

# PRZEGLĄD MOŻLIWOŚCI I POTRZEB WSPOMAGANIA ZARZĄDZANIA I MONITOROWANIA SYSTEMU WODOCIĄGOWEGO W UJĘCIU IDEI SMARTCITY

Marek KOMONIEWSKI, Andrzej LOSKA,  
Waldemar PASZKOWSKI, Ryszard WYCZÓŁKOWSKI

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę możliwości i potrzeb wspomaganie zarządzania i monitorowania systemu wodociągowego. Zinventaryzowano podstawowe luki i wyzwania w zakresie wdrażania nowoczesnych technologii (w tym ICT) dla potrzeb wspomaganie zarządzania systemem wodociągowym. Zidentyfikowano aktualny stan oraz kierunki rozwoju systemów wspomaganie monitorowania i eksploatacji systemu wodociągowego. Przedstawiono założenia integracji ww. systemów w ujęciu koncepcji SmartCity.

**Słowa kluczowe:** system wodociągowy, zarządzanie eksploatacją, systemy monitorowania, SmartCity

## 1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa wodociągowe są specyficzną grupą wśród przedsiębiorstw działających w obszarze inżynierii miejskiej. Ze względu na specyfikę swojej działalności są naturalnymi monopolistami na rynkach lokalnych, co mogłoby sugerować, że nie są zainteresowane wprowadzaniem zmian i zwiększaniem swojej konkurencyjności. Przedsiębiorstwa te poddane są jednak kontroli społecznej, a cena sprzedawanej przez nie wody podlega regulacjom. Dążąc do zaspokojenia oczekiwań swoich klientów – odbiorców wody, przedsiębiorstwa te zmuszane są do podejmowania działań mających na celu zapewnienie niezawodnych dostaw wody, o wysokiej jakości i po akceptowalnej cenie.

Jednocześnie mając ograniczony przychód, przedsiębiorstwa te zarządzają olbrzymimi środkami, w skład których wchodzi sieci wodociągowe, budynki i instalacje pomocnicze (stacje uzdatniania wody, hydroformie, zbiorniki sieciowe) i uzbrojenie sieci (zawory, zasuw, hydranty). W połączeniu z ograniczonymi środkami powoduje to konieczność racjonalizacji procesów eksploatacji. Co prawda majątek tego typu przedsiębiorstw jest najczęściej niezwykle trwały – spotyka się sprawne sieci wodociągowe mające 100 lat i więcej, ale zaniedbanie racjonalnego odtwarzania potencjału eksploatacyjnego sieci wodociągowych w dłuższym okresie prowadzi do ich degradacji. Dlatego działania podejmowane w celu poprawy efektywności (technicznej i ekonomicznej) funkcjonowania tej grupy przedsiębiorstw nie mogą ograniczać się tylko do bieżących napraw i doraźnego utrzymywania stanu zdadności, ale powinny mieć charakter wieloaspektowy, jako efekt wzajemnego skojarzenia obserwowanych obecnie możliwości i potrzeb rozpatrywanych w obszarze technicznym, informacyjno-informatycznym i społecznym.

Przedstawione ogólne uwarunkowania, stały się podstawą do podjęcia dyskusji nad sposobem zarządzania systemem wodociągowym z uwzględnieniem ww. uwarunkowań. Niniejszy referat stanowi próbę przybliżenia aktualnie realizowanych w Instytucie

Inżynierii Produkcji Politechniki Śląskiej zadań badawczych koncentrujących się nad opracowaniem systemu wspomagania decyzji, podejmowanych w odniesieniu do technicznego obszaru działalności przedsiębiorstw wodociągowych, w warunkach występujących ograniczeń otoczenia bliższego, jak i otoczenia dalszego przedsiębiorstwa.

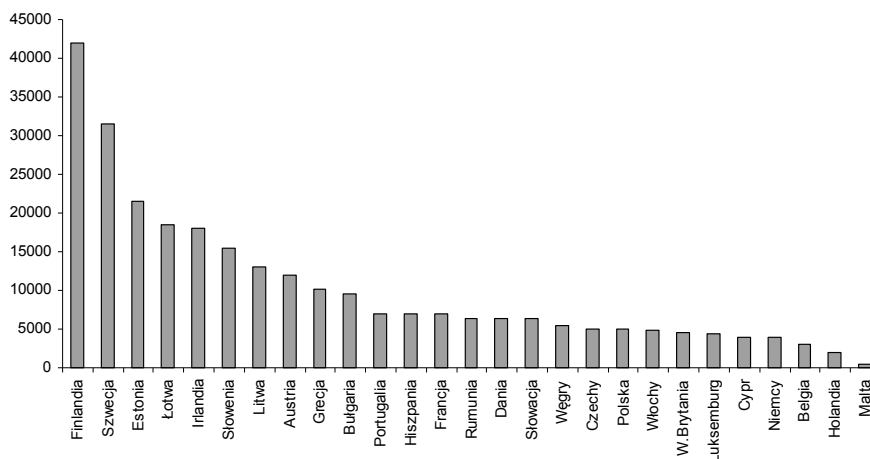
## 2. Luki i wyzwania w obszarze eksploatacji systemów wodociągowych

Przedsiębiorstwa wodociągowe stoją przed wyzwaniami wynikającymi z dwóch niekorzystnych zjawisk: rozlewaniu się (suburbanizacji) miast i zmniejszaniu się zasobów wody pitnej. Rozlewanie się miast w kontekście zaopatrzenia w wodę postrzegane jest przede wszystkim pod kątem dodatkowych nakładów na rozbudowę sieci wodociągowej. Rządziej dostrzega się problem zwiększania kosztów dostarczenia wody do bardzo odległych odbiorców. Wydłużanie się sieci wodociągowych powoduje zwiększenie strat ciśnienia przy transporcie wody, co pociąga za sobą ograniczenie możliwości przesyłowych sieci. Problem ten rozwiązywany jest na dwa sposoby:

- poprzez konieczność gruntowną modernizację sieci wodociągowej począwszy od punktów zasilania sieci w wodę aż do końcowego odbiorcy,
- podnoszenie ciśnienia wody w punktach pośrednich, co wymaga budowy dodatkowych hydroforni.

