

IRENEUSZ NOWOGOŃSKI*, DARIUSZ KUCZYŃSKI**

**ANALIZA HYDRAULICZNA ISTNIEJĄCEJ SIECI
WODOCIĄGOWEJ GMINY I MIASTA CYBINKA ZASILANEJ
Z TRZECH NIEZALEŻNYCH UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH**

Streszczenie

W pracy zaprezentowano przykład wykorzystania modelu komputerowego do oceny istniejących systemów zaopatrzenia w wodę. Model przygotowano przy użyciu programu Epanet. Stwierdzono brak konsekwencji we wdrażaniu nowych elementów systemu. Brak gruntownej analizy konsekwencji wykonywanej przebudowy systemu prowadzi do wykonywania nieuzasadnionych elementów i obiektów sieciowych.

Słowa kluczowe: symulacja, system zaopatrzenia w wodę

WSTĘP

Zgodnie z obowiązującym stanem prawnym, jednostki samorządu terytorialnego mają obowiązek zabezpieczenia dostaw wody do celów bytowo-gospodarczych dla mieszkańców gminy. Wiąże się to z konsekwentną i technicznie uzasadnioną modernizacją systemu zaopatrzenia w wodę oraz dopasowywaniem jego możliwości do potrzeb użytkowników.

W przypadku gminy Cybinka pierwszy etap powstawania systemu zaopatrzenia w wodę, zakończony w latach 90-tych, obejmował miejscowość Białków, Grzmiąca oraz miasto Cybinka. System był zasilany z ujęcia wody w Białkowie. Pozostali mieszkańcy korzystali z indywidualnych ujęć wody. W roku 2005 została przyłączona miejscowość Sądów. Już na tym etapie rozbudowy pojawiły się symptomy problemów związanych z możliwością zapewnienia dostawy wody o odpowiednim ciśnieniu i w odpowiedniej ilości. Podjęte działania, polegające na włączeniu do systemu wodociągowego ujęcia wody w Bieganowie, chwilowo rozwiązały problem ilości wody, aczkolwiek pominięto nie mniej

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Sieci i Instalacji Sanitarnych

** Urząd Gminy w Cybince

istotny problem związany z wysokością ciśnienia w sieci. Po zaobserwowaniu objawów, a następnie rozpoznaniu problemu, podjęto decyzję o rozdzieleniu zasuwami na sieci wodociągowej na terenie miasta Cybinka i wyodrębnieniu dwu niezależnych systemów wodociągowych.

W roku 2007 do systemu zaopatrzenia w wodę dołączono miejscowość Rybojedzko, zlokalizowaną w zachodniej części gminy – Dolinie Uradzkiej – która jest najniżej położonym obszarem gminy. W ten sposób rozwiązano kwestię dostawy wody do miejscowości, ale w konsekwencji pojawiły się częste rozszczelnienia sieci i instalacji wewnętrznych spowodowane zbyt wysokim ciśnieniem w rurociągach. Podjęta w 2008 roku decyzja o włączeniu do systemu ujęcia wody w Drzeniowie oraz świadomość konsekwencji tej modyfikacji, wymusiła podjęcie działań, zmierzających do przeprowadzenia kompleksowej analizy systemu pod względem hydraulicznym.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

