

# Energetyczne aspekty pracy przepompowni ścieków po zastosowaniu systemu bezemisyjnego transportu ścieków BTS w kanalizacji tłocznej

**Rafał Wojciechowski**

EkoWodrol Sp. z o.o.,  
Koszalin

**Krzysztof  
Piaskowski**

Politechnika Koszalińska

Obserwowane w ostatnich latach zainteresowanie poprawą bilansu energetycznego zakładów wodociągowo-kanalizacyjnych zdynamizowało wprowadzanie wielokierunkowych rozwiązań. Od zastosowania bardziej energooszczędnych urządzeń, poprzez usprawnienie algorytmów zarządzających pracą obiektów, po wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych, głównie farm fotowoltaicznych, pomp ciepła, czy uzyskiwanego z fermentacji osadów ściekowych biogazu. Jednym z elementów infrastruktury kanalizacyjnej, który można również poprawić energetycznie jest sieć kanalizacyjna. Od roku 2000 powstało w Polsce ponad 100 tys. km nowej sieci kanalizacyjnej wraz z pompowniami i przepompowniami [1], które często generują problemy związane z powstawaniem i uwalnianiem siarkowodoru oraz zjawiskiem korozji siarczanowej. Prowadzone badania terenowe nad zastosowaniem systemu Bezemisyjnego Transportu Ścieków (BTS) w kanalizacji tłocznej o długości 7 km wykazały, że oprócz głównego celu, jakim jest zapobieganie zagniwaniu ścieków uzyskuje się praktyczne oszczędności energii w pracy przepompowni. Cykliczne płukanie oraz napowietrzanie rurociągu tłoczego sprężonym powietrzem w systemie BTS pozwoliło na przywrócenie pierwotnej sprawności układu oraz energetyczną optymalizację pracy przepompowni ścieków.

## 1 | Wprowadzenie

Rozwój wielu dziedzin gospodarki wymaga zaopatrzenia w odpowiednią ilość energii elektrycznej. Taką dziedziną jest również gospodarka wodno-ściekowa, w której w dobie powszechnego dążenia do zwiększania efektywności energetycznej podejmowane są działania zmierzające do poprawy bilansu energetycznego. W ostatnich kilkunastu latach nastąpił duży wzrost inwestycji związanych z nowoczesnymi systemami oczyszczania ścieków oraz gospodarki osadami ściekowymi, jak również w zakresie transportu ścieków systemem kanalizacyjnym.

Długość sieci kanalizacyjnej w Polsce zwiększyła się z 51 tys. km w 2000 roku do ponad 165 tys. km w roku 2019 [1]. Są to nie tylko odcinki rurociągów, ale również liczne pompownie i przepompownie ścieków, które są ważnym elementem sieci transportu ścieków w nowoczesnej gospodarce wodno-ściekowej. Niezawodność ich pracy wpływa na sprawność całego systemu ściekowego. Koszty obsługi sieci kanalizacyj-

nej są istotnym wydatkiem dla zakładów wodociągowo-kanalizacyjnych, stąd też rosną wymagania stawiane przez eksploatatorów dotyczące bezawaryjnej i automatycznej pracy pompowni przy minimalnej obsłudze oraz ich energooszczędności. Jest to też coraz istotniejszy element w procesie wyboru systemów pompowych, gdyż późniejsze koszty eksploatacyjne mogą być znacznie wyższe od kosztów inwestycyjnych [2].

Różne dane literaturowe wskazują na dość duży udział pracy pompowni w kosztach energetycznych. Około 70% całkowitej światowej produkcji energii elektrycznej jest konsumowana przez pompy, sprężarki i wentylatory, z czego około 20% zużywa się w pompach, w których *notabene* straty energii wynoszą ponad 50% [3].

