

# Wpływ temperatury i rygoru napowietrzania na efektywność oczyszczania ścieków z myjni samochodowej w bioreaktorach ze złożem ruchomym

Effect of temperature and rigor of aeration on the efficiency of wastewater treatment from a car wash in bioreactors with a moving bed (MBBR)

AGNIESZKA WŁODYKA-BERGIER, ZBIGNIEW KOWALEWSKI, ROBERT MAZUR

DOI 10.36119/15.2023.10.6

Metody biologiczne stanowią nieodzowny element oczyszczania ścieków komunalnych. W warunkach dużej ilości ścieków o wysokich stężeniach ChZT i biogenów, metody te są optymalną technologią. Artykuł przedstawia próbę zastosowania metod biologicznych do oczyszczania ścieków pochodzących z myjni samochodowej. Ścieki te charakteryzuje zawartość detergentów i związków węgla oraz wysoką nierównomierność przepływu. Zastosowano reaktory sekwencyjne (SBR) wypełnione osadem czynnym oraz z ruchomym złożem (MBBR) z zastosowaniem trzech typów kształtek: Mutag BioChip 30™, BioFLO 9 oraz Hel-X (H2X36 35/36). Objętość reaktorów wynosiła 20 dm<sup>3</sup>, całkowity czas pracy 20 godzin. W ściekach oznaczono zestaw parametrów fizykochemicznych, jednak główne analizy koncentrowały się na: ChZT, BZT<sub>5</sub>, barwie, mętności oraz biogenach – azocie i fosforze. Badania wykazały wysoką zdolność biocenozy reaktorów do redukcji stężeń zanieczyszczeń. Biogeny i ChZT usuwane są z 60% skutecznością, BZT<sub>5</sub> z 80%, a barwa i mętność w ponad 90%.

*Słowa kluczowe: ścieki z myjni samochodowej, biologiczne metody oczyszczania ścieków, reaktor z ruchomym złożem*

Biological methods are an indispensable part of municipal wastewater treatment. Under high volume of wastewater and high concentrations of COD and nutrients, these methods are the optimal technology. The article presents an attempt application of biological methods to treat wastewater from a car wash. This wastewater is characterized by content of detergents and carbon compounds and high flow irregularity. It used activated sludge sequencing batch reactors (SBR) and moving bed reactors (MBBR) using three types of carriers: Mutag BioChip 30™, BioFLO 9 and Hel-X (H2X36 35/36). The volume of the reactors was 20 dm<sup>3</sup>, the total operating time was 20 hours. A set of physicochemical parameters were determined in the wastewater, however, the main analyses focused on: COD, BOD<sub>5</sub>, color, turbidity and biogens – nitrogen and phosphorus. The study showed the high capacity of the reactors' biocenosis to reduce pollutant concentrations. Biogenes and COD are removed with 60% efficiency, BOD<sub>5</sub> with 80%, and color and turbidity at more than 90%.

*Keywords: car wash wastewater, biological wastewater treatment, moving bed bioreactor*

## Wprowadzenie

Myjnie samochodowe generują ścieki o specyficznym składzie. Główne charakterystyczne zanieczyszczenia to: zawierające biogeny detergenty, substancje mineralne pochodzące z dróg oraz pochodne węgla, są to zanieczyszczenia trudne do usunięcia przed odprowadzeniem ścieków do kanalizacji (1). Dodatkowym wyzwaniem staje się zamykanie obiegów myjni

i ponowne wykorzystanie ścieków do mycia samochodów (2). Ze względu na różnorodność składów ścieków oraz okresowość ich powstawania ciężko jest o wypracowanie jednej uniwersalnej metody oczyszczania ścieków i śmiało można stwierdzić, że stosowane obecnie metody stanowią pełny przegląd technologii stosowanych w uzdatnianiu wody oraz oczyszczaniu ścieków, zarówno komunalnych jak i przemysłowych (3). Stosowane są metody

chemiczne: koagulacja, elektrokoagulacja, ozonowanie czy utlenianie (4,5) oraz procesy zaawansowanego utleniania (6). Stosowane są procesy membranowe (7) oraz, finalnie, technologie oparte na połączeniu kilku różnych metod (3,8,9). Niezwykle ważną grupę stanowią rozwiązania wykorzystujące metody biologiczne. Na ogół są to metody bazujące na sekwencyjnych reaktorach membranowych (10,11) znacznie rzadziej na złożach biologicznych

dr hab. inż. Agnieszka Włodyka-Bergier <https://orcid.org/0000-0001-5045-7314>, [wloodyka@agh.edu.pl](mailto:wloodyka@agh.edu.pl);

dr inż. Zbigniew Kowalewski <https://orcid.org/0000-0001-6010-4993>, [kowalew@agh.edu.pl](mailto:kowalew@agh.edu.pl);

dr Robert Mazur <https://orcid.org/0000-0001-7869-1823>, [mazur@agh.edu.pl](mailto:mazur@agh.edu.pl)

