

Joanna RYSCHKA\*

## **BADANIE EFEKTYWNOŚCI PROCESU OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW W ZŁOŻU TARCZOWYM NAPĘDZANYM POWIETRZEM**

W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na laboratoryjnym modelu złoża tarczowego napędzanego powietrzem, pracującego w technologii hybrydowej. W celu sprawdzenia efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT, przeprowadzono sześć serii pomiarowych dla urządzenia pracującego w technologii hybrydowej oraz dla porównania w technologii osadu czynnego. Wyniki badań pokazały, że średnia efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT w przypadku technologii hybrydowej wynosiła 85%, podczas gdy w przypadku zastosowania technologii osadu czynnego średnia efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 71%. W pracy przedstawiono również propozycję podziału obrotowych złóż biologicznych. Jako kryteria podziału przyjęto: rodzaj wypełnienia, głębokość zanurzenia wypełnienia, napęd złoża oraz stosowaną technologię.

### 1. WSTĘP

Obrotowe złoża biologiczne są znane pod różnymi nazwami; jako złoża tarczowe, złoża walcowe czy też obrotowe biologiczne filtry. Począwszy od pierwszego opatentowanego obrotowego złoża biologicznego, które składało się z obrotowego wydrążonego cylindra wykonanego z drewnianych listew, następowały różne modyfikacje w konstrukcji obrotowych złóż biologicznych. Najczęściej spotykanym obrotowym złożem biologicznym jest złożo tarczowe, które zbudowane jest z tarcz osadzonych na poziomym wale. Wał z tarczami podczas obrotu zanurza się w zbiorniku wypełnionym ściekami [17].

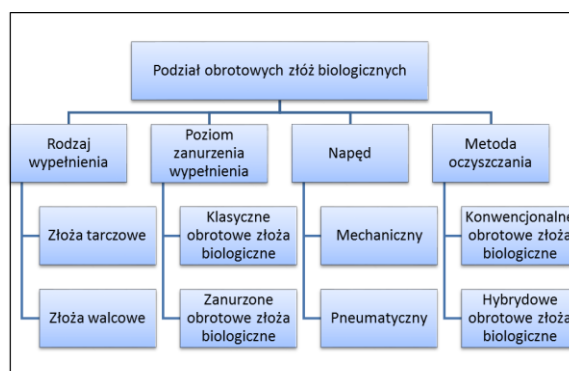
---

\* Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, ul. St. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole, j.ryschka@doktorant.po.edu.pl.

Technologia oczyszczania ścieków w obrotowych złożach biologicznych polega na tym, że osadzone na wale wypełnienie złoża podczas obrotów zanurzone jest w ściekach. Wypełnienie jest podłożem dla przyrostu błony biologicznej. W momencie zanurzenia oraz w czasie częściowego wynurzenia wypełnienia złoża, zachodzi transport substratu organicznego zawartego w ściekach do błony biologicznej. Podczas wynurzenia błona biologiczna osiadła na wypełnieniu zostaje natleniona w wyniku kontaktu z powietrzem atmosferycznym. Tlen dostarczany jest do ścieków podczas mieszania za sprawą obrotów wału oraz w wyniku wnikania tlenu z powierzchni błony biologicznej. Za sprawą sił ścinających fragmenty błony biologicznej odrywają się od powierzchni wypełnienia, a następnie usuwane są w osadniku wtórnym lub w filtrze. Obroty wału są wywołane najczęściej za pomocą napędu mechanicznego, ale mogą być również wywołane za pomocą sprężonego powietrza. Obrotowe złoża biologiczne umieszczane są w budynkach lub przykrywane są pokrywami [3, 16, 17].

### 1.1. OBROTOWE ZŁOŻA BIOLOGICZNE

Podziału obrotowych złożów biologicznych można dokonać według różnych kryteriów. Można wydzielić następujące kryteria podziału: ze względu na rodzaj wypełnienia, ze względu na poziom zanurzenia wypełnienia, ze względu na stosowany rodzaj napędu oraz ze względu na stosowaną technologię. Zaproponowany podział przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zaproponowany podział obrotowych złożów biologicznych

### 1.2. PODZIAŁ ZE WZGLĘDU NA RODZAJ WYPEŁNIENIA

Ze względu na rodzaj wypełnienia zaproponowano podział obrotowych złożów biologicznych na złoża tarczowe i walcowe.

W tarczowych złożach biologicznych wypełnieniem są tarcze wykonane najczęściej z tworzywa sztucznego. W celu zwiększenia ich powierzchni właściwej stosowano różne modyfikacje począwszy od gładkich powierzchni poprzez różnego typu pofałdowania, siatki aż do bardziej skomplikowanych powierzchni. Rozwój oraz zmiany w powierzchni tarcz wraz z licznymi rysunkami przedstawiono w pracy [8]. Jednakże im bardziej skomplikowana powierzchnia tarcz, tym wyższe koszty ich produkcji. Tarcze wykorzystywane w złożach tarczowych są produkowane z polistyrenu, poliwęglanowych płyt lub wysokiej gęstości polietylenu i innych. Polietylen wysokiej gęstości zawierający inhibitory UV takie jak sadza jest materiałem najczęściej używanym i jest dostępny w różnych konfiguracjach lub wzorach pofałdowań. Marszczenia podnoszą stabilność strukturalną, poprawiają transfer masy i zwiększają dostępną powierzchnię. W skali laboratoryjnej przebadano różne modyfikacje tradycyjnych tarcz, a wyniki dotyczące usuwania zanieczyszczeń były pozytywne. Aby zwiększyć powierzchnię dla błony biologicznej i objętość, zmodyfikowano tarcze poprzez dołączenie do ich powierzchni porowatych siatek. Przyczepiano także warstwę pianki poliuretanowej na plastikowych dyskach w celu zwiększenia przyczepności organizmów nitkowatych [3].

