

Ocena efektywności redukcji zanieczyszczeń przez oczyszczalnię komunalną w gminie Poniec

Assessment of the effectiveness of pollution reduction by the municipal wastewater treatment plant in the Poniec commune

Klaudia Kałas¹, Konrad Glura², Alicja Szymańska^{1*}, Mariusz Ślachciński¹, Grzegorz M. Szymański³, Bogdan Wyrwas¹

¹ Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej

² Firma Gardna 3D

³ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

*Kontakt / Correspondence: alicja.szymanska.1@student.put.poznan.pl

Streszczenie:

W artykule przeprowadzono ocenę skuteczności redukcji zanieczyszczeń przez komunalną oczyszczalnię ścieków w gminie Poniec, ze szczególnym uwzględnieniem anionowych i niejonowych związków powierzchniowo czynnych. Zwrócono uwagę na główne problemy środowiskowe wynikające z industrializacji, stan czystości wód w Polsce oraz znaczenie gospodarki ściekowej. Opisano również etapy pracy oczyszczalni w gminie Poniec oraz charakterystykę związków powierzchniowo czynnych. Przeanalizowano także próbki ścieków pobierane codziennie na wlocie i wylocie oczyszczalni w marcu i kwietniu. Surfactanty anionowe oznaczano metodą MBAS jako substancje aktywne wobec błękitu metylenowego, natomiast surfaktanty niejonowe metodą BiAS-tio (substancje wchodzące w reakcję z odczynnikiem Dragendorffa). Otrzymane wyniki wykazały wysoką skuteczność oczyszczalni w usuwaniu obu grup surfaktantów, a stężenia zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych były znacznie niższe i zgodne z obowiązującymi normami środowiskowymi.

Słowa kluczowe:

surfaktanty, efektywność oczyszczania ścieków, metoda MBAS, metoda BiAS-tio, redukcja zanieczyszczeń, wody powierzchniowe

Abstract:

This article assesses the effectiveness of pollutant reduction at the municipal wastewater treatment plant in the Poniec commune, with particular emphasis on anionic and nonionic surfactants. It highlights the main environmental problems resulting from industrialization, the state of water purity in Poland, and the importance of wastewater management. It also describes the operational stages of the Poniec commune's wastewater treatment plant and the characteristics of surfactants. Wastewater samples collected daily at the inlet and outlet of the treatment plant in March and April were also analyzed. Anionic surfactants were determined using the MBAS method as active substances against methylene blue, while nonionic surfactants were determined using the BiAS-thio method (substances reacting with Dragendorff's reagent). The results demonstrated the high effectiveness of the treatment plant in removing both groups of surfactants, and the concentrations of pollutants in the treated effluent were significantly lower and in line with applicable environmental standards.

Keywords: surfactants, wastewater treatment efficiency, MBAS method, BiAS-tio method, pollution reduction, surface water

1. Wstęp

Woda jest podstawowym, niezbędnym do życia zasobem na ziemi. Antropogeniczna działalność człowieka prowadzi do postępującego zanieczyszczenia wody i powstawania dużej ilości odpadów i ścieków. Zanieczyszczenia po-

chodzą głównie z przemysłu, rolnictwa oraz gospodarstw domowych.

W Polsce podjęto szereg działań, mających na celu poprawę stanu jakości wód podziemnych i powierzchniowych. Wybudowano wiele nowych oczyszczalni ścieków, unowocześniono już istniejące, dokonano weryfikacji po-

zwoleń wodnoproprownych [1].

Oczyszczanie ścieków jest niezwykle ważnym procesem, ponieważ ma bezpośredni wpływ na stan środowiska. W Polsce, ścieki oczyszczone wprowadzane do wód powierzchniowych (rzek, jezior i morza) muszą spełniać ściśle określone przez Ministra Środowiska wymagania.

