

Zarządzanie Smart przedsiębiorstwem wodociągowym w oparciu o zaawansowane narzędzia informatyczne – GIS, SCADA, model hydrauliczny

Smart water company management based on advanced IT tools – GIS, SCADA, hydraulic model

Jarosław Paciej, Mirosława Skrzypczak, Tomasz Baranek*

Słowa kluczowe: GIS, SCADA, LIMS, plan bezpieczeństwa wody, ryzyka, model hydrauliczny, systemy IT

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego zaawansowanych narzędzi IT i modeli matematycznych, na przykładzie modelu hydraulicznego wspomagającego kompleksowe zarządzanie eksploatacją systemu zaopatrzenia w wodę. Kluczowymi elementami tego systemu IT są: GIS i SCADA oraz LIMS. Stosowanie narzędzi IT jest wykorzystywane do optymalizacji operacyjnej oraz zarządzania w realizacji podstawowego zadania przedsiębiorstw wodociągowych, tj. dostaw wody. Wskazano również celowość stosowania tych narzędzi w procedurach systemu zarządzania ryzykiem dostaw wody, z uwzględnieniem podniesienia efektywności funkcjonowania dostawcy wody.

Keywords: GIS, SCADA, LIMS, water safety plan, risk, hydraulic model, IT systems

Abstract

The article presents the concept of an integrated IT system of advanced IT tools and mathematical models, using the example of a hydraulic model supporting comprehensive management of the operation of the water supply system. The key elements of this IT system are: GIS and SCADA and LIMS. The use of IT tools is used for operational optimization and management in the implementation of the basic task of water supply companies, i.e. water supply. The purposefulness of using these tools in the procedures of the water supply risk management system is also indicated, taking into account the improvement of the efficiency of the water supplier's operation.

„Dostęp do wody i kanalizacji jest prawem człowieka! Woda jest dobrem publicznym, nie towarem!” to pełna nazwa inicjatywy obywatelskiej Right2Water, pod którą podpisało się ponad 1,6 mln obywateli Unii Europejskiej. Wzywała ona Komisję Europejską do opracowania przepisów implementujących prawo człowieka do dostępu do bezpiecznej wody i infrastruktury sanitarnej [26]. Podstawowe usługi publiczne, zgodnie ze stanowiskiem WHO, mają być dostępne dla wszystkich a podejście do bezpieczeństwa zdrowotnego wody ma być oparte na zarządzaniu ryzykiem [28]. Wszystkie te działania przyniosły efekt końcowy w postaci uchwalenia przez Parlament Europejski i Radę (UE) Dyrektywy z dnia 16 grudnia 2020 r. nr 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (dalej Dyrektywa) [3]. Dyrektywa ta wprowadziła rewolucyjne zapisy i zdefiniowała nowe obowiązki, których realizacja ma zapewnić wysoki stopień dostaw bezpiecznej wody. Głównym kierunkiem wprowadzanych zmian jest obowiązek prowadzenia dostaw wody w całym łańcuchu dostaw wody, oparty na zarządzaniu ryzykiem. System zarządzania ryzykiem dostaw wody obejmuje: obszar zasilania dla punktu poboru wody ze środowiska, system zaopatrzenia w wodę (SZW) – podsystem produkcji oraz

podsystem dystrybucji oraz wewnętrzną instalację wodociągową. Wdrożenie systemu zarządzania ryzykiem dostaw wody ma zapewnić dostawy wody do konsumenta, tak bezpiecznej jak to tylko możliwe. Światowa Organizacja Zdrowia opracowała systemowe, kompleksowe podejście do zarządzania ryzykiem dostaw wody, wraz z wytycznymi zwanymi Planem Bezpieczeństwa Wody (PBW) [28]. International Water Association wydała podręcznik, który w prosty sposób „krok po kroku” instruuje eksploatatora SZW w budowie i wdrożeniu rozwiązania systemowego, jakim jest PBW [27]. Dyrektywa [3] w treści bezpośrednio przywołuje normę [12], która definiuje standardy zarządzania ryzykiem dostaw wody. Jednym z elementów są zagadnienia związane z zarządzaniem kryzysowym w przedsiębiorstwach wodociągowych [11]. Zbudowanie i wdrożenie standardów operacyjnych i całego systemu zarządzania dostawami wody ma na celu minimalizację zawadności utraty integralności SZW oraz minimalizację ryzyka wystąpienia zdarzeń niepożądanych i / lub skutków wystąpienia tych zdarzeń pod kątem zdrowia publicznego. Stosowanie w działalności operacyjnej eksploatatora SZW systemu zarządzania ryzykiem dostaw wody stanowi podstawę do zdefiniowania i wdrożenia elastycznego systemu monitorowania jakości wody.

* Jarosław Paciej – dr, j.paciej@gpw.katowice.pl; Mirosława Skrzypczak – mgr inż., m.skrzypczak@gpw.katowice.pl; Tomasz Baranek – mgr inż., t.baranek@gpw.katowice.pl, Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. w Katowicach, ul. Wojewódzka 19, 40-026 Katowice

Umożliwia to dostawcom wody alokację środków ekonomicznych z obszarów funkcjonowania ryzyka, rezydującego na obszary wrażliwe na wystąpienie zdarzenia niepożądanego i jego skutków oraz na zwiększenie odporności systemu zaopatrzenia w wodę na działania czynników niekorzystnych. Poznawalność ryzyka jest funkcją zdobywanej wiedzy i doświadczeń, zbieranych w obliczu nowych sytuacji i zagrożeń. W miarę zdobywania informacji o ryzyku, zagrożenia z nim związane mnożą się [13]. Do przeprowadzenia oceny zagrożeń systemowych funkcjonowania SZW oraz oceny efektywności stosowania środków zapobiegawczych, z uwagi na szeroki zakres zbiorów danych, obejmujących charakterystykę warunków wewnętrznych oraz zewnętrznych eksploatacji SZW, wykorzystywane muszą być systemy ICT (Information and Communications Technology) [6], których projektowanie i budowa uwzględnia sprzęt i oprogramowanie [16]. Wdrożenie systemu ICT wymaga gromadzenia, zarządzania, weryfikacji, analiz rozbudowanych baz danych, uwzględniających m.in. dane środowiskowe, klimatyczne, np. rejestrowanie temperatury, intensywności opadów, presji antropogenicznej. Czynniki te mają bezpośredni wpływ na jakość ujmowanych wód powierzchniowych, wykorzystywanych do zaopatrzenia w wodę czy stabilność lustra wód podziemnych. Ponadto muszą być zbierane dane w zakresie: w podsystemach produkcji – parametrów technologicznych prowadzenia procesów uzdatniania wody na stacjach uzdatniania wody [2, 23], m.in. pomiary oporów złoża filtracyjnego, czy czas przyrostu tych oporów a w podsystemach dystrybucji pomiary, np.: wielkości przepływów, ciśnienia czy stężenia dezynfektanta [13, 6]. Wdrożenie systemów ICT było możliwe dzięki intensywnemu rozwojowi możliwości obliczeniowej komputerów i usług, w szczególności chmurowych oraz algorytmów sztucznej inteligencji.