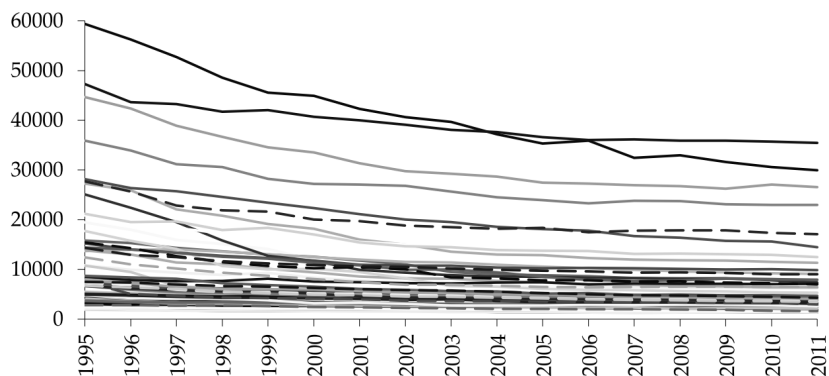
Obydwa rozwiązania wydatnie zwiększają koszt dostarczania wody.

Innym z niekorzystnych zjawisk są niskie zasoby wody pitnej w Polsce. Pod względem zasobów wody przypadającej na jednego mieszkańca zajmujemy w krajach Unii daleką pozycję (rys. 1) a sytuacja ta pogorszy się jeszcze w związku z przewidywanymi zmianami klimatycznymi – przewiduje się do końca XXI w. wzrost temperatury średniej rocznej o 3-3,5°C, przy różnych prognozach co do opadów (zależnych od scenariuszy emisji gazów cieplarnianych i przyjętych w prognozowaniu modeli klimatycznych) [11], a w efekcie zmniejszenie zasobów wody.



Rys. 1. Zasoby wody w krajach Unii Europejskiej w 2009 roku (m<sup>3</sup> / 1 mieszkańca) [3]

Sytuację tą w pewnym stopniu złagodziło zmniejszenie wodochłonności przemysłu i gospodarstw domowych, ale spadek ten, wysoki w latach 1995- 2200 w późniejszych latach wyraźnie wyhamował (rys. 2).



Rys. 2. Zużycie wody ogółem w gospodarstwach domowych w miastach na prawach powiatu w tys. m<sup>3</sup> [3]

Problem niskich zasobów wody pogłębia wysoka awaryjność sieci wodociągowych, wynikająca w dużej mierze z ich wieku. Jak przedstawia raport [9], obejmujący ocenę stanu zaopatrzenia w wodę 20 miast liczących 200 tys. i więcej mieszkańców, średniorocznie w badanych przedsiębiorstwach wodociągowych straty wody spowodowane wyciekami i nieszczelnościami w sieciach wodociągowych sięgały średnio w 2000 r. 19,9% wody wtłaczanej do sieci, przy czym stwierdzona minimalna wielkość strat wynosiła 5,5%, a maksymalna 25,5%. W kontrolowanych miastach większość sieci wodociągowych osiągnęła wiek 50 do 100 lat.

Prowadzone prace związane zarówno z modernizacjami sieci wodociągowej jak i działaniami zaradczymi, takimi jak skuteczne monitorowanie stanu sieci czy efektywna eksploatacja, skutkują zmniejszeniem poziomu strat wody, ale nadal jest to problem. Obecnie wskaźniki strat wody w Polsce określa się jako porównywalne ze wskaźnikami strat stwierdzonymi na Słowacji, w Rumunii, na Węgrzech i we wschodnich landach Niemiec, a większe niż w zachodnich landach Niemiec i innych państwach zachodnich [5], [7], [28], [41].

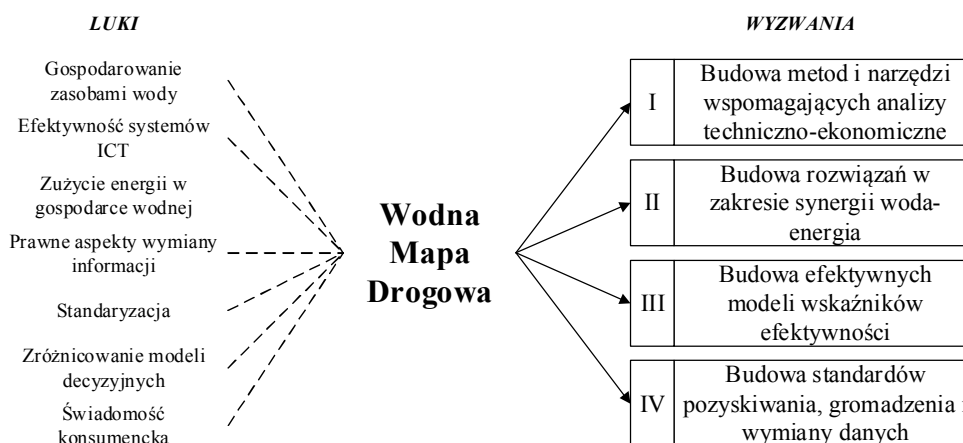
Podstawowe braki (luki) w efektywnym zarządzaniu systemami wodociągowymi, oraz wyzwania w zakresie wdrażania nowoczesnych technologii (w tym, technologii informacyjno-komunikacyjnych - ICT) przedstawiono w dokumencie [8] opracowanym na podstawie opinii ośrodków badawczych, a także doświadczeń wiodących przedsiębiorstw omawianej branży.

Dokument ten stanowi punkt wyjścia do opracowania mapy drogowej (RoadMap), stanowiącej zbiór rozwiązań w obszarze wypracowanym na styku zidentyfikowanych braków i przewidywanych wyzwań, w postaci podstawowych kierunków działań w zakresie rozwoju metod i narzędzi skutecznie wspomagających zarządzanie systemem wodociągowym (rys. 3).