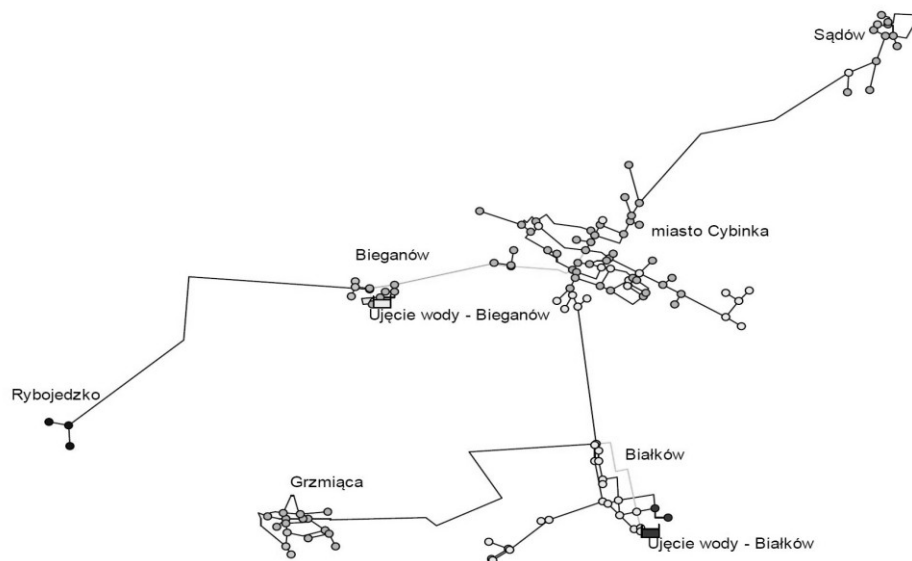
Obiektem badawczym jest obszar Gminy Cybinka – gminy o statusie miejsko-wiejskim, położonej w powiecie ślubickim, województwo lubuskie. Miasto i gmina Cybinka leży w zachodniej części województwa lubuskiego i przylega od zachodu do granicy państwa przebiegającej na rzece Odrze. Podstawowe dane na temat liczby ludności, powierzchni i struktury administracyjnej gminy Cybinka przedstawia tabela 1. System zbiorowego zaopatrzenia gminy w wodę jest bardzo rozwinięty i według ankiety z 2003 r. zaopatruje 94% mieszkańców.

Tab. 1. Podstawowe informacje o gminie Cybinka [Studium 2007]

Tab. 1. Basic informations about commune Cybinka [Studium 2007]

Lp.	Wyszczególnienie	Wartość liczbowa
1	Powierzchnia w km ²	279,72
2	Liczba mieszkańców	7114
3	Gęstość zaludnienia na km ²	25,5
4	Powierzchnia lasów km ²	162,2
5	Liczba sołectw	12
6	Liczba miejscowości	16

Gmina jest zaopatrywana w wodę z 9 głębinowych ujęć wód podziemnych (19 studni), o głębokościach w zakresie od 18 m do 60 m, spośród których 8 powiązано ze stacjami uzdatniania wody.



Rys. 1. Schemat analizowanej sieci wodociągowej – stan istniejący
 Fig. 1. Analysed water pipe network – existing state

Miasto Cybinka przed modernizacją (rys. 1) było zasilane przede wszystkim z ujęć w Białkowie i Bieganowie.

Ujęcie wody w Białkowie

Stacja uzdatniania wody wraz z ujęciem wody położona jest w południowej części Białkowa w odległości około 200 m od najbliższych zabudowań. Na terenie obiektu znajdują się 3 studnie ujęciowe. Zasoby eksploatacyjne ujęcia wody w Białkowie zostały ustalone dla wydajności $Q_e=138 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $S_e=2,4 \text{ m}$.

Ujęcie wody w Bieganowie

Stacja uzdatniania wody wraz z ujęciem wody położona jest w południowej części Bieganowa w odległości 100 m od najbliższych zabudowań. Na terenie obiektu znajduje się 5 studni ujęciowych. Zasoby eksploatacyjne ujęcia wody w Bieganowie zostały ustalone dla wydajności $Q_e=90 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $S_e=3,2 \text{ m}$.

Ujęcie wody w Drzeniowie

Stacja uzdatniania wody położona jest w zachodniej części Drzeniowa w odległości 60 m od najbliższych zabudowań. Na terenie obiektu znajdują się dwie studnie ujęciowe w odległości 16 m od siebie. Zasoby eksploatacyjne ujęcia wody w Drzeniowie zostały zatwierdzone dla wielkości $Q_e=48,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy leju depresyjnym $S_e=2,1 \text{ m}$.