Badania przeprowadzone przez Deutsche Energie-Agentur GmbH wykazały, że 65% rocznej energii zużytej w 2000 r. w przemyśle Wspólnoty Europejskiej zużywały maszyny napędzane silnikami elektrycznymi, w znacznej części będące pompami. Zużycie energii przez wszystkie pracujące pompy w skali

roku w UE określono na poziomie 46 TWh. Tyle energii mogą wytwarzać dwie duże elektrownie [4]. Pompowanie są również dużym konsumentem energii elektrycznej w oczyszczalniach ścieków. Energia zużywana przez pompy główne to około 14% energii zużywanej przez oczyszczalnie ścieków, przykładowo w Japonii [5, 6].

Dynamiczny rozwój sieci kanalizacyjnej ma też swoją negatywną stronę z powodu wzrostu uciążliwości eksploatacyjnych związanych z generowaniem siarkowodoru. Gaz ten jest potencjalnym zagrożeniem dla zdrowia i życia człowieka, a także powoduje straty związane z korozyjnymi właściwościami w stosunku do betonu i innych materiałów wykorzystywanych w systemach transportu ścieków [7, 8]. Najczęściej do uwolnienia siarkowodoru z ciśnieniowej sieci kanalizacyjnej dochodzi w studni rozprężnej lub przepompowni. Wielu eksploatorów poszukuje rozwiązań, które pozwolą na skuteczne wyeliminowanie problemu odorów. Aktualnie stosowane są dwa główne kierunki postępowania: zapobieganie oraz eliminowanie. Pierwszy kierunek orientuje się na utrzymanie w sieci warunków tlenowych metodami chemicznymi oraz fizycznymi (napowietrzanie lub natlenianie), jak również poprzez blokowanie rozwoju i aktywności bakterii redukujących siarczki (np. czyszczenie rurociągów z osadów). W celu eliminowania powstałych już odorów wykorzystuje się najczęściej metody chemiczne, jak utlenianie oraz strącanie solami żelaza [9-12].

Stosowane aktualnie rozwiązania zmniejszające lub zapobiegające zjawisku zagniwania ścieków w sieci kanalizacyjnej w większości przypadków skupiają się głównie na powstrzymaniu generowania siarkowodoru. Cel ten w różnym stopniu zostaje osiągnięty przy dodatkowych, z reguły stałych już nakładach finansowych. Jedno z nowszych rozwiązań w tym zakresie oferuje jednak dodatkowe korzyści w zakresie funkcjonowania sieci kanalizacyjnej. System Bezemisijnego Transportu Ścieków (BTS) nie tylko skutecznie realizuje główne zadanie, czyli likwidację przyczyn powstawania siarko-

wodoru [13], ale również daje możliwość usprawnienia energetycznego funkcjonowania przepompowni ścieków. W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki badań terenowych wpływu systemu BTS na wydajność i czas pracy przepompowni ścieków, na wybranych odcinkach kanalizacji tłocznej.

## 2 | BTS – Bezemisijny Transport Ścieków

Technologia BTS jest innowacyjnym systemem opracowanym przez polską firmę *EkoWodrol*. Podstawą jego funkcjonowania jest cykliczne wprowadzenie do przewodu tłoczego sprężonego powietrza pod dużym ciśnieniem. W wyniku gwałtownego przepływu następuje samooczyszczenie rurociągu wraz z usunięciem zalegających w syfonach złożeń zanieczyszczeń, wpływających na zwiększony wzrost oporów przepływu i spadek wydajności pomp. Cała operacja, trwająca od kilku do kilkudziesięciu minut, odbywa się przy zamkniętych zaworach odpowietrzających oraz wstrzymanej pracy przepompowni. System BTS funkcjonuje na bazie wypracowanego w licznych symulacjach algorytmu pracy i specjalnego modułu obliczeniowego, modelującego przepływ i napowietrzanie ścieków w rurociągu tłocznym oraz modułu optymalizacyjnego pracy przepompowni.

Samo urządzenie, zawierające m.in. odpowiednio dobraną sprężarkę, mieści się w specjalnej zabudowie kontenerowej (fot. 1). Dozowanie powietrza do rurociągu odbywa się bezpośrednio za pompownią, w sposób punktowy i cykliczny. Cykl i czas pracy sprężarki są na bieżąco dostosowywane do warunków panujących w systemie kanalizacyjnym.