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Adres do korespondencji/Corresponding author: [kowalew@agh.edu.pl](mailto:kowalew@agh.edu.pl)

(12,13). Osiągane biologicznymi metodami redukcje stężeń zanieczyszczeń są wysokie i sięgają 90% dla ChZT, prawie 100% dla parametrów związanych z barwą i mętnością oraz 50% dla biogenu (11,12,14). Problemy, które pojawiają się podczas oczyszczania ścieków z myjni samochodowych są podobne do tych z oczyszczalni ścieków komunalnych, a więc: niewłaściwe obciążenie i czas zatrzymania ścieków, wrażliwość bakterii na niektóre substancje chemiczne zawarte w ściekach czy konieczność dokładnego prowadzenia oraz kontroli procesu. Nadto istotny jest sam czas trwania procesów oczyszczania, który w wypadku oczyszczalni biologicznych trwa kilkanaście godzin, a więc znacznie więcej niż w przypadku oczyszczania ścieków chemicznie bądź mechanicznie. Ścieki po biologicznym oczyszczeniu oprócz zasilania pierwotnej linii mogą też być wykorzystane do innych celów: zasilania ogniw paliwowych, wytwarzania substancji zawierających fosfor, lub nawadniania zielonych dachów (15–17), pomysły te są jednak w fazie eksperymentalnej.

Celem badań było sprawdzenie wpływu: rodzaju kształtek, temperatury pracy bioreaktorów oraz sposobu napowietrzania, na redukcję zanieczyszczeń w ściekach. Jakość ścieków była określana za pomocą parametrów, takich jak: azot ogólny, fosfor ogólny, barwa, mętność, ChZT oraz BZT<sub>5</sub>.

Ważnym aspektem pracy było zastosowanie bioreaktorów o złożach ruchomych z wykorzystaniem komercyjnie dostępnych kształtek w przeciwieństwie do badań dominujących na bioreaktorach membranowych lub stosujących specjalnie wytwarzane media (10,11,18–24).

## Metodyka Badawcza

Badania przeprowadzono na stanowisku składającym się z 8 reaktorów biologicznych wykonanych z rur poliwęglanowych o wysokości 1000 mm i wewnętrznej średnicy 194 mm. Dół rury zakończono mufą wykonaną z PVC, w której zamontowano zawór umożliwiający spust ścieków i osadu. Układ napowietrzający stanowiły dyski napowietrzające średnicy 150 mm i wysokości 18 mm. Dyski podłączone były do rotametrów przewodami poliamidowymi typu tekalan o średnicy wewnętrznej 4,3 mm. Przepływ w rotametrze ustalono na 1 dm<sup>3</sup>/min. Taki przepływ z jednej strony wymuszał odpowiedni ruch kształtek w bioreaktorze, z drugiej nie powodował nadmiernego pienienia ścieków. Dodatkowo w celu powstrzymania pienienia

wlot bioreaktorów zatykany był gąbkami z poliuretanu o gradacji 10 i 20 ppi. Jako wypełnienie bioreaktorów zastosowano trzy typy kształtek: Mutag BioChip 30™, BioFLO 9 oraz Hel-X (H2X36 35/36). Reaktory pracowały w trybie porcjowym (SBR), w następujących układach:

- 2 reaktory A – bez kształtek (osad czynny), 20 litrów ścieków;
- 2 reaktory B – reaktory MBBR, 6 litrów kształtek Mutag BioChip 30™, 20 litrów ścieków;
- 2 reaktory C – reaktory MBBR, 10 litrów kształtek BioFLO 9, 20 litrów ścieków;
- 2 reaktory D – reaktory MBBR, 10 litrów kształtek, 20 litrów ścieków.

Schemat stanowiska przedstawiony jest na rysunku 1. Parametry techniczne kształtek zostały zawarte w tabeli 1.

Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego – bioreaktory MBBR (SBR – MBBR)  
Fig. 1. Schema of the test configuration – MBBR SBR bioreactors

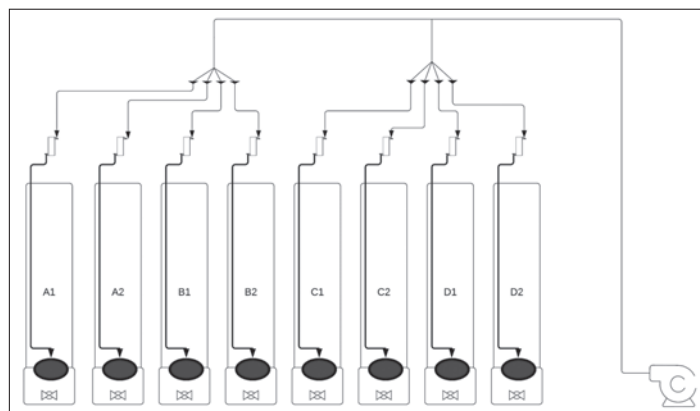


Tabela 1. Parametry zastosowanych nośników błony biologicznej  
Tab. 1. Parameters of biological membrane holders

Parametr	Mutag BioChip 30™	BioFLO 9	Hel-X – H2X36 35/36
Kształt	Porowaty dysk o pofalowanym profilu	walec, na zewnątrz wypustki, wewnątrz przegrody	walec, z wypustkami do wewnątrz, żebrowanie w formie spiralnej
Średnica	Ø 25 mm	Ø 9,7 mm	Ø 35 mm
Grubość	1,1 mm	7 mm	36 mm
Materiał	czysty PE	PE i PP z recyklingu	kształtki plastikowe o gęstości zbliżonej do wody
Powierzchnia aktywna	5500 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	800 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	239 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Kolor	biały	czarny	czarny

Badania prowadzono sekwencyjnie, we wszystkich reaktorach równolegle, na dostarczanych okresowo ściekach. Badania przeprowadzono w 4 dużych seriach pomiarowych. Każda seria była wykonywana na ściekach rzeczywistych, o różniącym się składzie surowym. Każdorazowo eksperymenty prowadzono dla takich samych czasów zatrzymania ścieków w bioreaktorach: 0 h (ścieki surowe), 1 h, 3 h, 6 h i 20 h. Eksperymenty prowadzono dla różnych wypełnień (osad czynny oraz trzy rodzaje kształtek), trzech różnych temperatur (25°C, 15°C, 10°C) oraz dwóch warunków napowietrzania (napowietrzanie „normalne” – pierwsze 3 h pełne napowietrzanie, później rygor 1,5 h

napowietrzanie, 45 min. faza beztlenu; napowietrzanie „zmniejszone” – pierwsze 2 h pełne napowietrzanie później rygor 1 h napowietrzanie, 1 h faza beztlenu).

Dla opracowania wyników zastosowano następujące oznaczenia:

liczba na początku:

10 – temperatura badań 10°C

15 – temperatura badań 15°C

25 – temperatura badań 25°C

Pierwsza litera:

A – napowietrzanie pełne

B – napowietrzanie zmniejszone

Druga litera:

A – bioreaktor bez kształtek

B – bioreaktor z kształtkami Mutag BioChip 30™

C – bioreaktor z kształtkami BioFLO 9

D – bioreaktor z kształtkami Hel-X

Raw – oznacza ścieki surowe

- Azot ogólny oznaczano zmodyfikowaną metodą Kiełhdala wg PN-ISO 11261 w aparacie KielFlex K-390.
- Barwę oznaczano wg PN-81/C-04534.01 spektrofotometrycznie aparatem CECIL CE 2021.
- Mętność oznaczano metodą nefelometryczną na spektrofotometrze CECIL CE 2021.

Statystyczne opracowanie danych oraz wizualizacje zostały wykonane za pomocą języka R. Poziomo istotności ustalono jako  $\alpha=0,05$ . Do sprawdzenia różnic pomiędzy badanymi grupami dla pojedynczych zmiennych zastosowano analizę wariancji z testem post hoc HSD Tukeya. Zgodność z rozkładem normalnym testowano testem Shapiro-Wilka, homogeniczność wariancji testowano testem Levene'a. Do sprawdzenia relacji pomiędzy wszystkimi zmiennymi jednocześnie zastosowano metodę miar odległości euklidesowych.