METODYKA OBLICZEŃ

Wszystkie obliczenia hydrauliczne wykonano przy użyciu programu EPA-NET 2.0 autorstwa agencji rządowej U.S. Environmental Protection Agency. Do określenia strat hydraulicznych [Kwietniewski i in. 1998, Rossman 2000] wybrano formułę Darcy – Weisbach’a w postaci:

$$H_L = \lambda \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

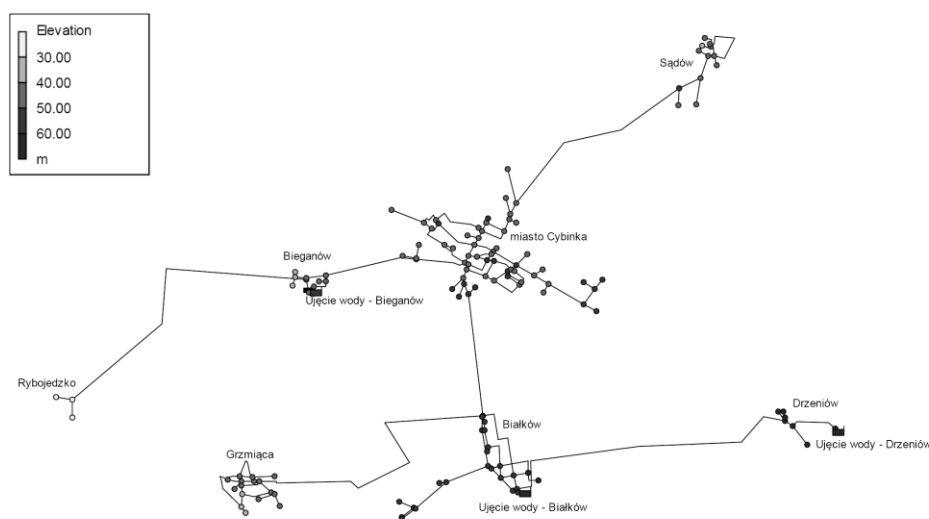
gdzie:

- H_L – straty ciśnienia statycznego w przewodach o przekrojach kołowych,
- λ – bezwymiarowy współczynnik oporów przepływu,
- L – długość przewodu,
- d – średnica przewodu,
- v – prędkość średnia płynu w przewodzie,
- g – przyspieszenie ziemskie.

WYNIKI ANALIZY STANU SYSTEMU PO ROZBUDOWIE

Rozbudowa istniejącej sieci wodociągowej obejmuje włączenie do systemu wodociągowego gminy Cybinka sieci wodociągowej miejscowości Drzeniów wraz z ujęciem wody w Drzeniowie. Graf rozbudowanej sieci przedstawiono na rys. 2. Sieć wodociągowa miejscowości Drzeniów została połączona rurociągiem magistralnym $\phi 160$ mm z miejscowością Białków, gdzie została włączona do rurociągu magistralnego $\phi 280$ mm zasilającego pozostałą część sieci wodociągowej. Ujęcie wody w Białkowie posiada największą wydajność $Q_e=138,0$ m³/h i przeprowadzenie jakiegokolwiek remontu, bądź konserwacji urządzeń technologicznych wymaga wprowadzania okresowych przerw w dostawie wody. Włączenie do systemu wodociągowego ujęcia wody w Drzeniowie o wydajności $Q_e=48,0$ m³/h przy funkcjonującym obecnie ujęciu wody w Bieganowie o wydajności $Q_e=90$ m³/h zagwarantuje ciągłość dostaw wody, nawet przy zatrzymaniu pracy największego ujęcia w Białkowie.

Miejscowość Drzeniów jest najwyższą położoną miejscowością na terenie gminy Cybinka, co pozornie jest bardzo korzystne (niskie nakłady inwestycyjne i eksploatacyjne przy ujęciu wody w Drzeniowie). Znaczna różnica rzędnych terenu dochodząca do 60 m n.p.m. ma bezpośredni wpływ na występowanie zbyt wysokiego ciśnienia wody w rurociągach.



