

wyniki obliczeń symulacyjnych do rzeczywistych warunków panujących w sieci. Prawidłowo zbudowany, zweryfikowany i skalibrowany model sieci pomaga nie tylko w jej eksploatacji, ale także w analizach czy strategiach jej rozwoju. Jednakże, nie zawsze zbudowanie modelu wspomagającego podejmowanie decyzji eksploatacyjnych, jest zadaniem prostym. W niniejszym artykule będącym studium przypadku, przedstawiono przykład modelu sieci wodociągowej, którego zarówno automatyczna budowa jak i kalibracja okazały się bardzo problematyczne.

Analizowany model hydrauliczny sieci wodociągowej został zbudowany w programie EPANET 2.0 i składa się z: 2442 węzłów, 2868 przewodów, 2 rezerwuarów, a także 2 pomp reprezentujących pompownie II stopnia. Badana sieć wodociągowa ma długość ok. 308 km. Do automatycznej budowy modelu wykorzystano bazę danych typu GIS. Po wykorzystaniu narzędzia do konwersji danych, model wymagał ręcznego sprawdzenia poprawności odwzorowania struktury geometrycznej sieci oraz wprowadzonych danych. Z modelu usuniętych zostało ok. 14 tysięcy dodatkowych wierzchołków (ang. vertices), które miejscami zniekształciły rzeczywistą strukturę sieci.

Model został poddany procesowi kalibracji w oparciu o dwie kampanie pomiarowe (w 2017 i 2018 r.). Do oceny stopnia dopasowania wyników symulacyjnych do danych pomiarowych została przeprowadzona analiza statystyczna w programie STATISTICA 13.1. Do analizy wzięto wyniki pomiarów natężenia przepływu z monitoringu stałego (SCADA) oraz wyniki obliczeń otrzymanych w programie EPANET 2.0. Zakres analizy obejmował: obliczenie współczynnika korelacji Pearsona  $r$ , pierwiastków błędów średnich kwadratowych RMS, wykonanie wykresów analizowanych danych z linią trendu oraz linią przedziału ufności 0,95. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że istnieją zależności liniowe pomiędzy analizowanymi danymi – wartości współczynnika korelacji Pearsona  $r$  wahają się od  $r = 0,449$  (korelacja przeciętna) do  $r = 0,781$  (korelacja bardzo wysoka). Dodatkowo, zauważono również, że model niedokładnie odwzorowuje rzeczywiste warunki pracy sieci – na każdym z wykresów tylko niewielka liczba punktów znajduje się w przedziale ufności 0,95. Obliczony współczynnik korelacji w programie EPANET 2.0 (0,998) był dużo wyższy niż uzyskany w wyniku analizy statystycznej. Rozbieżności te wynikają z uśredniania uzyskanych w programie EPANET 2.0 wyników symulacyjnych. Zatem do oceny wyników kalibracji w programie EPANET 2.0 należy podchodzić z dużą ostrożnością.

---

## OCENA ENERGETYCZNA SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ WSPOMAGANA ZINTEGROWANYMI NARZĘDZIAMI INFORMATYCZNYMI