W złożach walcowych wypełnieniem jest korpus (stelaż) w kształcie walca z umieszczonymi w nim kształtkami z tworzywa sztucznego, które mogą być trwale zamocowane do stelażu lub luźno umieszczone [1]. W laboratorium i w skali pilotażowej kształtki luźno umieszczone w stelażu walcowym były z powodzeniem stosowane jako substytuty dla tarcz. Takie wypełnienie zapewnia większą powierzchnię dla przyczepienia biofilmu porównując do złoża tarczowego o tych samych wymiarach, przyczyniając się do wyższej efektywności wymiany masy spowodowanej wzrostem turbulencji. Poza tym zużywają mniej energii i koszty wytwarzania stanowią 1/3 kosztów dla tarcz. Zastosowano różne rodzaje kształtek takie jak pierścienie Pall oraz cylindryczne elementy z tworzyw sztucznych w charakterystycznych rozmiarach. Badania zastosowania złoża walcowego do oczyszczania ścieków zanieczyszczonych związkami azotu przedstawiono w pracy [12]. Wyniki badań wykazały, że złożo walcowe jest najlepszym systemem oczyszczania ścieków ze względu na niskie zużycie energii i wysoką efektywność usuwania związków organicznych.

Istnieją również złoża walcowe, w których w stelażu o kształcie walca umieszczone są zwoje rurek wykonanych z tworzywa sztucznego, w których umieszczono rurki o mniejszej średnicy. Stosowane są także umieszczone w walcowatym stelażu rury perforowane. Efektywność oczyszczania w tego typu złożu walcowym w porównaniu do klasycznego złoża tarczowego badano w pracy [6], w której stwierdzono wyższą efektywność usuwania związków organicznych w przypadku złoża z perforowanymi rurami.

### 1.3. PODZIAŁ ZE WZGLĘDU NA POZIOM ZANURZENIA WYPEŁNIENIA

Ze względu na poziom zanurzenia powierzchni wypełnienia zaproponowano podział na klasyczne złoża obrotowe z 40% zanurzeniem oraz zanurzone obrotowe złoża biologiczne z zanurzeniem 70–90%.

Zazwyczaj w tlenowych procesach oczyszczania ścieków w obrotowych złożach biologicznych stosuje się 40% zanurzenie powierzchni wypełnienia. Złoża te są najpowszechniejszym typem obrotowych złóż biologicznych, a ich działanie opisane jest w licznych publikacjach. Wśród korzyści w działaniu klasycznych obrotowych złóż biologicznych w porównaniu do zraszanych złóż biologicznych można wyróżnić możliwość kontrolowania błony biologicznej. Klasyczne obrotowe złoża biologiczne są również odporne na szokowe obciążenia hydrauliczne i organiczne. Do zalet można również zaliczyć niskie zużycie energii oraz prostotę działania. W porównaniu do metody osadu czynnego, klasyczne obrotowe złoża biologiczne mogą reagować szybciej i lepiej „dochodzą do siebie” z warunków wysokiego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń organicznych lub substancjami toksycznymi, które występują w oczyszczaniu ścieków [11, 16, 17].

Zanurzone obrotowe złoża biologiczne powstały jako modyfikacja klasycznych obrotowych złóż biologicznych. Zwiększenie zanurzenia powierzchni wypełnienia miało na celu zmniejszenie obciążenia wału i łożysk. Zanurzone obrotowe złoża biologiczne pracują przy zanurzeniu wypełnienia wynoszącym 70-90%. Z powodu zmniejszenia transferu tlenu w zanurzonych obrotowych złożach biologicznych stosowane jest dodatkowe napowietrzanie, jednak najczęściej są one napędzane za pomocą sprężonego powietrza [3]. Zanurzone obrotowe złoża biologiczne są w szczególności odpowiednie do wysoko obciążonych ścieków przemysłowych, w miejscach z ograniczoną dostępną przestrzenią i wykazują korzyści w działaniu podobne do klasycznych obrotowych złóż biologicznych. Duża głębokość zanurzenia w połączeniu z napędem pneumatycznym obniża koszty utrzymania, działania i konserwacji. W procesie oczyszczania w zanurzonego obrotowym złożu biologicznym nie występuje recyrkulacja osadu, co niweluje potrzebę wykorzystania pomp osadowych i związanych z tym kosztów pompowania. Duże fragmenty oderwanej błony biologicznej osiadają lepiej niż osady z procesu osadu czynnego, powodując mniejsze obciążenie osadnika wtórnego. W porównaniu do systemu napowietrzania w metodzie osadu czynnego, który wymaga okresowego czyszczenia i konserwacji lub wymiany, w zanurzonych obrotowych złożach biologicznych używane są grubopęcherzykowe dyfuzory, które wymagają sporadycznego czyszczenia i konserwacji [3, 11, 16].

### 1.4. PODZIAŁ ZE WZGLĘDU NA RODZAJ NAPĘDU

Obrotowe złoża biologiczne mogą być z napędem mechanicznym lub za pomocą sprężonego powietrza.