## Wyniki badań

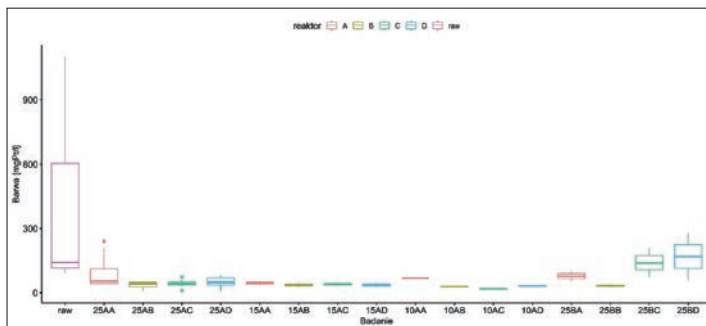
Uśrednione wartości wszystkich badanych zmiennych ścieków oczyszczonych są przedstawione w tabeli 2. Zawartość środków powierzchniowo czynnych w ściekach surowych wynosiła średnio:

Standardowo barwa w ściekach surowych przyjmowała wartość od 150 do 600 mg Pt/l, we wszystkich badanych wypadkach osiągnięto znaczącą istotną redukcję zanieczyszczeń sięgającą 95%. Po 20 godzinach pracy bioreaktorów w każdym z przypadków ścieki tracą barwę. Najmniejsze redukcje uzyskano w wariancie ze

zmniejszoną ilością tlenu. Boxplot dla wyników barwy przedstawia rysunek 2.

Mętność zachowuje się w podobny sposób jak barwa. Po 20 godzinach pracy można zaobserwować praktycznie 100% redukcję – ścieki są klarowne, ponownie najgorsze rezultaty uzyskano w wariancie ze zmniejszoną ilością tlenu. Pozostałe wa-

Rys 2. Boxplot wartości barwy dla wszystkich serii Fig 2. Boxplot for color, all series



Rys 3. Boxplot wartości mętności dla wszystkich serii Fig 3. Boxplot for turbidity, all series

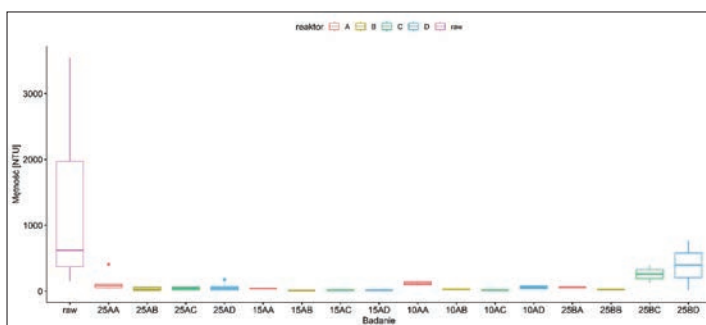


Tabela 2. Uśrednione wyniki parametrów jakościowych w każdej z serii Tab 2. Mean values of quality parameters in each series

kod	Barwa [mg Pt/l]	BZT <sub>5</sub> [mg O <sub>2</sub> /l]	ChZT [mg O <sub>2</sub> /l]	Fosfor [mg P/l]	Mętność [NTU]	Azot [mg N/l]
10AA	67	40	650	8.24	121	7.49
10AB	29	44	642	3.62	28	5.18
10AC	19	36	675	5.02	18	4.38
10AD	32	39	785	4.77	59	7.07
15AA	45	30	476	2.06	38	3.96
15AB	37	15	300	1.55	11	1.75
15AC	40	11	365	1.74	14	2.38
15AD	37	5	373	1.91	19	5.46
25AA	95	66	462	3.90	116	12.64
25AB	35	49	427	2.25	33	9.66
25AC	43	61	448	2.44	39	9.32
25AD	50	42	426	2.38	56	10.66
25BA	78	27	389	2.88	59	12.95
25BB	34	43	344	2.53	23	11.55
25BC	140	34	381	3.77	257	13.55
25BD	169	41	624	3.77	393	15.60
raw	396	180	1099	7.80	1287	22.36

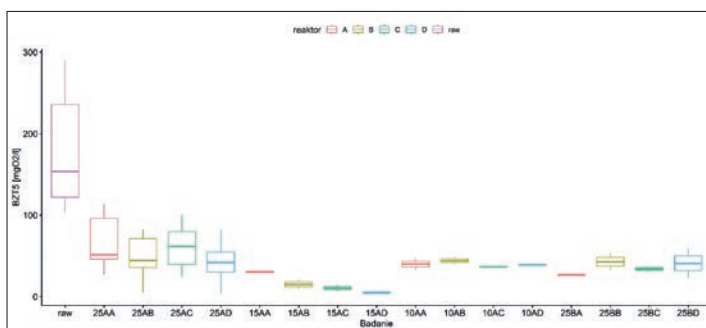
rianty nie różnią się od siebie. Boxplot dla wyników mętności przedstawia rysunek 3.