## 3 | Badania terenowe

Pierwsze badania terenowe systemu BTS przeprowadzono dla dwóch pompowni obsługujących wybrane odcinki kanalizacji tłocznej w Konikowie oraz Giezko-



Fot. 1 | Kontener BTS obok przepompowni ścieków w m. Parowa

wie (województwo zachodniopomorskie, powiat koszaliński), w trzech niezależnych seriach czasowych: (i) przed zastosowaniem systemu BTS, (ii) bezpośrednio po wykonaniu przedmuchów BTS, (iii) po 3 tygodniach od przeprowadzonego przedmuchu. Trzeci prezentowany poniżej obiekt badań to przepompownia ścieków w miejscowości Parowa (województwo dolnośląskie, powiat, bolesławiecki, gmina Osiecznica), wykorzystujący wszystkie uzyskane na wcześniejszych obiektach doświadczenia w zakresie funkcjonowania BTS.

We wszystkich analizowanych przypadkach występował problem zagniwania i powstawania odorów w kanalizacji tłocznej, szczególnie uciążliwych dla eksploatatora oraz okolicznych mieszkańców. Przeprowadzone szerokie badania w skali półtechnicznej, a następnie badania terenowe potwierdziły skuteczność systemu BTS w rozwiązaniu problemu siarkowodoru [14]. Wykazały również potencjał usprawnienia energetycznego pracy układu pompowego. Charakterystyka pompowni analizowanych obiektów oraz parametry pracy BTS wyglądały następująco:

- Giezkowo – pompownia ścieków wyposażona w dwie pompy APG.50.92.3 firmy Grundfos z rozdabniaczem, pracujące równolegle. Długość rozpatrywanego odcinka przewodu kanalizacyjnego od pompowni do studni rozprężnej wyniosła 3 929 m, średnica wewnętrzna przewodu tłoczego 79,2 mm. Przedmuch z systemu BTS o czasie trwania 60 min (tzw. przedmuch całkowity – powietrze dociera do studni rozprężnej). Ilość jednorazowo wprowadzonego powietrza  $V_p = 96 \text{ m}^3$ . Liczba przedmuchów  $1\frac{1}{2}/\text{d}$ .
- Konikowo – pompownia ścieków wyposażona w dwie pompy MS3-112Z firmy Metalchem-Warszawa pracujące na dwóch równoległych rurociągach. Badania pracy BTS przeprowadzono dla jednej nitki przewodu tłoczego obsługiwanej przez pompę P1. Długość rozpatrywanego odcinka przewodu od pompowni do studni rozprężnej wyniosła 3 500 m, a średnica wewnętrzna przewodu tłoczego 148 mm. Przeprowadzono przedmuch 30 min (tzw. przedmuch częściowy). Ilość wprowadzonego jednorazowo powietrza  $V_p = 91 \text{ m}^3$ . Liczba przedmuchów  $1\frac{1}{2}/\text{d}$ .
- Parowa – pompownia ścieków wyposażona w dwie pompy KRT F 80-251/172UG-S oraz KRT F 80-316/262UEG-S IE2 firmy KSB. Długość rozpatrywanego odcinka przewodu tłoczego wyniosła 6 925,5 m, średnica wewnętrzna rurociągu 90 mm. Przeprowadzono przedmuch 60 min. Ilość jednorazowo wprowadzonego powietrza  $V_p = 182 \text{ m}^3$ . Aktualnie wykonywane są dwa przedmuchy na dobę.