Napęd mechaniczny stosowany w obrotowych złożach biologicznych zawiera się w dwóch głównych kategoriach: napęd łańcuchowy i napęd bezpośredni. W obu kategoriach występują silnik, pas napędowy do reduktora i podwójne lub potrójne reduktory napędowe. Podwójne reduktory są stosowane w modelach z napędem łańcuchowym, a potrójne reduktory są stosowane w modelach z bezpośrednim napędem. Siła napędowa silnika i reduktora musi być w stanie uruchomić i utrzymać wał z wypełnieniem w ruchu, podczas zanurzenia i obciążenia przyrostem biologicznym [20]. Obrotowe złoża biologiczne z napędem mechanicznym zostały również wyposażone w system dodatkowego napowietrzania. Początkowo system ten wprowadzano do klasycznych obrotowych złożów biologicznych z 40% zanurzeniem powierzchni tarcz. W późniejszym czasie zostało to ulepszone przez wprowadzenie jednostek, w których wypełnienie zanurzone było w 80–90% swojej powierzchni i posiadały one również system dodatkowego napowietrzania [18].

Systemy napędzane powietrzem zostały wprowadzone jako adaptacja napowietrzanych obrotowych złożów biologicznych wykorzystująca wznoszące się powietrze do napędu obrotów wału z wypełnieniem. Ruch obrotowy następował wskutek łapania pęcherzyków powietrza w nakładkach powietrznych, które montowano na obwodach tarcz. Powietrze dostarczano do układu za pomocą dyfuzorów umieszczonych na dnie zbiornika. Na początku system ten zastosowano w klasycznych obrotowych złożach biologicznych z wypełnieniem zanurzonym w 40%, jednak bardziej korzystne okazało się prawie całkowite zanurzenie powierzchni tarcz, co doprowadziło do powstania połączonego systemu obrotowych złożów biologicznych z metodą osadu czynnego [18]. Przykładem złoża obrotowego z napędem powietrznym, w którym zastosowano nakładki powietrzne jest model Aero-Surf [13]. Innymi konstrukcjami wykorzystującymi sprężone powietrze do obrotu wału są: złożo Archimede, złożo obrotowe Stählematic oraz złożo obrotowe obracane sprężonym powietrzem REX–USA [1, 9, 15]. Porównanie obrotowych złożów napędzanych powietrzem zestawiono w pracy [9].

#### 1.5. PODZIAŁ ZE WZGLĘDU NA ZASTOSOWANĄ TECHNOLOGIĘ

Ze względu na zastosowaną technologię zaproponowano podział obrotowych złożów biologicznych na metodę obrotowych złożów biologicznych wykorzystujących w procesie oczyszczania głównie błonę biologiczną oraz metodę hybrydową (zespólną, kombinowaną) obrotowych złożów biologicznych, w której ścieki oczyszczane są zarówno za pomocą błony biologicznej osiadłej na wypełnieniu oraz osadu czynnego unoszącego się w ściekach przepływających przez zbiornik [1]. Warto zaznaczyć, że technologię hybrydową potraktowano jako połączenie dwóch rodzajów biomasy w jednym zbiorniku (reaktorze).

Obrotowe złoża biologiczne, w których oczyszczanie odbywa się za pomocą błony biologicznej to najczęściej klasyczne obrotowe złoża biologiczne z napędem mechanicznym, których tarcze zanurzone są w ściekach do około 40% swojej powierzchni.

Obrotowe złoża biologiczne pracujące w technologii hybrydowej nie są nowością. Jednym z pierwszych procesów, w którym połączono technologię osadu czynnego z obrotowym złożem biologicznym w jednym zbiorniku była metoda CABM<sup>TM</sup> (Carter Activated Biofilm Method). Metoda ta wykorzystywała jako złożo obrotowe proces Bio-Drum. Bio-Drum należy do grupy walcowych złoż biologicznych i zbudowane jest ze stalowego cylindra, w którym umieszczono polietylenowe kulki. Projekt oraz opis działania procesu przedstawiono w pracy [5].

Innym przykładem obrotowego złoża tarczowego pracującego w technologii hybrydowej jest proces Surfact, który został wykorzystany do modernizacji istniejących oczyszczalni ścieków opartych na procesie osadu czynnego w celu zwiększenia efektywności oczyszczania, bez konieczności rozbudowy istniejącego obiektu. W systemie Surfact zastosowano tarcze modelu AeroSurf. System Surfact może być wykorzystany do modernizacji przeciążonych systemów osadu czynnego lub stanowić system oczyszczania w nowo powstałych oczyszczalniach ścieków. Do zalet z zastosowania systemu Surfact można zaliczyć wyższą efektywność oczyszczania uzyskaną dzięki dodatkowej biomacie w postaci błony biologicznej osiadłej na tarczach. Charakterystyczną cechą procesu jest stabilność i odporność na niekontrolowane zmiany obciążenia hydraulicznego lub na zróżnicowane obciążenia ładunkiem organicznym. Dokładny opis procesu oraz wnioski z badań pilotażowych i w skali technicznej przedstawiono w pracy [4].

Kolejnym przykładem złoża tarczowego pracującego w technologii hybrydowej jest tlenowy reaktor procesu TNCU. Proces TNCU jest modyfikacją procesu A2/O polegającą na umieszczeniu w zbiornikach beztlenowym i anoksycznym całkowicie zanurzonych tarczowych złoż biologicznych, a w zbiorniku tlenowym częściowo zanurzonych złoż tarczowych. Badania w skali pilotażowej wykazały, że efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych BZT<sub>5</sub> wynosiła 96%, azotu całkowitego 70%, efektywność usuwania azotu ogólnego wynosiła 96,7% a fosforu całkowitego również 96,7%. Kolejną modyfikacją procesu TNCU było dodanie złoża tarczowego częściowo zanurzonego wyłącznie do tlenowego reaktora tworząc proces TNCU-II [2, 14, 19].

