

**Alicja SZYMAŃSKA**

Instytut Chemii i Elektrochemii Technicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska,
(alicja.szymanska.1@student.put.poznan.pl)

**Alicja WALERIAŃCZYK**

Instytut Chemii i Elektrochemii Technicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska

**Mariusz ŚLACHCIŃSKI**

Instytut Chemii i Elektrochemii Technicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska

**Grzegorz M. SZYMAŃSKI**

Instytut Transportu, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

**Bogdan WYRWAS**

Instytut Chemii i Elektrochemii Technicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska

Oczyszczanie i neutralizacja ścieków w Zakładzie Wodociągów i Kanalizacji w Krotoszynie

Wastewater treatment and neutralization at the Water and Sewage Plant in Krotoszyn



DOI: 10.15199/4.2026.1.1

Przedstawiono analizę skuteczności procesów oczyszczania ścieków komunalnych prowadzonych w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni eksploatowanej przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Krotoszynie. Celem badań było porównanie jakości ścieków surowych i oczyszczonych na podstawie wybranych wskaźników fizykochemicznych oraz określenie stopnia redukcji zanieczyszczeń. Oznaczono takie wskaźniki jak biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT), chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT), stężenie zawiesiny ogólnej, fosforu ogólnego, azotu ogólnego, substancji ekstrahujących się eterem naftowym oraz odczyn pH. Oznaczenia wykonano zgodnie z obowiązującymi normami i procedurami analitycznymi. Uzyskane wyniki wskazują na wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych oraz fosforu, a także znaczną redukcję zawiesiny ogólnej. W przypadku azotu ogólnego zaobserwowano zróżnicowaną skuteczność procesu oczyszczania. Oczyszczone ścieki w większości analizowanych parametrów spełniały wymagania środowiskowe dla ścieków odprowadzanych do odbiornika powierzchniowego.

Słowa kluczowe: ścieki, wody powierzchniowe, oczyszczalnia ścieków, BZT₅, ChZT

An analysis of the effectiveness of municipal wastewater treatment processes conducted in the mechanical-biological treatment plant operated by the Water and Sewage Plant in Krotoszyn, was presented. The aim of the study was to compare the quality of raw and treated wastewater based on selected physicochemical indicators and to determine the degree of pollutant reduction. Biochemical oxygen demand (BZT₅), chemical oxygen demand (ChZT), concentrations of total suspended solids, total phosphorus, total nitrogen, petroleum ether extractables, and pH were analyzed. The analysis was made in accordance with applicable standards and analytical procedures. The obtained results indicate high efficiency in removing organic pollutants and phosphorus, as well as a significant reduction in total suspended solids. Variable effectiveness of the treatment process was observed for total nitrogen. The quality of the treated wastewater meets environmental requirements for wastewater discharged to surface waters in most of the analyzed parameters.

Keywords: sewage, surface water, sewage treatment plant, BZT₅, ChZT

WSTĘP

Postępujący rozwój cywilizacyjny, urbanizacja oraz wzrost liczby ludności prowadzą do systematycznego zwiększania ilości wytwarzanych ścieków komunalnych i przemysłowych. Ścieki te, zawierające zanieczyszczenia organiczne, biogeny, zawiesiny oraz związki potencjalnie toksyczne, stanowią istotne zagrożenie dla jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Ich niekontrolowane odprowadzanie do środowiska może prowadzić do degradacji ekosystemów wodnych, eutrofizacji zbiorników oraz pogorszenia warunków sanitarnych. Ochrona zasobów wodnych jest jednym z kluczowych elementów zrównoważonego rozwoju oraz polityki środowiskowej państw Unii Europejskiej. W tym kontekście szczególne znaczenie ma prawidłowe funkcjonowanie oczyszczalni ścieków, których zadaniem jest skuteczne usuwanie zanieczyszczeń przed odprowadzeniem ścieków do odbiorników naturalnych. Nowoczesne oczyszczalnie ścieków opierają się najczęściej na układach mechaniczno-biologicznych, umożliwiających redukcję zarówno zanieczyszczeń organicznych, jak i związków biogennych, takich

jak azot i fosfor. W Polsce w ostatnich latach obserwuje się znaczący rozwój infrastruktury wodno-ściekowej oraz wzrost udziału oczyszczalni wyposażonych w technologie podwyższonego usuwania biogenów. Dane statystyczne wskazują, że większość ścieków komunalnych poddawana jest obecnie procesom oczyszczania, jednak skuteczność tych procesów zależy od wielu czynników, w tym od obciążenia hydraulicznego i ładunku zanieczyszczeń, warunków eksploatacyjnych oraz zastosowanych rozwiązań technologicznych.

