

## **Streszczenie**

Oczyszczalnie ścieków są jednym z istotnych, rozproszonych źródeł gazów cieplarnianych - głównie ditlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) oraz metanu ( $\text{CH}_4$ ). Gazy te powstają, z różną intensywnością, na każdym etapie procesu oczyszczania. O ile w literaturze można znaleźć wiele pozycji opisujących emisję  $\text{CO}_2$  i  $\text{CH}_4$  z przepływowych oczyszczalni ścieków, to ilość badań opisujących to zjawisko z oczyszczalni sekwencyjnych, w tym z bioreaktorów typu SBR (ang. Sequencing Batch Reactors - sekwencyjnych reaktorach porcjowych) jest stosunkowo niewielka.

Technologia SBR polega na tym, że wszystkie fazy oczyszczania biologicznego ścieków realizowane są w jednym reaktorze, w sekwencyjnie następujących po sobie fazach. Podjęcie zagadnienia emisji gazów cieplarnianych w odniesieniu do oczyszczalni typu SBR wydaje się istotne ponieważ, po okresie mniejszego zainteresowania zauważalny jest powrót do tej technologii.

Czynnikiem procesowym w czasie biologicznego oczyszczania ścieków jest między innymi tzw. osad czynny. Jest to skomplikowany układ materii nieożywionej i ożywionej, którego najistotniejszym elementem są bakterie (prokariota) i organizmy wyższe (eukariota). Każda z tych grup organizmów ma więc swój wkład w proces oczyszczania ścieków, ale i swój udział w produkcji ditlenku węgla.

Przegląd literatury wskazuje, że niezależnie od badanej technologii, praktycznie wszystkie badania koncentrują się na opisie etapu stabilnej pracy oczyszczalni. Autorce nie udało się znaleźć żadnej publikacji poświęconej etapowi adaptacji (nazywanego często etapem wpracowania). Powodem może być przekonanie, że raz uruchomiona oczyszczalnia działa cały czas w stabilnych warunkach. Jednakże doświadczenie technologów pozwala na stwierdzenie, że awarie oczyszczalni i związana z tym konieczność ponownego wpracowania osadu nie są tak rzadkie. I są zwykle tym częstsze im mniejsza instalacja oczyszczania. A oczyszczalnie typu SBR są zwykle stosunkowo nieduże. Stąd też w niniejszej pracy podjęto badania także w odniesieniu do etapu adaptacji (wpracowania).

**Zasadniczym celem niniejszej pracy było oszacowanie emisji gazów cieplarnianych ( $\text{CH}_4$  i  $\text{CO}_2$ ), w trakcie procesu oczyszczania ścieków komunalnych w zależności od: i) składu osadu czynnego i temperatury procesu oczyszczania (badania w sezonach: letnim, jesiennym, zimowym i wiosennym); ii) etapu technologicznego pracy osadu czynnego (etap adaptacji i stabilnej pracy); iii) fazy cyklu (mieszanie, napowietrzanie), a także określenie udziału jaki w ogólnej ilości emitowanego  $\text{CO}_2$  mają organizmy wyższe (eukariota), stanowiące składową osadu czynnego, a poprzez to pośrednie określenie udziału bakterii (prokariota).**

Osiągnięcie powyższego celu zasadniczego możliwe było poprzez zaprojektowanie i wykonanie stanowiska laboratoryjnego składającego się z 3-ech laboratoryjnych układów do modelowania procesów części biologicznej oczyszczalni ścieków – reaktorów typu SBR, pozwalających na oczyszczanie ścieków i jednocześnie umożliwiających pomiar m.in. emisji badanych gazów. Następnie, doświadczalne dobranie parametrów procesowych i walidację procesu

pod kątem skuteczności oczyszczania. Efektem tej części pracy było przyjęcie następującej procedury: i) reaktory pracowały w 12-sto godzinnym cyklu (po 2 cykle na dobę); ii) poszczególne fazy trwały: napelnianie – 10 min, mieszanie – 180 min, napowietrzanie – 420 min, sedymentacja – 90 min, dekantacja – 10 min oraz faza martwa – 10 min. W każdym sezonie wydzielono okres – etap technologiczny polegający na adaptacji (wpracowaniu osadu czynnego) oraz etap stabilnej pracy osadu. Etap stabilnej pracy następował bezpośrednio po etapie adaptacji. Oba etapy trwały po około 5-7 dni.