Eksploatator SZW ma obowiązek dostarczyć wodę w wymaganej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i odpowiedniej jakości. Realizując 3 główne cele oczekuje się, iż SZW będzie pracował z minimalną awaryjnością a koszty jego funkcjonowania będą optymalizowane. Celem efektywnego zarządzania pracą SZW, tj. realizacji celów operacyjnych, strategicznych, technicznych oraz organizacyjnych zasadne, a nawet konieczne, jest stosowanie zintegrowanych systemów informatycznych [23]. Pierwszym etapem prac jest zebranie i agregacja danych. Do tego celu dla SZW stosowane są geograficzne systemy informacyjne (GIS). Za ojca tych systemów jest uważany *Roger Tomlinson*, który w 1963 r. zdefiniował pojęcie, filozofię oraz zastosował oprogramowanie GIS do inwentaryzacji zasobów naturalnych [8]. W Polsce, *Profesor Jerzy Gaździcki* pierwszy przedstawił definicję systemów informacji przestrzennej, jako systemów pozyskiwania, gromadzenia, weryfikowania, integrowania, analizowania, transferowania i udostępniania danych przestrzennych. W szerokim rozumieniu obejmują one metody, środki techniczne, w tym sprzęt i oprogramowanie, bazy danych przestrzennych, organizację, zasoby finansowe oraz ludzi zainteresowanych ich funkcjonowaniem [4]. Jednym z krajowych pionierów stosowania GIS w wodociągach jest *Profesor Marian Kwietniewski*, który rekomendował wykorzystanie GIS, zarówno do inwentaryzacji infrastruktury wodociągowej – kanalizacyjnej, jak i również do stosowania GIS jako narzędzia badawczego [9]. GIS stosowany jest jako nazwa dziedziny zajmującej się geoinformacją oraz metodami i technikami wykorzystującym dane przestrzenne oraz atrybuty opisowe. GIS to nie tylko program komputerowy jak edytor tekstu, czy arkusz kalkulacyjny, ale jest to złożony system opisujący rzeczywistość, przyjmujący za swą podstawę przestrzeń [9]. Zdecydowana większość, a praktycznie wszystkie „duże” przedsiębiorstwa wodociągowe, pracują z wykorzystaniem GIS. Jednak w części przypadków, oprogramowanie to jest wykorzystywane jako mapa cyfrowa oraz baza danych inwentaryzująca majątek SZW. Ponadto wymagane jest stosowanie funkcji GIS, jako hurtowni danych, która dodatkowo gromadzi lub integruje dane z systemów zewnętrznych, obejmując np.: ortofotomapy, państwowy rejestr granic, ewidencje gruntów i budynków, numeryczne modele

terenu, uzbrojenie terenu, ewidencja gruntów i budynków [18]. Korzystając z szerokiego zakresu danych systemy GIS są wykorzystywane jako narzędzia wsparcia podejmowania decyzji (DSS) [17], np.: w ustalaniu priorytetów prac modernizacyjnych czy rozbudowy sieci wodociągowej lub oceny wpływu presji antropogenicznej na obszary zasilania punktu poboru wody ze środowiska.

Głównym narzędziem do wspomaganie kontroli, optymalizacji pracy SZW jest model hydrauliczny, który jest matematycznym odwzorowaniem pracy hydraulicznej SZW. Przedsiębiorstwa stosują to narzędzie, m.in. do optymalizacji pracy sieci (ciśnienie, przepływ), testowania scenariuszy zdarzeń i ich wpływu na pracę sieci, propagację zmian jakości wody w sieci, wyznaczanie wieku wody [29,30]. Do realizacji tych zadań konieczne jest zasilenie modelu hydraulicznego pomiarami. Do tego stosowane są systemy SCADA. Systemy te są niezbędne do monitorowania i sterowania procesami w przedsiębiorstwach wodociągowych. Umożliwiają one zbieranie danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na bieżące monitorowanie stanu sieci wodociągowej oraz szybkie reagowanie na awarie. SCADA integruje dane z różnych źródeł, takich jak czujniki i urządzenia pomiarowe, co umożliwia optymalizację pracy sieci i minimalizację strat. Urządzenia pomiarowe systemów SCADA zabudowuje się w kluczowych punktach SZW: miejscach wtłoczenia wody do sieci na stacjach uzdatniania wody, czy zbiornikach wyrównawczych / przepompowaniach sieciowych, czy reprezentatywnych punktach sieci wodociągowych. Należy tak zaprojektować lokalizację, aby uzyskać precyzyjne informacje o pracy hydraulicznej elementów SZW. System SCADA obejmuje pomiary ciśnienia, wielkość i kierunek przepływu, poziom wody w zbiornikach, pomiary parametrów jakościowych wody, np. stężenie chloru wolnego, mętności, odczynu pH, potencjału redox. Zakres ten jest zwiększany wraz z rozwojem technik pomiarowych. Jednak dopiero integracja GIS, SCADA i modeli matematycznych, np.: modelu hydraulicznego wraz z efektywnym zaplanowaniem pomiarów, umożliwia zarówno optymalizację pracy SZW, jak również zwiększa efektywność identyfikacji miejsc wystąpienia awarii w podsystemie dystrybucji wody oraz zaburzenia jakości dystrybuowanej wody [1, 10, 19, 20, 21, 24, 22, 25, 31]. Powyższe narzędzia umożliwiają wyznaczenie stref DMA (*District Metered Area*) i PMA (*Pressure Managed Area*), co w połączeniu z modelem hydraulicznym jest stosowane do budowania systemu aktywnej kontroli wycieków wody w systemie wodociagowym i umożliwia precyzyjne wyznaczenie lokalizacji miejsca wycieku lub kradzieży wody [5]. Ponadto, dostawcy wody stosują narzędzia informatyczne: np. system bilingowy CIS (*Customer Information System*), który jest wykorzystywany do obsługi klientów, np. rozliczeń za świadczone usługi dostaw wody. Jednym z podstawowych elementów działalności dostawców wody jest kontrola jakości wody. Laboratoria wykonujące badania jakości wody stosują systemy i narzędzia do wspomaganie pracy laboratoryjnej LIMS (*Laboratory Information Management System*), m.in. w zakresie weryfikacji i walidacji poprawności stosowanych metod badawczych, zarządzania bazą danych wyników badań.