Jednym z istotnych zanieczyszczeń, trafiających poprzez systemy kanalizacji do oczyszczalni ścieków, są związki powierzchniowo czynne. Roczna produkcja środków powierzchniowo czynnych w Polsce w 2024 r. osiągnęła już poziom 326 tys. ton. Natomiast roczna, światowa produkcja związków powierzchniowo czynnych szacowana jest aktualnie na 18 mln ton. Ten rynek wart jest 50 mld USD.

Olbrzymia skala produkcji surfaktantów, która rocznie sukcesywnie rośnie o kilka procent, powoduje wzrost ładunku zanieczyszczeń ścieków surowych obciążających oczyszczalnię ścieków i stanowi poważne zagrożenie dla ekosystemu. Związki powierzchniowo czynne są największym źródłem węgla syntetycznego wprowadzanego do środowiska. Prowadzi to do zanieczyszczania wód powierzchniowych oraz gruntowych.

W związku z narastającą degradacją środowiska, szczególnie istotne jest monitorowanie jakości wód, dlatego celem pracy jest oznaczenie zakresu redukcji wybranych zanieczyszczeń w wytypowanej, biologicznej oczyszczalni ścieków.

2. Środowisko w Polsce i na świecie

2.1. Stan wód w Polsce

Znacząca część ścieków trafiających do środowiska pochodzi z działalności przemysłowej, terenów silnie zurbanizowanych oraz z opadów kwaśnych deszczy. Poziom zanieczyszczenia wód w Polsce jest wysoki. Szacuje się, że skażeniu uległo ok. 1/3 rzek oraz 1/4 jezior, dlatego pobierana z nich woda nie nadaje się do bezpośredniego spożycia [2].

2.2. Gospodarka ściekowa w Polsce i na świecie

Wg danych na 2024 r., każdego dnia do obiegu wodnego trafiają 2 miliony ton ścieków przemysłowych lub rolniczych. Aż 2,5 miliarda ludzi żyje bez zapewnienia odpowiednich warunków sanitarnych, z czego 1,5 mld z nich mieszka w regionie azjatyckim. Obszarami, na których można zauważyć największy wzrost zanieczyszczeń, jest wschodnia część regionu krajów śródziemnomorskich oraz Afryka [3]. Niestety w miarę przyrostu ludności i postępu urbanizacyjnego, zanieczyszczenie środowiska ciągle pozostaje dużym wyzwaniem. Na podstawie dostępnych danych statystycznych województwa zachodniopomorskie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, dolnośląskie i śląskie charakteryzują się największym procentem ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków [4].

2.3. Poniec – opis gminy i miejscowości

Poniec to miasto w województwie wielkopolskim, położone w powiecie gostyńskim.

zone w powiecie gostyńskim.

Oczyszczalnia ścieków w tej gminie powstawała w latach 2001–2002. Jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną, z dodatkowym wspomaganie chemicznym. Została otwarta w 2003 r. Jej biologiczna część opiera się na reaktorze biologicznym z komorą defosfatacji, denitryfikacji oraz nitryfikacji. Obsługuje ona miasto Poniec, wieś Śmiłowo oraz Wydawy. Przepustowość oczyszczalni wynosi 630 m³/dobę. Jej priorytetowym zadaniem jest obsługa ścieków socjalno-bytowych, pochodzących z kanalizacji miejskiej oraz dowożonych z gminy. Przyjmuje ona ścieki z kanalizacji miejskiej oraz ścieki dowożone poprzez automatyczną stację zlewną. Proces oczyszczania obejmuje m.in. podoczyszczanie na sicie szelinowym, uśrednianie i napowietrzanie, usuwanie piasku, oczyszczanie biologiczne, sedimentację oraz stabilizację tlenową osadu. Oczyszczone ścieki są wówczas odprowadzane do Rowu Polskiego, a osad po odwodnieniu jest wywożony [5].

3. Proces oczyszczania ścieków

W celu eliminacji zanieczyszczeń z ścieków surowych i odprowadzenia uzdatnionych ścieków do środowiska, przeprowadza się kilkietapowe oczyszczanie.