Wyniki analiz fizykochemicznych (zawartość zawiesiny, mętność, odczyn, potencjał redox oraz stężenie tlenu), pozwoliły w pełni potwierdzić skuteczność zastosowanej procedury oczyszczania ponieważ sprawność oczyszczania w żadnym z badanych wariantów nie była mniejsza niż 96% (przeważnie >98%). Jednocześnie zaobserwowano, że na podstawie zmian wartości potencjału redox można jednoznacznie określić koniec wypracowywania i początek stabilnej pracy reaktora.

Na podstawie analizy liczebności gatunków oraz osobników poszczególnych gatunków eukariota stwierdzono, że najliczniej reprezentowane były orzęski. Poza nimi w osadzie występowały ameby skorupkowe, ameby nagie, wiciowce, wrotki oraz nicienie. Jak można było, oczekiwać zarówno skład gatunkowy jak i liczebności osobników poszczególnych gatunków zmieniał się w zależności od etapu pracy (podczas adaptacji średnia liczebność gatunków spadała a osobników rosła, natomiast w czasie stabilnej pracy utrzymywały się na mniej więcej stałym poziomie za wyjątkiem sezonu jesiennego) oraz sezonu (na etapie adaptacji największe liczebności występowały na wiosnę, a w czasie stabilnej pracy jesienią).

Emisja metanu była najwyższa latem a najniższa zimą. Niezależnie od sezonu była zdecydowanie większa w fazie napowietrzania niż mieszania – jest to m.in. efekt lepszego wymieszania osadu przez przepuszczane powietrze i uwolnienie metanu nagromadzonego w osadzie. Nie zauważono natomiast istotnych różnic pomiędzy etapami pracy (adaptacja i stabilna praca). Podobne tendencje, choć na o wiele wyższym poziomie emisji zaobserwowano w przypadku ditlenku węgla.

Posiadając dane dotyczące emisji gazów, liczebności eukariota w osadzie oraz znając (na podstawie literatury) emisję przypadającą na jednego osobnika możliwe było określenie udziału jaki w ogólnej ilości emitowanego CO<sub>2</sub> mają organizmy wyższe (eukariota). Przy założeniu, że emisja powodowana jest tylko przez eukariota i prokariota możliwe też było określenie udziału bakterii (prokariota). Jak można było oczekiwać udział eukariota był bardzo niski i wynosił 0,0002–0,001% w stosunku do 99,9998–99,9999% udziału prokariota.

**Słowa kluczowe:** emisja gazów cieplarnianych, ditlenek węgla (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), oczyszczanie ścieków, SBR, osad czynny, eukariota

## **Abstract**

Wastewater treatment plants are one of the major dispersed sources of greenhouse gases, primarily carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>). These gases are produced with varied intensity at each stage of the purification process. The literature provides many reports of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from flow-type wastewater treatment plants; however, the number of reports of this phenomenon in sequential wastewater treatment plants, including SBR (Sequencing Batch Reactors) is relatively small.

In the SBR technology, all phases of biological wastewater treatment are carried out in a single reactor in successive steps. The issue of greenhouse gas emissions from the SBR-type wastewater treatment plants seems important, as currently there is an evident return to this technology after a period of declining interest.