Celem zwiększenia efektywności operacyjnej funkcjonowania dostawców wody, powinna być integracja wszystkich narzędzi IT w jedno środowisko, które umożliwia gromadzenie, zarządzanie danymi oraz prowadzenie analiz wraz z wykorzystywaniem modeli matematycznych. Do tego celu budowane są Zintegrowane Systemy Informacyjne (ZSI). Umożliwiają one pełną integrację i interoperacyjność wszystkich stosowanych systemów wewnętrznych i dostępnych systemów / danych zewnętrznych. Efektem integracji jest prowadzenie analiz, testowanie scenariuszy z wykorzystaniem kilku narzędzi, danych zebranych w różnych zbiorach, np. korelacja wieku wody wraz z wyznaczeniem zaniku dezynfektanta w podsystemie jej dystrybucji. Systemy ZSI powinny być wykorzystywane jako kompleksowe systemy dostarczania danych i analiz, jako element procedur w systemie zarządzania ryzykiem dostaw wody, jako na-

rzędzie stosowane do weryfikacji skuteczności i oceny efektywności prowadzonej eksploatacji SZW.

Nawiązując do konieczności zwiększenia bezpieczeństwa systemów IT, została uchwalono Dyrektywa NIS2. Nakłada ona nowe obowiązki, również na dostawców wody, w zakresie ochrony systemów informacyjnych i sieci przed zagrożeniami cybernetycznymi. Ma ona na celu podniesienie poziomu bezpieczeństwa w całej Unii Europejskiej, szczególnie w sektorach o wysokim stopniu krytyczności [7].

Studium przypadku – Górnśląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A.

Obszar badawczy

Zaopatrzenie w wodę aglomeracji Górnśląskiego Okręgu Przemysłowego i Rybnickiego Okręgu Węglowego jest realizowane przez największego w Polsce, jak i w Europie, hurtowego producenta i dostawcę wody, tj. Górnśląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. z siedzibą w Katowicach. Spółka ta, we współpracy z lokalnymi przedsiębiorstwami wodociągowymi i innymi podmiotami, dostarcza wodę do blisko 3,5 mln mieszkańców województwa śląskiego (66 gmin) i małopolskiego (3 gminy). Spółka funkcjonuje w obszarze działalności 13 Państwowych Powiatowych Inspektorów Sanitarnych. Początki budowy eksploatowanego obecnie SZW, dostarczającego wodę do mieszkańców aglomeracji śląskiej, przypadają na koniec XIX wieku, a strategia jego rozwoju była silnie determinowana uprzemysłowieniem regionu, w tym działalności wydobywczej i hutniczej. Dziś system zaopatrzenia w wodę jest zbudowany z sześciu podsystemów ujmowania wody powierzchniowej, czterech podsystemów ujmowania wody podziemnej, stanowiące 10 podsystemów uzdatniania wody oraz pierścieniowego podsystemu dystrybucji wody. Zdecydowany udział w łącznej produkcji mają zasoby wód powierzchniowych (ok. 80%). Aktualna, średnio-dobowa produkcja wody wynosi ok. 330 tys. m³. Podsystem produkcji wody eksploatuje wysokosprawne ciągi technologiczne, obejmujące koagulacje, filtracje na filtrach pospiesznych antracytowo – piaskowych oraz złożach węgla aktywnego. Stosowane technologie gwarantują wysoką skuteczność uzdatniania wody, zapewniając jej stabilność chemiczną jak i mikrobiologiczną. Przedsiębiorstwo wodociągowe dostarcza wodę do gmin, na obszarze których brak jest innych źródeł wody, tj. Katowice, Ruda Śląska, czy Chorzów. Jednocześnie na obszarze Śląska są miasta, które tylko częściowo pokrywają zapotrzebowanie na wodę z ujęć GPW SA (m. in. Jaworzno, Zabrze czy Gliwice). Można zatem przyjąć, że na obszarze funkcjonowania GPW S.A. aż 85% populacji zamieszkującej

ten obszar korzysta z wody dostarczanej przez to przedsiębiorstwo wodociągowe. Do transportu wody do picia wykorzystywane jest 852,5 km sieci magistralnych. Jest to infrastruktura wodociągowa głównie dużych średnic 1800-500 mm, charakteryzująca się znacznym zróżnicowaniem materiałowym (tab. 1).

