

Dawid BANDZIERZ\*

## **OCENA MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA SOND ON-LINE W SYSTEMIE KANALIZACJI OGÓLNOŚPŁAWNEJ**

W artykule przedstawiono możliwość stosowania sond on-line do pomiaru stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych. Mianowicie, wykazano możliwość stosowania sond w kanalizacji ogólnospławnej na przykładzie własnych doświadczeń jako użytkownika sond w kanale dopływowym do Grupowej Oczyszczalni Ścieków oraz kanale ogólnospławnym na wysokości przelewu burzowego J-1 w Łodzi. Krótko przedstawiono możliwości techniczne lokalizacji sond w kanałach, możliwości kalibracji i walidacji oraz opisano przydatność, w tym możliwości gromadzenia danych. Dodatkowo pokazano wybrane przykłady stosowania sond on-line w kanalizacji w innych krajach oraz przedstawiono zalety i wady płynące z ich stosowania.

### **1. WSTĘP**

Stosowanie sond on-line do pomiaru stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń w kanalizacji ogólnospławnej jest nowym podejściem do problemu monitoringu ścieków ogólnospławnych. Sondy on-line do tej pory stosowane były głównie do pomiaru stężeń zanieczyszczeń w przypadku wód rzecznych oraz ścieków oczyszczonych, ewentualnie na poszczególnych etapach oczyszczania do oceny prawidłowości procesu. W obecnej chwili pracuje się nad wypracowaniem rozwiązań umożliwiających pomiar stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych (najczęściej ogólnospławnych) na dopływie do oczyszczalni ścieków lub bezpośrednio w systemie kanalizacyjnym. Mierzonymi wskaźnikami zanieczyszczeń są najczęściej: zawiesiny ogólne, ChZT rozp. i azot amonowy. Dane są uzupełniane poprzez pomiar temperatury ścieków oraz strumienia objętości (natężenia) przepływu. Pomiaru własne realizowano przy wykorzystaniu zestawu trzech sond pomiarowych produkcji firmy Hach Lange - sondy SOLITAX sc do pomiaru stężenia zawiesin ogólnych, sondy UVAS plus do pomiaru stężenia ChZT rozp. (jako SAK254)

---

\* Instytut Inżynierii Komunalnej i Instalacji Budowlanych, Politechnika Łódzka, ul. Aleja Politechniki 6, 90-924 Łódź, dawid.bandzierz@p.lodz.pl

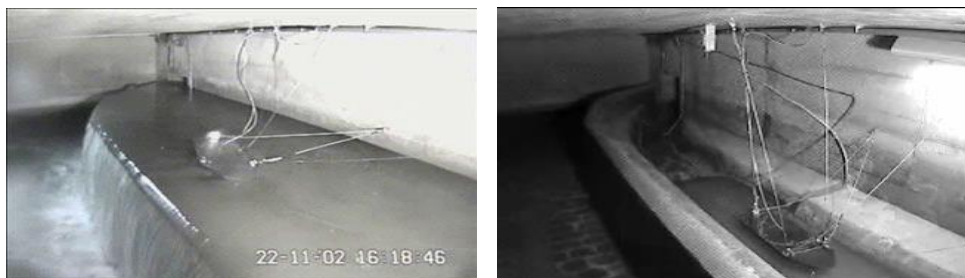
oraz czujnika amonowego  $\text{NH}_4\text{D}$  sc do pomiaru azotu amonowego. Próby wykorzystania sond on-line w innych krajach były prowadzone przy użyciu wyżej wymienionych sond lub sond produkcji firmy s-can [1]. Monitoring kanalizacji ogólnospławnej z wykorzystaniem sond on-line był prowadzony między innymi w Berlinie, Grazu, Kopenhadze i Lyonie. Przykładowo, w systemie kanalizacyjnym Lyonu, na czterech różnych zlewniach, zainstalowano w 2001 roku pięć zestawów sond on-line do pomiaru: pH, przewodności, temperatury, mętności i ChZT - jako stężenia SAK254 [2, 3, 8, 9].

## 2. STANOWISKO POMIAROWE

Sposób montażu sond on-line w systemach kanalizacyjnych ograniczają specyficzne warunki brzegowe, do których należą między innymi: rodzaj kanalizacji, spadek dna kanału, strumień przepływu, możliwości gromadzenia się osadów kanałowych, przepływ w warunkach tzw. suchej i mokrej pogody, możliwość i ryzyko pracy kanału pod ciśnieniem, zmienność stężeń wprowadzanych zanieczyszczeń oraz dynamika ich zmian.