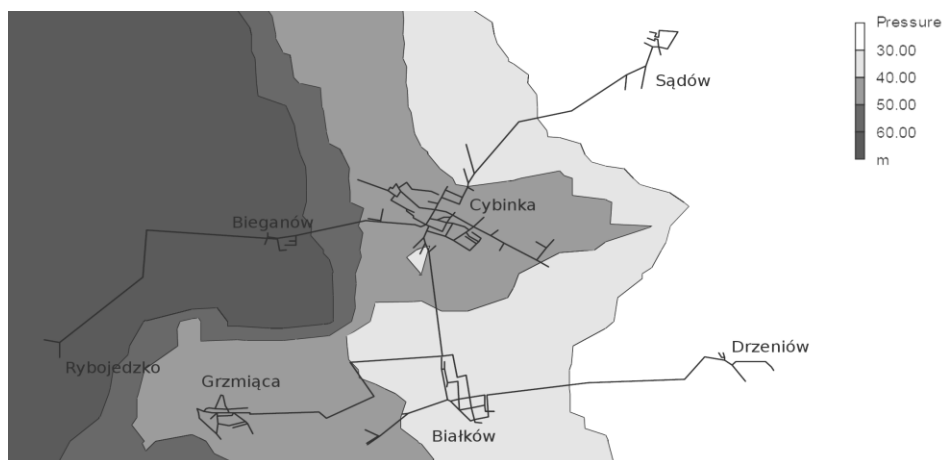
Rys. 2. Schemat sieci po rozbudowie - rzędne terenu
 Fig. 2. Enlarged water pipe network - elevations

Przeprowadzone obliczenia dla rozbioru maksymalnego po włączeniu ujęcia wody w Drzeniowie wykazały wzrost ciśnienia w węzłach we wszystkich miejscowościach:

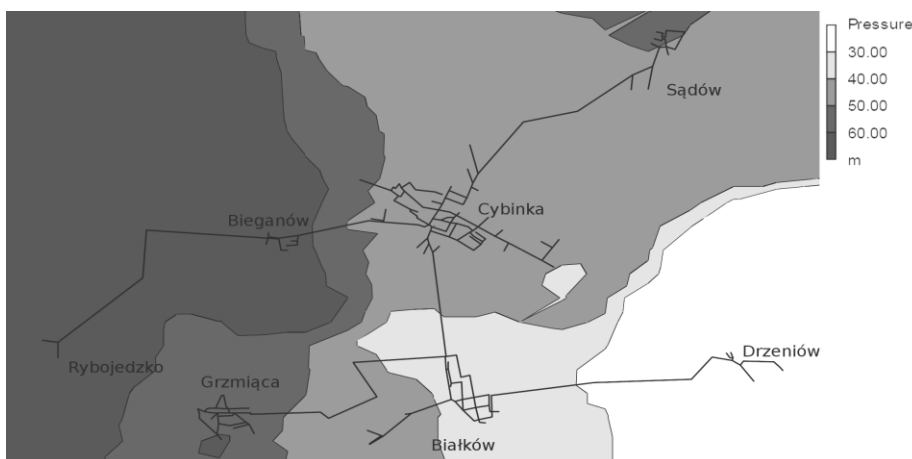
- a) Białków – od 0,2 MPa do 0,4 MPa;
- b) Grzmiąca – od 0,4 MPa do 0,6 MPa;
- c) Cybinka – od 0,4 MPa do 0,5 MPa;
- d) Sądów – od 0,2 MPa do 0,4 MPa;
- e) Bieganów – od 0,5 MPa do 0,6 MPa i przekraczające 0,6 MPa;
- f) Rybojedzko – powyżej 0,6 MPa.

Minimalny rozbiór wody powoduje znaczny wzrost ciśnienia na całości sieci jest znacznie większe – Bieganów, Rybojedzko, część Grzmiącej są miejscami gdzie przekroczona jest granica 0,6 MPa.