Idea oczyszczania ścieków

Ścieki można zdefiniować jako zużyte odpady wodne, składające się z substancji rozpuszczalnych i zawiesin. Różnią się składem, a także zawierają mikroorganizmy, które negatywnie wpływają na środowisko. Aby chronić wody naturalne przed wpływaniem ścieków postawiono oczyszczalnie, na bieżąco kontrolujące konkretne parametry i przyczyniające się do zneutralizowania znajdujących się w nich substancji. W zależności od pochodzenia, ścieki

można podzielić na: bytowo-gospodarcze, przemysłowe, miejskie, opadowe, dowożone, wody infiltracyjne oraz nielegalne zrzuty ścieków. Najczęściej proces oczyszczania ścieków składa się z dwóch etapów, oczyszczania wstępnego i oczyszczania biologicznego. Rolą oczyszczania wstępnego (inaczej zwanego też oczyszczaniem mechanicznym lub I stopnia) jest przygotowanie nieczystości z podziałem na różne frakcje do dalszych procesów. Etap ten obejmuje procesy fizyczne takie jak cedzenie, sedymentacja i flotacja. Zadaniem oczyszczania biologicznego jest usunięcie związków takich jak azot i fosfor, usunięcie kłaczkowatego osadu, następnie utlenianie rozkładających się substancji do produktów końcowych oraz eliminacja związków tworzących metabolity lub formy życia ze związków organicznych.

Eksploracja odpadów ściekowych w Polsce

W 2025 r. ilość wytworzonych ścieków przemysłowych i komunalnych wymagających oczyszczenia wyniosła ok. 2,3 km³, natomiast ilość ścieków nieoczyszczanych 0,1 km³. Ilość ścieków oczyszczanych w oczyszczalniach z podwyższonym usuwaniem biogenów osiągnęła wartość 1,17 km³, co stanowi 55% ścieków oczyszczanych, natomiast ilość ścieków oczyszczanych mechanicznie wyniosła 0,49 km³ (23% ścieków poddanych procesom oczyszczania). Część ścieków wymagających oczyszczenia (ok. 6%) nie została poddana procesom oczyszczania. Ilość ścieków odprowadzonych bez oczyszczania w 2025 r. wynosiła 124,3 hm³, wobec 124,5 hm³ w roku poprzednim [1]. W tabeli 1 przedstawiono rodzaje aktywnych oczyszczalni ścieków wraz z ilościami ścieków.

W 2021 r. liczba oczyszczalni ścieków ogółem była mniejsza o 32, lecz wzrosła nieznacznie liczba przydomowych oczyszczalni

które mają negatywny wpływ na redukcję związków azotu z osadów po fermentacji. Azot obecny w odciekach podnosi zużycie tlenu w procesie nityfikacji oraz zapotrzebowanie na węgiel organiczny podczas denityfikacji. Dlatego kraje skupiają się na usuwaniu azotu z odcieków metodą DEMON® (*deammonification enriched media on-site*), która polega na takim przeprowadzeniu procesu, aby nastąpiło jedynie utlenianie azotu amonowego do azotanów(III) przy blokowaniu drugiej fazy nityfikacji, czyli utleniania azotanów(III) do azotanów(V), w celu ich ograniczenia. Jest to specyficzna forma jednoetapowej deamonifikacji, która łączy nityfikację i amonifikację w jednym reaktorze, często pracującym jak SBR (*sequencing batch reactor*). Działa on podobnie do reaktora okresowego z naprzemiennym napowietrzaniem i okresowym podawaniem surowych ścieków, usuwając azot w formie gazowej (do azotu atmosferycznego). Metoda ta jest kluczowa w oczyszczaniu ścieków komunalnych. Zmniejsza to zapotrzebowanie na tlen i środki chemiczne, redukuje ilość osadów i obniża koszty operacyjne, co czyni tę technologię atrakcyjną ekonomicznie i przyjazną dla środowiska [4].

Usuwanie farmaceutyków i innych zagrożeń mikrobiologicznych jest obecnie ważnym problemem, ponieważ skala produkcji farmaceutyków sukcesywnie wzrasta i coraz więcej jest doniesień o lekoodporności szczepów bakterii na dane antybiotyki. Dostają się one do ścieków komunalnych, a przez to, że są słabo biodegradowane, przedostają się ze ściekami oczyszczonymi do wód powierzchniowych. Ta szeroka gama hormonów i leków może ponownie dostawać się do organizmu człowieka. Niestety nie ma w pełni opracowanej 100% skutecznej metody IV stopnia usuwania zanieczyszczeń związanych z obecnością antybiotyków. Metody stosowane w IV stopniu to m.in. zaawansowane utlenianie (AOP), adsorpcja na węglu aktywnym, membranowe procesy filtracji, foto-

Tabela 1. Rodzaje aktywnych oczyszczalni ścieków wraz z ilościami ścieków [2]

Table 1. Types of active sewage treatment plants with wastewater volumes [2]

Rok	Liczba aktywnych oczyszczalni			Ilość ścieków komunalnych powstających w aglomeracji ogółem	Ilość oczyszczonych ścieków komunalnych ogółem w ciągu roku
	ogółem	w tym PUB (przydomowe oczyszczalnie ścieków)	w tym B (biologiczne)		
2020	1664	672	1572	2530467	2472837
2021	1632	681	1540	1913310	1994024

ścieków o 9 względem 2020 r. Za to w 2020 r. liczba biologicznych oczyszczalni ścieków była większa niż w 2021 r. o 28. Ponadto w 2020 r. roczne powstawanie ścieków zarówno w aglomeracjach jak i w oczyszczalni ogółem było większe o ok. 600 tys. m³ niż w 2021 r.

