



## Złóża biologiczne jako alternatywa oczyszczania małych ilości ścieków

*Katarzyna Ignatowicz, Monika Puchlik*  
*Politechnika Białostocka*

### 1. Wstęp

Złóża biologiczne opracowane i wdrożone już w XIX wieku, były niegdyś najpopularniejszą oraz najbardziej efektywną formą biologicznego oczyszczania. W latach 60. i 70. ubiegłego stulecia naturalne złoża straciły swoją popularność za sprawą obiegowej opinii o tym, iż nie nadają się one do usuwania ze ścieków związków biogennych. O ile w przypadku fosforu było to prawdą, o tyle w kwestii związków azotu stwierdzenie to nie było uzasadnione, gdyż w prawidłowo zaprojektowanych złożach biologicznych (w tym obrotowych) procesy nityfikacji i denitryfikacji przebiegają z powodzeniem [1, 2, 5, 7]. Dopiero wczesne lata 80. ponownie przyniosły im sławę, za sprawą wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań. Zrezygnowano z naturalnego wypełnienia, co zaowocowało większą efektywnością procesu oczyszczania. Nowe sposoby oczyszczania ścieków przy użyciu złóż biologicznych rozwiązały wiele dotychczasowych problemów z ich eksploatacją [1, 2, 18, 19]. Obecnie złoża biologiczne są bardzo często wykorzystywane do oczyszczania ścieków na terenach wiejskich dla zlew-

ni o wielkości do 1000 RLM, a w krajach Europy Zachodniej nawet do 20000 RLM (do Q około 5000 m<sup>3</sup>/d).

Prawidłowa eksploatacja nowoczesnych, nawet małych systemów oczyszczania umożliwiających usuwanie związków węgla, azotu i fosforu wymaga kontroli szeregu parametrów i wskaźników. W celu scharakteryzowania zawartości substancji organicznej w trakcie oczyszczania ścieków komunalnych, stosuje się powszechnie biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT<sub>5</sub>), chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT), ogólny węgiel organiczny (OWO). Rozbudowana kontrola jakości ścieków podczas procesu oczyszczania ma istotne znaczenie w intensyfikacji jego poszczególnych etapów. Rozszerzenie oceny procesu oczyszczania dodatkowo o pomiary frakcji ChZT pozwoli na szczegółowe określenie zawartości biodegradowalnych substancji pokarmowych. Pomoże to zintensyfikować proces oczyszczania małych ilości ścieków w już istniejących obrotowych złożach biologicznych.

## **2. Złoża biologiczne jako urządzenia do oczyszczania ścieków komunalnych**

Tarczowe złoża biologiczne (TZB) przestały być stosowane w Polsce między innymi za sprawą Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi. Dokument ten wprowadzał zaostrzone wymogi dotyczące zawartości związków biogennych w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika. Zmiany te najbardziej odbiły się na małych oczyszczalniach, w tym opartych o tarczowe złoża biologiczne (TZB). Identyczne wymogi stawiano zarówno małym jak i dużym oczyszczalniom, bez względu na obsługiwaną RLM.

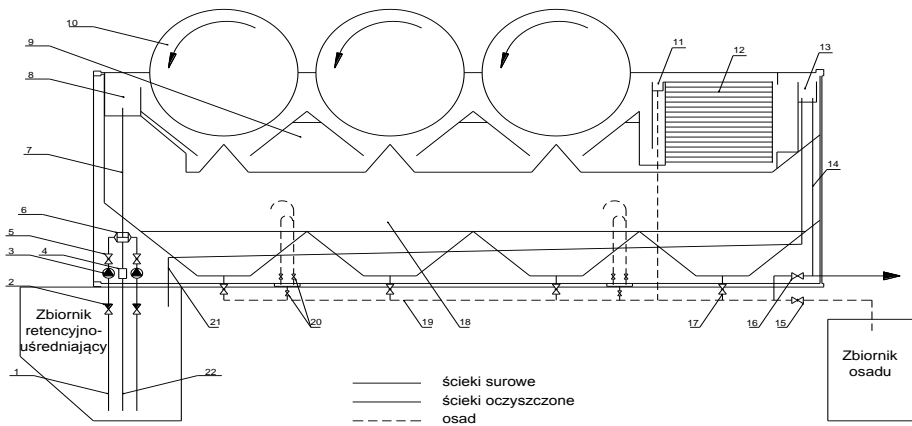
Najistotniejszą cechą małych i średnich oczyszczalni ścieków powinna być ich prostota techniczna, technologiczna oraz obsługi, którą mogłaby eksploatować mniej wykwalifikowana załoga. Należy więc stwierdzić, że oferowanie małych oczyszczalni ścieków (w tym przydomowych), bazujących na osadzie czynnym jest nieporozumieniem chociażby ze względu na złożoną eksploatację. Wychodząc naprzeciw potrzebom postanowiono zastosować rozwiązania symultaniczne lub pośrednie, oscylujące między złożami klasycznymi a osadem czynnym,

eliminując jednocześnie wady obydwu znanych i powszechnie stosowanych metod. Złóża biologiczne ze względu na ich wyjątkową prostotę konstrukcji i obsługi mogą być szczególnie przydatne do oczyszczania niedużych ilości ścieków [5]. Charakterystyczną cechą tego typu złożeń jest duża podatność na dopasowanie do zmiennych obciążeń przy zachowaniu stabilności działania. Nie wymagają one sztucznego napowietrzania, choć w uzasadnionych przypadkach może być zastosowane [1, 5, 9, 18]. Biorąc pod uwagę prosty i szybki rozruch technologiczny, oczyszczalnie z tymi złożami można z powodzeniem stosować na terenach wiejskich czy też w ośrodkach sezonowo czynnych.