### ENERGY ASSESSMENT OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON INTEGRATED COMPUTER TOOLS

*Jędrzej Bylka, Tomasz M. Mróz*

*Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska*

*Politechnika Poznańska*

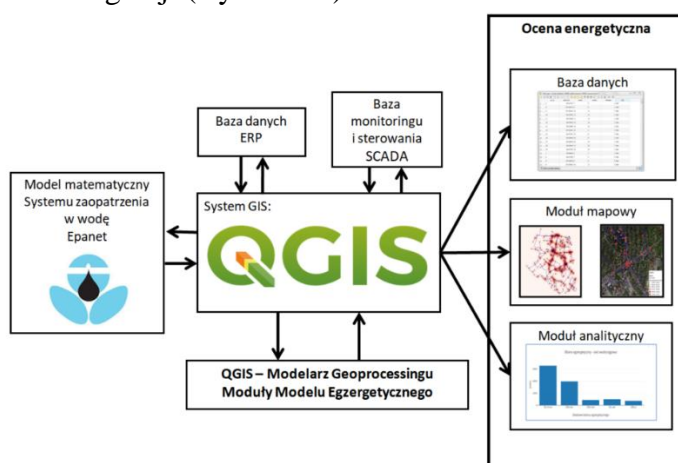
*Berdychowo 6, 60-965 Poznań, Polska*

Systemy zaopatrzenia w wodę stanowią jeden z podstawowych elementów determinujących rozwój jednostek osadniczych. Strategiczna rola infrastruktury i jej specyfika, powoduje że problemy zarządzanie tego rodzaju systemami stały się tematem wielu prac badawczych. Ważny element podjętej dyskusji jest przygotowanie narzędzi Zarządzania Aktywami Infrastrukturalnymi (z ang. Infrastructural Asset Management - IAM). Jednym z elementów IAM jest ocena efektywności energetycznej systemu zaopatrzenia w wodę. Podczas tej oceny oblicza się wskaźniki realizacji -

wykonalności (z ang. Performance Indicators - PI), służące jako podstawa oceny systemów zaopatrzenia w wodę.

Określane w ramach oceny wskaźniki ustala się korzystając z wyników pomiarów parametrów urządzeń. Ocena systemów zaopatrzenia w wodę, na ogół polega na porównywaniu wartości wybranych wskaźników wyznaczanych dla urządzeń lub układów technologicznych będących w posiadaniu danego przedsiębiorstwa, z wartościami zalecanymi przez formalne standardy, lub podobnymi wskaźnikami w innych przedsiębiorstwach. Porównywanie takie jest właściwe dla benchmarkingu prowadzonego w ramach oceny przedsiębiorstw. Wynikiem oceny jest odpowiedź na pytania czy i na ile wartości wskaźników obliczonych dla danego przedsiębiorstwa, odbiegają od zalecanych w normatywach lub wytycznych, albo średnich oraz skrajnych (najlepszych i najgorszych) obliczonych dla innych przedsiębiorstw. Benchmarking jest dobrym narzędziem do oceny wielu przedsiębiorstw w skali makro-ekonomicznej. Trudno jednak wskazać obiektywne, wzorcowe wartości wskaźników, które pozwalają stwierdzić, iż urządzenia lub układy technologiczne w danym przedsiębiorstwie zostały właściwie zaprojektowane czy też są prawidłowo utrzymywane. Może się, bowiem zdarzyć, że w grupie badanych przedsiębiorstw, czy też systemów technicznych wszystkie będą miały wskaźniki znacznie odbiegające od pożądaných. Na wynik oceny duży wpływ ma dobór porównywanych podmiotów. W małym stopniu w ocenie uwzględnia się wpływ lokalnych uwarunkowań w otoczeniu układów i procesów na notowane wartości wskaźników. Trudno na podstawie takiej oceny ustalić czy i na ile notowane wskaźniki można i warto poprawić. Benchmarking pozwala na porównywanie wskaźników między przedsiębiorstwami. Nie można na jego podstawie ustalić optymalnych wartości wskaźników dla danych układów i procesów, z uwzględnieniem specyficznych uwarunkowań i związanych z nimi ograniczeń.

W pracach naukowych z zakresu zarządzania systemem zaopatrzenia w wodę coraz częściej do wspomagania analiz wykorzystuje się nowoczesne narzędzia informatyczne. W eksploatacji sieci wodociągowych korzysta się z systemów kontrolno pomiarowych, służących do monitorowania parametrów technologicznych urządzeń. W planowaniu rozwoju i rehabilitacji sieci zastosowania znajdują komputerowe model urządzeń oraz procesów technologicznych, bazy danych takie jak: GIS (przechowujące dane o charakterze przestrzennym), SCADA (zintegrowana baza monitoringu i sterowania), ERP (baza danych o zasobach będących w posiadaniu przedsiębiorstwa). W tego rodzaju systemach przechowuje się duże zbiory danych, które nie zawsze są w pełni wykorzystywane a systemy informatyczne są często rozwijane w różnych niezależnych od siebie oddziałach przedsiębiorstwa. By wykorzystać w pełni możliwości oprogramowania do wspomagania oceny zaproponowano schemat ich integracji (Rysunek 1).