Specjalną konstrukcję obrotowych złoż biologicznych opisuje E. Kempa w pracy [7]. W zbiorniku wypełnionym mieszaniną osadu czynnego ze ściekami umieszczone są rotory z nasadkami rurowymi lub koszykowymi. Poza funkcją napowietrzania rotor stanowi miejsce osadzania błony biologicznej pracując jako obrotowe złożo biologiczne. Stąd oczyszczanie ścieków odbywa się za pomocą dwóch rodzajów biomasy. Do wymienionych przez autora zalet systemu można zaliczyć: dużą powierzchnię dla wytworzenia błony biologicznej, podwyższony wiek osadu, intensywne napowietrzanie, równomierne wymieszanie zawartości komory, a także niższe koszty budowy i eksploatacji [7].

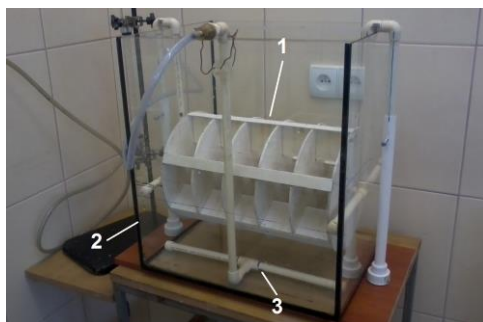
Przegląd dostępnej literatury wskazuje na niewielką ilość rozwiązań złoż tarczowych napędzanych powietrzem pracujących w technologii hybrydowej. Wśród opisa-

nych przykładów technologii hybrydowej jedynie proces Surfact i złoże obrotowe Stählermatic posiadają napęd powietrzny. Połączenie napędu pneumatycznego oraz technologii hybrydowej może przynieść znaczne korzyści w usuwaniu związków organicznych ze ścieków, zwiększając jej efektywność.

Celem prezentowanych badań było sprawdzenie efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT w zmodyfikowanym modelu złoża tarczowego napędzanego powietrzem pracującego w technologii hybrydowej oraz porównanie uzyskanych wyników z efektywnością usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla osadu czynnego, po wyjęciu tarcz ze zbiornika. W badaniach wstępnych opisanych w pracy [10] w celu porównania sprawdzono efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla samej błony względem usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla całego urządzenia, nie wykonano osobnych pomiarów wyłącznie dla technologii osadu czynnego.

## 2. METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w laboratoryjnym modelu złoża tarczowego napędzanego za pomocą sprężonego powietrza. Budowę modelu przed modyfikacją oraz wstępne badania wykonane po raz pierwszy na skonstruowanym modelu przedstawiono w pracy [10]. W celu uniknięcia problemów w działaniu układu opisanych we wspomnianej pracy wykonano modyfikację modelu oraz przeprowadzono jego kalibrację wykorzystując wodę wodociągową. Wyniki kalibracji przedstawiono w pracy [9], kalibracja modelu pozwoliła wybrać najbardziej optymalne ułożenie otworów w układzie napowietrzającym oraz odpowiednią szerokość płytek zamontowanych do istniejącego zespołu tarcz. Wybrano układ napowietrzający z 54 otworami o średnicy 0,8 mm oraz płytki o szerokości 20 mm. Budowę modelu po przebudowie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Obiekt badawczy: 1 – zespół tarcz z zamontowanymi płytkami, 2 – szklany zbiornik, 3 – układ napowietrzający

Badania wykonano na podstawie wcześniej ustalonej procedury pomiarów [10], aby możliwe było porównanie wyników badań.

W początkowym etapie badań zaszczerpiono układ osadem czynnym z oczyszczalni ścieków w Opolu i dodawano do układu syntetyczne ścieki o składzie podanym w tabeli 1, w celu uzyskania przyrostu biomasy zarówno w formie osadu czynnego, jak i w postaci błony biologicznej na powierzchni tarcz.

Tabela 1. Skład syntetycznych ścieków użytych w badaniach

Nazwa związku lub wzór chemiczny	Stężenie, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$
Mleko w proszku odtuszczone	0,310
Glukoza	0,307
$\text{NH}_4\text{Cl}$	0,109
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0,050
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,020
$\text{NaCl}$	0,008
$\text{MgSO}_4$	0,002
$\text{CaCl}_2$	0,007

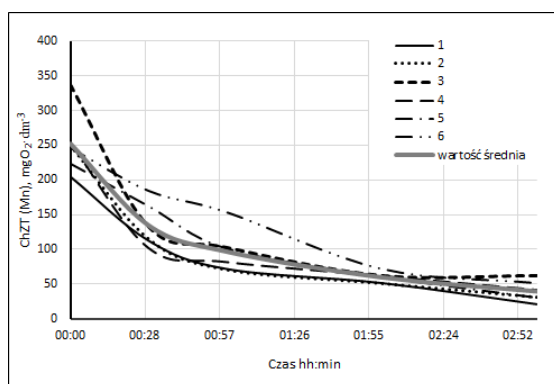
W pierwszym tygodniu nastąpił znaczny przyrost kłaczków osadu czynnego natomiast na powierzchni tarcz przyrost błony biologicznej był znikomy. Aby sprawdzić co jest przyczyną tak słabego przyrostu błony biologicznej zrzucano całkowicie powstałą błonę z jednej tarczy i zwiększono chropowatość jej powierzchni. Jednak nie zanotowano poprawy w osiadaniu biomasy na powierzchni tarcz. Dlatego też postanowiono wymienić układ napowietrzający na modyfikację z mniejszą liczbą otworów czyli 10 otworów o średnicy 0,8 mm. Po kilku dniach od wymiany błona biologiczna zaczęła osiadać na powierzchni tarcz. Kolejnym problemem okazało się osiadanie osadu na dnie zbiornika, który zaczął zagniwać. Konieczne było ręczne mieszanie zawartości zbiornika, aby uniknąć wydzielania się odorów. W celu zniwelowania tego problemu postanowiono obniżyć oś obrotu o 45 mm oraz zwiększono przepływ powietrza na rotametrze do wartości  $350 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , którą utrzymywano do końca etapu badawczego. Po ustabilizowaniu się warunków można było rozpocząć etap badawczy, który trwał od 7.06 do 16.07.2014 roku.