Schemat kontenerowej oczyszczalni z biologicznym złożem obrotowym produkcji polskiej przedstawiono na rysunku 1. Choć już niedostępny na „rynku”, to poddawany remontom i systematycznej konserwacji, wciąż jest używany do oczyszczania niewielkich ilości ścieków. Aktualnie oferowane kontenerowe złoża BD-Polaris pozwalają na efektywne oczyszczanie ścieków pochodzących od 2 do 1000 mieszkańców. Typowa budowa (złoże tarczowe oraz wielostrumieniowy osadnik wtórny) zapewnia stabilną pracę oraz prostotę obsługi. Warunkiem jest prawidłowy dobór typu oczyszczalni do indywidualnych potrzeb eksploatacyjnych. Gwarantowane przez producenta parametry ścieków oczyszczonych przedstawiono w tabeli 1.

Obecne systemy oczyszczania ścieków muszą spełniać coraz ostrzejsze wymogi jakościowe. Szczególnie istotne jest usuwanie azotu i fosforu. W wielu oczyszczalniach ścieków, których głównym elementem układu technologicznego są nadal złoża biologiczne utrudnione jest stosowanie ich jako jednego z elementów zintegrowanych układów biologicznego usuwania związków organicznych, azotu i fosforu. Dlatego przy modernizacji i rozbudowie oczyszczalni ścieków, istniejące i sprawne złoża biologiczne są najczęściej likwidowane. W ich miejsce buduje się nowe obiekty charakteryzujące się dużą złożonością, a koszty ich budowy i eksploatacji są wysokie. Obecnie rozwój technologii ma na celu m.in. obniżanie tych kosztów. We Wrocławiu [19] zaproponowano technologiczny układ biologicznego usuwania fosforu w warunkach niedotlenionych (defosfatacją anoksydacyjną), które stanowią atrakcyjny ekonomicznie i wysokoefektywny sposób oczyszczania ścieków. Przedstawiony został oryginalny sposób oczyszczania ścieków pozwalający na wykorzystanie likwidowanych przy modernizacji oczyszczalni ścieków

złóż biologicznych. Zasadniczymi elementami układu oznaczonego jako SBR-ZN są: sekwencyjny reaktor wsadowy, w którym następuje usuwanie związków organicznych, fosforu i azotanów, oraz złożo biologiczne, w którym zachodzi nityfikacja. Stwierdzono, że układ taki zapewnia wysokoefektywne oczyszczanie ścieków przy obniżonych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Na obniżenie kosztów inwestycyjnych wpływa wykorzystanie istniejących złóż biologicznych, ale także znacząco mniejsza, w porównaniu z rozwiązaniami tradycyjnymi, pojemność zbiorników ścieków i mniejsze zapotrzebowanie na tlen (tańsze systemy napowietrzania).



**Rys. 1.** Schemat technologiczny oczyszczalni typu KOS-2

**Fig. 1.** Technological scheme of wastewater treatment plant of type KOS-2

1 – przewód ssący, 2 – zawór zwrotny, 3 – pompa, 4 – kryza napowietrzająca, 5 – zasuwa, 6 – rozdzielacz, 7 – przewód dopływowy, 8 – koryto dopływowe, 9 – komora przepływowa, 10 – tarczowe złożo biologiczne, 11 – koryto pośrednie, 12 – poziomy osadnik wielostrumieniowy, 13 – koryto odpływowe, 14 – przewód odpływowy, 15 – przepustnica spustowa, 16 – zawór spustowy, 17 – przewód recyrkulacji, 18 – komora stabilizacji osadu, 19 – kolektor spustu osadu, 20 – zawory pobiercze, 21 – przewód recyrkulacji ścieków oczyszczonych, 22 – przewód recyrkulacji ścieków surowych

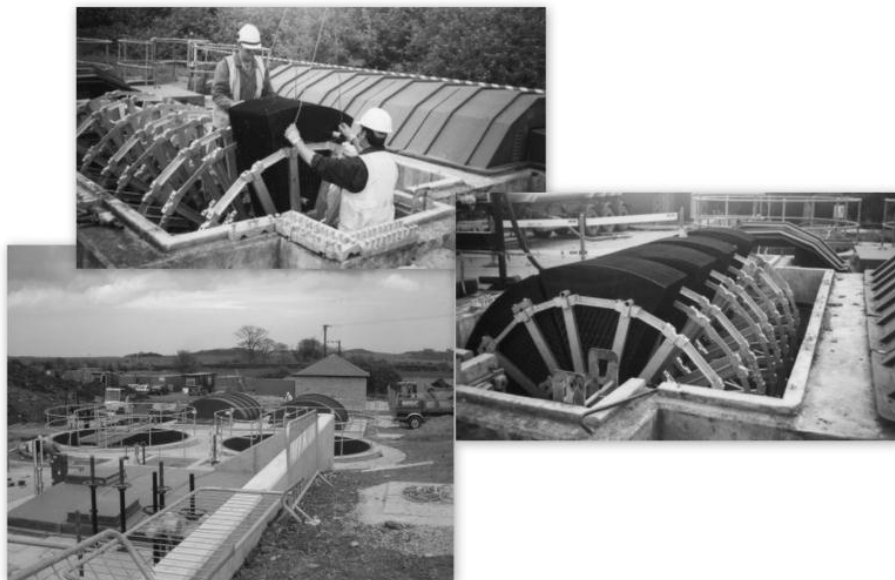
**Tabela 1.** Efekt oczyszczania ścieków na BD-POLARIS**Table 1.** The efficiency of wastewater treatment on BD-POLARIS