Nowości, trendy w oczyszczaniu ścieków

W ramach postępu technologicznego rozwija się wykorzystanie odpadów komunalnych jako źródła dodatkowej energii elektrycznej lub ciepłej najczęściej przez samą oczyszczalnię. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wprowadzono innowacje dotyczące metod oczyszczania ścieków. Wykorzystano biogaz, którego wytwarzanie zależy głównie od typu przetwarzanych substratów. W tym wypadku należy uwzględnić wiele istotnych kwestii takich jak zawartość suchej masy w komorze fermentacyjnej, temperatura procesu, liczba stopni procesu, stopień rozdzielania poszczególnych faz procesu fermentacji oraz sposób dozowania substratów [3]. Otrzymany podczas fermentacji gaz trafia do agregatów kogeneracyjnych, których zadaniem jest wytworzenie pożądanej energii ciepłej i elektrycznej. Prowadzona jest także eliminacja związków azotowych z odcieków pofermentacyjnych,

kataliza i ozonowanie. Obecnie możliwe są do zastosowania następujące metody ograniczania farmaceutyków w środowisku, jednak związane ze znacznym wzrostem kosztów: (i) procesy membranowe (np. odwrócona osmoza, ultrafiltracja), adsorpcja oraz złożone formy utleniania wykorzystujące nowoczesne nanomateriały mogą być efektywnym sposobem usuwania wszelkich farmaceutyków ze ścieków, szczególnie jeśli występują w niskich stężeniach, (ii) procesy fizyczne i chemiczne, m.in. ozonowanie i zaawansowane procesy utleniania, mogą być również skutecznym sposobem usuwania farmaceutyków ze ścieków poprzez degradację chemiczną lub przekształcenie ich struktury molekularnej w związki o zmniejszonej toksyczności. Ozonowanie polega na wykorzystaniu ozonu do reakcji utleniania substancji farmaceutycznych, prowadzącej do rozkładu ich struktury chemicznej co zmienia ich szkodliwe właściwości, (iii) biodegradacja, która polega na wykorzystaniu przez mikroorganizmy substancji farmaceutycznych jako np. źródła energii do swojego metabolizmu. Mikroorganizmy przechodzą wtedy do fazy wzrostu logarytmicznego, gdzie gwałtownie się mnożą i im większa ich ilość, tym szybciej przebiega proces. Następuje stopniowy rozkład antybiotyków na prostsze związki chemiczne [5].

Opis oczyszczalni ścieków oraz sposoby oczyszczania odpadów komunalnych

W 1995 r. oddano do użytku wybudowaną w Krotoszynie oczyszczalnię mechaniczno-biologiczną. Wraz z budową oczyszczalni wykonano 3 kolektory, które obsługują poszczególne części miasta. Podczas realizacji zadań związanych z budową kolektorów nastąpiło efektywne rozdzielanie ścieków na obszarach bezpośrednio przyległych do kolektorów w granicach miasta, a także wybudowano kanalizację w 7 sąsiednich wsiach, które jednocześnie wchodziły w skład aglomeracji Krotoszyń [4]. Dodatkowo jest możliwa dalsza rozbudowa obiektu, gdyż obecnie oczyszczalnia może oczyścić 8000 m³ ścieków dopływających w ciągu doby, a wraz z rozbudową ilość ta może zwiększyć się nawet 4-krotnie [6].

Oczyszczanie mechaniczne

Ścieki trafiają na kraty znajdujące się w tzw. budynku krat. Są one poddawane procesowi cedzenia, w wyniku którego zatrzymywane są większe objętościowo i masowo zanieczyszczenia transportowane wraz ze ściekami. W budynku krat znajduje się stacja zlewcza, gdzie ścieki są zlewane z pojazdów asenizacyjnych. Przeprowadzany jest pomiar pH, aby procesy oczyszczania mogły przebiegać prawidłowo. Następnie zanieczyszczone ścieki surowe trafiają do piaskownika, gdzie usuwane są frakcje o średnicy 1 mm. System działania polega na zwiększeniu przekroju koryta, dzięki czemu cząstki piasku i innych drobnych ciał stałych opadają na dno. Na koniec oczyszczania mechanicznego ścieki surowe trafiają do osadnika wstępnego, a następnie rozdzielane są na ścieki i osady ściekowe [7].

Oczyszczanie biologiczne

Ścieki surowe po oczyszczeniu mechanicznym kierowane są do reaktora biologicznego, zawierającego osad czynny. Jest to najważniejszy czynnik każdej biologicznej oczyszczalni ścieków. Osad czynny składa się z bakterii, pierwotniaków, grzybów, które absorbują i rozkładają nieczystości zawarte w ściekach. Bioreaktor wspomagany jest sztucznym napowietrzeniem. Po tym etapie otrzymuje się już ścieki oczyszczone oraz powiększoną biomasę. W osadniku wtórnym następuje rozdzielanie osadu czynnego od ścieków oczyszczonych, które kierowane są do odbiornika – rzeki Jawnik. Osad czynny jest zwracany do reaktora biologicznego, a osad nadmiarowy po zagęszczeniu, w celu usunięcia z niego jak największej ilości wody, wprowadzany do komory fermentacyjnej, gdzie w warunkach beztlenowych otrzymywany jest biogaz zawierający metan (50–60% obj.) ditlenek węgla, wodę oraz nieszkodliwe dla środowiska pofermentacyjne osady ściekowe, o ile nie zawierają metali ciężkich. Wydajność tak uzyskiwanego czystego biometanu wynosi 0,25–0,30 m³ /kg s.m.o., co przekłada się na odzysk 2,5–3 kWh energii/kg s.m.o.