Podstawowe luki zidentyfikowano w obszarach odnoszących się do:

- 1) efektywnego korzystanie z zasobu wody, począwszy od wykrywania wycieków wody, zmniejszenie zużycia wody, ponownego wykorzystania zużytej wody po wzrost świadomości użytkowników korzystających z zasobów wody,
- 2) analizy kosztów wdrażania i utrzymania systemów ICT, które dla interesariuszy: przedsiębiorstw wodociągowych i odbiorców wody stanowią barierę w kierunku skutecznego monitorowania i zrozumienie zużycia wody i popytu na nią,

- 3) ogniwa woda - energia, aspekt który powinien nie tylko ograniczać się do redukcji zużycia energii niezbędnej do dystrybucji wody i oczyszczania (przetwarzania) ścieków, ale przede wszystkim powinien prowadzić do zmniejszenia całkowitego kosztu zużycia energii uwzględniającego identyfikację przyczyn zużycia energii (kiedy i dlaczego),
- 4) udostępniania danych i związany z tym problem braku rozwiązań legislacyjnych z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa i ochrony własności (prywatnej, intelektualnej) stanowiących podstawę do ułatwienia wymiany danych pomiędzy interesariuszami,
- 5) standaryzacji, tzn. braku standardów zwiększających interoperacyjność pomiędzy interesariuszami korzystających z zasobów wody na różnych płaszczyznach (np. oprogramowania, wymiany danych, słownictwa) z uwzględnieniem spójności wymagań komitetów normalizacyjnych,
- 6) zróżnicowania Systemów Wspomagania Decyzji (DSS), których wdrażanie zależne jest od indywidualnych potrzeb konkretnego przedsiębiorstwa dystrybucji wody, co docelowo skutkuje brakiem możliwości porównywania tych systemów (struktur, modeli, funkcjonowania),
- 7) poprawy świadomości konsumentów, w celu spowodowania trwałych zmian zachowań konsumenckich oraz poprawy "społecznego aspektu" postrzeganie zasobu wody.



Rys. 3. Wodna mapa drogowa (opr. wł. na podstawie [8])

Na podstawie zidentyfikowanych braków zaproponowane zostały wyzwania (challenges), a w konsekwencji kierunki realizacji zadań badawczych, związane z wykorzystaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) w obszarze zarządzania wodą. Działania badawcze objęte każdą z tych grup powinny prowadzić w kierunku osiągnięcia wspólnego celu, jakim jest uzyskanie znacznej redukcji zużycia wody i energii. Założono, że może to być osiągnięte jedynie poprzez zastosowanie nowoczesnych technologii (także informatycznych), jednakże wymaga zmian społecznych, behawioralnych (głównie poprzez zwiększanie świadomości użytkowników) i administracyjnych.

Wyzwania sklasyfikowano w czterech poniższych grupach.

**Grupa I** – obejmuje rozwijanie metod i narzędzi w zakresie analizy kosztów i korzyści stosowania rozwiązań ICT w gospodarowaniu wodą. Rozwiązania te powinny ewaluować w kierunku implementacji systemów wspomaganie decyzji, korzystających z coraz większej ilości i typów danych (np, RealTimeData, danych geograficznych) poprawiających wykrywalność wycieków.

**Grupa II** – obejmuje badania w zakresie identyfikacji czynników wzajemnego wzmocnienia działań (synergii) między sektorami wody i energii.

**Grupa III** – badania w zakresie rozwoju i identyfikacji nowych wskaźników efektywności

**Grupa IV** – obejmuje badania w zakresie udostępniania i wymiany danych i ich standaryzacja

### 3. Przegląd rozwiązań wspomagających eksploatację systemów wodociągowych

Uwzględniając przedstawione w punkcie 2 luki i wyzwania, autorzy artykułu od wielu lat podejmują zadania badawcze prowadzące do poszukania rozwiązań w omawianym obszarze. W szczególności, istotne są dwa kluczowe aspekty, które znalazły swoje odzwierciedlenie w przygotowanych dotychczas koncepcjach i rozwiązaniach narzędziowych. Zostały one zaprezentowane w niniejszym punkcie.

#### 3.1. Rozwiązania w zakresie diagnozowania systemów wodociągowych

Odpowiedzią na problem strat wody spowodowanych wyciekami z sieci wodociągowej są prowadzone prace związane z nowymi metodami diagnozowania sieci wodociągowych.

Szczególne znaczenie ma wczesne wykrywanie tych awarii które nie manifestują się na powierzchni gruntu. Dodatkowym problemem jest ucieczka wody do kanalizacji i innych budowli podziemnych, co komplikuje lokalizację nawet dużych wycieków.



Rys. 4. Podział metod poszukiwania przecieków [4]

W praktyce można się spotkać z różnego rodzaju metodami wykrywania i lokalizacji awarii sieci wodociągowych - od metody całkowicie biernej takiej jak oczekiwania na

zgłoszenie awarii przez użytkowników do metod wymagających czynnego udziału wykwalifikowanych ekip wyposażonych w specjalistyczny sprzęt

Przykładowy podział metod poszukiwania przecieków pokazuje Rys. 4. Według autorów, istotna jest możliwość automatyzacji stosowanych metod, tak, żeby zmniejszyć udział człowieka w ich prowadzeniu. Analizując podatność obecnie stosowanych metod na automatyzację można stwierdzić, że w większości przypadków jest ona niska.

Przykładowo, o ile metoda obserwacji nocnych przepływów, czyli analiza wielkości ilości wody włączanej do sieci w godzinach od ok. 01:00 do 04:00 (kiedy zużycie wody przez odbiorców jest najmniejsze i najłatwiej zauważyć wzrost przepływu spowodowany wyciekami), jest możliwa do automatyzacji to podatność ta w przypadku metod lokalizacji awarii opartych na czynnym działaniu ekip poszukiwawczych jest bardzo niska.

Dlatego pitnej coraz bardziej odczuwalna jest potrzeba opracowania skutecznych i łatwych do wdrożenia metod pozwalających zarówno na automatyczną detekcję, jak i chociażby przybliżoną lokalizację awarii sieci wodociągowej. Prace nad takimi metodami są prowadzone w wielu ośrodkach.

Analizując publikacje poświęcone tej tematyce można wskazać pewne charakterystyczne cechy proponowanych rozwiązań, wspólne dla większej liczby prac, dotyczące m.in.:

- szerokości rozpatrywanego zagadnienia,
- sposobu budowy i wykorzystania modelu obiektu,
- wyboru wielkości mierzonych,
- sposobu wyboru miejsc lokalizacji czujników,
- praktycznej weryfikacji uzyskanych wyników.

Jeżeli chodzi o szerokość rozpatrywanego zagadnienia, można mówić o pracach poświęconych ściśle zagadnieniu detekcji i lokalizacji wycieków oraz o szeroko rozumianym zarządzaniu sieciami wodociągowymi (wykorzystanie GIS, optymalizacja napełniania zbiorników wodociągowych). Przykładowe rozwiązania można znaleźć m.in. w [39], [35], [29], [20], [37].