W przypadku BZT<sub>5</sub>, widoczne są różnice pomiędzy różnymi wariantami (rys. 4). Największy rozrzut wyników prezentuje pierwsza seria z temperaturą 25°C oraz z pełnym napowietrzaniem średnio jest to redukcja na poziomie 70%, w przypadku temperatury 15°C redukcja wynosi średnio 90%. Rozważając wariant napowietrzania nie można jednoznacznie stwierdzić, który jest lepszy, różnice nie są statystycznie istotne, jeżeli wziąć pod uwagę procentową redukcję lepiej sprawuje się wariant z klasycznym, pełnym napowietrzaniem. Wyniki z temperatury 10°C oraz wariantu B napowietrzania są zbliżone do siebie. W kontekście rodzaju kształtek, największą redukcję uzyskuje się na kształtkach w bioreaktorze B – Mutag BioChip 30™,

22.15 mg/dm<sup>3</sup> dla detergentów anionowych, 3.34 mg/dm<sup>3</sup> dla detergentów kationowych oraz 2.2 mg/dm<sup>3</sup> dla detergentów niejonowych.

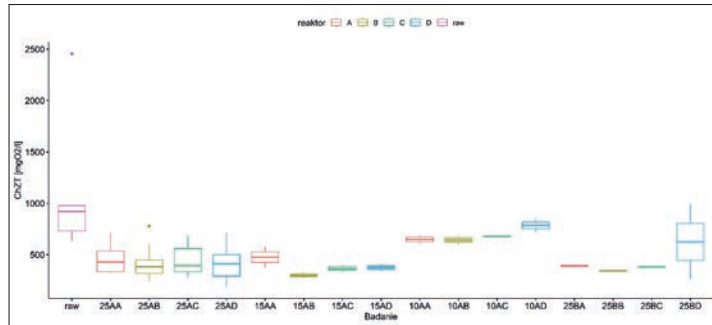
Ścieki surowe pomimo różniących się wartości w różnych seriach badawczych można uznać za jednorodny. Podobnie, wartości ścieków oczyszczonych charakteryzują się jednorodną wariancją oraz rozkładem zbliżonym do rozkładu normalnego.

Rys 4. Boxplot wartości BZT<sub>5</sub> dla wszystkich serii Fig 4. Boxplot for BOD<sub>5</sub>, all series



jest to globalnie około 5% więcej. Nie są to różnice istotne a wszystkie pozostałe kształtki porównywalnie dobrze redukują zawartość BZT<sub>5</sub>.

Redukcja ChZT, jest analogiczna do BZT<sub>5</sub> (rys 5), początkowe wartości wynoszące średnio niecałe 1000 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, po 20 godzinach zostają zredukowane do wartości około 650 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> w przypadku temperatury 10°C, oraz poniżej 500 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> w przypadku pozosta-

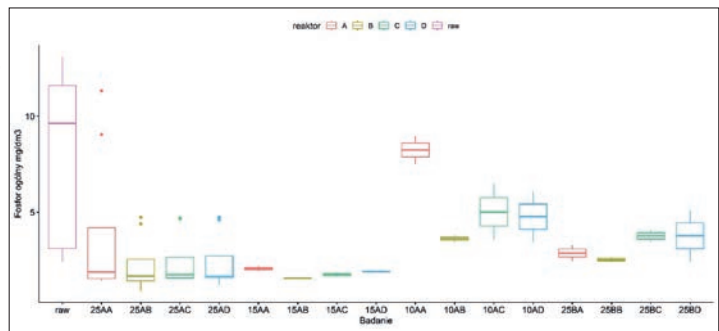


**Rys 5.** Boxplot wartości ChZT dla wszystkich serii  
**Fig 5. Boxplot for COD, all series**

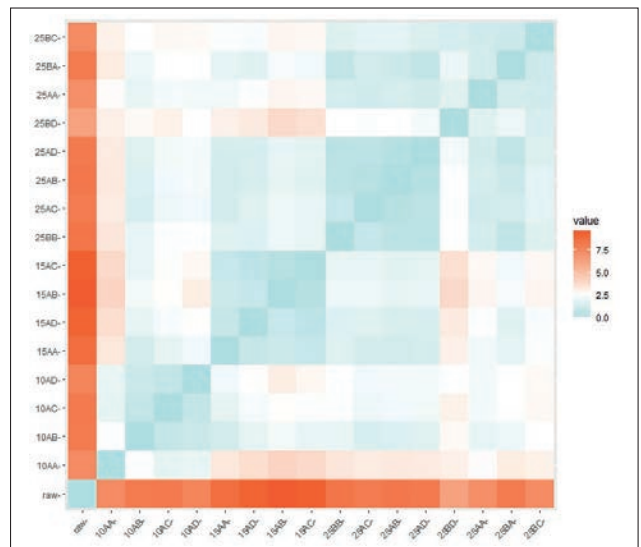
łych eksperymentów. W temperaturach 25°C i 15°C uzyskano podobne rezultaty redukcji. Zmiany w napowietrzaniu nie miały wpływu na wyniki. Spośród kształtek największe redukcje stężeń powodowały kształtki Mutag BioChip 30™, ponownie nie są to jednak zmiany wyróżniające się.