Część doświadczalna

Materiały

Do badań wykorzystano **ścieki** surowe i oczyszczone pochodzące z oczyszczalni ścieków w Krotoszynie.

Metodyka badań

Przeprowadzono badania, które polegały na oznaczaniu takich parametrów jak: fosfor ogólny, azot ogólny, zawiesina, ChZT, BZT₅, a także substancji ekstrahujących się w eterze naftowym oraz pH.

Oznaczanie fosforu w ściekach prowadzono przez przekształcenie związków fosforu w ortofosforany. W tym celu stosowano

mineralizację z nadtlenodwusiarczanem potasu lub, jeśli wymagane były bardziej ekstremalne warunki, mineralizację kwasem azotowym i kwasem siarkowym. W procesie utleniania nadtlenodwusiarczanem potasu, mineralizacja prowadzona była w autoklawie przez ogrzewanie zakwaszonych, przesączonych próbek ścieków. Próbkę mineralizowano przez 0,5 h w temp. ok. 120°C. Mierzono absorbancję roztworów, odnosząc wynik do krzywej kalibracji (roztwory o zawartości ortofosforanów 0,04–0,4 mg P/dm³) [8].

Oznaczanie azotu ogólnego przeprowadzono metodą miareczkową, miareczkując destylat mianowanym roztworem zasady sodowej po mineralizacji materiału w środowisku kwasu siarkowego za pomocą mineralizatora mikrofalowego oraz po destylacji amoniaku w środowisku silnie alkalicznym [9].

Oznaczanie zawiesin metodą z zastosowaniem filtracji przez sączki z włókna szklanego przeprowadzono na podstawie normy [10]. Sączek po zważeniu nakładano na lejek aparatury do wytwarzania próżni. Objętość próbki dostosowano tak, aby po wysuszeniu pozostała optymalna ilość do oznaczenia (5–50 mg). Badaną próbkę ścieku sączono pod próżnią. Po wysuszeniu sączka wraz z zatrzymanym osadem, masę osadu oznaczano wagowo.

Oznaczenie chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) prowadzono zgodnie z normą [11]. Przed pomiarem potrząsano kuwetą z reagentami (K₂Cr₂O₇, H₂SO₄, Ag₂SO₄, HgSO₄), aby osad przeszedł w zawiesinę, a następnie dodawano 2,0 mL badanej próbki ścieku, kuwetę zamykano, wstrząsano i ogrzewano w termostacie przez 2 h, w temp. 148°C, po czym ostudzono do temperatury pokojowej. Przed pomiarem oczyszczono ścianki zewnętrzne kuwety za pomocą ręcznika papierowego i wykonano pomiar spektrofotometryczny. Zawarte w próbce ścieku zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne utleniały się i reagowały z roztworem dichromianu potasowego w środowisku kwasu siarkowego. Katalizatorem był siarczan srebra. Obecność chlorków maskowana była dodatkiem siarczanu rtęci. Oznaczana była redukcja pomarańczowej barwy jonów chromianowych(VI).

Oznaczenie biochemicznego zapotrzebowania tlenu (BZT) prowadzono metodą rozcieńczeń z dodatkiem materiału zaszczipiającego i alliliotiomocznika zgodnie z normą [12]. Próbkę dokładnie wymieszano, w przypadku pojawienia się w roztworze większych cząstek przeprowadzono homogenizację. Odczyn próbki powinien być w zakresie pH 6–8. Analizę przeprowadzono z trzema rozcieńczeniami w dwóch powtórzeniach. Próbę kontrolną przeprowadzono używając 20 mL glukozy, 2 mL ATU, dopełniając do 1 L zaszczipioną wodą do rozcieńczeń. Obliczano potrzebną objętość próbki na podstawie wcześniej wykonanego badania na ChZT. Próbkę inkubowano przez 5 dni w temp. 20°C (± 1°C) i za pomocą sondy tlenowej z miernikiem odczytano stężenie końcowe tlenu. Zużycie tlenu obliczono z różnicy pomiędzy początkowym i końcowym stężeniem tlenu w próbce 1 dnia i po 5 dniach.

Oznaczanie substancji ekstrahujących się w eterze naftowym przeprowadzono metodą ekstrakcji ciągłej w aparacie Soxhleta na podstawie procedury Zakładu Wodociągów i Kanalizacji [13]. Wymieszane ścieki odmierzone za pomocą cylindra, próbkę zakwaszono kwasem solnym wobec papierka uniwersalnego i odparowano. Kolbę wysuszono w temp. 105°C przez ok. 2 h, ostudzono i zważono. Przeniesiono ilościowo próbkę z parownicy do gilzy ekstrakcyjnej za pomocą odpowiednich sączków i umieszczono w aparacie Soxhleta. Dodano do kolby eter (ok. 90 cm³) i podłączono kolbę z aparatem Soxhleta do chłodnicy. Proces ekstrakcji prowadzono przez ok. 4 h. Następnie, oddestylowano eter na łaźni wodnej, a pozostałość suszono w suszarce. przez ok. 30 min w temp. 105°C, studzono przez 30