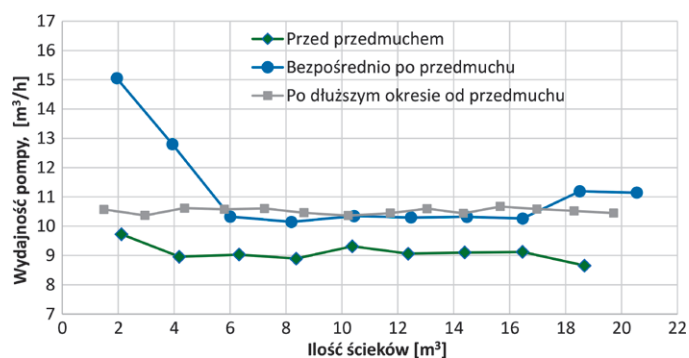
#### 4 | Opis wyników badań

Ze względu na różnorodność analizowanych obiektów (długość odcinka tłoczego, rodzaj pomp, średnica przewodu) i ich stanu (osady na dnie kanału, biofilm) przeprowadzone przedmuchy w systemie BTS były indy-

widualnie dobierane i weryfikowane pod kątem przede wszystkim głównego problemu, czyli siarkowodoru. Początkowe przedmuchy wymagały częstszych załączeń w celu uzyskania efektu czyszczenia rurociągu, z czasem częstotliwość pracy sprężarki systemu BTS była optymalizowana. Na dwóch pierwszych obiektach testowano różne opcje pracy systemu BTS, poprzez zmiany czasu pracy sprężarki (ilości wprowadzonego powietrza) po różną częstotliwość dobową, weryfikując sytuację na przepompowni i końcówce analizowanego rurociągu.

Kluczowe okazało się dobranie odpowiedniego czasu trwania przedmuchu dla danego rurociągu. Zbyt krótki przedmuch mógł mieć negatywny wpływ na pracę pompy (okresowy spadek wydajności do czasu wypchnięcia poduszek powietrznych), zaś zbyt długi powoduje jedynie dodatkowe zużycie energii przez sprężarkę. Uzyskane dane z badań terenowych umożliwiły udoskonalenie modelowania i optymalizacji algorytmów usprawniających eksploatację i zużycie energii całego układu.

Przeprowadzone przedmuchy rurociągu tłoczego w Giezkowie spowodowały wzrost wydajności pomp w stosunku do ich wcześniejszej pracy nie tylko bezpośrednio po wykonaniu przedmuchu BTS, ale również umożliwiły utrzymanie tego stanu nawet przez 3 tygodnie od ostatniego cyklu pracy sprężarki. Przykładowy rozkład wydajności pompy w funkcji ilości ścieków dla wszystkich serii czasowych pokazano na rys. 1. Widoczny w początkowej fazie charakterystyczny chwilowy skok wydajności pompy bezpośrednio po przedmuchu wynikał z częściowego opróżnienia przewodu ze ścieków po całkowitym przedmuchu, a tym samym braku większego oporu przy tłoczeniu, do momentu napełniania rurociągu pompowanymi ściekami, po czym następowała stabilizacja wydajności. Różnica pomiędzy wydajnością przed i po zastosowaniu BTS wskazuje na negatywne procesy zachodzące w kanalizacji tłocznej obniżające sprawność przepływu ścieków, tym samym wymuszając dłuższy czas pracy pomp i wzrost zużycia energii.



Rys. 1 | Przykładowy przebieg zależności średniej wydajności pracy pompy P1 w Giezkowie od ilości przepompowanych ścieków do rurociągu przed i po przedmuchu 60 min

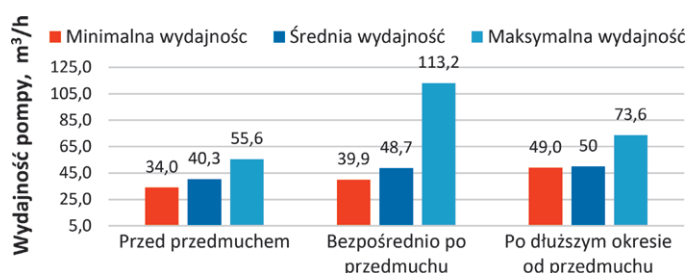
W tab. 1 przedstawiono wyniki z całego okresu badań obiektu Giezkowo dla obu pomp. Wskazują one na poprawę wydajności pompowni o charakterze stałym (w analizowanych warunkach i czasie badań).