W przypadku azotu ogólnego widać całociową redukcję w każdym z przypadków (rys 6), jednak są one mocno związane z początkową jakością ścieków, część serii z temperaturą 25°C i z pełnym napowietrzaniem wykazuje wysokie redukcje azotu, natomiast finalnie rozpiętość wyników jest duża. Redukcja w warunkach ograniczonego napowietrzania jest na poziomie 25%. Najlepsze wyniki uzyskano w temperaturze 15°C oraz w części temperatury

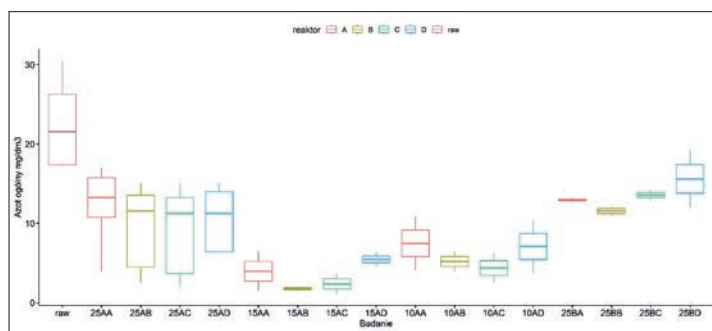
**Rys 7.** Boxplot wartości fosforu ogólnego dla wszystkich serii  
**Fig 7. Boxplot for total phosphorous, all series**



**Rys 8.** Mapa ciepła odległości euklidesowych dla wszystkich parametrów i serii  
**Fig 8. Heat map of Euclidean distances for all parameters and series**



**Rys 6.** Boxplot wartości azotu ogólnego dla wszystkich serii  
**Fig 6. Boxplot for total nitrogen, all series**

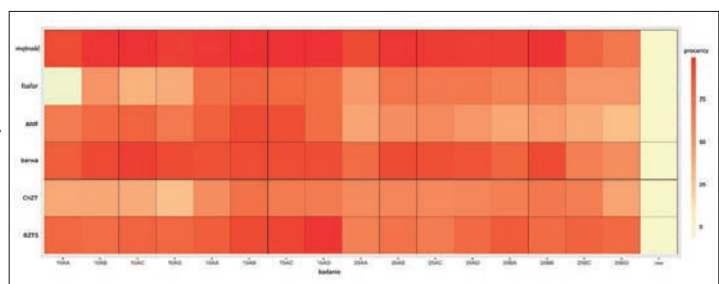


wych, dane zostały poddane standaryzacji. Rezultaty w postaci mapy ciepła przedstawia rysunek 8. Pierwszy nasuwający się wniosek (intensywny czerwony kolor na wykresie) to zdolność wszystkich metod do znacznej redukcji zanieczyszczeń, każdorazowo wszystkie metody okazały się efektywne, w co najmniej 60%. Widać także odstępstwa pomiędzy badanymi grupami, przede wszystkim ze względu na temperaturę. Można stwierdzić, że różnice

25°C. W przypadku kształtek, ponownie całociowo najlepiej wypadł bioreaktor B, jednak oprócz obniżonego napowietrzania nie są to zmiany znaczące.

Wartości fosforu w ściekach surowych charakteryzowały się najmniejszymi zakresami we wszystkich badaniach (rys 7). Dla temperatury 25°C i 15°C i pełnego napowietrzania wyniki redukcji były zbliżone

**Rys 9.** Wykres kafelkowy procentowej redukcji zanieczyszczeń  
**Fig 9. Tile plot of percentage concentration contaminants reduction**





między temperaturą 25°C i 15°C nie są znaczące, więc procesy w nich zachodzące przebiegają z podobną skutecznością. Widoczna jest różnica w sposobach napowietrzania. Różnica w stosowanych kształtkach jest niewielka i w większości przypadków nieznacznie większa od 0.