W okresie badawczym wykonywano oznaczenia zawartości tlenu rozpuszczonego metodą Winklera oraz utlenialność czyli ChZT metodą nadmanganianową. Badano również stężenie osadu oraz pH ścieków. Obniżenie ChZT sprawdzano zarówno dla układu pracującego w technologii hybrydowej jak i dla samego osadu czynnego w zbiorniku. Średnia prędkość obrotowa w okresie badawczym wynosiła 9 obr/min dla stałego przepływu powietrza.

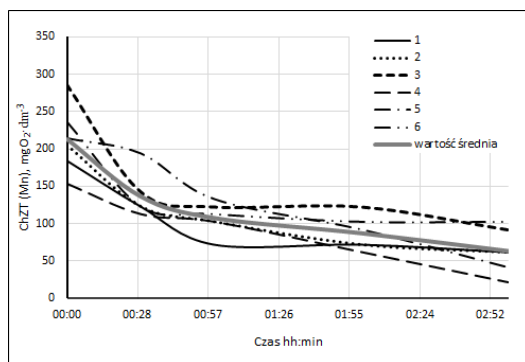


### 3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W okresie badawczym zanotowano wahania zawartości tlenu rozpuszczonego w ściekach od wartości  $0,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do wartości  $8,6 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , średnia zawartość tlenu rozpuszczonego w okresie badawczym wynosiła  $6,2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Warto zaznaczyć, że minimalna zawartość w tym zakresie została oznaczona w dniu awarii sprężarki. Wartość pH mieściła się w zakresie 6–7, jednak w końcowej części etapu badawczego spadła do wartości około 5–6. Wartości średnie sześciu serii pomiarowych dla technologii hybrydowej i technologii osadu czynnego przedstawiono na rysunku 3 oraz 4.



Rys. 3. Obniżenie ChZT w zależności od czasu napowietrzania dla technologii hybrydowej



Rys. 4. Obniżenie ChZT w zależności od czasu napowietrzania dla osadu czynnego

W pierwszej serii pomiarowej w przypadku użycia technologii hybrydowej wartość ChZT spadła z  $205 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $21 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obliczona na podstawie tych wartości efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 90%. W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego wartość ChZT spadła

z  $184 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $62 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 66%. Porównując ilościowo obniżenie ChZT obliczono, że w przypadku technologii hybrydowej spadek wynosił  $184 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  natomiast przy użyciu osadu czynnego  $122 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie tych wartości obliczono udział błony biologicznej w obniżeniu ChZT, który wynosił 33%.

W drugiej serii pomiarowej w przypadku użycia technologii hybrydowej wartość ChZT spadła z  $251 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $31 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obliczona na podstawie tych wartości efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 88%. W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego wartość ChZT spadła z  $204$  do  $62 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 70%. Porównując ilościowo obniżenie ChZT obliczono, że w przypadku technologii hybrydowej spadek wynosił  $220 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  natomiast przy użyciu osadu czynnego  $143 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie tych wartości obliczono udział błony biologicznej w obniżeniu ChZT, który wynosił 35%.

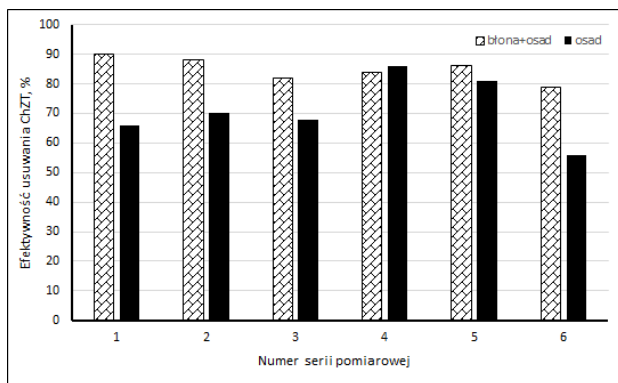
W trzeciej serii pomiarowej w przypadku użycia technologii hybrydowej wartość ChZT spadła z  $338 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $62 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obliczona na podstawie tych wartości efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 82%. W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego wartość ChZT spadła z  $286 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $92 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 68%. Porównując ilościowo obniżenie ChZT obliczono, że w przypadku technologii hybrydowej spadek wynosił  $276 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  natomiast przy użyciu osadu czynnego  $194 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie tych wartości obliczono udział błony biologicznej w obniżeniu ChZT, który wynosił 30%.

W czwartej serii pomiarowej w przypadku użycia technologii hybrydowej wartość ChZT spadła z  $253 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $41 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obliczona na podstawie tych wartości efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 84%. W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego wartość ChZT spadła z  $154 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $21 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 86%. Porównując ilościowo obniżenie ChZT obliczono, że w przypadku technologii hybrydowej spadek wynosił  $212 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  natomiast przy użyciu osadu czynnego  $133 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie tych wartości obliczono udział błony biologicznej w obniżeniu ChZT, który wynosił 38%.