3.1. Główne etapy oczyszczania

Etap 1

Ścieki mogą być odbierane za pomocą automatycznej stacji zlewnej, która jednocześnie rejestruje informacje dotyczące ilości ścieków oraz podmiotu dostarczającego. Równolegle do stacji, wpływają ścieki pochodzące z kanalizacji miejskiej. W kolejnych etapach prowadzony jest ich mechaniczny i biologiczny proces oczyszczania, a w razie potrzeby również dodatkowe doczyszczanie.

Etap 2

Na tym etapie usuwa się ze ścieków stałe zanieczyszczenia, takie jak piasek, zawiesiny czy tłuszcze, wykorzystując kraty, osadniki oraz odtłuszczacze. W ten sposób eliminuje się ok. 35% całkowitego zanieczyszczenia. Zatrzymane na kratkach odpady są odwadniane, a następnie prasowane, dezynfekowane i utylizowane. Piaskowniki oddzielają piasek, natomiast tłuszcze i oleje usuwa się poprzez proces flotacji. W osadniku gromadzą się cięższe zawiesiny, z których tworzy się osad. Osad po zagęszczeniu trafia do komory fermentacyjnej, a następnie do oczyszczania biologicznego.

Etap 3

Oczyszczanie biologiczne może przebiegać beztlenowo lub tlenowo, jednak najczęściej stosuje się proces tlenowy lub łączenie obydwu procesów. Mikroorganizmy rozkładają w ściekach związki organiczne, zużywając je jako źródło energii i materii. W reaktorze zachodzą kluczowe procesy: rozkład substancji organicznych, nitryfikacja (przemiana amoniaku do azotanów) oraz denitryfikacja (usuwanie azotanów w formie azotu gazowego). Następnie oddziela się osad czynny od oczyszczonych ścieków. Część osadu wraca, a nadmiar jest kierowany do komór, gdzie powstaje biogaz. Osad po fermentacji jest odwadniany i utylizowany. Na tym etapie usuwa się około 90% pozostałych zanie-

czyszczeń.

Etap 4

Etap ten ma na celu doprowadzenie oczyszczonych ścieków do jakości jak najbardziej zbliżonej do wód naturalnych. Usuwa się tu substancje, które nie ulegają samooczyszczaniu. Wykorzystuje się do tego metody fizykochemiczne, takie jak elektrodializa, wymiana jonowa, ekstrakcja, osmoza czy destylacja. Coraz częściej stosuje się również nowe, alternatywne technologie, które pozwalają osiągnąć wysoki poziom doczyszczania [5].

3.2. Środki powierzchniowo czynne – wiadomości ogólne

Surfaktanty to substancje powierzchniowo czynne, które zbudowane są z dwóch części o odmiennych właściwościach względem wody, czyli fragmentu hydrofilowego oraz hydrofobowego. Dzięki takiej strukturze cząsteczki surfaktantów wykazują przede wszystkim zdolność do zmniejszania napięcia powierzchniowego roztworów wodnych oraz napięcia międzyfazowego na granicy dwóch

Tabela 1. Absorbancja próbki, stężenie oraz stopień redukcji surfaktantów anionowych

Table 1. Sample absorbance, concentration and degree of reduction of anionic surfactants

Surfaktanty anionowe					
Nr próbki	Ścieki oczyszczone		Ścieki surowe		
	Absorbancja [-]	Stężenie [mg/L]	Absorbancja [-]	Stężenie [mg/L]	Stopień redukcji [%]
1	0,860	0,617	1,210	17,6	96,5
2	0,827	0,592	1,440	20,9	97,2
3	0,566	0,397	1,330	19,3	97,9
4	0,420	0,288	0,753	10,7	97,3
5	0,488	0,339	1,200	17,5	98,1
6	0,439	0,302	1,370	19,9	98,5
7	0,424	0,291	1,140	16,5	98,2
8	0,679	0,482	0,914	13,1	96,3
9	0,374	0,254	0,964	13,9	98,2
10	0,545	0,382	0,956	13,8	97,2
11	0,507	0,353	1,010	14,6	97,6
12	0,605	0,426	0,559	7,83	94,6
13	0,616	0,434	0,724	10,3	95,8
14	0,433	0,298	1,100	16,0	98,1
15	0,587	0,413	0,646	9,14	95,5
16	0,675	0,478	0,757	10,8	95,6
17	0,397	0,270	0,857	12,3	97,8
18	0,401	0,274	0,944	13,6	98,0
19	0,418	0,287	1,180	17,1	98,3
20	0,417	0,285	1,200	17,4	98,4
21	0,611	0,430	1,06	15,3	97,2
22	0,711	0,506	0,848	12,2	95,8
Średnia	0,545	0,382	1,010	14,5	97,2