W pracach związanych z diagnostyką sieci rozdzielczych daje się zauważyć powszechne wykorzystywanie modelu matematycznego analizowanej sieci wodociągowej. W większości prac wykorzystuje się model numeryczny, opierający się na zależnościach matematycznych opisujących związek pomiędzy natężeniem przepływu wody w rurze a spadkiem jej ciśnienia. W większości prac stosuje się typowe podejście diagnostyki wspartej modelowo, tj. analizuje się różnice pomiędzy własnościami modelu i obiektu, przy czym sposoby lokalizacji awarii są różne. Do najpopularniejszych należy: zastosowanie algorytmu genetycznego, który wykorzystując symulacje z użyciem modelu hydraulicznego badanej sieci wodociągowej, dopasowuje parametry sieci uzyskane w punktach pomiarowych do tych mierzonych na rzeczywistym obiekcie [31], [45], wnioskowanie na podstawie bazy przypadków [33], zastosowanie klasyfikatora budowanego z wykorzystaniem zbioru treningowego danych, przy czym do budowy klasyfikatora mogą być stosowane różne techniki (sztuczne sieci neuronowe [33], [47], w tym sieci SOM [1], [46], sieci Bayesa [31]).

Z lokalizacją awarii nierozłącznie wiąże się problem lokalizacji urządzeń pomiarowych. Do rozwiązania tego zadania również wykorzystywane są symulacje z użyciem modelu hydraulicznego sieci. Generalnie stosowany jest algorytm, który można opisać w następujący sposób:

- wyznaczenie parametrów sieci dla stanu sprawnego i standardowych stanów eksploatacyjnych sieci,

- wyznaczenie analogicznych parametrów dla przewidywanych stanów awaryjnych sieci,
- określenie wrażliwości poszczególnych punktów pomiarowych na wystąpienie awarii, wyznaczenie innych cech kryterialnych (np. koszt montażu),
- optymalizacja jedno- lub wielokryterialna i wyznaczenie rozwiązania optymalnego w świetle wybranych kryteriów.

Ze względu na licznosc potencjalnych punktów pomiarowych, stosuje się metody heurystycznej optymalizacji, częstokroć wykorzystujące obliczenia genetyczne [36], [49], [32]. W większości metod rozważa się pomiar ciśnienia i/lub przepływu w wybranych punktach pomiarowych. Należy stwierdzić, że gros badaczy opiera się na pomiarze ciśnienia, szczególnie jeżeli wyniki badań były weryfikowane na obiekcie rzeczywistym. Wiąże się to z możliwością łatwej zabudowy punktu pomiarowego na hydrancie przeciwpożarowym.

Osobnym zagadnieniem, niekoniecznie łączonym z detekcją i lokalizacją wycieków, jest problem budowy modelu przepływu wody w wybranym punkcie sieci i predykcji przyszłych jego wartości. Wykrycie rozbieżności pomiędzy prognozą a wartością mierzoną może być przesłanką do stwierdzenia wycieku [30]. Najczęściej dla krótkoczasowego prognozowania stosuje się zintegrowane modele autoregresyjne ze średnią ruchomą (ARIMA), modele regresyjne oraz sztuczne sieci neuronowe [20], [34], [10], [38]. Niemniej jednak z powodzeniem mogą być stosowane inne metody, oparte np. na ANFIS [32] lub SVM [42].

Jeszcze trudniej ocenić „efektywność sprzętowa” proponowanych metod. Metody, które osiągają dobre wyniki przy testach symulacyjnych, w odniesieniu do rzeczywistego obiektu często uzyskują dużo gorsze rezultaty, a autorzy często nie ujawniają wprost liczby zastosowanych urządzeń w stosunku do wielkości obsługiwanego obszaru sieci. Można jednak wyciągać pewne wnioski, opierając się na zamieszczonych opisach studiów przypadku – można wnioskować, że w przypadku pomiaru ciśnienia wymagane jest duże zagęszczenie urządzeń pomiarowych [36], [49].

Prowadzone przez autorów artykułu prace koncentrowały się na wykorzystaniu pomiaru przepływu wody w sieci. W takim przypadku możliwe była detekcja i wstępna lokalizacja awarii przy stosunkowo niewielkiej liczbie punktów pomiarowych (od kilku do kilkunastu punktów przypadających na wydzieloną sieć wodociągową) [21], [48]. Bazując na uzyskanych doświadczeniach, sugeruje się metodę łączoną detekcji i lokalizacji awarii – detekcję i wstępną lokalizację awarii w oparciu o zamontowane na stałe pomiary przepływu i dokładniejszą lokalizację wycieku w oparciu o pomiary ciśnienia, gdzie ze względu na łatwość montażu urządzeń pomiarowych i ich przenośność nie ma potrzeby instalowania ich na stałe na całej sieci.

### **3.2. Rozwiązania w zakresie zarządzania eksploatacją systemów wodociągowych**

Eksploacyjny proces decyzyjny skupia efekty kształtowania polityki eksploatacyjnej, stanowiąc przedmiot jej oceny, zarówno w aspekcie wewnętrznym - na tle funkcjonowania systemu technicznego, jak i w aspekcie zewnętrznym - w świetle wymagań i uwarunkowań otoczenia organizacji utrzymania ruchu [13]. Kształtowanie polityki eksploatacyjnej jest możliwe w warunkach dysponowania wieloaspektowym zasobem informacji związanym z technicznym działaniem poszczególnych obiektów w rozpoznanych warunkach organizacyjnych i ekonomicznych [17], [16].