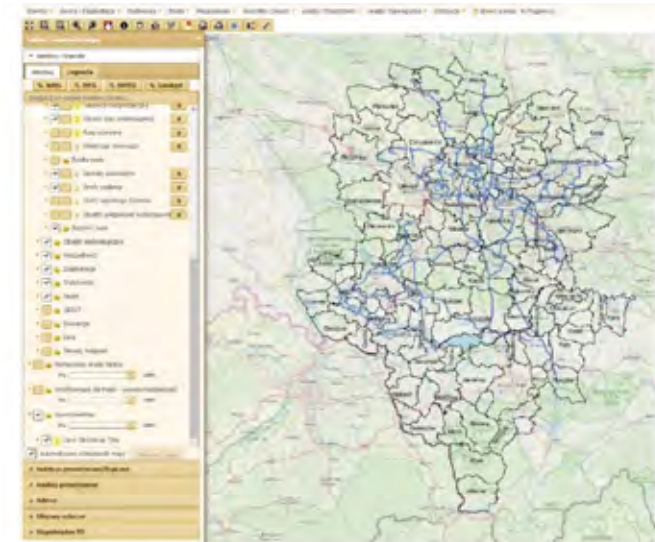
Tabela 1. Struktura materiałowa sieci wodociągowej w 2024 r.
Table 1. Material structure of the water supply network in 2024.

Material	Udział [%]
Stal	59,4
Żeliwo szare	3,3
Żeliwo sferoidalne	10,3
Żelbet	4,4
PE	22,6

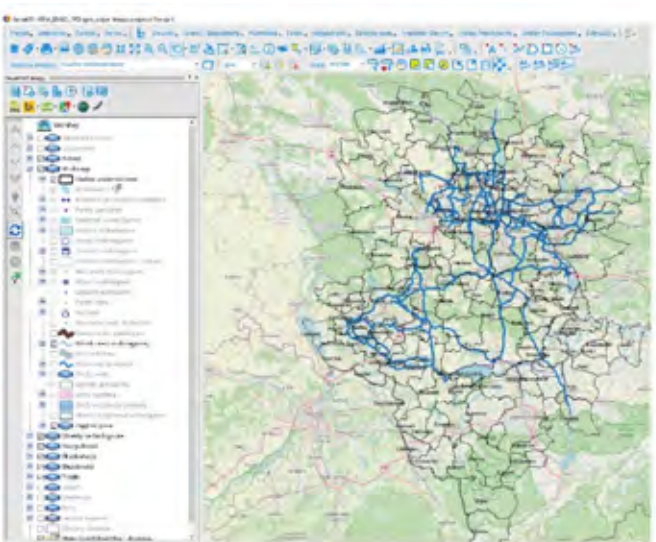
Pierścieniowy podsystem dystrybucji wody umożliwia Spółce, we współpracy z lokalnymi przedsiębiorstwami wodociągowymi, zapewnienie bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę regionu. Żadne lokalne przedsiębiorstwo wodociągowe nie jest w stanie podać w razie awarii lub klęski żywiołowej, wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, na przeciwny obszar Górnego Śląska. Podsystem dystrybucji wody, poza rurociągami, jest zbudowany z dziewięciu kompleksów zbiorników wodociągowych wraz z układami pompowymi (tab. 2), o łącznej pojemności 276 000 tys. m³.

Tabela 2. Zbiorniki wodociągowe w systemie zaopatrzenia wodę
Table 2. Water tanks in the water supply system

Lp.	Nazwa	Maksymalna pojemność [tys m ³]	Wypływ wody
1	Czarny Las	38	grawitacyjny
2	Chorzów – Góra Wyzwolenia	20	pompowy
3	Łosień	5	grawitacyjny
4	Mikolów	96	grawitacyjny – kier. Katowice, Chorzów, pompowy – kier. Wodzisław Śląski
5	Murcki	27	grawitacyjny
6	Paprocany	25	pompowy
7	Pszów	27	grawitacyjny
8	Urbanowice	18	grawitacyjny
9	Zagórze	20	grawitacyjny

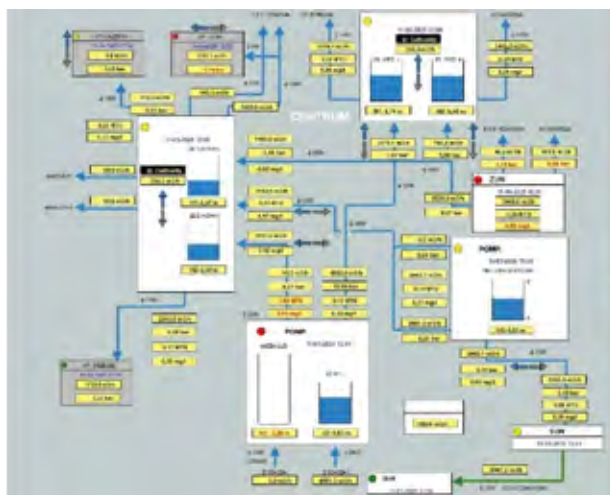


Rys. 1. Wersja webowa systemu GIS
Fig. 1. Web version of the GIS system



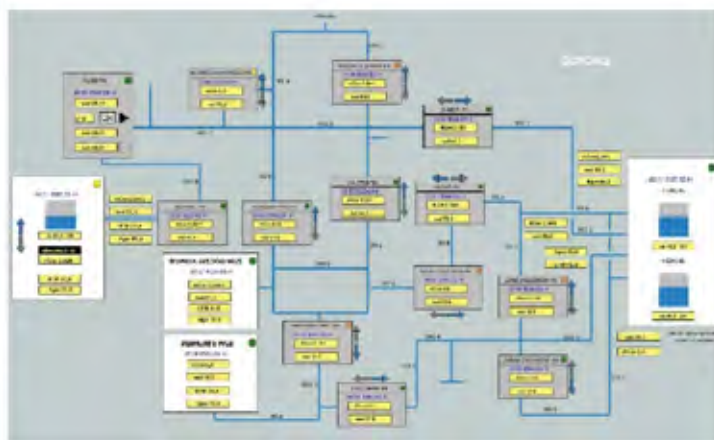
Rys. 2. Wersja desktopowa systemu GIS
Fig. 2. Desktop version of the GIS system