Parametry ścieków		Uzyskana wartość w ściekach oczyszczonych
Zawiesina	g/m <sup>3</sup>	<15
BZT <sub>5</sub>	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	<20
ChZT	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	<120
Azot ogólny	g/m <sup>3</sup>	<30
Fosfor ogólny	g/m <sup>3</sup>	<5

Złóża tarczowe cieszą się niesłabnącą popularnością w Anglii, Szwajcarii czy Niemczech. Anglicy w swoich konstrukcjach bazują raczej na sprawdzonych, typowych rozwiązaniach dla tarczowych złóż biologicznych, starając się zintensyfikować proces oczyszczania. Do czołowych firm rozwijających ideę oczyszczania ścieków w oparciu o TZB (ang.: *Rotating Biological Contactor* RBC) należą KEE oraz OVIVO (rys. 2). W swoich konstrukcjach firma KEE przewiduje dodatkowy stopień chemicznego usuwania fosforu, oparty na procesie koagulacji. Celem takiego rozwiązania jest limitowanie zawartości związków biogenych w oczyszczonych ściekach, jeżeli ilość fosforu i azotu na odpływie musi być dostosowana do określonych norm. Zdjęcia zrealizowanych inwestycji opartych o systemy firmy KEE przedstawiono na rysunkach 3÷5, zaś podstawowe parametry oczyszczonych ścieków uzyskane w poszczególnych oczyszczalniach zawiera tabela 2.

**Tabela 2.** Parametry ścieków oczyszczonych na wybranych oczyszczalniach opartych na systemach firmy KEE**Table 2.** The sewage effluent parameters in selected KEE's RBC WWTP

Lp.	Lokalizacja	Typ	Parametry		
			BZT <sub>5</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	Zawiesina ogólna [mg/dm <sup>3</sup> ]	N-NH <sub>4</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]
1	Winchester, UK	DN16 RBC	<20	<30	<10
2	Kinallen, N.I.	DN19S RBC	<10	<20	<2,6
3	Corpach, UK	Multiple RBC	<20	<30	-



**Rys. 2.** Oczyszczalnia ścieków oparta o obrotowe złożo biologiczne  
**Fig. 2.** The WWTP with Rotating Biological Contactor



**Rys. 3.** Oczyszczalnia typu DN16 RBC – Winchester, Anglia  
**Fig. 3.** The wastewater treatment plant DN16 RBC – Winchester, United Kingdom



**Rys. 4.** Oczyszczalnia typu DN19S RBC – Kinallen, północna Irlandia  
**Fig. 4.** The wastewater treatment plant DN19S RBC – Kinallen, Northern Ireland



**Rys. 5.** Oczyszczalnia z TZB – Corpach, Anglia  
**Fig. 5.** The wastewater treatment plant RBC – Corpach, United Kingdom

### 3. Charakterystyka frakcji ChZT w ściekach oczyszczanych na złożach biologicznych

Dokładniejsza charakterystyka substancji organicznych w ściekach może zostać osiągnięta przez określenie frakcji ChZT. Wśród nich wyróżnia się substraty łatwo biodegradowalne oraz te, które hydrolizują powoli. Pozostała część materii organicznej jest nie biodegradowalna lub wolno biodegradowalna. ChZT ścieków z podziałem na frakcje można obliczać w sposób uproszczony wg zależności [9]:

$$\text{ChZT} = S_S + S_I + X_S + X_I$$

gdzie:

$S_S$  – ChZT rozpuszczonych związków organicznych biologicznie łatwo rozkładalnych (COD reading biodegradable substratem),

$S_I$  – ChZT rozpuszczonych związków biologicznie nierozkładalnych (COD soluble inert organics),

$X_S$  – ChZT zawiesin organicznych wolno rozkładalnych (COD slowly biodegradable substrates),

$X_I$  – ChZT zawiesin organicznych biologicznie nierozkładalnych (COD inert particulate organics).

W przypadku złóż biologicznych należy dokonać zróżnicowania pomiędzy dwoma rodzajami substratów: dyfundujących oraz nie dyfundujących. Przez pierwsze rozumie się takie, które mogą być przenoszone w głąb błony biologicznej drogą dyfuzji molekularnej i powszechnie nazywane są rozpuszczonymi. Natomiast substraty nie dyfundujące utożsamiane są z zawiesinami zatrzymanymi na mikrosączku o porach  $1\div 1,6\ \mu\text{m}$  [9]. Dominująca część substancji w ściekach komunalnych należy do frakcji przechodzącej przez mikrofiltr, chociaż nie jest ona rozpuszczona w rozumieniu chemicznym.

Różnorodny skład ścieków ma istotny wpływ na zawartość poszczególnych frakcji ChZT. Różni autorzy podają, że udział procentowy w przypadku pierwszego podziału zawiesinowej frakcji obecnej w całkowitym ChZT ścieków bytowo-gospodarczych, wynosi średnio  $40\div 60\%$ , a rozpuszczonej  $20\div 60\%$  [3, 6, 8-10, 12, 14, 16, 21]. Również związki organiczne, biodegradowalne stanowią średnio  $60\div 80\%$  wszystkich substancji organicznych w ściekach, a niepodatne na biologiczny