Podczas maksymalnego i minimalnego rozbioru zaobserwować można obniżenie ciśnienia wody w miejscowości Drzeniów – do 0,18 MPa, co wskazuje na możliwość wystąpienia niedoborów ciśnienia rozporządzalnego na wyższych kondygnacjach w budynkach wielorodzinnych na terenie Drzeniowa. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Wyniki obliczeń ciśnienia w węzłach - rozbiory maksymalne
Fig. 3. Simulated pressures in junctions – maximum demands



Rys. 4. Wyniki obliczeń ciśnienia w węzłach - rozbiory minimalne
Fig. 4. Simulated pressures in junctions – minimum demands

WNIOSKI WYNIKAJĄCE Z OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

Przeprowadzone obliczenia i symulacja hydrauliczna pracy sieci wodociągowej umożliwiły wskazanie lokalizacji niezbędnych do zachowania prawidłowych warunków ciśnienia zaworów regulacyjnych. Uzyskane rezultaty wskazują na konieczność montażu zestawu pompowego do podniesienia ciśnienia wody na ujęciu wody w Drzeniowie. Obecny układ – pompy głębinowe tłoczące wodę do zbiornika magazynowego o pojemności $V_{\text{użytk}} = 90 \text{ m}^3$, przy obecnej

konstrukcji zbiornika i jego położeniu, nie gwarantuje dostatecznego ciśnienia wody na wyższych kondygnacjach budynków wielorodzinnych w Drzeniowie.

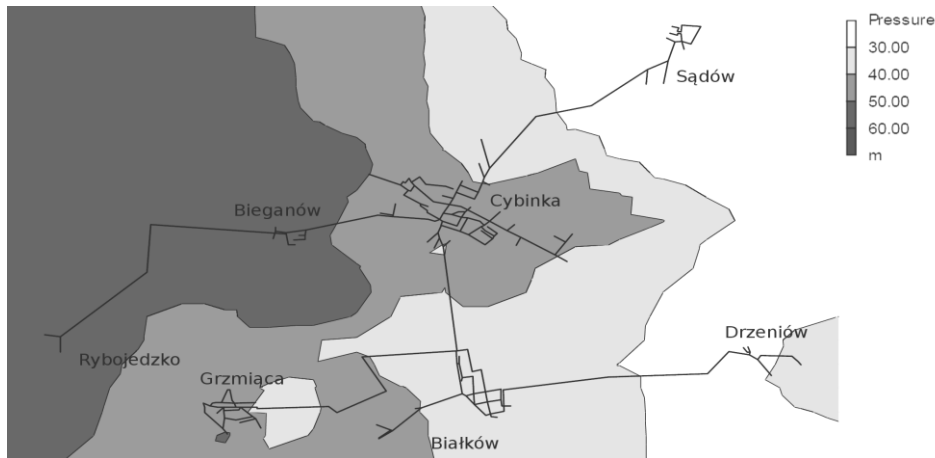
Uwzględniając wydajność ujęcia wody w Drzeniowie $Q_e = 48 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz niezbędną maksymalną wysokość podnoszenia około 30 m, dobrano pompę o wydajności $36 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz wysokości podnoszenia 29 m.