niemieszających się cieczy [7].

Związki powierzchniowo czynne można podzielić na anionowe, kationowe, amfoteryczne i niejonowe. Należy także wspomnieć o innych sposobach podziału surfaktantów. Można je dzielić m.in. ze względu na budowę części polarnej, pochodzenie surowców, wpływ na środowisko. Surfaktanty stanowią zagrożenie dla środowiska z powodu swojej toksyczności oraz niskiej podatności na rozkład. Do wód trafiają głównie poprzez ścieki, pogarszając ich jakość. Obecnie dąży się do tworzenia bardziej ekologicznych surfaktantów – biodegradowalnych i opartych na odnawialnych surowcach.

3.3. Anionowe związki powierzchniowo czynne

Anionowe związki powierzchniowo czynne to związki, w których aktywna część cząsteczki jest połączona z hydrofobowym łańcuchem anionu. Stanowią obecnie około 60% rynku środków powierzchniowo czynnych. Wyróżniają się różnymi właściwościami, zależnymi od budowy

Tabela 2. Absorbancja próbki, stężenie oraz stopień redukcji surfaktantów niejonowych

Table 2. Sample absorbance, concentration and degree of reduction of non-ionic surfactants

Surfaktanty niejonowe					
Nr próbki	Ścieki oczyszczone		Ścieki surowe		
	Absorbancja [-]	Stężenie [mg/L]	Absorbancja [-]	Stężenie [mg/L]	Stopień redukcji [%]
1	1,130	0,771	0,742	16,5	95,3
2	1,110	0,757	0,824	18,4	95,9
3	0,922	0,621	0,764	17,0	96,3
4	0,908	0,611	0,597	13,0	95,3
5	0,782	0,522	0,822	18,4	97,2
6	0,746	0,496	0,639	14,0	96,5
7	0,727	0,483	0,626	13,7	96,5
8	0,966	0,652	0,789	17,6	96,3
9	0,609	0,399	0,929	20,9	98,1
10	0,825	0,553	0,861	19,3	97,1
11	0,852	0,571	0,860	19,2	97,0
12	0,763	0,508	0,921	20,7	97,5
13	0,938	0,632	0,793	17,7	96,4
14	0,846	0,567	0,899	20,2	97,2
15	0,849	0,569	0,746	16,6	96,6
16	0,907	0,610	0,572	12,4	95,1
17	0,706	0,468	0,484	10,4	95,5
18	0,641	0,422	0,779	17,3	97,6
19	0,615	0,403	0,881	19,7	98,0
20	1,100	0,749	0,792	17,6	95,7
21	0,551	0,358	0,772	17,2	97,9
22	0,668	0,441	0,592	12,9	96,6
Średnia	0,830	0,553	0,758	16,8	96,6

i dzielą się na kilka podgrup. W zależności od struktury mogą wykazywać działanie pianotwórcze, zwilżające, piorące lub dyspergujące [8].