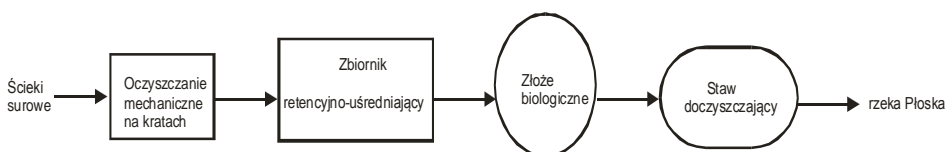
rozkład – około 20÷40%. Hipotetycznie zakłada się, że frakcja rozpuszczona łatwo rozkładalna  $S_S$  (22÷65%) składa się z substancji, które mogą być bezpośrednio przyswajalne i metabolizowane przez mikroorganizmy dla potrzeb syntezy i pozyskiwania energii drogą dyfuzji molekularnej. Zachodzi to jednak po uprzedniej hydrolizie. Przyjmuje się, że frakcja wolno rozkładalna  $X_S$  (5÷54%), składa się z materiału cząsteczkowego (koloidalnego) i złożonych cząsteczek organicznych, które wymagają rozbicia (hydrolizy) przed wykorzystaniem przez enzymy zewnątrzkomórkowe. Podobnie jak frakcja rozpuszczona  $S_S$ , również frakcja w zawieszynie biodegradowalna  $X_S$  ma duży wpływ na dynamikę złóż biologicznych. Uważa się, że materia nierozkładalna, rozpuszczona jak i obecna w zawieszynie, nie ulega zmianom w biologicznym tlenowym oczyszczaniu ścieków. Frakcja w zawieszynie nie ulegająca biodegradacji  $X_I$  (3÷11%) może być usuwana na błonie biologicznej na drodze adsorpcji. Odbywa się to drogą dyfuzji ze ścieków do powierzchni błony, osadzania lub przyczepiania do chropowatej powierzchni błony [4, 9]. W związku z ograniczoną możliwością adsorpcyjną błony, która nie ma zdolności selektywnego wiązania substancji nierozkładalnych, ograniczona jest eliminacja tego rodzaju zanieczyszczeń. W procesie złóż biologicznych, frakcja nierozkładalna rozpuszczona  $S_I$  (9÷25%) opuszcza system w odpływie z osadnika wtórnego. Znajomość udziału poszczególnych frakcji ChZT pozwala na dokładniejszą ocenę podatności ścieków na oczyszczanie biologiczne niż stosowany iloraz ChZT/BZT<sub>5</sub>. Zwłaszcza prowadzenie efektywnej nityfikacji, denityfikacji i defosfatacji wymaga szczególnej uwagi, w określaniu ilości substancji organicznej łatwo biodegradowalnej. Informacje te, są niezbędne do wykorzystania modeli matematycznych i programów symulacyjnych, opisujących biologiczne oczyszczanie ścieków [6, 9, 15].

#### 4. Materiał i metody badań

Celem pracy było wyznaczenie poszczególnych frakcji ChZT i ich zmian w ściekach, po kolejnych etapach oczyszczania oraz zaproponowanie intensyfikacji procesów zachodzących w oczyszczalni ścieków.

Badania przeprowadzono w 2010 roku w oczyszczalni kontenerowej typu KOS-2, zainstalowanej przy Domu Pomocy Społecznej (DPS) we wsi Bobrowa w województwie podlaskim (rys. 6). Średni dobowy

dopływ ścieków surowych do oczyszczalni w okresie pomiarów wynosił od 6,5 do 10,0 m<sup>3</sup>/d. Oczyszczalnia tego typu standardowo wyposażona jest w trzostopniowe złoże biologiczne. W badanym obiekcie pracowały dwa stopnie oczyszczania, co spowodowane było tym, że obsługuje ona zaledwie 38 mieszkańców i pracuje w warunkach niedociążonych. Oczyszczalnia wyposażona jest w zbiornik retencyjno-uśredniający oraz staw biologiczny typu tlenowego o objętości około 240 m<sup>3</sup>. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest rzeka Płoska.



**Rys. 6.** Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Bobrowej

**Fig. 6.** Flow diagram of Bobrowa WWTP

W celu określenia składu oczyszczanych ścieków pobierano każdorazowo próbki zgodnie z przepływem wzdłuż przekroju oczyszczalni:

1. ścieki surowe ze zbiornika uśredniającego po mechanicznym oczyszczeniu,
2. ścieki po złożu biologicznym,
3. ścieki oczyszczone po stawie biologicznym.

W celu określenia składu oczyszczanych ścieków w próbkach ścieków surowych i sączonych oznaczono zgodnie z obowiązującą metodyką: ChZT, BZT<sub>5</sub>, OWO, azot amonowy (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), azot azotanowy (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), azot Kjeldahla (TKN), fosforany (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), fosfor ogólny (P<sub>og</sub>) oraz odczyn. Metodyka określania frakcji ChZT została opracowana na podstawie wytycznych ATV-131 [20].

## 5. Wyniki badań

Wyniki badań (będące średnią z 6 pomiarów) zestawiono w tabeli 3. Iloraz ChZT do BZT<sub>5</sub> dla ścieków surowych jest mniejszy od 2, co wskazuje, iż mamy do czynienia ze ściekami łatwo biodegradowalnymi. Obciążenie powierzchni złoża ładunkiem BZT<sub>5</sub> wynosi około 4,76 g BZT<sub>5</sub>/(m<sup>2</sup> · d) i spełnia wymogi dotyczące zasad wymiarowania

