległością sieci i małymi rozbiorami, co wyjątkowo niekorzystnie wpływa na zapewnienie i utrzymanie wody o odpowiedniej jakości w najbardziej skrajnych gałęziach sieci. Dodatkowo, im dalej na północ, tym rzędne terenu rosną, co wyjątkowo niekorzystnie odbija się na hydraulice układu i wymaga stosowania dodatkowych pompowni przerzutowych.

3. POMIAR I REJESTRACJA CIŚNIEŃ W ISTNIEJĄCYCH SIECIACH

W celu zweryfikowania wartości ciśnienia budowanego modelu sieci wodociągowej w wybranych podziemnych hydrantach sytuowano rejestrator ciśnienia i temperatury Biatel Cellbox-H. Do pomiarów ciśnienia poza miastami, gdzie nie ma hydrantów nadziemnych użyto rejestrator Biatel Cellbox-HN (Rys. 1), przystosowany do montażu na hydrantach naziemnych. Zebrane w ten sposób pomiary posłużyły do porównania i kalibracji ciśnienia w danych punktach sieci uzyskiwanych za pomocą modelu oraz za pomocą rzeczywistych wartości z rejestratora.



Rys.1. Rejestrator pomiarów ciśnienia wody Biatel Cellbox HN, zamontowany w hydrancie nadziemnym

Urządzenia wykonane są w klasie wodoszczelności IP 68. Dzięki zwartej budowie, wyposażeniu w wyświetlacz LCD, komplet. wewnętrznych baterii, nieulotną wewnętrzną pamięć FLASH oraz wbudowany przetwornik ciśnienia i temperatury autonomicznie dokonuje pomiarów i rejestracji.

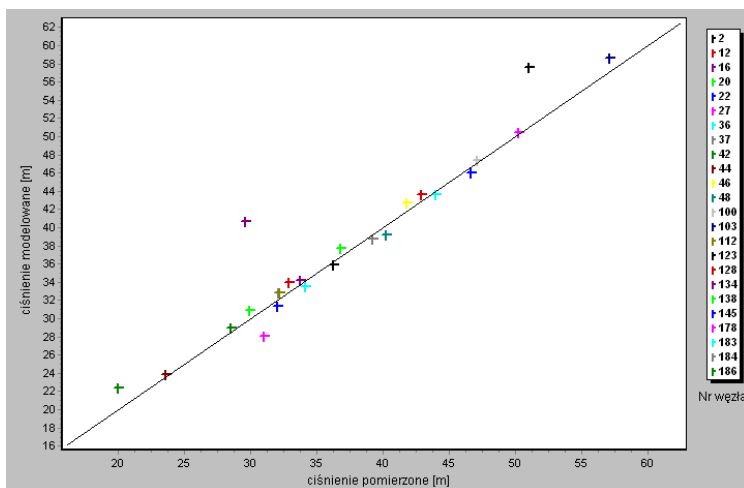
Wybór lokalizacji punktów pomiaru uzależniony jest od położenia hydrantów, ich dostępności oraz ich stanu technicznego umożliwiającego założenie rejestratora. Pomiarzy przeprowadzone były w warunkach normalnej bezawaryjnej pracy sieci przez okres od 1 do 2 tygodni bez przerwy, rejestracja wyników odbywała się co 15 min.