W Górnośląskim Przedsiębiorstwie Wodociągów S.A. w Katowicach zbudowano i stosowany jest dwu-modułowy system GIS, który składa się z aplikacji SONET (rys. 1) oraz aplikacji JARC (rys. 2.). SONET jest aplikacją desktopową, przeznaczoną do realizacji funkcjonalności GIS – w zakresie zarówno danych przestrzennych oraz danych opisowych wraz z interoperacyjnością i integracją systemami zewnętrznymi oraz jest środowiskiem projektowania i uruchamiania modułów biznesowych. W aplikacji uruchamiane są wszystkie moduły biznesowe, z pełną ich funkcjonalnością w zakresie edycji i analizy danych. Natomiast moduł JARC jest aplikacją webową, realizującą funkcjonalności GIS oraz jest środowiskiem uruchamiania modułów biznesowych, zaprojektowanych w SONET. W aplikacji JARC uruchamiane są wszystkie moduły biznesowe. Część operacji, typowa dla środowiska desktop, jest wykonywana tylko w SONET. JARC pozwala również na uruchamianie responsywnych aplikacji webowych z funkcjonalnościami GIS, dla użytkowników mobilnych. System GIS prowadzony jest w formie rozwarstwionej, tzn. jest zdefiniowana możliwość wyświetlania poszczególnych warstw w zależności od potrzeb. Można go podzielić na: sieć dystrybucyjną, sieć technologiczną, obiekty technologiczne, zdarzenia na sieci magistralnej, moduł dyspozytora, moduł nieruchomości, m.in służebności, zasiedzenia, GESUT sieci obce, zewnętrzne serwisy mapowe, np.: ortofotomapa.



Rys. 3. SCADA – podsystem dystrybucji wody

Fig. 3. SCADA – water distribution subsystem



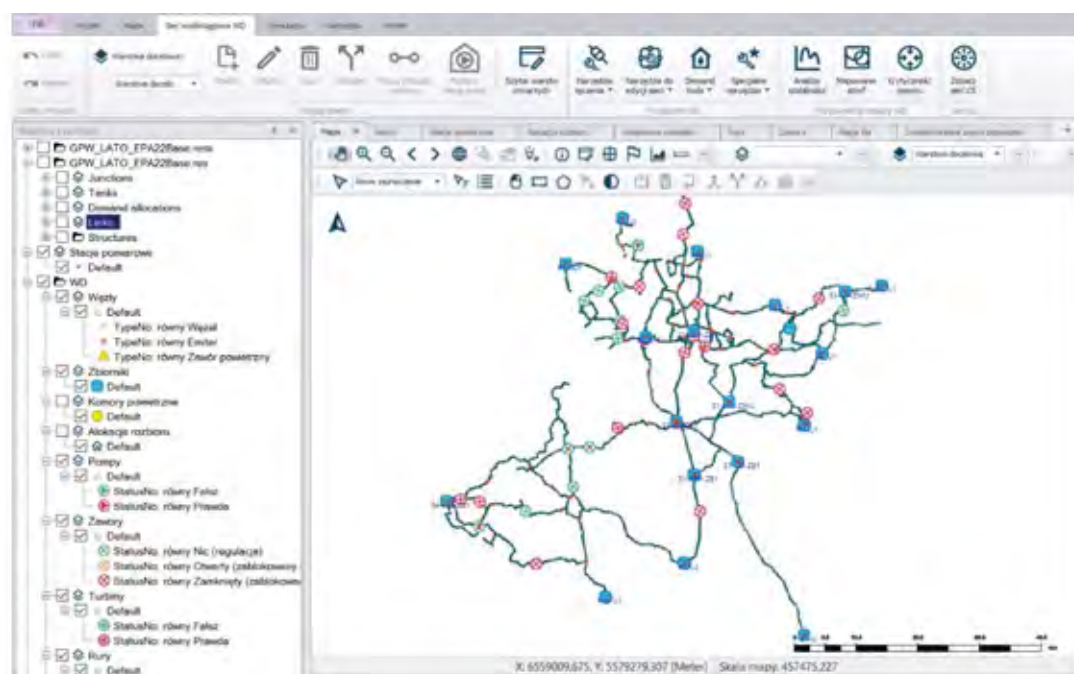
Rys. 4. SCADA – podsystem produkcji wody

Fig. 4. SCADA – water production subsystem

W systemie SCADA (rys. 3 i 4), w podsystemie dystrybucji wody, eksploatowanych jest 368 urządzeń pomiaru ciśnienia, 23 urządzenia pomiaru poziomu wody w zbiornikach, 835 przepływomierzy, 28 lokalizacji pomiaru mętności i 30 lokalizacji pomiaru stężenia chloru wolnego. Urządzenia pomiarowe zabudowane są na: stacjach wodociągowych, przepompowniach i studniach, z których dane są transmitowane w regularnych odstępach czasu. Natomiast urządzenia zlokalizowane w studniach sprzedażowych rejestrują dane co 10/15 minut i wysyłają zebrane dane raz albo dwa razy na dobę. Pomiar z telemetrii zasilają bazę danych MSSQ. Pomiar SCADA na stacjach uzdatniania wody są dostosowane do prowadzonych procesów uzdatniania wody. W punktach wtłoczenia wody do sieci na stacjach uzdatniania wody, w trybie czasu rzeczywistego, prowadzone są pomiary przepływu, ciśnienia, mętności oraz stężenia dezynfektanta.