The so-called activated sludge is one of the process factors in the biological wastewater treatment process. It is a complex system of animate and inanimate matter, with bacteria (prokaryotes) and higher organisms (eukaryotes) as the most important elements. Each of these groups of organisms contributes to the wastewater treatment process and in the production of carbon dioxide

Literature review indicates that, regardless of the analysed technology, nearly all investigations are focused on the description of the stage of stable operation of treatment plants. The author failed to find a publication presenting the adaptation stage (often referred to as the operating stage). This can be caused by the common assumption that an activated wastewater treatment plant works all the time in stable conditions. However, technologists' experience prompt a conclusion that malfunctions of wastewater treatment plants and, hence, the necessity of repeated initiation of the operating phase are quite common. They occur more frequently in smaller wastewater treatment installations, and SBR wastewater treatment plants are usually small. Therefore, the doctoral study was also focused on the adaptation (operating) phase.

**The main objective of the study was to estimate greenhouse gas (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) emissions during the process of municipal wastewater treatment depending on:**

- i) the composition of activated sludge and the temperature of the treatment process (investigations conducted in the summer, autumn, winter, and spring seasons),**
- ii) the technological phase of activated sludge operation (adaptation and stable work phases),**
- and iii) the phase of the cycle (mixing, aeration). Another aim was to determine the contribution of higher organisms (eukaryotes), which are components of activated sludge, to the total amount of emitted CO<sub>2</sub>, thus determining indirectly the contribution of bacteria (prokaryotes).**

Achievement of this objective was possible by designing and construction of a laboratory setup composed of 3 laboratory systems for modelling the processes of the biological part

of wastewater treatment plants, i.e. SBR-type reactors facilitating wastewater treatment and simultaneous measurements of e.g. gas emissions. Next, the process parameters were selected experimentally and the process was validated for its treatment efficiency. This part of the study yielded adoption of the following procedure: i) the reactors worked in a 12-h cycle (2 cycles per day); ii) the different phases lasted: filling – 10 min, mixing – 180 min, aeration – 420 min, sedimentation – 90 min, decantation – 10 min, and the idle phase - 10 min. In each season, a technological stage was distinguished, which consisted of an adaptation phase (an operating phase of activated sludge) and the stable work. The stable work phase followed the adaptation phase immediately. Both stages lasted ca. 5-10 days.

The results of physicochemical analyses (the suspension content, turbidity, pH, redox potential, and oxygen concentration) fully confirmed the effectiveness of the treatment procedure, as its efficiency in any of the examined variants was not lower than 96% (typically >98%). Simultaneously, it was observed that it was possible to determine clearly the end of the operating phase and the beginning of the stable work of the reactor.

The analysis of the abundance of species and individuals of eukaryotic species revealed that ciliates. The sludge also contained testate amoebae, amoebidas, flagellates, rotifers, and nematodes. As might be expected, both species composition and abundance of each species varied depending on the work phase (during the adaptation phase, the mean number of species decreased but the abundance increased; in turn, during the stable work phase, the values were at a more or less constant value with the exception of the autumn season) and on the season (the greatest abundance during the adaptation phase was noted in spring and during the stable work phase - in autumn).

The methane emission rate was the highest in summer and the lowest in winter. Irrespective of the season, it was substantially higher in the aeration than mixing phase, which is an effect of better mixing of the sludge by the applied air and release of methane accumulated in the sludge. In turn, there were no differences in the operation phases (adaptation and stable work). Similar tendencies, although at a much higher emission level, were observed for carbon dioxide.

Given the data on the gas emissions and abundance of eukaryotes in the sludge and the knowledge (from literature) of emission attributable to one individual, it was possible to determine the contribution of higher organisms (eukaryotes) to the total CO<sub>2</sub> emissions. With the assumption that emission is caused only by eukaryotes and prokaryotes, it was possible to determine the contribution of bacteria (prokaryotes). As expected, the contribution of eukaryotes was very low, i.e. 0,0002–0,001%, compared with the 99,9998–99,9999% contribution of prokaryotes.

**Keywords:** greenhouse gases emission, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), wastewater treatment, SBR, activated sludge, eukaryotes