W tym obszarze, kluczowym i dotychczas nie rozwiązany problem badawczym jest możliwość i skuteczność kształtowania, a przede wszystkim oceny polityki

eksploatacyjnej w świetle jednoznacznych kryteriów ilościowych. W szczególności, chodzi o identyfikację potencjalnych efektów podejmowanych decyzji w dłuższym horyzoncie czasowym, która w praktyce obecnie przebiega najczęściej według metodologii „rozumowania w przód” [22]. Zakłada ona budowanie modelu polityki eksploatacyjnej na typowych wytycznych z zakresu zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu, z ogólnym przeświadczeniem o skuteczności wprowadzanych rozwiązań, w oparciu o wcześniejsze doświadczenia praktyczne (np. według zasady „jeżeli w innych przypadkach model decyzyjny się sprawdził, to powinien się sprawdzić także teraz”). W praktyce przedsiębiorstw wodociągowych powyższe podejście polega na realizacji zadań wspomagających przyporządkowanych do trzech grup [12], [15], [2], [30], [14]:

1. Pozyskiwanie informacji z realizacji prac obsługowo-naprawczych i gromadzenie ich w bazie danych systemu wspomagającego.
2. Budowanie eksploatacyjnego modelu decyzyjnego w oparciu o zbiór typowych wskaźników eksploatacyjnych.
3. Konwencjonalne sposoby interpretacji uzyskanych wartości, które polega na przeprowadzanej analizie i dyskusji uzyskiwanych wyników w oparciu o ograniczony zestaw wyznaczonych miar.

Pierwsza grupa zadań ma w praktyce przedsiębiorstw wodociągowych swoje rozwiązanie w postaci zastosowania istniejących transakcyjnych systemów zarządzania przedsiębiorstwem lub eksploatacją (systemy klasy ERP lub systemy klasy CMMs/EAM).

W zakresie drugiej i trzeciej grupy zadań zostały opracowane przez autorów artykułu dwa narzędzia cząstkowe (moduły).

Pierwsze rozwiązanie - ISOZE (inteligentny System Obsługi Polityki Eksploatacyjnej) pozwala na analizę ocenę polityki eksploatacyjnej, opisywanej za pomocą złożonego zbioru miar eksploatacyjnych (30 wskaźników), których wartości obliczane są w oparciu o dane gromadzone na bieżąco w module remontowym systemu klasy ERP (rys. 5).

Możliwości analityczne i decyzyjne opracowanego rozwiązania informatycznego polegają na łącznym zestawianiu wskaźników w postaci liczbowej (wartości miar), graficznej (wykresy wartości miar w zdefiniowanych okresach czasu) i topograficznej (wizualizacja rozkładu wartości miar na mapie) i ich interpretacji w odniesieniu do eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, którego kryteria są definiowane bezpośrednio przez decydentów.

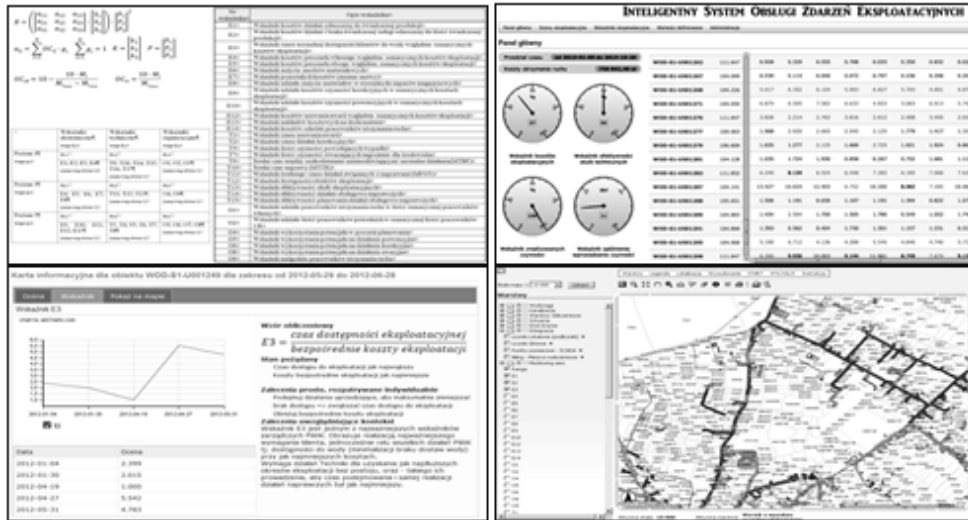
Drugie rozwiązanie SMOPE (Scenariuszowy Moduł Opisu Polityki Eksploatacyjnej) pozwala na ocenę polityki eksploatacyjnej w oparciu o taksonomiczną agregację wartości kluczowych cech wynikających z prowadzonych prac obsługowo-naprawczych (rys. 6.).

Wyznaczana jest w tym przypadku struktura polityki eksploatacyjnej, opisywana za pomocą typów prac obsługowo-naprawczych (konserwacje, przeglądy, naprawy, remonty) i rozpatrywana jednocześnie w trzech kategoriach: kosztów, czasu i ilości zrealizowanych prac.

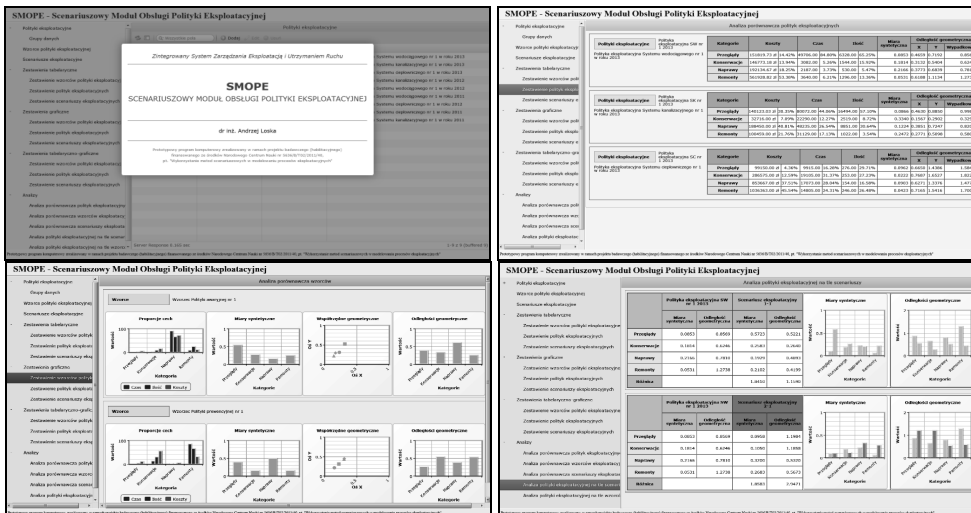
Tak zbudowany model pozwala na [19]:

- liniową analizę polityki eksploatacyjnej w oparciu o wypracowane wzorce pozycjonujące,
- wzajemną analizę porównawczą polityki eksploatacyjnej dla organizacji utrzymania ruchu o podobnej specyfice działalności (np. porównanie dwóch organizacji utrzymania ruchu zarządzających odrębnymi systemami technicznymi),
- czasową analizę porównawczą polityki eksploatacyjnej, prowadzona w obrębie różnych cykli obsługowo-naprawczych,
- symulacyjną analizę polityki eksploatacyjnej, w oparciu o kontrolowaną zmianę wartości wybranych cech i wag, w obrębie przyszłych (planowanych lub projektowanych) cykli obsługowo-naprawczych.