Można z tego wnioskować, że wystarczyłoby długofalowo cyklicznie przeprowadzić przedmuch czyszczący rurociągu, aby zachować stabilność pracy przepompowni na osiągniętym poziomie. Korzyści energetyczne byłyby jeszcze większe, jednakże, jak wcześniej zaznaczono, nie jest to główny cel BTS, a jedynie dodatkowy efekt jego zastosowania. Zachowanie warunków mikrotlenowych zapobiegających generowaniu siarkowodoru z rozkładu samych ścieków podczas transportu rurociągiem wymaga mimo wszystko częstotliwości 1÷2 przedmuchi na dobę, w zależności od indywidualnej sytuacji w systemie kanalizacji tłocznej.

Tab. 1 Zestawienie wartości charakterystycznych wydajności dla pompowni w Giezkwie po przedmuchu BTS – 60 min

Wydajność [m <sup>3</sup> /h]			
Oznaczenie	Przed przedmuchem	Bezpośrednio po przedmuchu	Po dłuższym okresie od przedmuchu
<b>Pompa P1</b>			
Min.	9,15	9,99	10,26
Maks.	15,92	18,07	17,99
Średnia	9,09	11,19	10,55
<b>Pompa P2</b>			
Min.	9,46	10,38	11,23
Maks.	15,57	26,71	16,82
Średnia	9,23	11,87	11,31

Inne warunki pracy pompowni miały miejsce w Konikowie, gdzie badany odcinek kanalizacji był częścią bardzo rozbudowanego i rozgałęzionego układu, generującego znaczne problemy z odorami. W Giezkwie problemem był mały przepływ, z tego względu też występowało niekorzystne przetrzymywanie ścieków w rurociągu i tworzenie osadów na dnie kanału. W Konikowie, z kolei, przepływ był kilkukrotnie większy, ale dopływające ścieki z różnych części terenu zlewni były już zagnię i generowały duże ilości siarkowodoru. W badaniach okazało się, że optymalnym czasem pracy sprężarki będzie 30 min, w cyklu 1÷2 na dobę. Zapewniło to niepełny przedmuch, ale problem siarkowodoru został wyeliminowany, jak również nastąpiła widoczna poprawa wydajności pracy pompy w przepompowni ścieków (rys. 2).



Rys. 2 Wartości wydajności pompy w Konikowie po przedmuchu BTSem – 30 min. Oznaczenia: 1 – przed przedmuchem, 2 – bezpośrednio po przedmuchu, 3 – po dłuższym okresie od przedmuchu

Średnie wartości wzrostu wydajności pracy pomp po zastosowaniu systemu BTS, zarówno bezpośrednio

po, jak i po dłuższym okresie od przedmuchu, wyniosły od 20,5 do 28,6% bezpośrednio po wtłoczeniu powietrza do rurociągu dla obu powyżej opisanych obiektów, oraz od 16,1 do 23,8% po 3 tygodniach od ostatniego przedmuchu (tab. 2). Obserwowane zmiany wydajności pomp zależne były od tego, w jakim stopniu zmieniła się na niekorzyść sytuacja w rurociągu od czasu oddania do użytku kanalizacji z przepompownią. System BTS wykazał możliwość poprawy, bądź powrotu do pierwotnej wydajności układu pompowego, stąd też efektywność tego rozwiązania w zakresie wzrostu wydajności pomp będzie różna, ale gwarantująca zawsze konkretne oszczędności zużycia energii. Przykładem na to jest szczególnie trzeci z analizowanych obiektów w m. Parowa.

Tab. 2 Zestawienie średnich procentowych zmian wydajności pomp analizowanych obiektów po przedmuchu w stosunku do średnich wartości parametrów przed przedmuchem

Obiekt pomiarowy	% poprawa wydajności pompy	
	Bezpośrednio po przedmuchu	Po dłuższym okresie od przedmuchu
Giezkowo pompa P1	23,1%	16,1%
Giezkowo pompa P2	28,6%	22,5%
Konikowo	20,5%	23,8%

Przez pierwsze tygodnie badań algorytm obliczeniowy systemu BTS zbierał dane niezbędne do zoptymalizowania pracy sprężarki i aktualizował dane w stosunku do wartości pozyskanych od eksploatatora. Dynamiczny i inteligentny moduł obliczeniowy modelował przepływ powietrza i ścieków w rurociągu tłocznym, utrzymując pompę w zakresie dopuszczalnej charakterystyki jej pracy. Dzięki temu algorytm sterujący pracą urządzenia dopasował parametry przedmuchu i napowietrzania, tak by ograniczyć emisję odorów w studni rozprężnej oraz aby układ osiągał odpowiednią prędkość płukania we wskazanych w algorytmie problematycznych odcinkach rurociągu tłoczego.

