

Skuteczność usuwania azotu i fosforu w komunalnych oczyszczalniach ścieków w Polsce w latach 2022-2024 na podstawie danych KPOŚK

Nitrogen and phosphorus removal
in municipal wastewater treatment plants
in Poland in 2022-2024 based on KPOŚK data

TOMASZ KAMIZELA

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.08.05

Celem pracy była ocena skuteczności usuwania azotu i fosforu w komunalnych oczyszczalniach ścieków w Polsce w latach 2022-2024 na podstawie danych KPOŚK. Określono również, w jakim stopniu uzyskane wyniki wspierają interpretację zgodności aglomeracji z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG. Analizie poddano stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach dopływających i oczyszczonych oraz procent redukcji obu wskaźników, z uwzględnieniem podziału oczyszczalni na klasy wielkości wyrażone w RLM. Analizę uzupełniono danymi dotyczącymi zgodności aglomeracji, wybranymi wskaźnikami infrastrukturalnymi oraz danymi monitoringu dotyczącymi eutrofizacji wód powierzchniowych. Stwierdzono, że większe oczyszczalnie na ogół osiągały niższe stężenia azotu i fosforu w ściekach oczyszczonych oraz wyższe i bardziej stabilne efekty usuwania biogenów niż obiekty mniejsze. W latach 2022-2024 udział aglomeracji spełniających warunek III wzrósł z 52,16% do 55,48%, jednak pełna zgodność nadal nie została osiągnięta. Wyniki wskazują, że ocena skuteczności usuwania biogenów wymaga łącznego uwzględnienia wyników eksploatacyjnych oczyszczalni, zgodności aglomeracji oraz szerszego kontekstu infrastrukturalnego i środowiskowego.

Słowa kluczowe: oczyszczalnie ścieków, azot ogólny, fosfor ogólny, usuwanie biogenów, KPOŚK, dyrektywa 91/271/EWG

The aim of this study was to assess the effectiveness of nitrogen and phosphorus removal in municipal wastewater treatment plants in Poland in 2022-2024 based on data from the National Municipal Wastewater Treatment Programme (KPOŚK). The extent to which the results support the assessment of agglomeration compliance with the requirements of Directive 91/271/EEC was also examined. The analysis covered total nitrogen and total phosphorus concentrations in influent and treated wastewater, as well as the percentage removal of both indicators, with treatment plants divided into size classes expressed as population equivalents (p.e.). The analysis was supplemented with data on agglomeration compliance, selected infrastructure indicators, and monitoring data on the eutrophication of surface waters. It was found that larger treatment plants generally achieved lower nitrogen and phosphorus concentrations in treated wastewater and more stable nutrient removal performance than smaller facilities. In 2022-2024, the share of agglomerations meeting condition III increased from 52.16% to 55.48%; however, full compliance was not achieved. The results indicate that the assessment of nutrient removal effectiveness requires the combined consideration of wastewater treatment plant operating results, agglomeration compliance, and the broader infrastructural and environmental context.

Keywords: wastewater treatment plants, total nitrogen, total phosphorus, nutrient removal, National Municipal Wastewater Treatment Programme, Directive 91/271/EEC

Wprowadzenie

Usuwanie związków azotu i fosforu należy do podstawowych zadań komunalnych oczyszczalni ścieków, ponieważ pierwiastki te w istotnym stopniu kształtują

presję eutrofizacyjną wywieraną na wody powierzchniowe [1]. Nadmierny dopływ biogenów do odbiorników prowadzi do pogorszenia jakości wód, zaburzeń równowagi ekologicznej oraz ograniczenia funkcji środowiskowych i użytkowych ekosyste-

mów wodnych [1]. Z tego względu skuteczność usuwania azotu i fosforu stanowi jeden z podstawowych mierników efektywności oczyszczania ścieków komunalnych. Ocena skuteczności usuwania biogenów nie może jednak być ograniczana wyłącz-

dr hab. inż. Tomasz Kamizela, prof. PCz ORCID: 0000-0001-8756-0382, Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa, email: tomasz.kamizela@pcz.pl