Tabela 2. Wykaz parametrów jakości ścieków surowych oraz oczyszczonych w latach 2024–2025 wraz z wyznaczonym stopniem ich redukcji [15]**Table 2.** List of quality parameters for raw and treated wastewater for the years 2024–2025, along with the specified reduction targets [15]

Parametr	2024 r.			2025 r.		
	ściek		stopień redukcji [%]	ściek		stopień redukcji [%]
	surowy	oczyszczony		surowy	oczyszczony	
BZT ₅ [mg/dm ³]	174,1	46,2	73,5	224,5	41,3	81,6
ChZT [mg/dm ³]	652,3	9,2	98,6	974,8	9,9	99,0
Stężenie zawiesiny ogólnej [mg/dm ³]	46,5	9,9	78,7	47,2	10,5	77,8
Fosfor ogólny [mg/dm ³]	6,8	0,48	92,9	8,1	0,33	95,9
Azot ogólny [mg/dm ³]	47,4	10,2	78,5	49,1	10,4	78,8
Stężenie substancji ekstrahujących się eterem naftowym [mg/dm ³]	46,9	9,6	79,5	44,2	10,7	75,8
pH	7,5	7,3	-	7,4	7,4	-

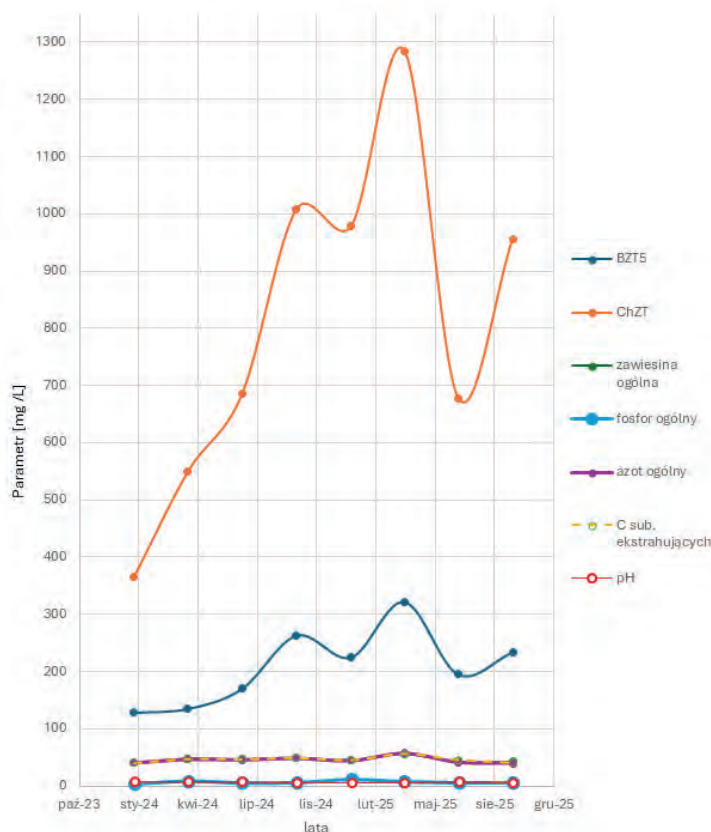
min. i ważono. Na koniec próbkę zakwaszono i odparowano na łaźni wodnej. Po całkowitym wysuszeniu zawartość tłuszczów i olejów oznaczono wagowo.

Oznaczenie pH przeprowadzono na podstawie normy [14]. W roztworze wzorcowym sprawdzono wskazania pH-metru. Kalibrację wykonano zgodnie z zaleceniami producenta. Do naczynia pomiarowego wprowadzono badaną próbkę, po czym umieszczono w niej sondę pH w celu wykonania pomiaru. Po ustabilizowaniu urządzenia odczytano wynik analizy. Działanie metody polega na pomiarze różnicy potencjałów ogniwa elektrochemicznego.

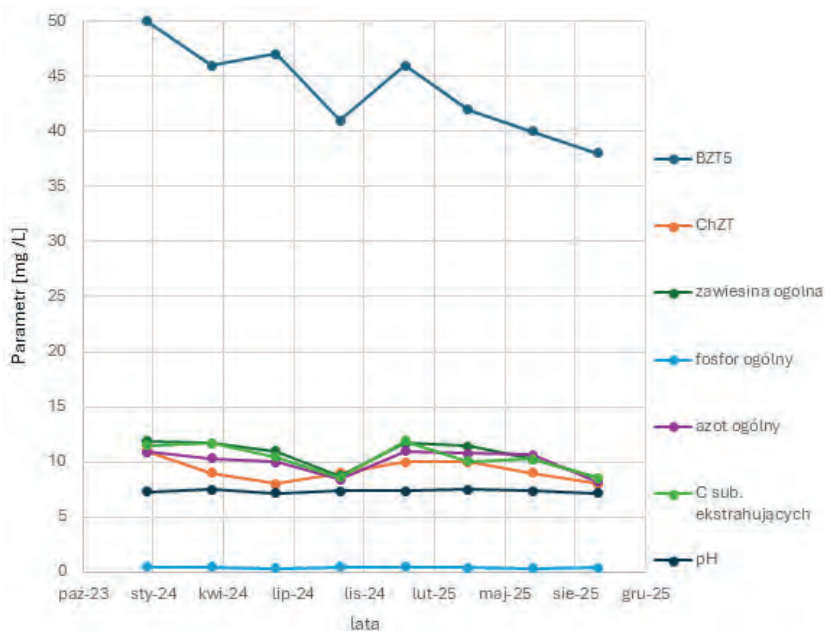
W tabeli 2 przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań ze wskazaniem na najważniejsze parametry i stopień redukcji dla ścieków surowych i oczyszczonych.