Rys. 5. Przykładowy zestaw ekranów systemu ISOZE [14], [6]



Rys. 6. Przykładowy zestaw ekranów modułu SMOPE [19]

#### 4. Możliwości wdrożenia SmartWater jako elementu SmartCity

Z przeprowadzonej analizy stanu wiedzy (podrozdział 3.1) wynika, że stosowane dotychczas metody badawcze i oceny w zakresie funkcjonowania oraz eksploatacji obiektów systemów wodociągowych ukierunkowane są z reguły na wykorzystanie analiz ilościowych. Na tej podstawie odbywa się wnioskowanie i ocena kształtowania się wskaźników, co pozwala monitorować stan eksploatacji obiektów i planować prace obsługowo-naprawcze. Podejmowane prace badawcze (podrozdział 3.2) wskazują na uzasadnioną potrzebę włączenia w proces eksploatacji obiektów systemów wodociągowych aspektów o charakterze jakościowym [44].

W szczególności, znaczenie aspektów jakościowych w eksploatacji obiektów technicznych rozpatrywać można w kategorii oddziaływania obiektu na otoczenie (środowisko) [25], [40] lub oddziaływania otoczenia na obiekt/odbiorców [26], [27], [24].

W praktycznym podejściu jakość procesu zarządzania eksploatacją systemu wodociągowego przedsiębiorstwa uzależniona jest od podejmowanych decyzji na różnych szczeblach kompetencyjności: od dyspozytora, przez kierownictwo po zarząd. Efektywność z kolei podejmowanych decyzji (o różnej skali i w różnych horyzontach czasowych) uzależniona jest silnie od dostępności decydentów do zróżnicowanych zasobów informacyjnych - o charakterze technicznym i nietechnicznym. Ogólnie, w tym kontekście wyróżnić można zasadnicze kategorie zasobów informacyjnych opisujących funkcjonowanie systemu wodociągowego:

- zasoby techniczne: parametry działania obiektów technicznych, wskaźniki monitorowania i niezawodności działania obiektów, częstość awarii, itp.
- zasoby nietechniczne: parametry jakości i zużycia wody, oddziaływanie systemu na środowisko, oddziaływanie środowiska na system, interakcje i zachowania interesariuszy, itp.

Występujący problem w procesach podejmowania decyzji eksploatacyjnych dotyczy najczęściej dostępności w czasie do zróżnicowanych zasobów informacyjnych. Ze względu na występujące potrzeby może być to konieczność pozyskania parametrów/wskaźników o funkcjonowaniu obiektów, pozyskanie przetworzonych informacji działania systemu wodociągowego, czy też ocena relacji i wpływu zróżnicowanych zasobów informacyjnych na proces eksploatacji.

Stosowane obecnie rozwiązania narzędziowe komputerowego wspomaganie decyzji eksploatacyjnych nie uwzględniają zmienności i wpływu różnych czynników otoczenia na system, czy też oddziaływania systemu na otoczenie i interesariuszy. Dodatkowo, poza brakiem relacji pomiędzy stosowanymi wskaźnikami oceny eksploatacyjnej obiektów technicznych występuje brak interpretacji znaczenia ich powiązań w globalnym podejściu do efektywnego zarządzania eksploatacją systemu wodociągowego.

W rozwijanej idei SmartCity podejmuje się badania w zakresie globalnego uwzględnienia w eksploatacji różnych obszarów funkcjonowania infrastruktury miejskiej, w tym infrastruktury systemu wodociągowego – SmartWater. Filozofia ta wpisuje się w doskonalenie funkcjonowania obiektów eksploatacji systemu wodociągowego, co również przekłada się na jakość procesów podejmowania decyzji [18].

Ocena czynników oddziaływania infrastruktury technicznej sieci wodociągowej na społeczność lokalną i środowisko nie były dotychczas przedmiotem zaawansowanych badań, dlatego zasoby informacyjne tego typu w przedsiębiorstwach wodociągowych są nieznanne lub znane są jedynie w postaci szczątkowej. Koncepcja SmartWater stanowi innowacyjne podejście we wspomaganie procesu zarządzania eksploatacją systemu wodociągowego przy możliwości zastosowania synergii zmiennych czynników. Synergia uwzględniająca techniczne i nietechniczne aspekty poszerza istotnie zagadnienia zasobów informacyjnych i jest wartością dodaną we wspomaganie decyzji zarządzania eksploatacją systemu wodociągowego.

Włączenie SmartWater do procesów zarządzania eksploatacją obiektów poza możliwością wspomaganie decyzji systemu wodociągowego z ukierunkowaniem na wykorzystanie technicznych i nietechnicznych zasobów informacyjnych przedsiębiorstwa pozwala wykorzystać nowoczesne rozwiązania technologiczne (np. zdalnego przesyłania danych, zdalnego sterowania działaniem obiektów eksploatacji, interakcja on-line z interesariuszami).

W obszarze technicznym system wspomaganie podejmowania decyzji integrować powinien aspekty eksploatacyjne, monitorowanie i diagnostykę oraz sterowanie siecią wodociągowo-kanalizacyjną. Integracja różnych aspektów z orientacją na doskonalenie jakości życia mieszkańców we wspomaganie procesów podejmowania decyzji stanowi holistyczne podejście do wykorzystania modeli, metod i narzędzi wg. koncepcji SmartCity.