W zależności od specyficznych uwarunkowań konstrukcji obiektu, w którym sondy on-line będą instalowane można umieszczać je bezpośrednio w kanale prowadzącym ścieki ogólnospławne lub stosować specjalne konstrukcje [2, 8]. Konstrukcje takie lokalizowane są głównie w oczyszczalniach ścieków w halach krat rzadkich. Naczelną ideą tworzenia takich konstrukcji jest lokalizacja sond pomiarowych poza kanałem dopływowym w oczyszczalni ścieków w celu ułatwienia eksploatacji zestawu sond pomiarowych. W tym celu jest tworzony specjalny przepływowy zbiornik o niewielkiej pojemności, w którym są zlokalizowane urządzenia pomiarowe. Ścieki ze stałym strumieniem są pompowane do zbiornika, a następnie z powrotem wprowadzane do systemu kanalizacyjnego.

Sondy on-line dają możliwość automatycznego pomiaru stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń z wybranym przez eksploatatora krokiem czasowym. Najczęściej jest to interwał pomiędzy 1, a 5 minutami. Sondy mają możliwość gromadzenia danych w trybie rzeczywistym, dając eksploatatorowi sieci kanalizacyjnej dane na temat zmienności stężeń, w połączeniu z pomiarem przepływu, zmienności ładunków, czy niekontrolowanych zrzutów zanieczyszczeń. Nie jest możliwe, ani zebranie wystarczającej liczby danych do modelowania systemów kanalizacyjnych, ani skuteczne monitorowanie kanalizacji z wykorzystaniem metod polegających na ręcznym poborze prób i ich analitycznej analizie. Na poniższych rysunkach pokazano przykłady montażu sond on-line.



Rys. 1. Lokalizacja sond on-line firmy S-can umieszczonych na pływaku (pontonie) w burzowcu w systemie kanalizacji ogólnospławnej w Grazu [1, 2]



Rys. 2. Lokalizacja sond on-line firmy S-can w przepływowym zbiorniku z pompowym dopływem ścieków umieszczonym w hali krat rzadkich w Wiedniu [2]



Rys. 3. Lokalizacja sond on-line firmy Hach-Lange umieszczonych na pływaku (pontonie) w burzowcu w systemie kanalizacji ogólnospławnej w Łodzi [fot. własna]

Tabela 1. Wady i zalety lokalizowania sond w świetle kanału i w konstrukcjach specjalnych

Lokalizacja urządzeń pomiarowych (sond on-line)	
Kanał ściekowy (ponton)	Konstrukcja specjalna (zbiornik przepływowy)
Oznaczenie wartości stężenia bez opóźnienia, wysoka reprezentatywność danych	Oznaczenie wartości z niewielkim opóźnieniem, wysoka reprezentatywność danych
Brak konieczności montażu pompy ścieków, mniejsze zużycie energii	Konieczność montażu pompy tłoczącej ścieki do zbiornika przepływowego w sąsiedztwie kanału w oczyszczalni ścieków, podwyższone zużycie energii elektrycznej
Montaż sond do pontonu podwieszonoego do stropu kanału, ryzyko uszkodzenia lub urwania pływaka, niekiedy trudności związane z montażem sond (np. montaż czujnika amonowego w pozycji pionowej)	Sondy umieszczone w zbiorniku przepływowym, duże bezpieczeństwo konstrukcji, małe prawdopodobieństwo uszkodzenia urządzeń, wygoda i swoboda montażu sond on-line
Montaż sond wymaga wywiercenia otworów pod konstrukcje wspomagające w kanale, uszkodzenia kanału	Montaż w zbiorniku przepływowym nie wymaga naruszania konstrukcji kanału
W bezpośredniej okolicy stanowiska pomiarowego wymagana jest budowa kontenera na urządzenia pomiarowe	Panele odczytowe urządzeń pomiarowych można umieścić w hali, na której zlokalizowano zbiornik lub w szafie sterowniczej
Wymagana jest budowa przyłącza prądu	Brak konieczności budowy przyłącza prądu, możliwa konieczność instalacji podlicznika
Wymagane jest uzyskanie zgód właścicieli na lokalizację kontenera na urządzenia pomiarowe oraz poniesienie kosztów związanych z użyczeniem terenu	Wymagana zgoda właściciela obiektu, w którym będą instalowane sondy on-line
Sondy muszą być regularnie czyszczone (zagrożenie zanieczyszczenia biofilmem)	Sondy muszą być regularnie czyszczone (zagrożenie zanieczyszczenia biofilmem)
Zaleca się montaż kompresora do czyszczenia sond	Zaleca się montaż kompresora do czyszczenia sond
Wymagana jest ścisła współpraca ze służbą eksploatującą kanalizację w celu każdorazowego czyszczenia i kontroli urządzeń w kanale – utrudniony nadzór	Wymagana jest przepustka do obiektu, gdzie zlokalizowano sondy, w celu samodzielnego czyszczenia i eksploatacji sond on-line – ułatwiony dozór
W celach konserwacji i naprawy urządzeń pomiarowych konieczny jest demontaż pontonu oraz kabli i wyjęcie go z kanału	Ułatwiony dostęp do urządzeń pomiarowych, prosty demontaż sond on-line