złóż tarczowych wg Heidricha [7]. Największe obniżenie obu parametrów zaobserwowano podczas przepływu ścieków przez tarczowe złoża biologiczne. Efekt oczyszczania na tym urządzeniu dla BZT<sub>5</sub> wyniósł 95,2%, natomiast dla ChZT 90,1%. Przepływ przez staw doczyszczający, spowodował dalsze zmniejszenie wartości BZT<sub>5</sub> oraz ChZT, co zaowocowało całkowitym efektem oczyszczania dla BZT<sub>5</sub> na poziomie 99,2%, natomiast dla ChZT – 94,5%. Efekt oczyszczania ścieków przez tarczowe złoża biologiczne dla OWO (przy wartości początkowej 247,14 mg C/dm<sup>3</sup>) wyniósł 95,1% natomiast, dalsze ich doczyszczenie w stawie spowodowało kolejne obniżenie parametru OWO, do 2,98 mg C/dm<sup>3</sup> a co za tym idzie podwyższenie całkowitego efektu oczyszczania dla ogólnego węgla organicznego do 98,8%. Wysoki procentowy efekt oczyszczania dla BZT<sub>5</sub>, jak i ChZT oraz OWO świadczy o prawidłowym przebiegu oczyszczania ścieków z zanieczyszczeń organicznych, a osiągnięte stężenia na odpływie do odbiornika odpowiadają wymogom stawianym przez Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku (ze zmianami w 2009 roku) w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Ścieki poddawane oczyszczaniu biologicznemu mają pH = 6,5÷8, dlatego amoniak praktycznie występuje w nich w postaci zjonizowanej NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ścieki komunalne zawierają azot organiczny nierozkładalny biologicznie w ilości około 2 mg N/m<sup>3</sup>. Pozostaje on w takiej formie i ilości w ściekach oczyszczonych [11]. Identyczną ilość azotu organicznego zaobserwowano w badanych próbkach, na podstawie różnic między stężeniem TKN a N-NH<sub>4</sub>. Organiczne związki azotu ulegają procesowi amonifikacji już podczas dopływu na oczyszczalnię. W efekcie, ilość azotu amonowego w pierwszej badanej próbce wyniosła 21,8 mg N/dm<sup>3</sup>, natomiast azotu Kjeldahla 26,3 mg N/dm<sup>3</sup>. Sprzyjające warunki dla procesu nityfikacji (dobre natlenienie ścieków, pH zbliżone do 7), podczas przepływu ścieków przez tarczowe złoża biologiczne, przyczyniły się do usunięcia azotu amonowego w 93,6%. Mikroorganizmy mogą asymilować azot jedynie w formie nieorganicznej, a łatwo przyswajalną dla nich formą jest azot amonowy. To również miało wpływ na stężenie NH<sub>4</sub><sup>+</sup> w ściekach odpływających do odbiornika, które ostatecznie wyniosło 1,4 mg N/dm<sup>3</sup>. Stężenie azotu Kjeldahla w ściekach oczyszczonych równe 3,4 mg N/dm<sup>3</sup>, wskazuje na obecność niewielkiej ilości azotu w formie

organicznej oraz azotu amonowego, który nie uległ nityfikacji. O aktywności bakterii *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* świadczy nie tylko ograniczenie ilości azotu amonowego w odpływających ściekach, ale również wzrost stężenia azotanów w drugim punkcie pomiarowym (po złożach). Porównując uzyskane wartości oraz biorąc pod uwagę fakt, iż bakterie heterotroficzne w walce o substraty wypierają z błony biologicznej bakterie nityfikacyjne, można założyć, że znaczna część ładunku organicznego została usunięta już na pierwszym stopniu złoża tarczowego, natomiast proces nityfikacji realizowany był głównie na stopniu trzecim (drugi stopień nieaktywny). Jednak aby dokładnie to stwierdzić, należałoby w przyszłości po pierwszym stopniu złoża pobrać dodatkową próbkę ścieków do analizy. Podczas przepływu ścieków przez staw doczyszczający doszło do usunięcia azotanów z 28,2 do 4,4 mgN/dm<sup>3</sup> (84,4%). Potwierdzeniem przebiegu denityfikacji jest obniżenie wartości ChZT w stawie doczyszczającym oraz podwyższenie odczynu ścieków, wywołane rozkładem organicznych związków węgla przez bakterie oraz uwolnieniem jonów wodorotlenowych [9, 11].

Niewielka ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w ciągu doby, powoduje znaczne stężenia niektórych zanieczyszczeń. Widoczne to jest w przypadku fosforu ogólnego oraz fosforanów. Fosforany w ściekach biorą się głównie z syntetycznych środków piorących, detergentów, a ich ilość wpływa na zawartość fosforu ogólnego. W badanych ściekach surowych zawartość fosforanów wyniosła aż 68,3 mg P/dm<sup>3</sup>, natomiast fosforu ogólnego 72 mg P/dm<sup>3</sup>. Podczas przepływu ścieków przez tarczowe złożo biologiczne stężenie fosforanów spadło do 29 mg P/dm<sup>3</sup>, a całkowity efekt usuwania fosforanów ze ścieków osiągnął 77,5%. Proces usuwania fosforu ogólnego dał zbliżony wynik, w postaci zmniejszenia jego ilości o 74,4%, do stężenia 18,4 mg P/dm<sup>3</sup>. Część związków fosforu została zasymilowana przez bakterie oraz glony, które zasiedlają staw doczyszczający. Mimo znacznego usunięcia związków fosforu, ich stężenie w ściekach odpływających do odbiornika wyraźnie przekracza wartości określone w rozporządzeniu. Przyczyną takiego stanu mógł być fakt, iż w ściekach część związków fosforu występowała w formie niedostępnej dla mikroorganizmów. W celu polepszenia efektu ich usunięcia, należałoby zastosować chemiczne strącanie w procesie koagulacji analogicznie jak proponuje firma KEE.