Inteligentne wspomaganie zarządzania siecią wodociągową i dystrybucją wody pozwoli w konsekwencji ocenić efektywne wykorzystanie zasobów wody w ujęciu ilościowym i jakościowym dla różnych zastosowań zapotrzebowania na wodę (tj. woda pitna, woda dla potrzeb przemysłowych, woda dla celów gospodarczych). Występujące w tym ujęciu wymagania utrzymania na odpowiednim poziomie parametrów wody (parametry ilościowe i jakościowe) przy pogłębiającej się tendencji redukcji tych zasobów uzasadnia podjęcie pogłębionych i zaawansowanych badań nad znaczeniem oddziaływania infrastruktury sieci wody na inne aspekty jakości życia np. zmiany klimatyczne, żywność, transport, czy też glebę. Integracja zróżnicowanych zasobów informacyjnych o charakterze ilościowym oraz jakościowym w połączeniu z oferowanymi możliwościami nowoczesnych technologii stanowi nowe podejście do efektywnego wspomaganie zarządzania systemem wodociągowym i samego SmartWater.

Połączenie możliwości zastosowania nowych technologii z rozwiązaniami aplikacji modeli, mechanizmów oceny, narzędzi komputerowych, procedur wnioskowania - koncepcja SmartWater nabiera rzeczywistego wymiaru.

Usystematyzowanie proceduralne i klasyfikacja wygenerowanych decyzji w odniesieniu do specyfiki zadań eksploatacji obiektów sieci wodociągowej w zadanych horyzontach czasowych (krótkim, średnim, długim) pozwala na wypracowanie standaryzacji postępowania, co istotnie przyczynia się do podniesienia jakości zarządzania eksploatacją w przedsiębiorstwach wodociągowych. Wymiernymi skutkami wdrożenia standaryzacji będzie m.in. podniesienie jakości świadczonych usług na rzecz społeczności przez przedsiębiorstwo, podniesienie wskaźników niezawodności eksploatacji sieci, efektywność ekonomiczna funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Wyniki opracowanego systemu wspomaganie decyzji eksploatacyjnych obiektów sieci wodociągowej mogą zostać wykorzystane do budowy zintegrowanych systemów wspomagających zarządzania sieciami przesyłowymi (mediami energetycznymi) na terenach zurbanizowanych.

## **5. Podsumowanie**

Przedstawione w artykule zagadnienia stanowią efekt zrealizowanych w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej prac w ramach badań statutowych o symbolu BK-223/ROZ-3/2015, nt.: "Znaczenie inżynierii produkcji w rozwoju innowacyjnych produktów i usług".

Badania te stanowią punkt wyjścia do działań związanych z opracowaniem systemu wspomagającego procesy zarządzania dystrybucją wody na terenach zurbanizowanych, którego istota opierać się będzie na zastosowaniu globalnego podejścia do różnych aspektów zarządzania siecią wodociągową dla potrzeb wspomaganie decyzji eksploatacyjnych. Zakłada się, że opracowany system integrować będzie zarówno obszar techniczny (sterowanie, monitorowanie i diagnozowanie, eksploatacja) i nietechniczny związane z dystrybucją wody i oddziaływaniem sieci wodociągowej na środowisko miejskie, tj. pozyskiwanie, przetwarzanie, wymianę informacji pomiędzy systemem interesariuszami.

## Literatura

1. Aksela K., Aksela A., Vahala R.: Leakage detection in a real distribution network using a SOM. *Urban Water Journal*, vol. 6, 2009, p. 179–289.
2. Alegre H. (Ed.): Performance indicators for water supply services. IWA Publishing 2006.
3. Batóg B., Batóg J.: Analiza tendencji zużycia wody w polskich miastach w sektorze gospodarstw domowych. *Zarządzanie i Finanse*, 2013, 11.3, cz. 2: 89-100.
4. Berger M., Ways M.: Poszukiwania przecieków sieci wodociągowych. Poradnik. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa 2003.
5. Bergiel T., Pawełek J.: Straty wody w systemach wodociągowych, charakterystyka, wielkość wykrywanie i ograniczanie. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Błękitny San”, Dubiecko, 21-22 kwietnia 2006.
6. Dąbrowski M.: The supporting of exploitation and maintenance management within networked technical systems. *Management Systems in Production Engineering* 2015, nr 2(18), s. 81-87.
7. Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
8. ICT For Water Management Roadmap, Emerging topics and technology roadmap for Information and Communication Technologies for Water Management, European Commission June 1st, 2015.
9. Informacja o wynikach kontroli zaopatrzenia w wodę ludności aglomeracji miejskich. Opublikowany przez NIK, Warszawa marzec 2002.
10. Januszewski A. (red): Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, t. 10, Bydgoszcz 2007, s. 173–180.
11. Kundzewicz Z.W.: Ciepłszy świat, Rzecz o zmianach klimatu. ss. 159, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2013.
12. Kwietniewski M., Chudzicki J., Miszta-Kruk K., Kowalska, B., Kowalski D., Musz, A., Mierzwa, A.: Zintegrowany System Zarządzania Infrastrukturą Techniczną na przykładzie wodociągów Puławskich. *Inżynieria Bezwykopowa*, 6/2012, str. 78-80.
13. Loska A. Modelling of decision-making process using scenario methods in maintenance management of selected technical systems. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, 2015 Vol.2, No.2, spp.190 – 207.
14. Loska A., Dąbrowski M.: The way of computer aided handling maintenance events and processes in a network technical system. *International Conference Udržba 2011 (Maintenance 2011)*, Rijna (Czech Republic) 19-20 October 2011, spp. 176-181.
15. Loska A.: Przegląd modeli ocen eksploatacyjnych systemów technicznych. Opole: Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2011; t. 2, s. 37-46.
16. Loska A.: Variant assessment of exploitation policy of selected companies managing technical network systems. *Management Systems in Production Engineering* 2015; No 3(19), s.pp 179-188.
17. Loska A: Methodology of variant assessment of exploitation policy using numerical taxonomy tools. *Management Systems in Production Engineering* 2015, nr 2(18), s. 98-104.
18. Loska A: Review of opportunities and needs of building the SmartMaintenance concept within technical infrastructure system of municipal engineering. Monografia pod red. R. Knosali: *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2015, s. 544-555.