### 3. WYNIKI POMIARÓW

Sondy on-line stosowane w Łodzi służą do pomiaru stężeń zawiesin ogólnych – sonda SOLITAX sc, SAK254 – sonda UVAS plus oraz azotu amonowego – czujnik amonowy NH4D sc. Metodyka pomiaru została opisana w artykułach [5, 6].

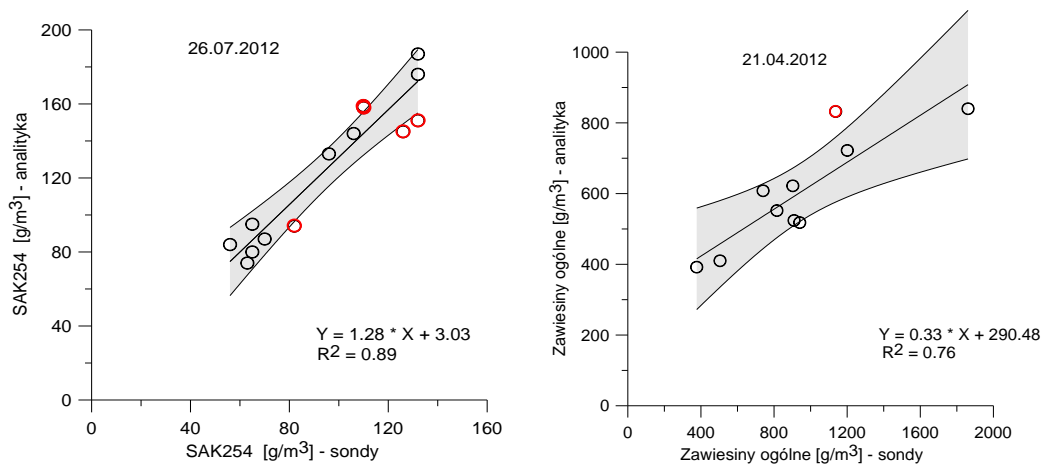
W prowadzonych badaniach wykorzystano kalibrację fabryczną urządzenia do pomiaru stężenia SAK 254. Istnieje jednak możliwość jej zmiany poprzez wprowadzenie współczynnika korelacji lub dwóch punktów matrycy. Sondę ponadto można skalibrować do pomiaru m. in. Chemicznego Zapotrzebowania Tlenu (ChZT), Ogólnego Węgla Organicznego (OWO), Rozpuszczonego Węgla Organicznego oraz Biochemicznego Zapotrzebowania na Tlen. W trakcie prowadzenia wstępnych badań w kanale głównym w hali krat rzadkich na dopływie do Grupowej Oczyszczalni Ścieków testowano możliwości kalibracji z wykonywaniem pomiaru ChZT całkowitego. Wyniki kalibracji były zadowalające. Po przeprowadzeniu serii badań własnych pozwalających sprawdzić w praktyce możliwości kalibracji zdecydowano się na pomiar SAK254, jako jednostki uniwersalnej, mającej szerokie odniesienie w literaturze i dającej możliwości porównywania danych.

Sondy SOLITAX nie kalibrowano. Wykorzystano kalibrację fabryczną urządzenia, którą uznano za wystarczającą. Sonda daje możliwość kalibracji z wykorzystaniem jednego współczynnika lub do 5 punktów matrycy.

W przypadku czujnika amonowego NH<sub>4</sub>sc kalibrację wykonywano na podstawie oznaczonych analitycznie wartości azotu amonowego i potasu dla skrajnych oczekiwanych wartości stężeń. Sondę należy kalibrować po każdorazowej wymianie wkładu czujnika.