W piątej serii pomiarowej w przypadku użycia technologii hybrydowej wartość ChZT spadła z  $222 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $30 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obliczona na podstawie tych wartości efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 86%. W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego wartość ChZT spadła z  $215 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $41 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 81%. Porównując ilościowo obniżenie ChZT obliczono, że w przypadku technologii hybrydowej spadek wynosił  $192 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  natomiast przy użyciu osadu czynnego  $173 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie tych wartości obliczono udział błony biologicznej w obniżeniu ChZT, który wynosił 10%.

W szóstej serii pomiarowej w przypadku użycia technologii hybrydowej wartość ChZT spadła z  $246 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $52 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obliczona na podstawie tych wartości efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 79%. W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego wartość ChZT spadła z  $235 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $103 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 56%. Porównując ilościowo obniżenie ChZT obliczono, że w przypadku technologii hybrydowej spadek wyniósł  $194 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  natomiast przy użyciu osadu czynnego  $133 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie tych wartości obliczono udział błony biologicznej w obniżeniu ChZT, który wyniósł 32%.

Porównanie wartości efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla poszczególnych serii pomiarowych przedstawiono na rysunku 5.

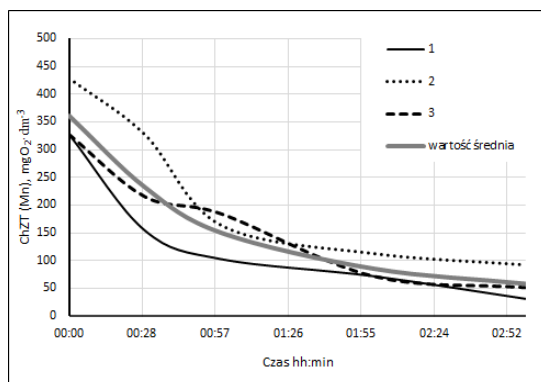


Rys. 5. Efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla wykonanych serii pomiarowych

Analizując dane przedstawione na rysunku 5 można zauważyć, że wartości efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT w przypadku technologii hybrydowej w każdej serii pomiarowej z wyjątkiem szóstej wynosiły powyżej 80%. Wartości mieściły się w zakresie od 79% dla serii szóstej do 90% dla pierwszej serii pomiarowej. Wartości te dla każdej serii oprócz czwartej były wyższe od wartości efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT osadu czynnego. W przypadku usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT w technologii osadu czynnego wartości efektywności oprócz szóstego pomiaru (56%) zawsze były wyższe niż 60%. Zakres wartości obejmował od 56% dla szóstej serii pomiarowej do 86% dla czwartej serii pomiarowej.

W końcowym etapie badawczym sprawdzono również efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla całkowitego zanurzenia powierzchni tarcz. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki 3 serii pomiarów usuwania ChZT dla zanu-

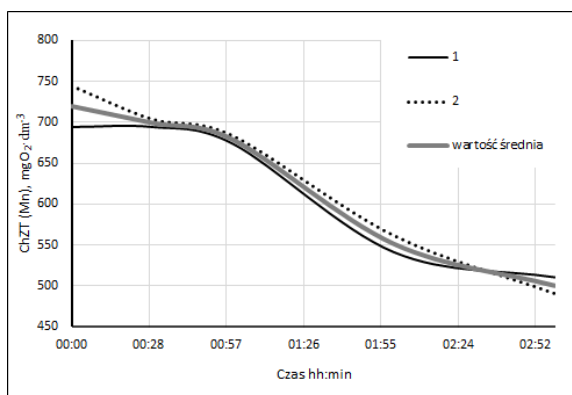
rzenia wynoszącego 100%, zaznaczono również wartości średnie. Pomiary te, oprócz pierwszego, wykonano wyłącznie dla technologii hybrydowej.



Rys. 6. Obniżenie ChZT w zależności od czasu napowietrzania dla 100% zanurzenia powierzchni tarcz

W pierwszej serii pomiarowej dla 100% zanurzenia powierzchni tarcz wartość ChZT spadła z  $327 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $31 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 90%. W drugiej serii pomiarowej wartość ChZT spadła z  $429 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $92 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , dając efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT równą 78%. W ostatniej serii pomiarowej wartość ChZT spadła z  $327 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $52 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , co dało efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynoszącą 84%.

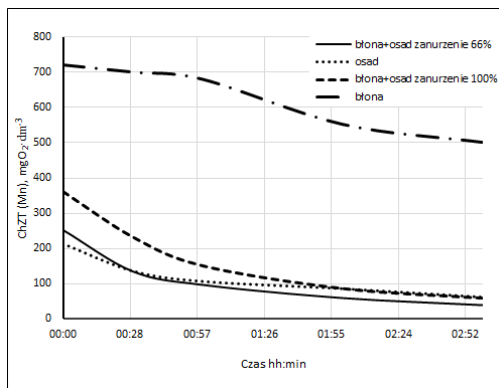
Wykonano również dwie serie pomiarów obniżenia ChZT wykorzystując jedynie osiadłą błonę biologiczną. Wyniki oraz wartości średnie przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Obniżenie ChZT w zależności od czasu napowietrzania dla błony biologicznej osiadłej na tarczach

W przypadku wykorzystania technologii złoża biologicznego (błona) w pierwszej serii pomiarowej wartość ChZT spadła z  $694 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $511 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 26%. W drugiej serii pomiarowej wartość ChZT spadła z  $745 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $490 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  dając efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT na poziomie 34%.