Na rysunku 9 przedstawiono wykres kafelkowy procentowej redukcji stężeń zanieczyszczeń. Redukcja barwy i mętności wynosi średnio 93%, po każdym 20 godzinnym procesie oczyszczenia ścieki są klarowne i bezbarwne. Całościowa redukcja ChZT to około 60% a BZT<sub>5</sub> około 80%. W przypadku biogenów redukcja sięga 60% dla fosforu i 70% dla azotu. Rezultaty dla barwy i mętności są porównywalne do wyników otrzymywanych w reaktorach membranowych (11,14) gdzie wartości te również są na poziomie 90% i lepsze od 70% uzyskiwanych w technologii samego osadu czynnego bez złoza ruchomego (25). Dla ChZT, BZT<sub>5</sub>, azotu i fosforu rezultaty są analogiczne. Warunki pełnego napowietrzania powodują zwiększenie redukcji zanieczyszczeń średnio o około 20%. Między temperaturą 25°C i 15°C nie ma różnic a wyniki wykazują większą redukcję o około 10% od temperatury 10°C. Całościowo kształtki Mutag BioChip 30™, powodują redukcję większą o 7% od pozostałych typów kształtek.

## Podsumowanie

Badania wykazały, że biologiczne oczyszczanie ścieków w reaktorach MBBR, powoduje znaczącą redukcję zanieczyszczeń. Uzyskane wyniki są zbliżone do podobnych badań w reaktorach biologicznych, jak i do wyników uzyskanych metodami chemicznymi np. elektrokoagulacją (3,5,8,11,14). Aby oczyścić ścieki do poziomu umożliwiającego ich ponowne wykorzystanie konieczne jest spełnienie następujących warunków: minimalny czas pracy bioreaktora to 20 godzin (powoduje to usunięcie barwy i mętności oraz znaczną redukcję BZT<sub>5</sub>, ChZT oraz związków azotu i fosforu); „klasyczny” sposób natleniania – 1,5 h napowietrzanie, 45 min. faza beztlenowa. Wpływ temperatury jest nieunikniony natomiast badania wykazały, że już w temperaturze 15°C procesy biologiczne zachodzą z zadowalającym rezultatem. Dobór kształtek wypełniających reaktor nie jest czynnikiem priorytetowym, jednak zastosowanie kształtek Mutag BioChip 30™, spowodowało nieznacznie lepsze rezultaty.

## Podziękowania

Praca zrealizowana w ramach projektu „Opracowanie technologii autonomicznej modułowej myjni bezdotykowej, z wykorzystaniem dedykowanej technolo-

gii oczyszczania ścieków oraz niskoemisyjnych technik myjących i odnawialnych źródeł energii” finansowanego przez NCBR (POIR.01.01.01-00-0636/21).

Temat zaprezentowany podczas II Konferencji Naukowo-Technicznej „Nauka-Technologia-Środowisko” w dniach 27-29 września 2023 r. w Wiśle. Konferencja finansowana przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach programu „Doskonała nauka” – moduł „Wsparcie konferencji naukowych” (projekt nr DNK/SP/546599/2022).