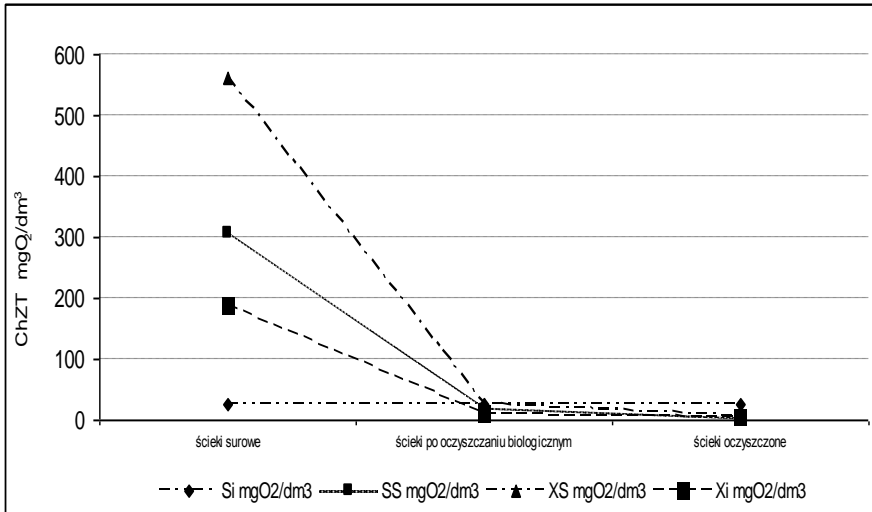
Procentowy udział frakcji ChZT zgodnie z podaną metodyką w pobranych próbkach ścieków, obliczony w stosunku do ChZT całkowitego przedstawiono na rys. 7÷8. Średnia wartość ChZT ścieków dopływających do oczyszczalni z w całym okresie badawczym wynosiła  $669 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ , a w ściekach oczyszczonych –  $37 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  (obniżenie o 94,47%). Wartości frakcji ChZT charakteryzujące ilość substancji organicznych rozpuszczonych w ściekach surowych wynosiły –  $S_I$  (nierozkładalne) –  $26,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ ,  $S_S$  (łatwo rozkładalne) –  $307,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ , natomiast frakcji w zawieszynie:  $X_I$  (nierozkładalne) –  $186,6 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ ,  $X_S$  (wolno rozkładalne) –  $560,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Ilości te stanowią odpowiednio dla frakcji zawiesziny ( $X_S, X_I$ ) 69,2%, co jest wartością wyższą niż podaje Bogdańska i Sadecka (57%) [3, 16]. Henze (65%) [8], grupa IWA (25%) [10]. Natomiast związki rozpuszczone i koloidalne w analizowanych ściekach stanowiły, ( $SS, S_I$ ) 30,8%, co jest wartością znacznie niższą niż podaje Sadecka (43%) [16] oraz grupa IWA (70%) [10], zaś nieco wyższą od przytaczanej przez Henze [8] (35%).

ChZT całkowite ścieków oczyszczonych wynosiło  $37,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Wartość frakcji ChZT, charakteryzujących ilość substancji organicznych rozpuszczonych w ściekach oczyszczonych wynosiły kolejno –  $S_I$  (nierozkładalne) –  $26,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ ,  $S_S$  (łatwo rozkładalne) – poniżej  $1,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ , natomiast frakcji w zawieszynie –  $X_I$  (nierozkładalne) –  $2,2 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ ,  $X_S$  (wolno rozkładalne) –  $6,7 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Z porównania zawartości procentowej poszczególnych frakcji wynika, ( $S_I = 74,5\%$ ,  $S_S < 1,0\%$ ) że podczas procesu oczyszczania całkowicie uległy zmianie proporcje związków charakteryzowanych jako  $S_I, S_S, X_I, X_S$ . Można też zauważyć, że najwyższy był udział frakcji rozpuszczonej nierozkładalnej przez mikroorganizmy, którą można usunąć tylko za pomocą strącania chemicznego. Natomiast związki z frakcji zawieszonyj nierozkładalnej (nie dyfundujące) uległy adsorpcji na błonie biologicznej oraz na mikroorganizmach i osadzie dennym w stawie biologicznym.

**Tabela 3.** Parametry fizyczno-chemiczne ścieków surowych i oczyszczonych w oczyszczalni ze złożem biologicznym

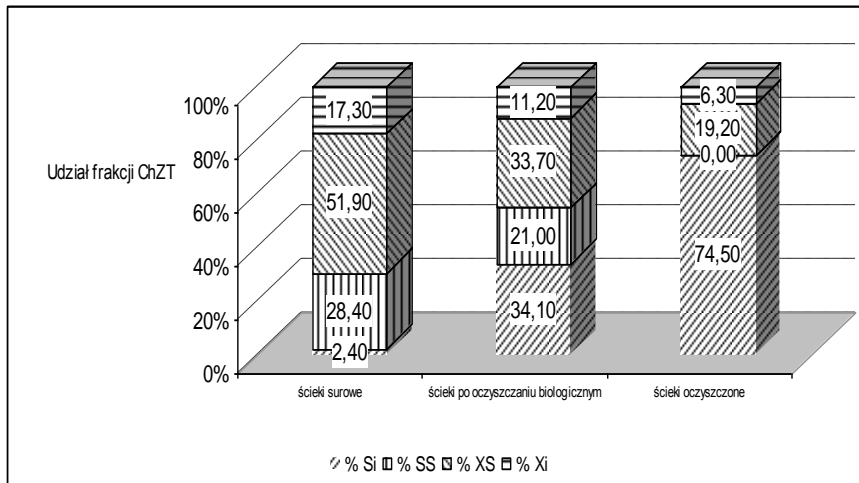
**Table 3.** Physico-chemical parameters of raw sewage and sewage effluent in WWTP operating with RBC