Na podstawie przedstawionych wyników można zauważyć wyraźną poprawę jakości ścieków po procesie oczyszczania. Wartości BZT₅ oraz ChZT w ściekach oczyszczonych są kilkukrotnie niższe niż w ściekach surowych, co świadczy o skutecznym usuwaniu związków organicznych. Również stężenie zawiesiny ogólnej uległo znacznemu obniżeniu, co wskazuje na efektywne oddzielenie cząstek stałych. Widoczna jest także redukcja fosforu i azotu ogólnego, co ma istotne znaczenie dla ograniczenia eutrofizacji wód odbiorników. W przypadku substancji ekstrahujących się eterem naftowym zmiany są mniej jednoznaczne, jednak wartości po oczyszczeniu pozostają na porównywalnym lub nieco niższym poziomie. Parametr pH zarówno w ściekach surowych jak i oczyszczonych utrzymuje się w zakresie obojętnym, co wskazuje na stabilność procesów technologicznych. Ogólnie wyniki potwierdzają wysoką skuteczność procesu oczyszczenia i spełnienie podstawowych wymagań jakościowych dla ścieków oczyszczonych.

W styczniu 2024 r. ścieki surowe charakteryzowały się umiarkowanymi wartościami BZT₅ i ChZT, przy stosunkowo niskich stężeniach zawiesiny ogólnej, fosforu ogólnego oraz azotu ogólnego. Wartość pH utrzymywała się na stabilnym poziomie. W kwietniu zaobserwowano wzrost BZT₅ i ChZT, co wskazuje na zwiększone obciążenie zanieczyszczeniami organicznymi. Pozostałe parametry uległy nieznacznym zmianom. W lipcu nastąpił dalszy wzrost ChZT oraz BZT₅. Zawiesina ogólna i azot ogólny osiągnęły większe wartości niż w poprzednich miesiącach, natomiast pH pozostało stabilne.

**Rys. 1.** Parametry jakości ścieków surowych w latach 2024–2025**Fig. 1.** Raw sewage quality parameters in 2024–2025

W październiku odnotowano wysokie wartości ChZT oraz względnie podwyższone BZT₅. Pozostałe parametry wykazywały umiarkowany poziom, bez gwałtownych zmian. W styczniu 2025 r. nastąpił wyraźny wzrost ChZT, osiągający jedno z największych wartości w całym okresie badań. BZT₅ oraz zawiesina ogólna również były podwyższone. W kwietniu zaobserwowano spadek ChZT oraz BZT₅ w porównaniu ze styczniem 2025 r. Jednocześnie zmniejszyły się wartości pozostałych parametrów. W lipcu 2025 r. wartości większo-



Rys. 2. Parametry jakości ścieków oczyszczonych (2024–2025 r.)

Fig. 2. Quality parameters of treated wastewater (2024–2025)

ści parametrów utrzymywały się na umiarkowanym poziomie, z niewielkimi wahaniami stężeń związków azotu i fosforu. W październiku ponownie zaobserwowano wzrost ChZT i BZT₅, przy jednocześnie niskich wartościach zawiesiny ogólnej oraz stabilnym pH.

W styczniu 2024 r. ścieki oczyszczone charakteryzowały się niskimi wartościami BZT₅ i ChZT, co świadczy o skutecznym usuwaniu zanieczyszczeń organicznych. Pozostałe parametry utrzymywały się na niskim i stabilnym poziomie. W kwietniu odnotowano niewielki wzrost BZT₅ oraz ChZT, jednak wartości te pozostawały znacznie niższe niż w ściekach surowych. Zawiesina ogólna i biogeny nie wykazywały istotnych zmian. W lipcu zaobserwowano niewielkie wahania stężeń, z lekkim wzrostem zawiesiny ogólnej i azotu ogólnego, a pH pozostało stabilne. W październiku nastąpił krótkotrwały wzrost BZT₅ i ChZT, jednak parametry nadal mieściły się na niskim poziomie charakterystycznym dla ścieków oczyszczonych. W styczniu 2025 r. wartości większości parametrów wzrosły nieznacznie, szczególnie azotu ogólnego i zawiesiny, co może wynikać z warunków sezonowych. W kwietniu zaobserwowano spadek BZT₅ i ChZT oraz stabilizację pozostałych parametrów, co wskazuje na poprawę efektywności oczyszczania. W lipcu wartości wszystkich wskaźników były wyrównane i niskie, a stężenia fosforu i azotu ogólnego utrzymywały się na podobnym poziomie jak w poprzednich miesiącach. W październiku 2025 r. parametry jakości ścieków oczyszczonych pozostały stabilne, z niskimi wartościami BZT₅, ChZT oraz zawiesiny ogólnej i niezmiennym pH.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania umożliwiły szczegółową ocenę funkcjonowania procesów oczyszczania ścieków komunalnych na etapie mechanicznym i biologicznym. Analiza porównawcza próbek ścieków surowych i oczyszczonych wykazała istotne zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń organicznych wyrażonych wskaźnikami BZT₅ i ChZT, co potwierdza wysoką skuteczność procesów biologicznego utleniania substancji organicznych. Znacznemu obniżeniu uległo również stężenie zawiesiny ogólnej, co świadczy o prawidłowym