3.4. Niejonowe związki powierzchniowo czynne

Niejonowe surfaktanty dobrze działają niezależnie od pH, choć częściowo mogą na nie reagować. Ich rozpuszczalność maleje wraz ze wzrostem temperatury, a część hydrofilowa nie ulega dysocjacji w wodzie. Na ich właściwości wpływają głównie rodzaj grup hydrofilowych i hydrofobowych oraz równowaga HLB (wskaźnik hydrofilowo-lipofilowy). Surfaktanty niejonowe (oksyetylaty) stanowią ok. 35% rynku surfaktantów i obejmują głównie związki eterowe i alkoholowe. W zależności od budowy mogą być naturalne lub stanowić estry kwasów tłuszczowych i alkoholi wielowodorotlenowych o właściwościach emulgujących [7].

3.5. Ścieki i ich rodzaje

- Ścieki to wody zużyte. Ze względu na pochodzenie dzieli się je na:
- ścieki bytowe – gospodarcze (definiuje się je jako te związane życiem człowieka i jego gospodarstwem domowym),
 - ścieki przemysłowe (są związane z danym rodzajem produkcji – ścieki z mycia surowców, chemikalia używane do produkcji. Pomimo, że owe ścieki zawierają głównie wodę, to mogą się okazać wymagające w procesie oczyszczania),
 - ścieki opadowe (są to wody z opadów atmosferycznych, których przyczyną zanieczyszczenia są materiały mineralne lub związki ropopochodne),
 - wody infiltracyjne i drenażowe (określa się je jako wody dostające się do systemu kanalizacyjnego poprzez odwodnienie danej powierzchni w sposób zamierzony lub naturalny),
 - ścieki sanitarne wraz ze ściekami przemysłowymi i technologicznymi (tworzą one jedną grupę ścieków komunalnych, natomiast wraz z wodami infiltracyjnymi i drenażowymi oraz ściekami opadowymi, stanowią one ścieki mieszane) [9].

Tabela 3. Porównawcze zestawienie średnich wskaźników BZT₅, ChZT_{Cr} oraz zawartości zawiesiny ogólnej
Table 3. Comparative summary of average BOD₅, COD and total suspended solids indicators

Parametr	Określenie parametru	Trend na wlocie	Trend na wylocie	Efektywność redukcji	Ocena pracy oczyszczalni
BZT ₅	Biologiczne zapotrzebowanie na tlen – poziom utlenialnych zanieczyszczeń organicznych	Wyraźny wzrost	Bardzo niskie, lekko spadkowe	97,8–99,4%	Świetna, powyżej norm
ChZT _{Cr}	Chemiczne zapotrzebowanie na tlen – poziom utlenialnych związków organicznych i nieorganicznych	Wzrost, podobny jak BZT ₅	Niewielkie zmiany, stabilnie niskie	91,9–96,9%	Bardzo dobra
Zawiesina ogólna	Stałe cząstki w ściekach	Rosnący, z wahaniami	Wyraźnie malejący	93,6–98,6%	Bardzo dobra, stabilna

4. Część doświadczalna

4.1. Badanie surfaktantów anionowych

Próbki do badań stanowiły surowe ścieki wlotowe oraz wylotowe ścieki oczyszczone, pochodzące z oczyszczalni ścieków w gminie Poniec. Materiał pobierano w dwóch punktach kontrolnych: na wlocie oraz na wylocie z oczyszczalni. W miesiącach marzec-kwiecień pobrano dwadzieścia dwie próbki. Badania związków powierzchniowo czynnych obejmowały oznaczenia dwóch grup surfaktantów, wykonane przy zastosowaniu odpowiednich metod analitycznych:

- surfaktantów anionowych – metodą uproszczoną MBAS,
- surfaktantów niejonowych – metodą BiAS-tio.

W celu oznaczenia surfaktantów anionowych zastosowano metodę MBAS [10], opierającą się na tworzeniu barwnej pary jonowej anionowego surfaktantu z błękitem metylowym i jej ekstrakcji chloroformem. Wyniki analizy z pomiaru absorbancji próbki, stężenia, oraz stopnia redukcji surfaktantów anionowych przedstawiono w tab. 1.