WYNIKI ANALIZY STANU PO ROZBUDOWIE PO UWZGLĘDNIENIU REGULACJI HYDRAULICZNEJ

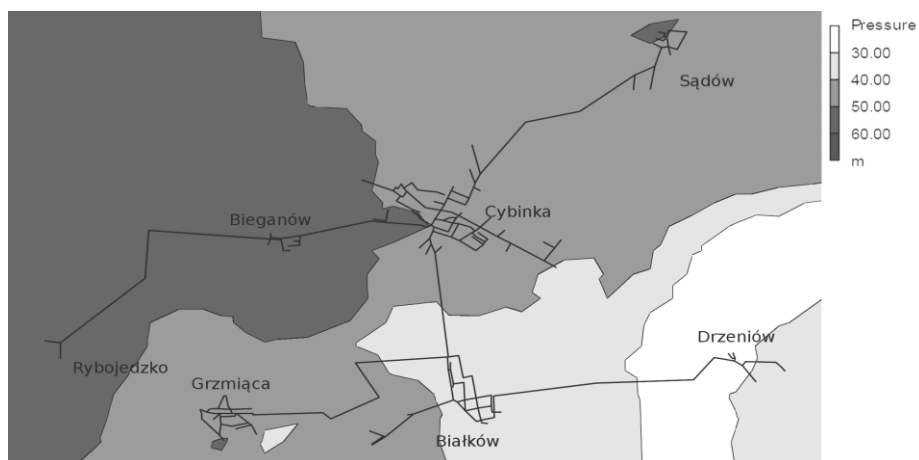
Analiza hydrauliczna stanu docelowego sieci wodociągowej, obejmującego montaż armatury regulacyjnej, regulację, montaż zestawu pomp sieciowych na ujęciu wody w Drzeniowie potwierdziła trafność zastosowanych rozwiązań.

Dla poniższych odcinków dobrano następujące zawory regulacyjne ciśnienia:

- a) Bieganów – odcinek 8 – 107 – nastawa 0,4 MPa,
- b) Bieganów – odcinek 4 – 105 – nastawa 0,4 – 0,55 MPa,
- c) Bieganów – odcinek 11 – 135 – nastawa 0,5 MPa,
- d) Grzmiąca – odcinek 110 – 120 – nastawa 0,4 MPa,
- e) Cybinka – odcinek 60 – 144 – nastawa 0,6 MPa,
- f) Cybinka – odcinek 19 – 141 – nastawa 0,6 MPa,
- g) Cybinka – odcinek 19 – 143 – nastawa 0,6 MPa,
- h) Cybinka – odcinek 15 – 139 – nastawa 0,5 MPa.

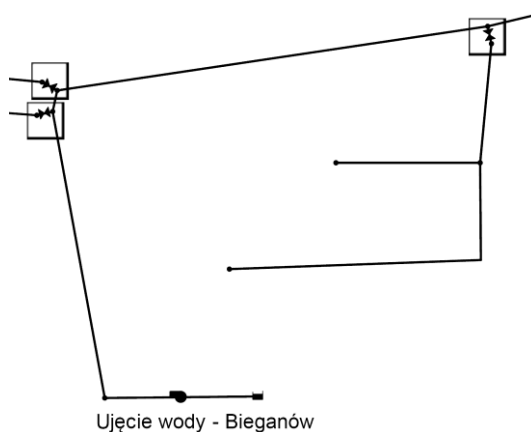


Rys. 5. Ciśnienia w węzłach - rozbiory maksymalne z zaworami regulacyjnymi
Fig. 5. Pressures in junctions – maksimum demands – with regulation valves

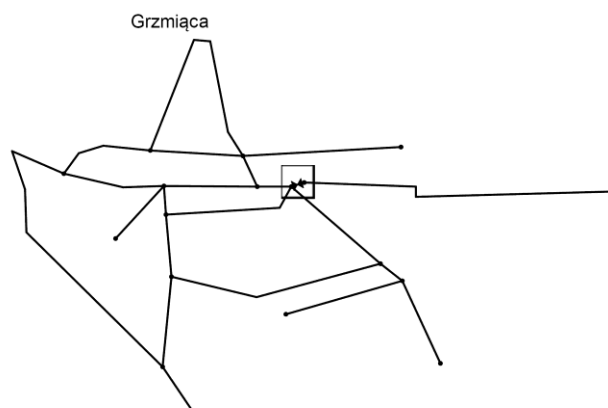


Rys. 6. Ciśnienia w węzłach - rozbiory minimalne z zaworami regulacyjnymi
 Fig. 6. Pressures in junctions – minimum demands – with regulation valves