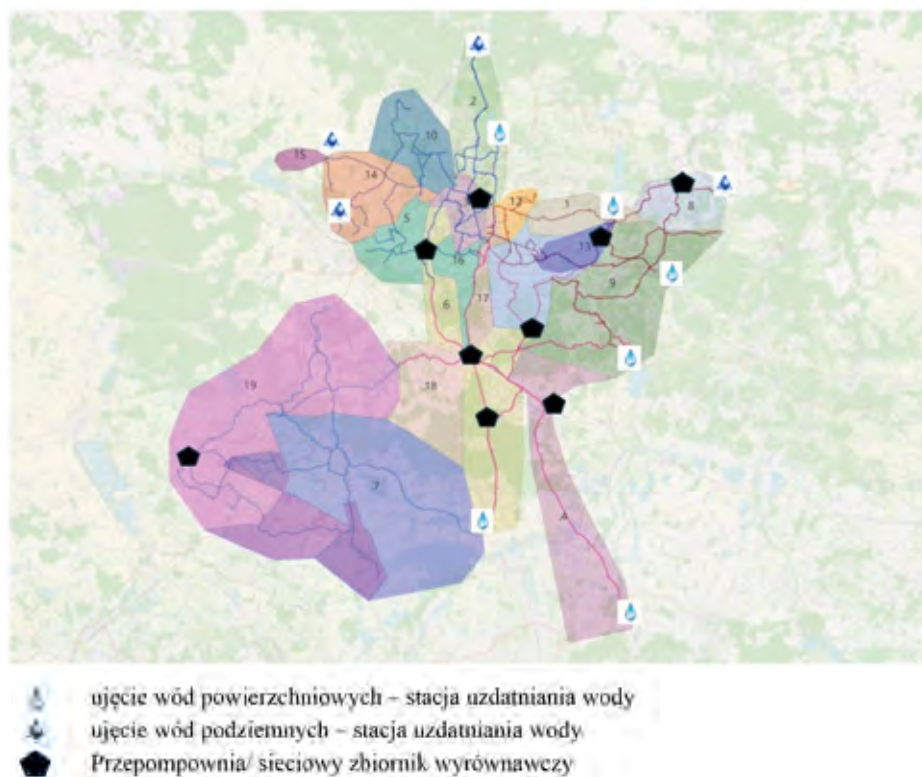
Główne realizowane funkcje SCADA obejmują: rejestrowanie i agregację danych – odczyty z czujników, liczników, kamer; monitorowanie w czasie rzeczywistym wraz z wizualizacją procesów na ekranach: sygnalizowanie alarmów i powiadomień o stwierdzonych nieprawidłowościach, zdalne sterowanie procesami zarządzanie maszynami, urządzeniami i sieciami, archiwizację prowadzonych pomiarów i zdarzeń oraz integrację z innymi systemami.

Z wykorzystaniem powyższych systemów GIS i SCADA, do symulacji, analizy i optymalizacji pracy SZW, wykorzystywane jest oprogramowanie: MIKE+ (rys. 5.). Jest to oprogramowanie firmy DHI, służące



Rys. 5. Model hydrauliczny – moduł MIKE+

Fig 5. Hydraulic model – MIKE+ module



Rys 6. Podział na DMA eksploatowanego SZW GPW S.A.
Fig 6. Division into DMA of the operated water supply system

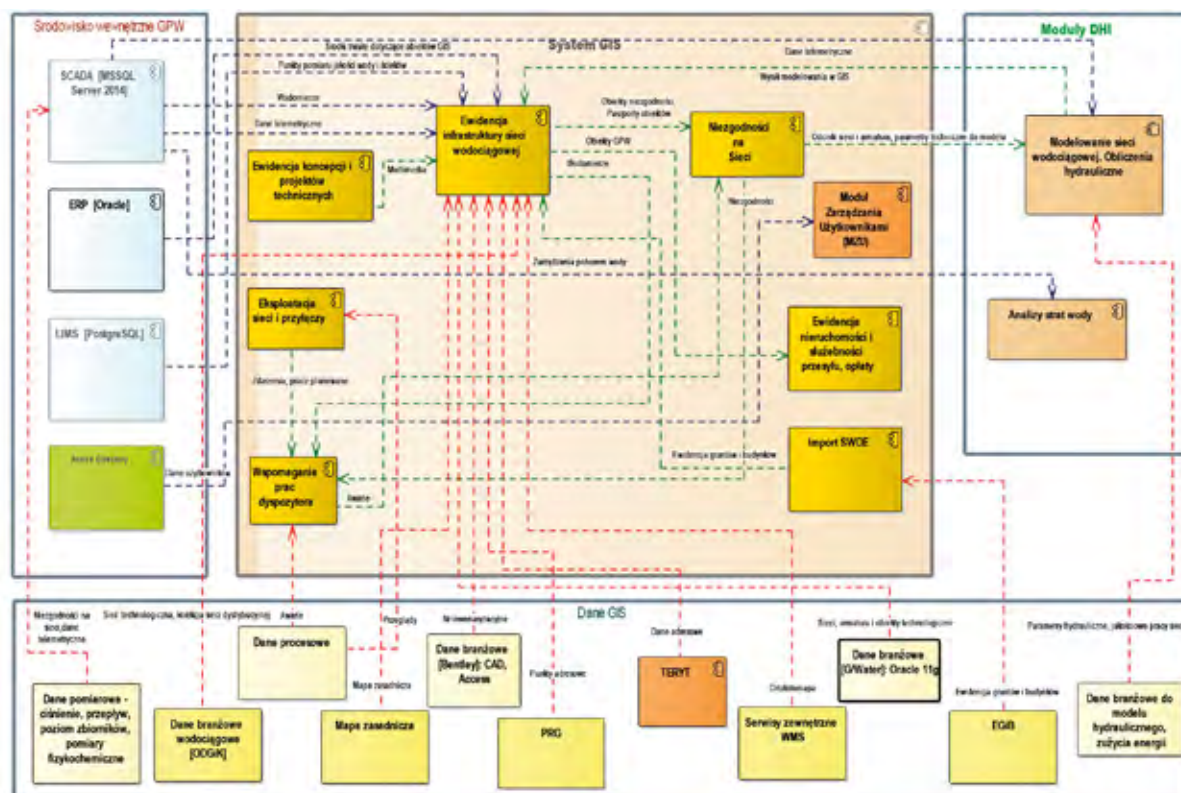
do modelowania systemów wodnych, takich jak sieci wodociągowe. Jest to jedno z najbardziej zaawansowanych narzędzi hydraulicznych i hydrodynamicznych, wykorzystywane w inżynierii środowiskowej, urbanistyce oraz zarządzaniu wodami. Ponadto, wykorzystywane jest oprogramowanie WaterNet Advisor. Jest to webowe oprogramowanie do modelowania hydraulicznego sieci wodociągowych, opracowane przez firmę DHI. Umożliwia łatwy dostęp do analiz hydraulicznych, bez potrzeby instalowania

specjalistycznego oprogramowania, co czyni go wygodnym narzędziem dla operatorów sieci wodociągowych. Rozwiązanie to wykorzystuje technologię MIKE+, oferując zaawansowane funkcje symulacyjne w przystępnym interfejsie przeglądarkowym. W systemie tym możliwe jest zasymulowanie konkretnego zdarzenia, jakie może wystąpić na sieci wodociągowej. Poprzez dokonanie prostych zmian tj. zamknięcie/otwarcie odcinka, włączenie/wyłączenie pompy na stacji, otwarcie/zamknięcie armatury zamykającej.