Rysunek 1. Schemat integracji narzędzi informatycznych do celu oceny energetycznej systemu.

Zastosowanie zaprezentowanej koncepcja integracji narzędzi umożliwiło usprawnienie procesu oceny energetycznej systemu zaopatrzenia w wodę. Korzystając z ogólnego schematu opracowano narzędzie informatyczne, oparte na wolnym oprogramowania do celu oceny energetycznej systemu zaopatrzenia w wodę. Narzędzie rozszerza możliwości obliczania wartości wskaźników efektywności energetycznej wybranych podsystemów lub sektorów obsługiwanych przez te układy, ułatwia śledzenia zmian wskaźników w czasie, ich porównywanie oraz ocenę. Wartością dodaną jest możliwość stosowania matematycznych modeli sieci wodociągowych. Modelowania umożliwia obliczania przepływów oraz wartości dyssypacji energii w każdy z elementów. Analiza taka pozwala na porównywanie różnych scenariuszów rozwoju lub rehabilitacji systemu z punktu widzenia oceny energetycznej. Z wykorzystaniem modeli można również określić maksymalny potencjalny zysk z modernizacji.

### **Bibliografia**

- Alegre H., Baptista J.M., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R. *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing, Londyn 2000.
- Bylka J. *Ocena układów transportujących wodę z zastosowaniem zintegrowanych narzędzi informatycznych.*, praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2019.
- Kwietniewski M.: *GIS w wodociągach i kanalizacji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008

---

## **THE REASONABILITY OF USING POWDERED MINERAL MATERIALS IN AEROBIC GRANULAR SLUDGE TECHNOLOGY**

***J. Czarnota, A. Masłoń***

*Rzeszow University of Technology, Department of Environmental Engineering and Chemistry,  
6 Powstańców Warszawy Av, 35-959 Rzeszów, Poland  
e-mail: [askalucz@prz.edu.pl](mailto:askalucz@prz.edu.pl)*

Aside from activated sludge and biofilm, aerobic granular sludge (AGS) represents a third form by which microbial aggregation takes place in the context of wastewater treatment. Aerobic granular sludge technology is a relatively new alternative to the activated sludge method [1]. Compact structure, a high settling capacity, tolerance to high organic load and a potential to remove carbon, nitrogen and phosphorus compounds simultaneously are all major advantages of this technology [1, 2]. In order to intensify of AGS technology, a new biogranulation methods and stability improvement of aerobic granules are sought. The research to intensify this technology were carried out with the use of: chemical coagulants, dosage of granules fragments, powdered sewage sludge as well as powdered materials (mineral and of organic origin) [3, 4]. In activated sludge technology, powdered mineral materials can fulfill different yet complementary functions: as ballast of sludge flocs that improves their structure and properties, as sorbent of chemical substances found in wastewater and as microcarrier of biological membrane [3, 5]. On the other hand, published references indicate that powdered materials also have a positive impact on biogranulation of aerobic granules. The use of such materials gives possibility of microorganisms aggregation acceleration and formation of mature granules in a short time (materials play a role of nucleus which induces aggregation of microorganisms) as well as improvement of sedimentation properties of obtained granules [6, 7].

The own research was conducted in laboratory scale (89 days) in four identical granular sequencing batch reactors (GSBR-s) of 3.0 dm<sup>3</sup> working volume each (Fig. 1). Reactor R1 was a reference system. Powdered mineral materials (Table 1) were supplied to R2, R3 and R4 reactors