4. STATYSTYCZNA OCENA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW POMIARÓW I SYMULACJI

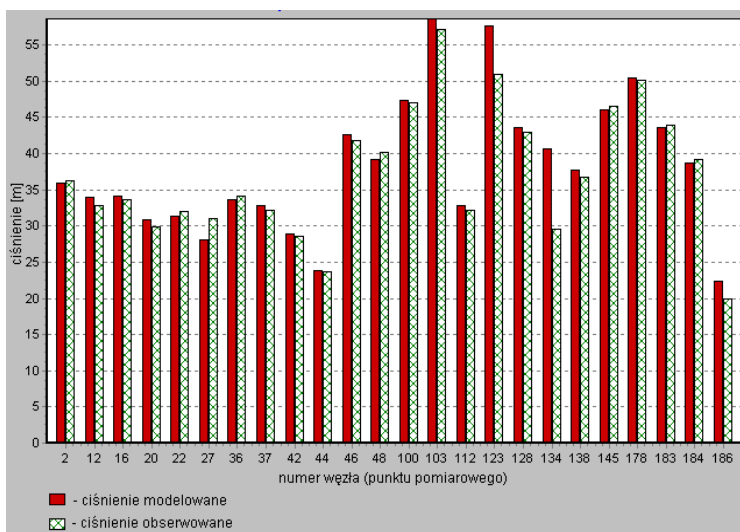
W celu oceny wiarygodności utworzonych modeli ze stanem rzeczywistym przeprowadzono statystyczną ocenę porównawczą wyników pomiarów i symulacji ciśnień.

Statystyki dla każdego punktu (węzła) zawierają średnią obserwowaną wartość, średnią symulowaną wartość, średni błąd bezwzględny pomiędzy wszystkimi parami wartości (obserwowaną i symulowaną). Te same statystyki obliczone zostały dla sieci jako całości. Obliczono współczynnik korelacji między średnią wartością obserwowaną a średnią wartością symulowaną w każdym porównywanym punkcie.

Na wykresie korelacji wykreślono rozrzut obserwowanych i modelowanych wartości dla pomiarów w każdym rozważanym punkcie (węźle). Każdy punkt jest przedstawiony innym kolorem. Im bardziej punkty te skupiają się wokół prostej o nachyleniu 45° , tym lepiej pasują do siebie wyniki pomiarów i modelowania (rys. 2). Porównanie średnich wartości obserwowanych i modelowanych przedstawiono na wykresie (rys.3).



Rys.2. Wykres korelacji pomierzonych i modelowanych wartości ciśnienia pomiaru w sieci wodociągowej gminy Czarna Białostocka



Rys. 3. Średnie wartości ciśnienia modelowane i obserwowane w punktach (węzłach) pomiarowych pomiaru w sieci wodociągowej gminy Czarna Białostocka

5. WYNIKI MODELOWANIA CIŚNIEŃ I PRZEPIYWÓW W SIECI WODOCIĄGOWEJ W GMINIE CZARNA BIAŁOSTOCKA

5.1. Opis wybranych wariantów symulacyjnych

Przy pomocy modelu wykonano symulację pracy sieci w następujących warunkach:

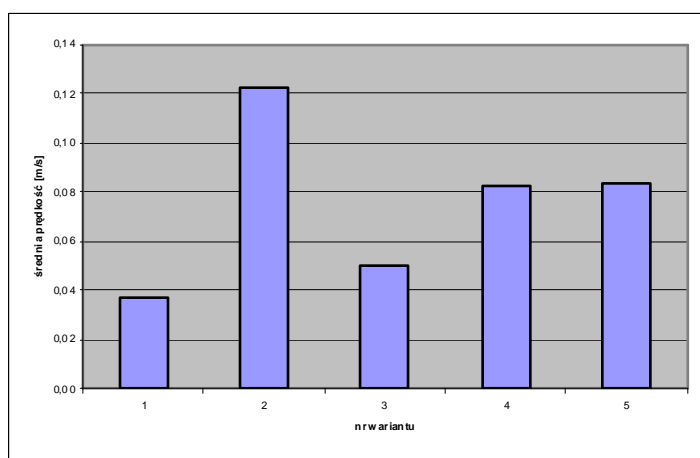
1. Wariant 1 – odwzorowanie stanu istniejącego.
Modelowana sieć w tym wariantcie odwzorowuje dwie główne części wodociągu nie połączone ze sobą – część obejmującą samo miasto Czarna Białostocka z jej ujęciem i druga część z pozostałą siecią przewodów i ujęć wodociągowych, zasilających w wodę pozostałe miejscowości w obrębie gminy. Sieć poza miastem zasilają dwa ujęcia – w Niemczynie i w Czarnej Wsi Kościelnej. W czasie bezawaryjnej pracy sieci obręb ujęcia w Czarnej Wsi Kościelnej jest oddzielony od ujęcia w Niemczynie zamkniętą zasuwą na połączeniu nr 252.
2. Wariant 2 – otworzono zasuwę na połączenie nr 252, dodano połączenie nr 42 (średnica 150mm) łączące miejscowość Osierodek z Jezierzyskiem, dodano połączenie głównej sieci gminnej z miejską - połączenie nr 45 (średnica 150mm).
3. Wariant 3 - wyłączono ujęcia w Niemczynie i Czarnej wsi kościelnej, otworzono połączenie 252, dodano połączenie nr 250 pomiędzy Chmielnikiem i Niemczynem (100 mm), dodano odcinek 45 (150mm) i 47 (100mm) w celu połączenia z sieci gminnej z miejską.
4. Wariant 4 - z modelu usunięto ujęcia w Niemczynie i w Czarnej Wsi Kościelnej, otworzono połączenie nr 252, dodano połączenia nr 27(150 mm) pomiędzy główną sieci gminną i miejską, zamiast ujęcia w Niemczynie wstawiono pompownie zwiększającą ciśnienie o 2 m, dodano połączenie nr 250 między Chmielnikiem a Niemczynem.
5. Wariant 5 - otworzono połączenie nr 252, usunięto ujęcie w Czarnej Wsi Kościelnej, , dodano połączenie głównej sieci gminnej z miejską - połączenie nr 45 (średnica 200mm).
6. W wariantcie nr 2,3,4 i 5 w węźle 108 i 21 powiększono o wydatek pożarowy (odpowiednio 5 l/ i 10 l/s, wg Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych) średni dobowy rozbiór wody, symulując tym wystąpienie pożaru w dwóch miejscach jednocześnie. Punkty dobrano tak aby były położone daleko od źródeł zasilania, w miejscach o najniższym ciśnieniu wody.

5.2. Wybór i ocena wariantów optymalnych

Całkowite zapotrzebowanie na wodę dla wszystkich miejscowości gminy Czarna Białostocka może być pokryte z głównego ujęcia wody w Czarnej Białostockiej. Maksymalna wydajność jednego głównego ujęcia wynosi 3000 m³/d. Natomiast obecnie dobową produkcją w całej sieci (ze wszystkich ujęć) nie przekracza 1369 m³/d. Licząc rozbiory dla dni o zwiększonym zapotrzebowaniu na wodę przy użyciu wskaźników nierównomierności uzyskano maksymalne dobowe zużycie łącznie z całej gminy: 1779 m³/d. Porównując zdolności produkcyjne oraz istniejące, jak również prognozowane zużycie wody do 2015 r wykazano, że system dystrybucji wody w tej gminie ma znaczące

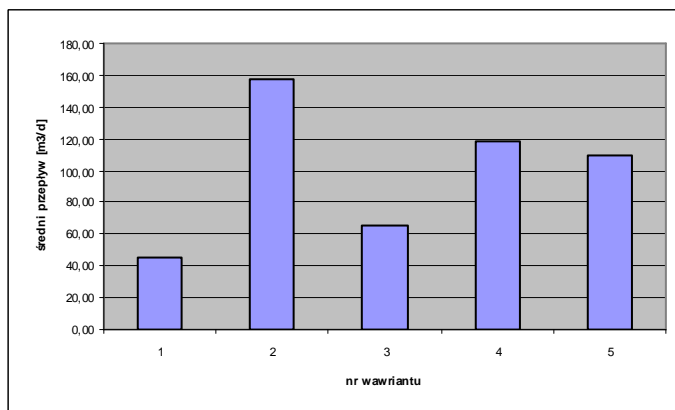
rezerwy. Wyniki modelowania stanu istniejącego – wariant nr 1 – pokazują, że obecnie w sieci prędkości i przepływy wody są bardzo niskie. Średnia prędkość wynosi 0,04 m/s (rys. 7), średni przepływ 45 m³/d (rys. 8). W kolejnych wariantach podjęto próbę poprawy tych parametrów sieci wraz z utrzymaniem właściwego ciśnienia wody (rys. 9), przy pomocy komputerowego modelowania zmiany ilości ujęć i spinania sieci dodatkowymi połączeniami.