Z wykorzystaniem narzędzi IT w podsystemie dystrybucji wody, wyznaczono 19 stref DMA (rys. 6.), w obrębie których wytypowano łącznie 110 reprezentatywnych punktów monitoringu jakości wody, z których w ramach monitorowania jakości wody próbki do badań pobierane są z częstotliwością raz w miesiącu, przy równomiernym rozłożeniu kontroli w czasie. Wyniki badań jakości wody są agregowane w systemie LIMS.

System monitoringu jakości wody w SZW, eksploatowanym przez GPW, jest realizowany w ramach planowanej kontroli prowadzonej przez akredytowane laboratorium Spółki. Zakres monitoringu obejmuje punkty poboru wody ze środowiska, punkty wtłoczenia wody do sieci oraz reprezentatywne punkty w podsystemie dystrybucji wody. Roczny program kontroli wewnętrznej jest każdorazowo przekazywany organom nadzoru sanitarnego, tj. Państwowym Powiatowym Inspektorom Sanitarnym (PPIS), właściwym dla obszaru funkcjonowania GPW. W systemie monitoringu zakres i częstotliwość badań są dostosowane do specyfiki stosowanej technologii uzdatniania wody oraz obowiązujących krajowych regulacji prawnych [14, 15].

wiska, punkty wtłoczenia wody do sieci oraz reprezentatywne punkty w podsystemie dystrybucji wody. Roczny program kontroli wewnętrznej jest każdorazowo przekazywany organom nadzoru sanitarnego, tj. Państwowym Powiatowym Inspektorom Sanitarnym (PPIS), właściwym dla obszaru funkcjonowania GPW. W systemie monitoringu zakres i częstotliwość badań są dostosowane do specyfiki stosowanej technologii uzdatniania wody oraz obowiązujących krajowych regulacji prawnych [14, 15].



Rys. 7. Struktura ZSI GPW S.A.

Fig. 7. Structure of ZSI GPW S.A.

Spółka wdrożyła Zintegrowany System Informatyczny.

Wdrożony do bieżącej działalności GPW ZSI składa się z trzech integralnie powiązanych ze sobą poziomów struktury systemu (rys 7). ZSI archiwizuje i zarządza szerokim zakresem informacji oraz danych dotyczących pracy SZW, zarówno w stanach eksploatacyjnych pracy normalnej oraz w dla incydentów. Swym zakresem obejmuje, zarówno parametry hydrauliczne, jak i parametry jakości wody. W ramach zarządzania informacją, w Spółce funkcjonują systemy gromadzące dane, stanowiące kompleksową strukturę danych I-ego poziomu systemu IT, do których należą informacje wewnętrzne: CIS, SCADA GIS, LIMS oraz wskazanych systemów zewnętrznych. Ponadto stacje wodociągowe mają indywidualne lokalne podsystemy SCADA. Poziom II systemu IT obejmuje system ZSI, który służy do zarządzania danymi przestrzennymi i integracji danych wewnętrznych Spółki oraz danych pozyskiwanych z zewnątrz. Poziom ten jest źródłem informacji dla III poziomu, obejmującego moduły analityczne, tj. model hydrauliczny, model jakościowy, model analizy strat czy model analizy przestrzennej. Natomiast zaimplementowany model hydrauliczny, będący komponentem III poziomu w systemie IT, weryfikowany jest na bieżąco w oparciu o aktualne dane obejmujące, np. remonty na sieci czy zmiany strefowania podsystemu dystrybucji wody. III poziom IT służy do wykonywania symulacji zachowania systemu, w różnych stanach operacyjnych, z wykorzystaniem modelu hydraulicznego, modelu jakościowego oraz modelu analizy strat wody. Umożliwia on również przeprowadzanie analizy jakości wody, m.in. wieku wody, stężenia dezynfektanta. Pozyskane rezultaty analiz stanowią podstawę optymalizacji poszczególnych procesów eksploatacyjnych, np. wielkość dozowania dezynfektanta, poziom przepływów wody wraz ze strefowaniem. Moduł optymalizacyjny wykonuje zadania w oparciu o dwa algorytmy optymalizacji wielokryterialnej: ewolucyjny i genetyczny.

Podsumowanie

Budowa, wdrożenie i stosowanie zaawansowanych narzędzi informatycznych do zarządzania w przedsiębiorstwach wodociągowych to konieczność. Indywidualne, oddzielne wykorzystywanie systemów GIS, SCADA, LIMS i innych ogranicza możliwości efektywnego pozyskiwania i wykorzystywania informacji. Pełna integracja, zarówno wewnętrznych i zewnętrznych systemów IT, wspiera zwiększenie efektywności operacyjnej wykonywanych zadań. Jest to szczególnie istotne, w związku z obowiązkiem stosowania dostaw wody, opartym na zarządzaniu ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody. Integracja baz danych, systemów analiz, modeli matematycznych umożliwia proaktywne stosowanie narzędzi w procedurach zarządzania ryzykiem, np. generowane jest środowisko testowe, które umożliwia symulowanie różnych scenariuszy sytuacyjnych, przeprowadzenie oceny skutków wystąpienia zdarzenia oraz opracowanie środków zapobiegawczych, zwiększających odporność SZW na zdarzenia niepożądane. Dostawca wody zyskuje możliwość wcześniejszego przetestowania już funkcjonujących procedur i innych środków minimalizujących wystąpienie stanów utraty integralności SZW. Szerokie możliwości, jakie stwarza stosowanie narzędzi IT, wpływa na zwiększenie efektywności funkcjonowania dostawcy wody oraz minimalizację zawodności dostaw bezpiecznej wody, w całym łańcuchu dostaw wody od ujęcia do kranu u konsumenta.