Na rysunku 8. przedstawiono porównanie średnich wartości obniżenia ChZT dla technologii hybrydowej oraz dla samej błony i osadu czynnego.

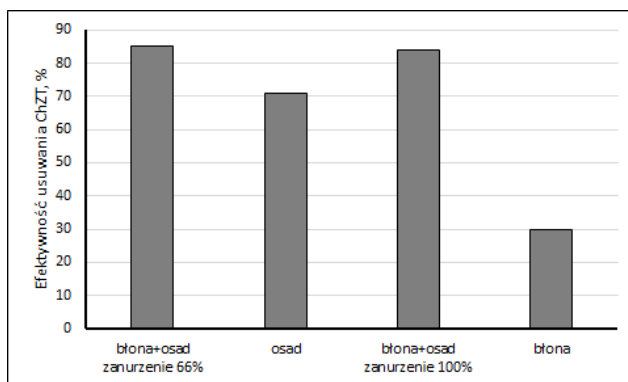


Rys. 8. Obniżenie ChZT w zależności od czasu napowietrzania – wartości średnie

Porównując średnie wartości można zauważyć, że w przypadku użycia technologii hybrydowej (błona + osad) dla zanurzenia wynoszącego 66% powierzchni tarcz średnia wartość ChZT spadła z  $264 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $41 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . W przypadku wykorzystania technologii osadu czynnego (osad) średnia wartość ChZT spadła z  $213 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $63 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . W przypadku użycia technologii hybrydowej (błona + osad) dla zanurzenia wynoszącego 100% powierzchni tarcz średnia wartość ChZT spadła z  $361 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $58 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . W przypadku wykorzystania technologii złoża biologicznego (błona) średnia wartość ChZT spadła z  $719 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $500 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Na podstawie spadku średnich wartości ChZT obliczono średnie wartości efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla poszczególnych przypadków, które przedstawiono na rysunku 9.

Analizując średnie wartości usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT można zauważyć, że w przypadku technologii hybrydowej dla zanurzenia 66% powierzchni tarcz wartość efektywności wynosiła 85% natomiast dla zanurzenia wynoszącego 100% powierzchni tarcz wartość ta była zbliżona i wynosiła 84%. Średnia wartość efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT w przypadku zastosowania technologii osadu czynnego badana dla tej samej objętości ścieków i w tych samych warunkach wynosiła 71%. Natomiast średnia efektywność usu-

wania ChZT dla złoza tarczowego badana również w tych samych warunkach wynosiła jedynie 30%.



Rys. 9. Efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla różnych technologii oczyszczania - wartości średnie

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obrotowe złoza biologiczne w Polsce znane są głównie jako tarczowe złoza biologiczne. Konstrukcja obrotowych złozy biologicznych uległa licznym modyfikacjom w porównaniu do pierwotnego projektu. Zaproponowany podział pokazuje zmiany jakie zaszły w konstrukcji wypełnienia złoza, głębokości zanurzenia wypełnienia, stosowanego napędu oraz sposobu prowadzenia procesu oczyszczania.

W tarczowych złozech biologicznych wypełnieniem są tarcze umieszczone na poziomym wale. Konstrukcja tarcz zmieniała się, aż do otrzymania wzorów dających możliwie największą powierzchnię dla przyczepności błony biologicznej.

Biologiczne złoza walcowe charakteryzują się wypełnieniem w postaci stelażu w kształcie walca, w którym umieszczone są kształtki, rury perforowane, otwarte kanały lub zwoje rur.

Klasyczne obrotowe złoza biologiczne pracują z zanurzeniem powierzchni wypełnienia na poziomie 40% i są to najczęściej również złoza tarczowe z napędem mechanicznym.

Zanurzone obrotowe złoza biologiczne działają przy zanurzeniu 70–90% powierzchni wypełnienia. Są to zarówno złoza tarczowe jak i walcowe z napędem pneumatycznym, rzadziej z mechanicznym z dodatkowym napowietrzaniem.

Napęd mechaniczny obrotowych złożeń biologicznych składa się z silnika elektrycznego i reduktorów, natomiast napęd pneumatyczny składa się ze źródła sprężonego powietrza oraz dyfuzorów.

Podział obrotowych złożeń biologicznych ze względu na wykorzystaną technologię oczyszczania ścieków wskazuje na istnienie wśród obrotowych złożeń biologicznych reaktorów hybrydowych, w których oczyszczanie ścieków odbywa się przy udziale błony biologicznej osiadłej na wypełnieniu oraz osadu czynnego znajdującego się w ściekach.

W oparciu o przedstawioną propozycję podziału obrotowych złożeń biologicznych sklasyfikowano obiekt badawczy jako zanurzone obrotowe złożo biologiczne napędzane sprężonym powietrzem pracujące w technologii hybrydowej. Klasyfikację tą potwierdzają wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych zarówno przed, jak i po modyfikacji modelu.

Wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych serii pomiarów pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Zanotowano wahania zawartości tlenu rozpuszczonego w ściekach, średnia zawartość tlenu rozpuszczonego w okresie badawczym wynosiła  $6,2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ .
- Średnia wartość efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT w przypadku zastosowania technologii hybrydowej wynosiła 85% potwierdzając wynik uzyskany podczas badań wstępnych [10] przed modyfikacją modelu.
- Średnia wartość efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT dla technologii osadu czynnego wyznaczana w tych samych warunkach wynosiła 71%, natomiast dla technologii złoża tarczowego średnia wartość efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT wynosiła 30%, dając zbliżoną wartość do uzyskanej w badaniach wstępnych [10] wartości wynoszącej 33%.
- Zwiększenie poziomu zanurzenia powierzchni tarcz do wartości 100% nie wpłynęło na wartość efektywności usuwania związków organicznych wyrażonych ChZT, gdyż średnia wartość w tym przypadku była zbliżona do wartości dla 66% zanurzenia powierzchni tarcz i wynosiła 84%.
- Uzyskane wyniki wskazują, że konieczne jest przeprowadzenie badań w skali pilotażowej poprzez umieszczenie modelu złoża tarczowego na terenie pracującej oczyszczalni ścieków i przeprowadzenie badań na ściekach komunalnych.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego

## LITERATURA

- [1] BEVER J., STEIN A., TEICHMANN H., *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków. Eliminacja azotu i fosforu, sedimentacja i filtracja*, Projprzem-EKO Bydgoszcz 1997, 92–98.
- [2] CHUANG S. H., OUYANG C. F., YUANG H. C., YOU S.J., *Effects of SRT and DO on nutrient removal in a combined AS-biofilm process*, Water Science and Technology, 1997, Vol. 36, No. 12, 19–27.
- [3] CORTEZ S., TEIXEIRA P., OLIVEIRA R., MOTA M., *Rotating biological contactors: a review on main factors affecting performance*, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2008, Vol. 7, No. 2, 155–172.
- [4] COWEE J.D., SULLIVAN R.A., *Surfact: Current Developments and Process Applications*, First National Symposium/Workshop on Rotating Biological Contactor Technology, Pennsylvania, 1980, 553–574.
- [5] FISETTE G.R., *Operational Advantages Obtained by Incorporating a Bio-Drum in an Activated Sludge Process*, First National Symposium/Workshop on Rotating Biological Contactor Technology, Pennsylvania 1980, 325–348.
- [6] KARGI F., EKER S., *Comparison of performances of rotating perforated tubes and rotating bio-discs biofilm reactors for wastewater treatment*, Process Biochemistry, 2002, Vol. 37, No. 11, 1201–1206.
- [7] KEMPA E.S., *Oczyszczanie ścieków na obrotowych złożach tarczowych z samorzutnym napowietrzaniem*, Ekotechnika, 2001, No. 3, 22–26.
- [8] MBA D., *Mechanical evolution of the rotating biological contactor into the 21st century*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 2003, Vol. 217, Part E: J. Process Mechanical Engineering, 189–219.
- [9] RYSCHKA J. *Analiza efektywności tarczowych złożeń napędzanych powietrzem w procesie biologiczno-oczyszczania ścieków*, [w:] *Młodzi dla Techniki*, Wybrane problemy naukowo-badawcze budownictwa i inżynierii środowiska, pod red. A. Dzięgielewskiego, Płock 2013, 379–391.
- [10] RYSCHKA J., RAK A., *Analiza efektywności procesu biologicznego oczyszczania ścieków w złożu tarczowym napędzanym powietrzem*, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 2014, No. 8, 303–306.
- [11] SCHWINGLE T.A., LEPAK A.J., WENTA R.J., *Refining applications*, *Hydrocarbon Engineering*, 2005, No. 1, 97–98.
- [12] SIRIANUNTAPIBOON S., TONDEE T., *Application of Packed Cage RBC System for Treating Waste Water Contaminated with Nitrogenous Compound*, *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 2000, Vol. 5, No. 1, 28–39.
- [13] SIRINIVASARAGHAVAN R., RECH C.W., LILJERGEN S., *Performance Evaluation of Air Driven RBC Process for Municipal Waste Treatment*, First National Symposium/Workshop on Rotating Biological Contactor Technology, Pennsylvania, 1980, 525–552.
- [14] SU J. L., OUYANG C. F., *Nutrient removal using a combined process with activated sludge and fixed biofilm*, Water Science and Technology, 1996, Vol. 34, No. 1–2, 477–486.
- [15] SUSCHKA J., *Złoża i filtry biologiczne*, Wyd. Politechniki Łódzkiej, filia w Bielsku-Białej, 2000, 134–142.
- [16] SYKES R.M., *Biological Wastewater treatment Processes*, [w:] *The civil engineering handbook*, pod red. W.F. CHEN I J.Y. Richard LIEW, CRC Press, Waszyngton 2003.
- [17] TCHOBANOGLIOUS G., BURTON F.L., STENSEL H.D., *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, McGraw-Hill Education, New York 2003, 930–957.
- [18] TILLEY D.F., *Aerobic Wastewater Treatment Processes History and Development*, IWA Publishing, Londyn 2011, 64–65.



- [19] YOU S. J., OUYANG C. F., *Simultaneous Wastewater Nutrient Removal by a Novel Hybrid Bioprocess*, Journal of Environmental Engineering, 2005, Vol. 131, No. 6, 883–891.
- [20] ZICKEFOOSE C.S., *Rotating Biological Contactors (RBC's)*. Student Manual. Biological Treatment Process Control., Linn-Benton Community College, Albany Oregon 1984, 19–23.

#### THE EFFICIENCY OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PROCESS IN AIR DRIVEN ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR

This paper presents the result of studies conducted on a laboratory model of an air driven rotating biological contactor. To test the treatment ability of this model, the rate of chemical oxygen demand was determined and the treatment efficiency calculated. The results of studies indicated that the treatment efficiency was 85%, while wastewater treatment using only activated sludge was 71%. The paper also presents proposed classification of rotating biological contactors. The criteria of the classification were: media type, discs submergence, drive system and applied technology of wastewater treatment.