Przeprowadzone symulacje wykazały, iż optymalnym wariantem jest nr 5 - model symulujący odłączenie jednego z trzech ujęć - w Czarnej Wsi Kościelnej, połączenie sieci wodociągowej miasta Czarna Białostocka z resztą miejscowości należących do sieci wodociągowej badanej gminy.



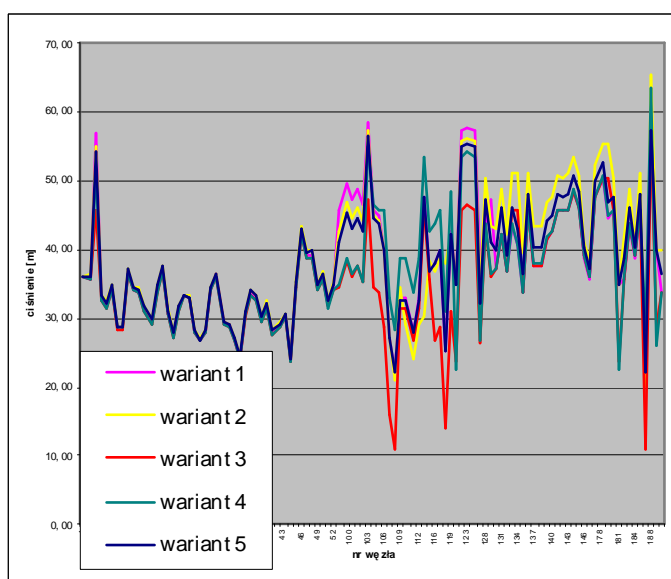
Rys.4. Średnia prędkość wody w sieci wodociągowej w gminie Czarna Białostocka w zależności od modelowanego wariantu

W wariantcie tym uzyskano znaczną poprawę średniej prędkości w przewodach zwiększając ją do 0,08 m/s (rys. 4) i średnią wielkości przepływów zwiększając do 109 m³/d (rys. 5). Słabym punktem wariantu nr 5 jest utrzymywanie wysokich ciśnień w kilku miejscach obecnej sieci wodociągowej w gminie. Krytyczne dla analizowanego układu są miejscowości: Złotoria, Złota Wieś, Brzozówka Strzelecka, Brzozówka Ziemiańska. Miejscowości te z racji swojego położenia otrzymują zbyt duże ciśnienie zbliżone do 60 m. Miejsca te w przypadku zastosowania wariantu nr 5 zastosowania zaworów redukcyjnych. Uzyskanie parametrów sieci zbliżonych do stanu istniejącego możliwe jest także przy zastosowaniu wariantu nr 3, w którym odłącza się dwa z trzech istniejących ujęć. Na korzyść tego wariantu przemawia zredukowanie do jednego ujęcia całego zasilania sieci gminnej w wodę oraz obniżenie ciśnień w miejscach najwyższej położonych w symulacji średniego dobowego zapotrzebowania na wodę. Jednak jak wykazały symulacje ciśnień w przypadku wystąpienia pożaru w najwyższych punktach sieci zabrakło by wymaganego ciśnienia (rys 6). Wariant ten nie zapewnia znacznego wzrostu prędkości i przepływów wody.

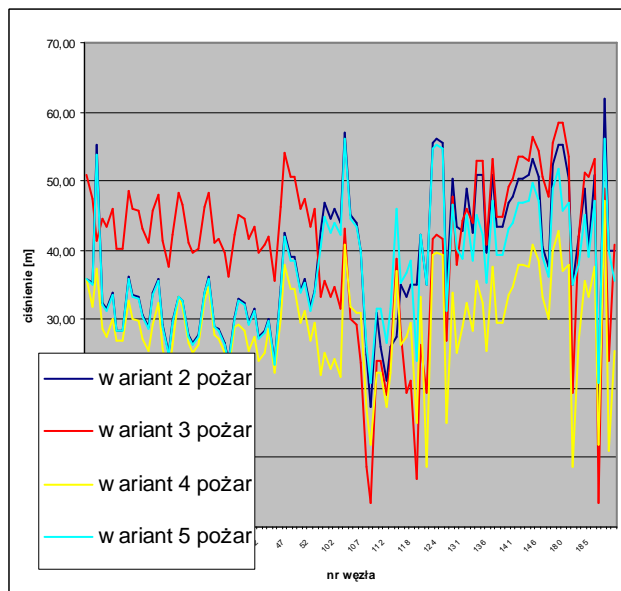


Rys.4. Średni przepływ wody w sieci wodociągowej w gminie Czarna Białostocka w zależności od modelowanego wariantu