Ponieważ instalacja BTS jest sprzężona z układem pracy pompowni, algorytm sterujący przewiduje miejsca powstawania korków powietrznych oraz steruje pracą układu przepompowni/stacja przedmuchu, przeciwdziałając nadmiernemu zapowietrzeniu rurociągu po przedmuchu. Analiza wydajności pompowni w m. Parowa, do której wybrano jedną z pomp P2, wykazała znaczący wzrost średniej wydajności z poziomu 7,2 m<sup>3</sup>/h przed włączeniem BTS do wartości powyżej 16 m<sup>3</sup>/h, utrzymującej się nawet po 18 godz. od ostatniego przedmuchu. Zmiany wydajności pompowni wpłynęły bezpośrednio na czas jej pracy. W tab. 3 przedstawiono pomiary czasu pracy poszczególnych pomp z okresu przed użyciem systemu BTS (okres miesięcy I-III 2021 r.) oraz po wprowadzeniu przedmuchi BTS (IV 2021 r.). W całym analizowanym okresie napływ ścieków był na stabilnym poziomie.

Uzyskano skrócenie czasu pracy poszczególnych pomp od 37,9 do 51,3% w skali miesiąca. Zysk ener-

Tab. 3 | Miesięczny czas pracy pompowni w m. Parowa przed (styczeń-marzec) oraz po wprowadzeniu przedmuchu BTS (kwiecień)

Czas pracy pomp [godz./miesiąc]		
Miesiąc pomiarowy	Pompa P1	Pompa P2
Styczeń	171,9	218,2
Luty	161,3	210,9
Marzec	156,3	216,2
Kwiecień (z BTS)	79,5	133,5
Średnia bez BTS	163,2	215,1
Różnica [godz./m-c]	83,7	81,6
Różnica [%]	51,3	37,9

tyczny z takiej zmiany można przedstawić w postaci uproszczonej symulacji, bazując na uzyskanych wynikach. Przyjmując średni czas pracy dla obu pomp sprzed okresu współpracy pompowni ze stacją BTS, sumaryczne zużycie energii elektrycznej wyniosło 7900 kWh/m-c. Dla poszczególnych pomp było to:

- P1: 26 kW · 163,2 h = 4243,2 kWh/m-c,
- P2: 17 kW · 215,1 h = 3656,7 kWh/m-c.

Dla układu współpracującego z systemem BTS uzyskano przy skróconym czasie pracy pomp zużycie energii:

- P1: 26 kW · 79,5 h = 2067,0 kWh/m-c,
- P2: 17 kW · 133,5 h = 2269,5 kWh/m-c.

Razem: 4336,5 kWh/m-c. W tym przypadku należy jeszcze uwzględnić zużycie energii przez sprężarkę pracującą w BTS: 22 kW · 65 h = 1430 kWh.

W sumie miesięczne zużycie energii przez pompownię współpracującą z BTS wyniesie na poziomie 5766,5 kWh.

Oszczędność energetyczna w skali miesiąca, to 2133,5 kWh, natomiast w okresie jesienno-zimowym, kiedy można zmniejszyć ilość cykli przedmuchów, np. do jednego na dobę, wartość ta wzrasta do 3563,5 kWh. Uzyskany zysk energetyczny nie jest oczywiście głównym celem systemu BTS, ale ważnym z punktu widzenia eksploatatora dodatkowym efektem jego zastosowania.