19. Loska A: Scenariuszowy moduł obsługi polityki eksploatacyjnej - SMOPE. *Czasopismo Mechanik* 7/2015, s. 469-478.
20. Luay F.M.: Decision-support system for domestic water demand forecasting and management. *Water Resources Management*, vol. 15(4), 2001, p. 363–382.
21. Moczulski W., Wyczółkowski R., Ciupke K., Tomasik P., Wachla D., Przystałka P., Wiglenda R.: Metodyka budowy systemu monitorowania wycieków w sieciach wodociągowych - przykład zastosowania. *Diagnostics of Processes and Systems*, s. 409-420, Zamość 2011.
22. Mulawka J.: Systemy ekspertowe, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 1997
23. Ogiela L., Tadeusiewicz R., Ogiela M.R.: Understanding Based Managing Support Systems: The Future of Information Systems w.: Parthasarathy S.(red.) :Enterprise Information Systems and Implementing IT Infrastructures: Challenges and Issues. IGI Global 2010.
24. Paszkowski W.: An attempt to identify the acoustic quality in urban environment. *Proceedings 59 th Open Seminar on Acoustics*. Polskie Towarzystwo Akustyczne, Boszkowo 2012, s. 191-194.
25. Paszkowski W.: Identyfikacja cech diagnostycznych w ocenie środowiska zurbanizowanego zagrożonego hałasem, *Mechanik* 2015 R. 88 nr 7, s. 637-644.
26. Paszkowski W.: Innowacyjna metoda hałasu drogowego w środowisku miejskim. *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji* pod red. R. Knosali. Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją 2015, s. 810-818.
27. Paszkowski W.: Innowacyjne metody kształtowania jakości akustycznej terenów zurbanizowanych z wykorzystaniem entropii informacji, *Mechanik* 2014 R. 87 nr 7, s. 513-522.
28. Piechurski F.: Straty wody i sposoby ich oceny oraz ograniczenia w systemach wodociągowych. Konferencja „Straty wody w systemach wodociągowych”, Poznań, 22-23 października 2009.
29. Piechurski F.: Straty wody i sposoby ich oceny oraz ograniczenia w systemach wodociągowych. Konferencja „Straty wody w systemach wodociągowych”, Poznań, 22-23 października 2009.
30. PN-EN 15341:2007 - Obsługa - Kluczowe wskaźniki efektywności.
31. Poulakis Z., Valougeorgis D., Papadimitriou C.: Leakage detection in water pipe networks using a bayesian probabilistic framework. *Probabilistic Engineering Mechanics*, vol. 18(4), 2003, p. 315–327.
32. Przystałka P., Wyczółkowski R.: Detekcja małych wycieków w sieciach wodociągowych z zastosowaniem metody modelowania niepewności. *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 57(11), 2011, s. 1307–1310.
33. Rojek I., Studziński J.: Algorytmy lokalizacji awarii w sieci wodociągowej przy użyciu sieci neuronowych. KZW, Bydgoszcz 2011.
34. Rojek I.: Model neuronowy do prognozowania poboru wody w sieci wodociągowej, [w:] Rojek I.: Wspomaganie procesów podejmowania decyzji i sterowania w systemach o różnej skali złożoności z udziałem metod sztucznej inteligencji. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2010.
35. Rojek I.: Wspomaganie procesów podejmowania decyzji i sterowania w systemach o różnej skali złożoności z udziałem metod sztucznej inteligencji. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2010.
36. Rosich A., Sarrate R., Nejari F.: Optimal sensor placement for leakage detection and isolation in water distribution networks. 8th IFAC Symposium on Fault Detection,

- Supervision and Safety of Technical Processes (SAFEPROCESS), August 29-31, 2012, Mexico City, Mexico 2012.
37. Savic D., Walters G., Ashcroft P.G., Arscott A.: Hydroinformatics technology and maintenance of uk water networks. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 3(4), 1997, p. 289–301.
  38. Siwoń Z., Cieżak W., Cieżak J.: Modele neuronowe szeregów czasowych godzinowego poboru wody w osiedlach mieszkaniowych. *Ochrona Środowiska*, nr 2, 2011, s. 23–26.
  39. Studziński J.: Zastosowanie danych z monitoringu w systemie zarządzania miejską siecią wodociągową. *Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą* t. 8, Bydgoszcz 2007, s. 154–164.
  40. Szulc T.: Organisational aspects of execution of the local revitalisation programmes in the largest cities in Poland - indication of directions of further research. *Systems Supporting Production Engineering. Review of Problems and Solutions. Monograph.* eEd. by Jan Kaźmierczak. Gliwice : Wydawnictwo. PA NOVA, 2014, pps. 91-100.
  41. Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: Awaryjność sieci wodociągowych w głównych miastach doliny Sanu. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Błękitny San”, Dubiecko, 21-22 kwietnia 2006.
  42. Wachla D.: Metoda lokalizacji małych wycieków w sieciach wodociągowych, *Diagnostics of Processes and Systems*, Zamość 2011.
  43. Walski T. i inn.: *Advanced water distribution modeling and management*. Exton, PA : Bentley Institute Press, 2007.
  44. Wolniak R., Skotnicka-Zasadzień B.: The concept study of Servqual method's gap. *Quality & Quantity*, 2012, 46 (4), s. pp 1239-1247.
  45. Wu Z., Sage P., Turtle D.: Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 136, 2010, p. 116–128.
  46. Wyczółkowski R., Matysiak G.: The development of an intelligent monitoring system of a local water supply network. *Eksploatacja i Niezawodność*, no. 2, 2009, p. 71–75.
  47. Wyczółkowski R.: Inteligentny system monitorowania sieci wodociągowych. *Eksploatacja i Niezawodność*, nr 1, 2008, s. 33–36.
  48. Wyczółkowski R.: *Metodyka detekcji i lokalizacji uszkodzeń sieci wodociągowych z wykorzystaniem modeli przybliżonych*. Gliwice : Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2013. Rozprawa habilitacyjna.
  49. Wysogład B, Wyczółkowski R.: An optimization of heuristic model of water supply system with genetic algorithm. *Diagnostyka* 2006 nr 2, s. 49-52.

Dr inż. Marek KOMONIEWSKI

Dr inż. Andrzej LOSKA

Dr inż. Waldemar PASZKOWSKI

Dr hab. inż. Ryszard WYCZÓLKOWSKI, prof. nzw. w Pol. Śl.

Instytut Inżynierii Produkcji, Politechnika Śląska

41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26

tel./fax: (0-32) 2 777 311

e-mail: marek.komoniewski@polsl.pl

andrzej.loska@polsl.pl

waldemar.paszkowski@polsl.pl

ryszard.wyczolkowski@polsl.pl