Zastosowanie zaworów regulacyjnych, przy odpowiednio dobranych nastawach umożliwiło stabilizację ciśnienia w sieci wodociągowej, zarówno podczas maksymalnego, jak i minimalnego rozbioru. W większości węzłów udało się osiągnąć ciśnienie w zakresie od 0,4 MPa do 0,5 MPa. Sporadycznie występuje ciśnienie powyżej 0,5 MPa, ale z uwagi na nie przekraczanie wartości 0,6 MPa nie ma konieczności stosowania w tych węzłach armatury regulującej ciśnienie. W postaci graficznej wyniki symulacji przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Lokalizację zaworów regulacyjnych przedstawiono na rysunkach 7, 8 i 9.



Rys. 7. Bieganów – miejsca montażu zaworów regulujących ciśnienie
 Fig. 7. Bieganów – pressure regulation valves location



Rys. 8. Grzmiąca – miejsca montażu zaworów regulujących ciśnienie
Fig. 8. Grzmiąca – pressure regulation valves location



Rys. 9. Cybinka – miejsca montażu zaworów regulujących ciśnienie
Fig. 9. Cybinka - pressure regulation valves location

ANALIZA WYNIKÓW

Gmina Cybinka, jako jednostka samorządu terytorialnego realizująca ustawowy obowiązek zapewnienia dostawy wody na terenie gminy, jak większość jednostek samorządowych na terenie kraju boryka się z problemami finansowymi. W efekcie podejmowane są decyzje doraźne, a nie kompleksowe. Od momentu rozpoczęcia budowy sieci wodociągowej nigdy nie była przeprowadzona szczegółowa analiza hydrauliczna sieci wodociągowej, uwzględniająca etapowość budowy sieci oraz specyfikę zabudowy gminy.

Pierwotny projekt budowlany sieci wodociągowej przewidywał kompleksową budowę sieci rozdzielczej i magistralnej, oraz jednoczesne zasilanie z trzech ujęć wody bez uwzględnienia konieczności regulacji ciśnienia, przepływu czy jakiegokolwiek regulacji parametrów pracy sieci.

W konsekwencji doszło do sytuacji, kiedy inwestor realizując poszczególne etapy budowy, dostrzegł pewne nieprawidłowości w funkcjonowaniu sieci wodociągowej, polegające na nagłych wzrostach lub spadkach ciśnienia wody w rurociągach, powodujących przerwy w dostawie wody lub uszkodzenia armatury czerpalnej. Powyższa sytuacja oraz rzetelna analiza finansowa funkcjonowania budowanego systemu zaopatrzenia w wodę wykazały jednoznacznie, iż doraźne działania w większości przypadków generują dodatkowe koszty inwestycyjno – eksploatacyjne. Sytuacja wymusiła podjęcie decyzji o przeprowadzeniu kompleksowej analizy stanu istniejącego oraz docelowego, w celu oszacowania optymalnych rozwiązań technicznych pozwalających na zakończenie procesu inwestycyjnego bez wdrażania kosztownych rozwiązań tymczasowych.

Pierwszym krokiem było przeprowadzenie analizy hydraulicznej sieci wodociągowej. W oparciu o dostępne informacje o istniejącym systemie wodociągowym opracowano model systemu przy użyciu programu Epanet. Model umożliwił przeprowadzenie symulacji pracy sieci wodociągowej w rozmaitych stanach eksploatacyjnych i awaryjnych, co umożliwiło weryfikację planów rozbudowy sieci wodociągowej, umożliwiając tym samym uniknięcie zbędnych wydatków inwestycyjnych.

Dysponując tym materiałem, inwestor, czyli Gmina Cybinka może w następnej kolejności podjąć właściwe decyzje o dalszych kierunkach działań inwestycyjnych w zakresie systemu zaopatrzenia w wodę. Jako jednostka samorządu terytorialnego wydatkująca tzw. „publiczne pieniądze” jest tym bardziej zobligowana do racjonalnego ich wykorzystania.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzony szereg analiz wymagał zebrania informacji dotyczących liczby ludności, gęstości zabudowy, rozbioru wody w poszczególnych miejscowościach, ukształtowania terenu oraz danych charakteryzujących ujęcia wody i stacje uzdatniania.