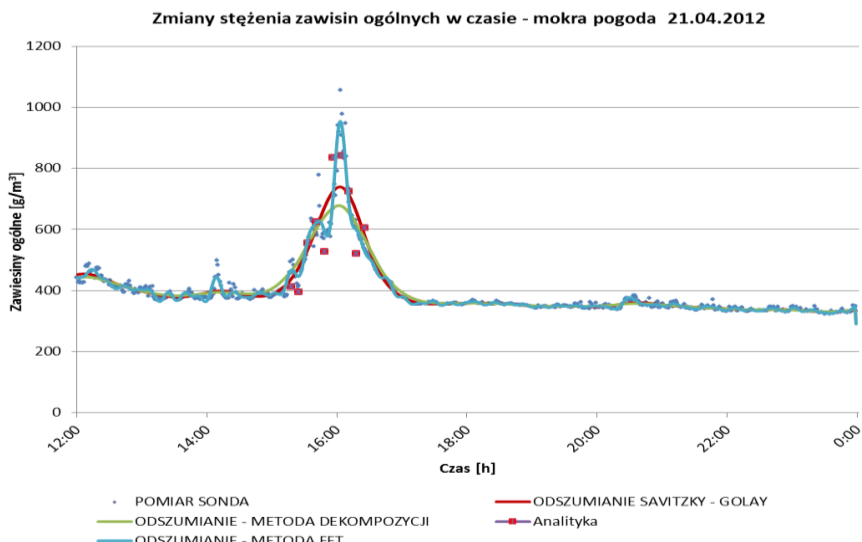
Zależności pomiędzy wartościami oznaczonymi analitycznie i zmierzonymi przez sondę pozwalają na wyznaczenie współczynników korelacji, które wpływają na poprawność danych pochodzących bezpośrednio z sond pomiarowych. Ponadto dla badanych korelacji wyznaczono przedziały ufności na poziomie 99. Bardziej szczegółowo metodykę kalibracji opisano w [9].

Na poniższych wykresach pokazano przebiegi linii trendu dla dwóch różnych zjawisk opadowych i wybranych wskaźników zanieczyszczeń. Szarym kolorem oznaczono zakres granic przedziału ufności, natomiast punktami czerwonymi wartości znajdujące się poza przedziałem ufności. Dla zjawiska z dnia 26.07.2012 (rys. 4 – po lewej) współczynnik  $R^2$  wynosi 0,89, a poza przedziałem ufności znajduje się 5 z 14 punktów pomiarowych, natomiast w przypadku zjawiska z dnia 21.04.2012 (rys. 4 – po prawej) współczynnik  $R^2$  wynosi 0,76, a poza przedziałem ufności znajduje się 1 punkt pomiarowy z 10.



Rys. 4. Zależność stężenia SAK254 pomierzonego sondą on-line od oznaczonego analitycznie (po lewej) oraz zależność stężenia zawiesin ogólnych pomierzonych sondą on-line od oznaczonych analitycznie (po prawej)

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy przebieg zmiany stężenia zawiesin ogólnych dla ścieków mokrej pogody. Na wykresie pokazano wygładzone przebiegi z wykorzystaniem trzech różnych metod odszumiania [10]. Czerwonymi punktami naniesiono wyniki analitycznej analizy próbek pobranych w wykorzystaniem samplera.



Rys. 5. Przykładowy przebieg zmian stężenia zawiesin ogólnych w czasie opadu w dniu 21.04.2012

Prowadzone analizy pozwalają na określenie między innymi ładunków odprowadzanych do odbiornika poprzez przelewy burzowe. W tabeli 2 pokazano ładunki określone na podstawie stężeń uzyskanych z sond on-line oraz przepływów w kanale burzowym uzyskanych z Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi.

Tabela 2. Ładunki zanieczyszczeń wprowadzanych do odbiornika przez przelew burzowy

Lp.	Data opadu	ChZT sol [kg]	NNH4 [kg]	Zawiesiny ogólne [kg]
1	31.03.2012	9	0.7	39
2	21.04.2012	88	5	412
3	07.05.2012	63	5.45	125
4	11.05.2013	29	3.20	235

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie prowadzonych badań oraz danych dostępnych w literaturze stwierdzono wysoką przydatność sond on-line do monitorowania jakości ścieków w systemach kanalizacji ogólnospławnej. W zależności od możliwości lokalizacji sond on-line w kanale dominują dwie techniki montażu: na pływakach bezpośrednio w kanale oraz w specjalnie projektowanych przepływowych naczyniach umieszczonych w bezpośrednim sąsiedztwie kanału (najczęściej w oczyszczalniach ścieków). Pod względem łatwości eksploatacji sond dogodniejszym sposobem montażu jest umieszczenie sond w zbiorniku poza kanałem. Na podstawie dwuletniej eksploatacji sond on-line w kanale ogólnospławnym stwierdzono, że odpowiednio dobrana konstrukcja kanału pozwala uniknąć uszkodzeń urządzeń pomiarowych.