4.2. Badanie niejonowych związków powierzchniowo czynnych

Do oznaczania surfaktantów niejonowych zastosowano zmodyfikowaną metodę BiAS-tio, będącej modyfikacją klasycznej, normatywnej metody BiAS. Jej większa skuteczność wynika z uproszczenia procedury, uzyskania stabilniejszej i niższej ślepej próby oraz pomiaru sygnału w paśmie widzialnym. Metoda opiera się na tworzeniu osadów par jonowych oksyetylatów z odczynnikiem Degendorffa oraz rozpuszczania i kompleksowania wyizolowanego osadu bizmutu w kwaśnym roztworze tiomocznika [10]. Wyniki analizy z pomiaru absorbancji próbki, stężenia, oraz stopnia redukcji surfaktantów niejonowych przedstawiono w tab.2.

4.3. BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesina ogólna

W tab. 3 zaprezentowano porównawcze zestawienie średnich stężeń BZT₅, ChZT_{Cr} oraz zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych, a także odpowiadających im stopni redukcji. Zgromadzone dane odzwier-

ciędlają zmienność parametrów w czasie oraz pozwalają ocenić skuteczność procesów oczyszczania, zachodzących w oczyszczalni w gminie Poniec.

5. Podsumowanie

Na stan wód wpływa korzystna malejąca ilość nieoczyszczanych ścieków oraz wzrost ilości ścieków oczyszczanych, z podwyższonym usuwaniem biogenów. Ocenę efektywności pracy oczyszczalni w gminie Poniec rozszerzono o niebadane przez zakład wskaźniki jakości ścieków – niejonowe i anionowe związki powierzchniowo czynne.

Populacja gminy Poniec nie jest znaczna, lecz gminę otacza wiele hektarów terenów uprawnych, co podczas nawożenia i deszczy może zwiększać ładunek ścieków, wpływając na wzrost stężeń związków powierzchniowo czynnych.

Analiza zebranych danych BZY_5 ukazała znaczne wahania zawartości tlenu potrzebnego mikroorganizmom do utlenienia biologicznie rozkładalnych substancji. Wartości w ściekach surowych wahały się pomiędzy 517 – 1010 $mg\ O_2 / dm^3$. Trendy występujące przy obydwóch wskaźnikach są współzależne. Średnie wartości $ChZT_{Cr}$ w ściekach wlotowych też ulegały znacznym wahaniom w badanym okresie 735–2018 $mg\ O_2 / dm^3$. Głównym powodem wzrostu wartości mogą być zrzuty ścieków przedsiębiorstw, zajmujących się obróbką mięsa. Niemniej jednak pomimo generalnie wysokich wartości tego wskaźnika, oczyszczalnia w gminie Poniec utrzymuje wysoki stopień redukcji $ChZT_{Cr}$ i nie przekracza dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń na wylocie. W tym przypadku jest to 125 $mg\ O_2 / dm^3$. Rozpatrując parametr jakim jest zawiesina ogólna, można stwierdzić, pomimo rosnącej zawartości zawiesiny w ściekach surowych uzyskano bardzo wysokie stopnie jej redukcji i zmniejszającą się zawartość zawiesiny w ściekach oczyszczonych, co znacząco wpływa na stan czystości zbiorników wodnych i wskazuje na skuteczną pracę zakładu. Jednak postępująca urbanizacja miasta Poniec, rosnące zużycie związków powierzchniowo czynnych oraz obecność przedsiębiorstw odprowadzających duże ilości ścieków do kanalizacji, może w przyszłości jednak wymagać rozbudowy i modernizacji oczyszczalni.

Praca oczyszczalni w gminie Poniec, mimo jej niedużych rozmiarów i odbioru ścieków z stosunkowo dużego obszaru, jest efektywna. Ocena działalności zakładu została rozszerzona o analizę zawartości niejonowych i anionowych związków powierzchniowo czynnych, której wyniki potwierdziły zgodność pracy oczyszczalni z obecnymi normami, pozwoleniami wodnoprawnymi i Rozporządzeniem Ministra Środowiska. Niemniej jednak jej przyszła rozbudowa może okazać się koniecznym krokiem, w celu sprostania rosnącej skali produkcji i powszechnego stosowania związków powierzchniowo czynnych, coraz intensywniejszym nawożeniem okolicznych pól uprawnych oraz możliwą rozbudową otaczających zakładów przemysłowych.