Dane wejściowe, na podstawie których został sporządzony bilans zapotrzebowania na wodę [Kwietniewski i in. 1998], oraz rozkład godzinowy stanowiły podstawę do dalszych analiz.

Szereg przeprowadzonych symulacji pracy sieci wodociągowej umożliwił m.in. dość precyzyjnie określenie niezbędnych potrzeb inwestycyjnych, koniecznych do utrzymania ściśle określonych parametrów pracy sieci wodociągowej, takich jak np. ciśnienie wody.

Podsumowując, zrealizowane analizy i symulacje pozwoliły na uzyskanie następujących wniosków:

1. Włączenie do istniejącego systemu zaopatrzenia w wodę zasilanego z ujęć w Bieganowie i Białkowie, ujęcia wody w Drzeniowie, jest niezbędne do zapewnienia odpowiedniej ilości wody o odpowiednim ciśnieniu, w celu utrzymania ciągłości dostaw wody w trakcie wystąpienia różnych, również niekorzystnych dla sieci wodociągowej warunków pracy, takich jak awaria ujęcia wody.
2. Planowany przez dostawcę wody zamiar inwestycyjny, polegający na budowie przy ujęciu wody w Drzeniowie zbiornika magazynowego o pojemności użytkowej 90 m³, jest niewystarczający i nie gwarantuje dostawy wody o odpowiednim ciśnieniu w miejscowości Drzeńów. Konieczne jest rozważenie montażu na ujęciu wody w Drzeniowie zestawu do podnoszenia ciśnienia wody o minimalnych parametrach – wydajność 36 m³/h i wysokość podnoszenia 29 m.
3. Włączenie do istniejącego systemu zaopatrzenia w wodę, ujęcia wody w Drzeniowie wyposażonego w zestaw pompowy do podnoszenia ciśnienia wody, zapewni odpowiednią ilość wody o odpowiednim ciśnieniu w całej sieci wodociągowej, pod warunkiem wyposażenia jej w armaturę regulującą ciśnienie wody w sieci w następujących miejscach:
 - cztery zawory regulujące ciśnienie w Cybince;
 - trzy zawory regulujące ciśnienie w Bieganowie;
 - jeden zawór regulujący ciśnienie w Grzmiącej.

Zrealizowanie powyższych zadań zagwarantuje stabilną i optymalną pracę sieci wodociągowej na terenie gminy Cybinka, w zakresie ciśnienia od 0,2 MPa do 0,6 MPa, zarówno w trakcie godzin minimalnego rozbioru wody, jak i godzin maksymalnego rozbioru wody, zapewniając tym samym nieprzerwaną ciągłość dostawy wody do gospodarstw domowych i zakładów pracy na terenie gminy Cybinka.

LITERATURA

1. KWIETNIEWSKI M., OLSZEWSKI W., OSUCH – PAJDZIŃSKA E.: *Projektowanie elementów systemu zaopatrzenia w wodę*. Wyd. Oficyna Politechniki Warszawskiej 1998
2. ROSSMAN L.A. – *Epanet 2. User's Manual*, Cincinnati, US EPA 2000
3. *Studium zagospodarowania Gminy Cybinka, Cybinka 2007*

**HYDRAULIC ANALYSIS OF WORKING WATER PIPE
NETWORK IN CITY AND COMMUNE CYBINKA
WITH THREE AUTONOMOUS GROUNDWATER INTAKES**

S u m m a r y

An example of using computer model in evaluating existing water distribution system was presented. The model was prepared using Epanet software. Inconsistents in initiations of new system elements were identified. Initiations of system redevelopment without detailed analysis is connected with realizations of unjustified network elements and structures.

Key words: simulation, water distribution system