## LITERATURA

- [1] Qamar Z, Khan S, Khan A, Aamir M, Nawab J, Waqas M. Appraisal, source apportionment and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in vehicle-wash wastewater, Pakistan. *Science of the Total Environment*. 2017 Dec 15;605–606:106–13.
- [2] Date M, Patyal V, Jaspal D, Malviya A, Khare K. Zero liquid discharge technology for recovery, reuse, and reclamation of wastewater: A critical review. Vol. 49, *Journal of Water Process Engineering*. Elsevier Ltd; 2022.
- [3] Dadebo D, Ibrahim MG, Fujii M, Nasr M. Transition towards Sustainable Carwash Wastewater Management: Trends and Enabling Technologies at Global Scale. *Sustainability (Switzerland)*. 2022 May 1;14(9).
- [4] Kashi G, Younesi S, Heidary A, Akbarishahabi Z, Kavianpour B, Kalantary RR. Carwash wastewater treatment using the chemical processes. *Water Science and Technology*. 2021 Jul 1;84(1):16–26.
- [5] Article R, Ghaly AE. Issue 2 | 78 *Adv Envi Was Mana Rec*. 4:2021. Available from: [www.opastonline.com](http://www.opastonline.com)
- [6] Magnago RF, Berselli D, Medeiros P. TREATMENT OF WASTEWATER FROM CAR WASH BY FENTON AND PHOTO-FENTON OXIDATIVE PROCESSES. Vol. 13, *Journal of Engineering Science and Technology*. 2018.
- [7] Uçar D. Membrane processes for the reuse of car washing wastewater. *Journal of Water Reuse and Desalination*. 2018 Apr 1;8(2):169–75.
- [8] Torkashvand J, Pasalari H, Gholami M, Younesi S, Oskoei V, Farzadkia M. On-site carwash wastewater treatment and reuse: a systematic review. Vol. 102, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. Taylor and Francis Ltd.; 2022. p. 3613–27.
- [9] Kuan WH, Hu CY, Ke LW, Wu JM. A Review of On-Site Carwash Wastewater Treatment. Vol. 14, *Sustainability (Switzerland)*. MDPI; 2022.
- [10] Rodriguez Boluarte IA, Andersen M, Pramann BK, Chang CY, Bagshaw S, Farago L, et al. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *Int Biodeterior Biodegradation*. 2016 Sep 1;113:44–8.
- [11] Moazzem S, Ravishankar H, Fan L, Roddick F, Jegatheesan V. Application of enhanced membrane bioreactor (eMBR) for the reuse of carwash wastewater. *J Environ Manage*. 2020 Jan 15;254.
- [12] Zareth B, Jesús E, Luis G. Evaluation of the removal of COD and BOD in wastewater from bus washing using coagulation, floccula-
- [13] Malinen E, Id N, Valttonen S, Hakala J, Mononen T, Kostia S. Biological Treatment of Car Wash Waste Waters. *Linnaeus Eco-Tech*. 2017 Feb 1;
- [14] Rodriguez Boluarte IA, Andersen M, Pramann BK, Chang CY, Bagshaw S, Farago L, et al. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *Int Biodeterior Biodegradation*. 2016 Sep 1;113:44–8.
- [15] Radeef AY, Ismail ZZ. Bioelectrochemical treatment of actual carwash wastewater associated with sustainable energy generation in three-dimensional microbial fuel cell. *Bioelectrochemistry*. 2021 Dec 1;142.
- [16] Monney I, Buamah R, Donkor EA, Etuafu R, Nota HK, Ijzer H. Treating waste with waste: The potential of synthesized alum from bauxite waste for treating car wash wastewater for reuse. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019 May 1;26(13):12755–64.
- [17] Mahmoudi A, Mousavi SA, Darvishi P. Greywater as a sustainable source for development of green roofs: Characteristics, treatment technologies, reuse, case studies and future developments. Vol. 295, *Journal of Environmental Management*. Academic Press; 2021.
- [18] Khondee N, Tathong S, Pinyakong O, Powtongsook S, Chatchupong T, Ruangchaninikom C, et al. Airlift bioreactor containing chitosan-immobilized *Sphingobium* sp. P2 for treatment of lubricants in wastewater. *J Hazard Mater [Internet]*. 2012;213–214:466–73. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412001641>
- [19] Farhan Tajuddin M, Al-Gheethi A, Mohamed R, Noman E, Talip BA, Bakar A. Optimizing of heavy metals removal from car wash wastewater by chitosan-ceramic beads using response surface methodology. *Mater Today Proc [Internet]*. 2020;31:43–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320301462>
- [20] Ghimpusan M, Nechifor G, Nechifor AC, Passeri P. Application of Hollow Fibre Membrane Bioreactor Instead of Granular Activated Carbon Filtration for Treatment of Wastewater from Car Dismantler Activity [Internet]. Vol. 53. 2016. Available from: <http://www.revmaterialoplastice.ro578>
- [21] Rodriguez Boluarte IA, Andersen M, Pramann BK, Chang CY, Bagshaw S, Farago L, et al. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *Int Biodeterior Biodegradation*. 2016 Sep 1;113:44–8.
- [22] Kuyukina MS, Krivoruchko A V, Ivshina IB. Advanced bioreactor treatments of hydrocarbon-containing wastewater. Vol. 10, *Applied Sciences (Switzerland)*. MDPI AG; 2020.
- [23] Do KU, Kim JH, Chu XQ. Sludge characteristics and performance of a membrane bioreactor for treating oily wastewater from a car wash service station. *Desalination Water Treat*. 2018 Jul 1;120:166–72.
- [24] Malinen E, Id N, Valttonen S, Hakala J, Mononen T, Kostia S. Biological Treatment of Car Wash Waste Waters. *Linnaeus Eco-Tech*. 2017 Feb 1;
- [25] Mazumder D, Mukherjee S. Treatment of Automobile Service Station Wastewater by Coagulation and Activated Sludge Process. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol2, No1, February 2011.