6. Wnioski

Oczyszczalnia ścieków w gminie Poniec skutecznie usu-

wa zanieczyszczenia, co potwierdziły zarówno wyniki oznaczeń podstawowych parametrów ścieków takich jak BZT, ChZT, zawiesiny ogólnej, jak i oznaczenia zawartości anionowych i niejonowych związków powierzchniowo czynnych. Wskaźniki takie jak i zawiesina ogólna wykazują wzrostową tendencję zawartości w ściekach surowych. Świadczy to o postępującym wzroście obciążenia ścieków, wpływających do oczyszczalni w ostatnim okresie.

Pomimo tendencji wzrostowej obciążenia ścieków surowych, uzyskano bardzo dobrą redukcję powyższych wskaźników zanieczyszczeń – powyżej 90%. Stężenia związków powierzchniowo czynnych po procesie oczyszczania były zdecydowanie niższe niż w ściekach dopływających, co wskazuje na prawidłowe funkcjonowanie oczyszczalni. Zastosowanie dwóch uzupełniających się metod analitycznych MBAS oraz BiAS-tio umożliwiło kompleksową ocenę jakości ścieków oraz określenia skuteczności oczyszczania, pod kątem różnych klas substancji powierzchniowo czynnych. Wyniki badań potwierdzają, że modernizacja procesów oczyszczania, stosowanie metod zaawansowanej analityki są kluczowe dla ochrony lokalnych wód oraz dla spełnienia rosnących wymogów środowiskowych.

Literatura

- [1] Rączka, J., Skąpski, K., & Tyc, T. (2021). *Zasoby wodne w Polsce – ochrona i wykorzystanie*. Fundacja Przyjazny Kraj.
- [2] Kundzewicz, Z., Zaleski, J., Nachlik, E., & Januchta-Szostak, A. (2021). Gospodarowanie wodą – wyzwania dla Polski. *Nauka*, 79–102. <https://doi.org/10.24425/nauka.2021.136305>
- [3] Ross, N. (2010). *World water quality facts and statistics*. Dostęp online: <http://www.abandonedmines.gov/ep.html> (dostęp: 19 listopada 2025).
- [4] Skrzypiec, K., Bejnarowicz, A., & Gajewska, M. (2017). Rozwiązania gospodarki ściekowej na obszarach nieurbanizowanych. *Rynek Instalacyjny*, 85–89.
- [5] Nowak, M. (2003). *Instrukcja obsługi mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków dla miasta Poniec, wsi Śmiłowo i Wydawy*.
- [6] Sundha, P., Basak, N., Rai, A. K., Chandra, P., Bedwal, S., Yadav, G., Yadav, R. K., & Sharma, P. C. (2023). Characterization and ecotoxicological risk assessment of sewage sludge from industrial and non-industrial cities. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 116567–116583. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21648-2>
- [7] Zieliński, R. (2021). *Surfaktanty. Budowa, właściwości, zastosowania*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.
- [8] ZWiK Skawina. (2023). *Proces oczyszczania ścieków i rozwiązania zastosowane w oczyszczalni Skawina*. Dostęp online: https://zwik.skawina.pl/oczyszczalnia,czesc_biologiczna_i_osadowa (dostęp: 21 listopada 2025).
- [9] Lex, S. (2023). *Ścieki komunalne – definicja*. Dostęp online: <https://sip.lex.pl/ochrona-srodowiska-cta163/scieki-komunalne-definicja-cta3998> (dostęp: 19 listopada 2025).
- [10] Wyrwas, B. (2012). *Metodologiczne aspekty biodegradacji związków powierzchniowo czynnych w warunkach laboratoryjnych i w środowisku*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [11] Główny Urząd Statystyczny. (2023). *Informacje statystyczne – Statistical information*.