wym przebiegu procesów sedymentacji i separacji osadu czynnego. Efektywne usuwanie fosforu ogólnego wskazuje na sprawne działanie układu biologicznego w zakresie eliminacji biogenów, istotnych z punktu widzenia ochrony wód powierzchniowych przed eutrofizacją. W przypadku azotu ogólnego uzyskane wyniki były bardziej zróżnicowane, co może świadczyć o zmiennej skuteczności procesów nityfikacji i denityfikacji w badanym okresie. Odczyn pH zarówno ścieków surowych, jak i oczyszczonych utrzymywał się w zakresie obojętnym, sprzyjającym prawidłowemu przebiegowi procesów biologicznych. Można zatem wnioskować, że procesy mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków zapewniają wysoką redukcję zanieczyszczeń organicznych, co potwierdzają znaczne spadki wartości BZT₅ i ChZT w ściekach oczyszczonych, oczyszczalnia skutecznie usuwa zawiesinę ogólną, co ogranicza ilość cząstek stałych odprowadzanych do odbiornika wodnego. Dodatkowo redukcja fosforu ogólnego przebiega efektywnie i spełnia wymagania ochrony środowiska w zakresie ograniczania eutrofizacji wód powierzchniowych, natomiast skuteczność usuwania azotu ogólnego jest zmienna, co wskazuje na potrzebę

dalszej optymalizacji procesów biologicznych odpowiedzialnych za jego eliminację. Jakość ścieków oczyszczonych w większości analizowanych parametrów odpowiada obowiązującym normom, co potwierdza prawidłowe funkcjonowanie oczyszczalni i jej istotną rolę w ochronie środowiska wodnego.

Received / Otrzymano: 22.01.2026

Accepted / Przyjęto: 11.03.2026

Alicja SZYMAŃSKA – (ORCID: 0009-0009-5888-5861) studentka technologii chemicznej na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Uczestniczy w konferencjach naukowych, traktując je jako przestrzeń do pogłębiania wiedzy chemicznej i odkrywania jej zastosowań w interdyscyplinarnych obszarach, takich jak wibroakustyka czy nowoczesne paliwa alternatywne wykorzystywane w transporcie. Ponadto interesuje się analizą instrumentalną, której metody znajdują coraz szersze zastosowanie w badaniach zjawisk wibroakustycznych.

Alicja WALERIAŃCZYK – (ORCID: 0009-0000-2342-0460) studiuje na kierunku Technologii Obiegu Zamkniętego na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Interesuje się energią odnawialną oraz przetwórstwem materiałów odpadowych z branży przemysłowej w ramach GOZ. Interesuje się przede wszystkim analizą składu jakościowego w polskich oczyszczalniach ścieków. Bierze udział w pracach na rzecz działania w kole międzywydziałowym PUT JetRiders.

dr hab. inż. Mariusz ŚLACHCIŃSKI prof. PP – (ORCID: 0000-0001-8884-8644) jest Profesorem Politechniki Poznańskiej i Kierownikiem Zakładu Chemii Ogólnej i Analitycznej. Zajmuje się opracowywaniem nowoczesnych metod i rozwiązań aparaturowych, mających zastosowanie w przygotowaniu próbek do analizy technikami analitycznej spektrometrii atomowej (absorpcyjna spektrometria atomowa, optyczna spektrometria emisyjna) i spektrometrii mas. Badania te mają także na celu projektowanie i adaptację nowoczesnych technik łączonych w oparciu o generatory chemicznego/fotochemicznego generowania par, elektroforezę kapilarną, systemy zminiaturyzowane (czip), laserową ablację oraz elektrotermiczne odparowanie.

dr hab. inż. Grzegorz M. SZYMAŃSKI prof. PP – (ORCID: 0000-0002-2784-9149) jest Profesorem Politechniki Poznańskiej zatrudnionym w Instytucie Transportu. Badania naukowe oraz prace badawczo-rozwojowe, które realizuje we współpracy z przemysłem obejmują trzy obszary: wibroakustyczną diagnostykę środków transportu; metody przetwarzania i analizy sygnałów; diagnostykę środowiska w aspekcie wibroakustycznym. Jest członkiem następujących organizacji naukowych: Zachodniopomorski Zespół Środowiskowy – Sekcja Podstaw Eksploatacji

Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej.