LITERATURA

[1] Bogdan L., Karczmarska D., Studziński Jan. 2005. *Computerization of waterworks in Poland – current state and perspectives*. In: Applications of Informatics in Environment Engineering and Medicine (Studziński J., Drelichowski L., Hryniewicz O., Eds.) PAS SRI, Series Systems Research, Vol. 42, Warsaw 2005, pp. 157-169.

[2] Drewnowski Jakub, Bray Rafał Tytus. 2016. "Efektywność usuwania żelaza, manganu i amoniaku z wód podziemnych na złożu „Filtralite” w porównaniu z tradycyjnymi materiałami filtracyjnymi". *Inżynieria Morska i Geotechnika*.(2): 59-67.

[3] Dyrektywa 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi nr 2024.

[4] Gaździcki Jerzy. 2002. *Leksykon geomatyczny – Lexicon of Geomatics*.: Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej.

[5] Gwoździej-Mazur Joanna, Tuz Piotr Krzysztof, Smilewicz Rafał. 2016. „Koncepcja ograniczania strat wody w sieciach wodociągowych”. *Rynek Instalacyjny* 5/2016.

[6] Hryniewicz Olgierd, Studziński Jan. 2002. „Application of systems analysis tools in environmental engineering”. Information Society and Enlargement of European Union. 17th International conferences on Informatics and Environmental Protection. 2002. 58-68.

[7] <https://www.biznes.gov.pl/pl/portal/005120#2> (aktualizacja 2025-04-04).

[8] <https://www.esri.com/pl-pl/what-is-gis/history-of-gis>. (aktualizacja 2025-04-05).

[9] Kwietniewski Marian. 2008. *GIS w wodociągach*. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN.

[10] Łomotowski J., Siwoń Z. 2010. "Metodyka analizy danych pochodzących z monitoringu systemów wodociagowych i kanalizacyjnych". *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*(3):16-20.

[11] Norma PN-EN 15975-1+A1 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 1 Zarządzania kryzysowe.

[12] Norma PN-EN 15975-2 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie Ryzykiem.

[13] Rak Janusz, Barbara Tchorzewska-Cieślak, Studziński Jan. 2013. „Bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę”. *Polska Akademia Nauk. Instytut Badań Systemowych*.

[14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 29 sierpnia 2019 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi (Dz. U. poz 1747).

[15] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 7.12. 2017 r. w sprawie wymagań jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi (Dz. U. poz 2294).

[16] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2554 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie operacyjnej odporności cyfrowej sektora finansowego i zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1060/2009, (UE) nr 648/2012, (UE) nr 600/2014, (UE) nr 909/2014 oraz (UE) 2016/1011

[17] Skotak Krzysztof, Bratkowski Jakub, Kozłowski Jerzy. 2013. „Baza danych jakości wody jako element systemu wspomagania decyzji w zdrowiu publicznym”. *Gaz Woda i Technika Sanitarna* (1):18-25.

[18] Skrzipek Bogdan. 2020. "Interakcje GIS ZSI korzyści i problemy". *Kierunek Wod-Kan*. (2) :49-53.

[19] Straubel R., Holznagel B., 1999. "Mehrkriteriale Optimierung für Planung und Steuerung von Trink – und Abwasser-Verbundsystemen". *Wasser, Abwasser*, 140 (3) : 191-196.

[20] Studziński Jan. 2011. "Application of kriging algorithms for solving some water nets management tasks". In: *Innovations in Sharing Environmental Observations and Information* (W. Pillmann, S. Schade, P. Smits, Eds.), Part 1: Environmental Informatics, Proceedings of Envi – roInfo Ispra 2011, Shaker Verlag, Aachen 2011, 493-488.

[21] Studziński Jan, Straubel R. 2007. „Optymalizacja i sterowanie miejskiej sieci wodociągowej na podstawie modeli matematycznych”. *Studia i Materiały PSZW* (W. Bojar, red.) tom 10, PSZW Bydgoszcz 2007, 181-191.

[22] Studziński Jan. 2011. "Kompleksowe zarządzanie miejską siecią wodociagową w oparciu o systemy GIS, SCADA i modele matematyczne". *Wodociągi i Kanalizacja*, 12(94): 36-39.

[23] Studziński Jan, Drelichowski Ludosław, Hryniewicz Olgierd. 2006. "Rozwój i zastosowanie metod ilościowych i technik informatycznych wspomagających procesy decyzyjne". *Badania Systemowe* tom 49, ISSN 0208-8029.

[24] Studziński Jan. 2007. "Zastosowanie danych z monitoringu w systemie zarządzania miejską siecią wodociagową". *Studia i Materiały PSZW* (W. Bojar, red.) tom 9, PSZW Bydgoszcz 2007, 154-164.

[25] Studziński Jan. 2014. „Some algorithms supporting the water network management by use of simulation of network hydraulic model”. *Industrial Simulation Conference (ISC 2014)*, 33-37.

[26] van den Berge Jerry, Vos Jeoren Boelens Rutgerd. 2022. "Water justice and Europe's Right2Water movement". *International Journal of Water Resources Development* 38(1). 173–191. <https://doi.org/10.1080/07900627.2021.1898347>.

[27] WHO, IWA Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition. ISBN 978-92-4-006770-7 (print version) 2023.

[28] WHO, Wytyczne WHO dotyczące wody do picia. Wydanie IV, Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie 2011.

[29] Zimoch Izabela, Bartkiewicz Ewelina. 2020. "Use of disinfection by-products (DBPs) generation simulation models in the risk analysis of secondary water contamination. 2020. *Desalination and Water Treatment*, (199): 486-492.

[30] Zimoch Izabela, Bartkiewicz Ewelina. 2019. „Modelowanie symulacyjne zmian zawartości chloru w wodzie wodociągowej w warunkach eksploatacyjnych wybranego systemu dystrybucji”. *Ochrona Środowiska* 41. (1):17-22.

[31] Żyła A. 2007. „Opracowanie algorytmów obliczeniowych do wykrywania stanów awaryjnych i nieszczelności sieci wodociągowej”. Raport badawczy IBS PAN nr 4B/2007, Warszawa 2007.