Parametry fizyczno-chemiczne									
	ChZT	ChZT'	BZT <sub>5</sub>	OWO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TKN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P <sub>og</sub>
	[mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]			[mg C/dm <sup>3</sup> ]	[mg N/dm <sup>3</sup> ]	[mg N/dm <sup>3</sup> ]	[mg N/dm <sup>3</sup> ]	[mg P/dm <sup>3</sup> ]	[mg P/dm <sup>3</sup> ]
ścieki surowe	669,0	333,0	520,0	247,1	21,8	4,1	26,3	68,3	72,0
ścieki po złożu biologicznym	66,0	42,0	25,0	12,1	1,4	28,2	3,4	29,0	31,0
ścieki oczyszczone po stawie biologicznym	37,0	26,0	4,0	2,9	1,4	4,4	3,4	15,4	18,4



**Rys. 7.** Zmiany wartości frakcji ChZT (S1, X1, Ss, Xs) w ściekach bytowo-gospodarczych podczas oczyszczania na złożach biologicznych

**Fig. 7.** Changes of COD fractions in municipal wastewater during RBC treatment



**Rys. 8.** Procentowy udział frakcji ChZT w ściekach oczyszczanych na złożach biologicznych

**Fig. 8.** Percentage share of COD fractions during RBC treatment

**Tabela 4.** Udział poszczególnych frakcji w całkowitym stężeniu ChZT ścieków surowych, określony w pomiarach w porównaniu z danymi literaturowymi [6, 8, 10÷12, 14, 16, 21]

**Table 4.** Share of fractions in the total COD concentration in raw sewage, as determined in measurements and compared with the references data [6, 8, 10÷12, 14, 16, 21]

Fracje	Badania własne	Myszograj Sadecka	Kappeler Gujer	Ekama	Grupa IWA	Kalinowska	Henze
	%						
S <sub>1</sub>	2,4	22,6	9,0	20,0÷25,0	25,0	12,5÷25,0	13,0
S <sub>s</sub>	28,4	56,0	58,0	60,0÷65,0	45,0	50,0	22,0
X <sub>s</sub>	51,9	18,7	22,0	5,0÷7,0	15,0	15,0	54,0
X <sub>1</sub>	17,3	2,7	11,0	8,0÷10,0	10,0	8,0÷10,0	11,0

Porównanie procentowego udziału poszczególnych frakcji ChZT w ściekach surowych określonych przez Myszograj i Sadecką [14, 16], Kappelera'a i Gujer'a [6] Grupę IWA [10] oraz metodami uproszczonymi przez Kalinowską [11] i Ekama [21] przedstawiono w tabeli 4. Na podstawie danych badane ścieki surowe pochodzące z Domu Pomocy Społecznej odbiegają składem frakcji od badanych przez innych autorów. Potwierdza to fakt, iż małe ilości ścieków są zupełnie odmienne składem od ścieków komunalnych z dużych jednostek.

Jak podaje Sadecka i Myszograj [13, 17] w przypadku ścieków z terenów wiejskich należy się liczyć z innymi niż podaje literatura stężeniami zanieczyszczeń szczególnie w odniesieniu do zawartości związków biogenych. W przypadku analizy składu ścieków, należy pamiętać, że ulegają one ciągłym zmianom, co spowodowane jest dużą nierównomiernością wynikającą z trybu pracy czy też przyzwyczajen ludzi korzystających z danej oczyszczalni.



## 6. Wnioski

Analiza wykonanych pomiarów oraz obliczeń pozwala na następujące stwierdzenia:

1. W ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków przy Domu Pomocy społecznej w Bobrowej ponad 80% ChZT całkowitego stanowiły frakcje biologicznie rozkładalne związane w zawiesinie  $X_S$  oraz rozpuszczone  $S_S$ .
2. Obok przemian biochemicznych na zmiany udziałów frakcji ChZT znacząco wpłynął proces wstępnego mechanicznego oczyszczania ścieków.
3. Badana oczyszczalnia charakteryzuje się wysoką efektywnością w zakresie utleniania zanieczyszczeń organicznych zawartych w ściekach. Świadczy o tym skuteczność usuwania  $BZT_5$  ChZT oraz OWO.
4. Obciążenie złoża ładunkiem organicznym równym  $4,76 \text{ g BZT}_5/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , pozwoliło na skuteczny przebieg procesu nityfikacji. Świadczy o tym wzrost stężenia azotanów(V) oraz znaczne zmniejszenie stężenia azotu amonowego i Kjeldahla w ściekach po złożu biologicznym.
5. Zmniejszenie stężenia fosforanów, a tym samym fosforu ogólnego, osiągnięto dzięki procesowi defosfatacji, który prowadzony był przez mikroorganizmy zdolne do gromadzenia związków fosforu w warunkach tlenowych. Proces ubytku fosforu obserwowany był zarówno podczas przepływu ścieków przez TZB, jak i staw doczyszczający – co świadczy o zachowaniu warunków tlenowych.
6. Duża efektywność oczyszczania ścieków w oczyszczalni stanowiącej obiekt badań pokazuje, że tarczowe złoża biologiczne mogą nadal odgrywać ważną rolę w oczyszczaniu małych ilości ścieków, a otrzymany efekt zależy głównie od zastosowanego układu technologicznego oraz prawidłowości w doborze parametrów.