Dane zbierane przez sondy przy zachowaniu reżimu związanego z poprawną eksploatacją (np. czyszczeniem) są wysokiej jakości i po odszumieniu pozwalają określić stężenia zanieczyszczeń mierzonymi wskaźnikami. Dane uzupełnione o pomiar strumienia objętości przepływu pozwalają na określenie ładunków zanieczyszczeń.

Dużą zaletą prowadzonych badań jest możliwość zgromadzenie bazy danych, niezbędnych do modelowania sieci kanalizacji ogólnospławnej. Sondy on-line są również znakomitą alternatywą dla badań analitycznych. Pozwalają na szybkie zbieranie dużych ilości danych przy okresowych tylko badaniach analitycznych mających na celu sprawdzenie stabilności kalibracji.

#### LITERATURA

- [1] HOCHEDLINGER M., Assessment of Combined Sewer Overflow Emissions, Graz, 2005.

- [2] GRUBER G., BERTRAND-KRAJEWSKI L., DE BENEDITIS J., HOCHENLINGER M., LETTL W., Practical aspects, experiences and strategies by using UV/VIS sensors for long-term sewer monitoring, *Water Practice & Technology*, 2006, Vol. 1, No. 1
- [3] ARNBJERG-NIELSEN K. Past, Present and future design of urban drainage systems with focus on Danish experience, *Water Science and Technology*, 2011, Vol. 63, No. 3, 527-535.
- [4] ZAWILSKI M. BRZEZIŃSKA A., BANDZIERZ D., BADOWSKA E., Dynamika zmian ilości i składu ścieków w kanalizacji na podstawie pomiarów on-line, *Gaz, woda i technika sanitarna*, 2011, Nr 11, 433-438.
- [5] BADOWSKA E., BANDZIERZ D. , Przykłady z kalibracji i eksploatacji sond pomiarowych on-line do pomiarów stężeń zanieczyszczeń w ściekach ogólnospławnych, *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 1* (pod redakcją Teodory M. Traczewskiej), Wrocław 2011, 19-28
- [6] BANDZIERZ D. , Pierwsza fala splywu zanieczyszczeń – identyfikacja zjawiska na przykładzie GOŚ w Łodzi, *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 2* (pod redakcją Teodory M. Traczewskiej), Wrocław 2012, 57-65
- [7] BRZEZIŃSKA A., BANDZIERZ D., Monitoring kanalizacji ogólnospławnej z wykorzystaniem sond on-line na przykładzie Łodzi, *Instal*, 2013, Nr 6, 55-58
- [8] HÄCK M., LORENZ U., Online load measurement in combined sewer system-possibilities of an integrated management of waste water transportation and treatment, *Water Science and Technology*, 2002, Vol. 45, No. 4-5, 421-428.
- [9] BRZEZIŃSKA A., BANDZIERZ D., Pomiary składu ścieków przy pomocy sond on - line – metodyka kalibracji, *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 3* (pod redakcją Teodory M. Traczewskiej), Wrocław 2013, 75-84
- [10] BANDZIERZ D., Odszumianie danych pomiarowych z sond on-line, *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 3* (pod redakcją Teodory M. Traczewskiej), Wrocław 2013, 35-41.

#### ASSESSMENT OF FEASIBILITY USE ON-LINE SENSORS IN COMINED SEWER SYSTEMS

This paper presents the possibility of using on-line sensors to measuring the concentration of selected indices of pollutants in raw sewage. Shown the possibility of using the on-line sensors in combined system on the example of own experience of use of on-line sensors in the inlet sewer to the Group Sewage Treatment Plant and the sewer at the height of the storm overflow J-1 in Lodz. Briefly present the technical capabilities on-line sensors locations in the sewers, the possibility of calibration and validation, and describes the relevance and feasibility of collecting the data. Additionally showing some examples of the use of probes on-line sensors in a sewer in other countries and shows the advantages and disadvantages of their application.