## 5 | Podsumowanie

Badania terenowe systemu BTS stosowanego do likwidacji uciążliwości zapachowych występujących w sieci kanalizacyjnej wykazały nie tylko skuteczność w ograniczeniu powstawania siarkowodoru, ale również możliwość utrzymania w dobrym stanie rurociągu tłocznego. Ma to zasadnicze znaczenie dla usprawnienia transportu ścieków, a tym samym poprawy wydajności pracy pompowni ścieków. System BTS zoptymalizował współpracę sprężarki oraz przepompowni, umożliwiając zachowanie właściwego punktu pracy pomp przepompowni uzyskując konkretne oszczędności w zużyciu energii elektrycznej. Efekt ten jest możliwy do zachowania w dłuższej perspektywie czasowej przy cyklicznym stosowaniu przedmuchów BTS przywracającym i utrzymującym pierwotną sprawność całego układu tłocznego.

## 6 | Literatura

- [1] Raport Ochrona środowiska, GUS, Warszawa 2020.
- [2] Pompownie ścieków a efektywność energetyczna. 2019. Rynek Instalacyjny, 11, s. 70.
- [3] Brati H., Khaledian M., Biglouei M.H., Rizi A.P. 2018. Assessment of Energy Efficiency in Pump Stations of Pressurized Irrigation Systems (Case Study: Qazvin and Kermanshah Provinces). IJAMAD, 8(3), 389-396.
- [4] Vogelesang H. 2008. An introduction to Energy consumption in pumps. World Pumps, vol. 2008, Issue 496, 28-31.
- [5] Filipe J., Bessa R.J., Reis M., Alves R., Póvoa P. 2019. Data-driven predictive energy optimization in a wastewater pumping station. Applied Energy, vol.252, 113423; doi:10.1016/j.apenergy.2019.113423.
- [6] Kato H., Hiroyuki Fujimoto, Yamashina K. 2019. Operational Improvement of Main Pumps for Energy-Saving in Wastewater Treatment Plants. Water, 11, 2438; doi:10.3390/w1122438.
- [7] Dębowski M., Zieliński M., Krzemieniewski M., Białowiec A. 2008. Wykorzystanie reakcji Fentona do ograniczania procesu zagniwania i powstawania siarkowodoru w ściekach komunalnych. Rocznik Ochrona Środowiska, Tom 10, 289-300.
- [8] Podraza Z. 2014. Korozja siarczanowa jako realny problem sieci przewodów kanalizacyjnych. Acta Sci. Pol. Technica Agraria 13(1-2), 41-48.
- [9] Brandt E.M.F., Souza C.L., Chernicharo C.A.L. 2017. Alternatives to odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants. Eng. Sanit. Ambient, vol. 22 no.4, ss. 611-623.
- [10] Talaiekhazani A., Bagheri M., Goli A., Khozani M.R.T. 2016. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. Journal of Environmental Management, vol. 170, ss. 186-206.
- [11] Nowicka A., Zieliński M., Dębowski M., Dudek M. 2016. Ograniczenie uciążliwości zapachowej ciśnieniowej sieci kanalizacyjnej z wykorzystaniem odczynnika Fentona. Inżynieria Ekologiczna vol. 48, ss. 174-180.
- [12] Stachowiak M., Troszczyńska M., Dymaczewski Z. 2017. Przeciwdziałanie uciążliwości odorowej w systemach kanalizacji grawitacyjno-tłoczonej. Technologia Wody 6(56), ss. 38-45.
- [13] Wojciechowski R., Piaskowski K. 2020. Ograniczanie zagniwania ścieków w kanalizacji tłoczonej przy zastosowaniu nowatorskiej metody płukania i napowietrzania rurociągu. Forum Eksploatatora, 2(107), ss. 34-38.
- [14] Wojciechowski R., Piaskowski K. 2020. Control of hydrogen sulfide concentrations in pressure sewers in the system of emission-free sewage transport. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 22, cz. 2, wyd. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Koszalin, ss.635-647. ■



**EkoWodrol Sp. z o.o.**

ul. Słowiańska 13, 75-846 Koszalin  
www.szustersystem.com