### Podziękowania

*Praca powstała w ramach realizacji pracy badawczej N N304 274840  
w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska  
Politechniki Białostockiej.*

## Literatura

1. **Al-Ahmady, Kossay K.:** *Effect of Organic Loading on Rotating Biological Contactor Efficiency*. Int International Journal of Environmental Research and Public Health, nr 3, str.: 469÷477. 2005.
2. **Ayoub G.M., Saikalyb P.:** *The combined effect of step-feed and recycling on RBC performance*. Water Research 38. 3009÷3016. 2004.
3. **Bogdańska D.:** *Elementy składowe COD w ściekach komunalnych na przykładzie miasta Zielona Góra*. Praca magisterska, Uniwersytet Zielonogórski 2002.
4. **Bouwer E.J.:** *Theoretical Investigation of Particle Deposition in Biofilm Systems*. Water Research vol. 21, 1489÷1498. 1987.
5. **Dymaczewski Z., Oleszkiewicz J., Sozański M.:** *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań 1997.
6. **Gujer W., Kappeler J.:** *Modeling Population Dynamics in Activated Sludge Systems*. Water Sci. Techn., 25, 93÷103. 1992.
7. **Heidrich Z.:** *Złoża biologiczne – zasady wymiarowania*. Przegląd komunalny, nr 7, str.: 41÷42. 2003.
8. **Henze M., Gujer M., Mino W., van Loosdrecht M. C.M.:** *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d, and ASM3*. IWA. Scientific and Technical Report n 9. IWA Publishing, London, UK 2000.
9. **Henze M., Harremoës P., Jansen J., Arvin E.:** *Oczyszczanie ścieków. Procesy biologiczne i chemiczne*. Wyd. Politechniki Śląskiej. Kielce 2000.
10. IWA Scientific and Technical Report no 9. IWA Publishing. London UK
11. **Kalinowska E., Bonar G., Duma J.:** *Zasady i praktyka oczyszczania ścieków*. Wyd. LEMTECH Konsulting, Kraków 2005.
12. **Kapper J., Gujer W.:** *Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and Characterization of wastewater for activated sludge modeling*. Wat. Sci. Tech. Vol. 25, No 6, pp. 125÷139, 1992.
13. **Myszograj S.:** *Zmiany ilościowe i jakościowe ścieków dopływających do małych oczyszczalni*. Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych, Zielona Góra, Tom2/2008.
14. **Myszograj S.:** *Zmiany składu ścieków w czasie transportu siecią kanalizacyjną*. Gaz, Woda, Technika Sanitarna. 2006.
15. **Palma L. Di, Merli C., Paris M., Petrucci E.:** *A steady-state model for the evaluation of disk rotational speed influence on RBC kinetic: model presentation*. Bioresource Technology 86 193÷200. 2003.
16. **Sadecka Z., Myszograj S.:** *Frakcje COD w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w Sulechowie*. Uniwersytet Zielonogórski.

17. **Sadecka Z.:** *Oczyszczanie ścieków z małych miejscowości*. Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych, Zielona Góra, Tom 2/2008.
18. **Sirianuntapiboon S., Chuamkaew C.:** *Packed cage rotating biological contactor system for treatment of cyanide wastewater*. *Bioresource Technology* 98. 266÷272. 2007.
19. **Sosnowska B.:** □ *Kinetyka i efektywność biologicznego oczyszczania ścieków w beztlenowo-anoksyjnym reaktorze SBR z wydzieloną nitryfikacją na złożu biologicznym*. Politechnika Wrocławska. (rozprawa doktorska). Wrocław 2003.
20. Wytyczne ATV-DVWK-A 131 Wytyczne ATV-DVWK-A 131 P.: Wymiarowanie jednostopniowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 05.2000.
21. **Wentzel M.C., Muller A., Loewenthal R.E., Ekama G.A.:** *Heterotroph anoxic yield in anoxic aerobic activated sludge systems treating municipal wastewater*. *Water Research* 37, 2435÷2441, 2003.

## Rotary Biological Contactor as Alternative for Small Amount of Wastewater Treatment

### Abstract

The aim of the research was to find out COD fractions in raw wastewater and during biological treatment. Intensification of wastewater treatment processes was one of the results of this project. An experiment was carried out in WWTP operating with Rotary Biological Contactor to treat wastewater from Social Assistance House located in Bobrowa.

The average daily inflow of raw sewage to treatment plant during the measurements time ranged from 6.5 to 10.0 m<sup>3</sup>/d. Treatment plant of this type as standard equipped with a three-stage biological bed. In the investigated object only two steps of treatment were working, which was caused by the fact that it works only for 38 people and operates in underload conditions. Wastewater treatment tank is equipped with a retention-averaging tank and biological pond of oxygen type with a volume of about 240 m<sup>3</sup>. Receiver of treated wastewater is Płoska river.

To find out the characteristic of treated wastewater such parameters as: COD, BOD<sub>5</sub>, TOC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, TKN, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, P<sub>total</sub> were determined in samples with and without filtration due to standing regulations. COD fractions were determined according to ATV-131 standards.

It was found that above 80% of total COD was represented by biological resoluble fractions in suspended solids  $X_s$  and dissolved  $S_s$ . High efficiency of analyzed wastewater treatment plant confirmed that RBC contactors can be successfully applied for small amount of wastewater treatment. Final results mainly depend on technological scheme and proper parameters selection.

In addition to biochemical changes the process of preliminary mechanical treatment of wastewater significantly influenced the change in fractions of COD.

The studied wastewater treatment plant is highly effective in range of oxidation of organic pollutants in wastewater. Efficiency of COD,  $BOD_5$  and TOC removal proves that fact.

Reduction of phosphate concentration, and thus total phosphorus, was achieved through dephosphatation process, which was led by micro-organisms able to accumulate phosphorus under aerobic conditions. The process of phosphorus loss was observed during both wastewater flow through RBC and pond – which proves keeping of aerobic conditions.