Ostatecznie na podstawie analiz otrzymanych w symulacjach parametrów hydraulicznych sieci wodociągowej w gminie Czarna Białostocka, jako wariant optymalny uznano symulację nr 5.



Rys.5. Ciśnienia wody w sieci wodociągowej w gminie Czarna Białostocka w zależności od modelowanego wariantu



Rys.6. Ciśnienia wody w trakcie symulowanego pożaru w sieci wodociągowej w gminie Czarna Białostocka w zależności od modelowanego wariantu

6. WNIOSKI

Na podstawie analizy otrzymanych wyników obliczeń hydraulicznych sformułowano następujące wnioski:

1. Badane systemy dystrybucji wody projektowane były na dużo większe zapotrzebowania na wodę. Surowe normy przeciwpożarowe, które musiały spełniać budowane dawniej wodociągi, spowodowały wraz ze spadkiem zapotrzebowania na wodę, że obecnie wodociągi tego typu są przewymiarowane. Analiza rozkładu prędkości wykonana na modelach stanu istniejącego badanych sieci wodociągowych wykazała iż w większości przewodów jej wartości są mniejsze od zalecanego poziomu 0,5 m/s. W ponad połowie przewodów panują wartości zbliżone do stagnacji wody – prędkość jest mniejsza niż 0,1 m/s.
2. Zwiększenie prędkości oraz natężenia przepływów wody przy zmniejszającym się zapotrzebowaniu na wodę uzyskać można poprzez:
 - zmniejszenie ilości istniejących ujęć wodnych,
 - wykonanie dodatkowe spieć głównych przewodów magistralnych.
 Lokalizacja ujęć oraz nowe połączenia muszą być poprzedzone wykonaniem szeregu symulacji na modelach komputerowych [5, 6, 7].
3. Ostateczna decyzja o wyborze wariantu funkcjonowania systemu nie musi pokrywać się z decyzją stanowiącą wynik modelowania, jej zadaniem jest pomoc w procesie podejmowania decyzji przy uwzględnieniu szeregu innych czynników, jak np. ekonomicznych.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Boulos P.F., Wood D. J.: *Explicit calculation of pipe Network parameters*, Journal of Hydraulic Engineering 1990.Vol. 116, no 11.
- [2] Heidrich Z., Kwietniewski M., Sosnowski S., Chudzicki J.: *Aktualizacja zapotrzebowania na wodę dla białostockiej aglomeracji miejskiej w okresie perspektywnym na 2010 r. i dla okresu kierunkowego 2020 r.*, Politechnika Warszawska, 1998.
- [3] Knapik K.: *Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych*, Monografia 279, Kraków, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2000.
- [4] Siwoń Z.: *Kalibracja symulacyjnych modeli przepływów w miejskich systemach dystrybucji wody*, I Ogólnopol. Konf. N-T „współczesne problemy bezpieczeństwa pożarowego w budownictwie i inżynierii środowiska” Koszalin-Łąży, 2004.
- [5] Ulanicki B., Zehnpfund A., Martinez F.: *Simplification of Water Network Models. Proceedings of Hydroinformatics96 International Conference, International Association for Hydraulic Research*, ETH, Zurich, 1996.
- [6] Walski T., Chase D.,V., Sawic D.,A.: *Water distribution modeling*. Haestad Press, Waterbury, CT, USA, 2001.
- [7] Wosiewicz B.: *O modelowaniu i modelach numerycznych zjawisk hydraulicznych*, Gospodarka Wodna 1996.