dr hab. inż. Bogdan WYRWAS prof. PP - (ORCID: 0000-0002-4791-5318) - absolwent Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej (1987), w roku 1997 uzyskał stopień doktora, a w 2013 r. stopień doktora habilitowanego na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, od 2021 na stanowisku profesora Politechniki Poznańskiej w Zakładzie Chemii Ogólnej i Analitycznej. Członek PTChem, przewodniczący ogólnopolskiego „Konkursu Wiedzy z Chemii InPUT” dla szkół średnich organizowanego corocznie na Politechnice Poznańskiej, którego celem jest propagowanie zainteresowania chemią i naukami pokrewnymi. Zainteresowania naukowe: analityka i monitoring związków powierzchniowo czynnych w różnych elementach środowiska, biologiczne i niebiologiczne metody degradacji związków powierzchniowo czynnych, fotodegradacja, sorpcja, toksyczność surfaktantów, uzdatnianie wody, chemia środowiska.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Główny Urząd Statystyczny: Komunikaty i obwieszczenia – rok 2025. <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/2025,rok.html> (dostęp 15.11.2025 r.).
- [2] Sprawozdanie z realizacji KPOŚK za 2020 rok. PGW WP 2021 r.; Sprawozdanie z realizacji KPOŚK za 2021 rok. PGW WP 2022 r., <https://www.wody.gov.pl/nasze-dzialania/krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych>.
- [3] Antosz A., Ptak S.: Analiza przemysłowych instalacji biogazowych w aspekcie rozwoju technologii oczyszczania biogazu. *Nafta-Gaz* 2023, 79, nr 8, 545–556.
- [4] Barbusiński K.: Innowacyjna technologia oczyszczania odcieków pofermentacyjnych. *Przem. Chem.* 2017, 96, nr 6, 1268–1272.
- [5] Całus-Makowska K., Grobelak A.: Usuwanie farmaceutyków w procesach oczyszczania ścieków – możliwości i wyzwania. [w:] *Nowatorskie rozwiązania w inżynierii środowiska i energetyce – perspektywa zrównoważonego rozwoju* (red. I. Zawieja). Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2024, 15–24.
- [6] PGKiM Krotoszyn: Opis projektu: Uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej na terenie aglomeracji Krotoszyn – etap II. <https://pgkim-krotoszyn.pl/projekty/uporzadkowanie-gospodarki-wodno-sciekowej-na-terenie-aglomeracji-krotoszyn-etap-ii/> (dostęp 15.11.2025 r.).
- [7] PGKiM Krotoszyn: Strona internetowa przedsiębiorstwa. <https://pgkim-krotoszyn.pl> (dostęp 15.11.2025 r.).
- [8] Wiejak A.: Oznaczanie fosforu w ściekach. *Laboratorium – Przegląd Ogólnopolski* 2018, 23, nr 4, 28–31.
- [9] Jakubaszek A., Wojciech M.: Analiza statystyczna zawartości azotu ogólnego w złożu oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie. *Inż. Ekolog.* 2017, 18, nr 4, 110–116.
- [10] PN - EN ISO 872:2007, *Oznaczanie zawiesin. Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączki z włókna szklanego.*
- [11] SO 15705:2002: *Water quality. Determination of the chemical oxygen demand index (ST-COD) – Small-scale sealed-tube method. International Organization for Standardization, Geneva.*
- [12] PN - EN ISO 5815-1:2019-12, *Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach. Metoda rozcieńczeń z dodatkiem materiału zaszczipającego i alliliotiocznika.*
- [13] Procedura Zakładu Wodociągów i Kanalizacji PB-01, *Substancje ekstrahujące się eterem naftowym - oznaczane metodą ekstrakcji ciągłej na aparacie Soxhlet'a.*
- [14] PN - EN ISO 10523:2012, *Oznaczanie pH.*
- [15] Dane dotyczące stężeń chemicznego zapotrzebowania tlenu na przestrzeni lat zaczerpnięte z archiwum Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Krotoszynie.

KALENDARZ WYDARZEŃ W 2026 R.

Miesiąc	Data	Wydarzenie	Miejsce	Organizator
MAJ	19.05.2026	XV MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA PRZEMYSŁU DETERGENTOWEGO	Warszawa	Chemia i Biznes
	20.05.2026	II MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA PRZEMYSŁU KOSMETYCZNEGO	Warszawa	Chemia i Biznes
Czerwiec	11–12.06.	XIII Kongres Polska Chemia	Warszawa	PIPC
	18.06.	Gala Jubileuszowa z okazji 110-lecia Łukasiewicz-IChP	Warszawa	Łukasiewicz-IChP
	25–26.06.	XIX Kopernikańskie Seminarium Doktoranckie	Toruń	Wydział Chemii, UMK w Toruniu
	30.06.–2.07.	European Technical Coating Congress „ETCC 2026”	Praga	FATIPEC
Wrzesień	14–18.09.	68. Zjazd PTChem	Bydgoszcz	PTChem
Listopad	3–5.11.	Kujawsko-Pomorskie Forum Innowacji, Nauki, Biznesu i Samorządu	Toruń	KPCNT
	22–25.11.	50. Międzynarodowe Seminarium Naukowo-Techniczne Chemistry for Agriculture and Human Health	Wrocław	CNB Agrophos
Październik	19-21.10.2026	MAT-PUR 2026	Zawiercie	Politechnika Krakowska
Grudzień	2–4.12.	Konferencja Przemysł Chemiczny 2026 Gala konkursu o tytuł „Inżynier Przemysłu Chemicznego” 2026	Warszawa	ZG SITPChem