Data zgłoszenia: 14.06.2026. Data przyjęcia: 1.08.2026. Data publikacji: 26.08.2026.

nie do pojedynczej wartości stężenia na odpływie. W praktyce eksploatacyjnej uzyskanie stabilnych efektów redukcji azotu i fosforu wymaga utrzymania odpowiednich warunków prowadzenia procesów biologicznych i chemicznych oraz ograniczenia zmienności warunków hydraulicznych i obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń. Z tego względu analizę skuteczności oczyszczania należy odnosić zarówno do poziomu uzyskiwanych parametrów odpływu, jak i do stabilności efektu oczyszczania w czasie.

Znaczenie usuwania azotu i fosforu należy rozpatrywać nie tylko w skali pojedynczej oczyszczalni, lecz także w ujęciu aglomeracyjnym i środowiskowym. W latach objętych analizą podstawowym aktem wyznaczającym ramy oceny zgodności była dyrektywa 91/271/EWG dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych [2]. Przyjęta w 2024 r. Dyrektywa (UE) 2024/3019 weszła w życie 1 stycznia 2025 r., jednak jej transpozycję do prawa krajowego przewidziano do 31 lipca 2027 r. [4]. Dlatego dla interpretacji danych z lat 2022-2024 punktem odniesienia pozostają dyrektywa 91/271/EWG oraz przepisy krajowe obowiązujące w analizowanym okresie, w tym przepisy Prawa wodnego oraz rozporządzenia z dnia 12 lipca 2019 r. określającego warunki wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi [7, 8].

W systemie oceny zgodności aglomeracji szczególne znaczenie ma warunek III, odnoszący się do standardów oczyszczania ścieków, w tym jakości ścieków oczyszczonych i skuteczności usuwania zanieczyszczeń [2, 3, 5, 6]. Z tego względu skuteczność pracy oczyszczalni ma znaczenie nie tylko eksploatacyjne, lecz także regulacyjne. Sama rozbudowa sieci kanalizacyjnej lub zwiększenie liczby mieszkańców objętych systemem zbiorczym nie przesądza jeszcze o spełnieniu wymagań środowiskowych, jeżeli parametry odpływu i efektywność redukcji biogenów nie są utrzymywane na wymaganym poziomie [2, 7, 8].

W warunkach krajowych użytecznym źródłem informacji do takiej oceny są dane sprawozdawcze Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) [3, 5, 6]. Ich wartość analityczna wynika z połączenia dwóch poziomów oceny: poziomu oczyszczalni, obejmującego parametry dopływu, odpływu i redukcji zanieczyszczeń, oraz poziomu aglomeracji, na którym oceniana jest zgodność z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG [3, 5, 6]. Dane te umożliwiają analizę porównawczą skuteczności usuwania biogenów w skali kraju, choć ze względu na swój sprawozdawczy charakter nie pozwalają na bezpośrednie wnioskowanie o mechanizmach procesowych ani o zasto-

sowanych rozwiązaniach technologicznych. W dokumentach programowych i sprawozdawczych dominują zwykle analizy odnoszące się do poziomu zgodności aglomeracji albo do zmian infrastrukturalnych, rzadziej natomiast zestawia się wyniki eksploatacyjne oczyszczalni z oceną warunku III oraz z ich znaczeniem dla interpretacji zgodności aglomeracji w skali kraju [3, 5, 6].

Celem pracy była ocena skuteczności usuwania azotu i fosforu w komunalnych oczyszczalniach ścieków w Polsce w latach 2022-2024 na podstawie danych KPOŚK oraz określenie, w jakim stopniu wyniki te mogą wspierać interpretację zgodności aglomeracji z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG. W analizie przyjęto równoległe ujęcie parametrów dopływu, odpływu i redukcji biogenów, danych dotyczących zgodności aglomeracji oraz uzupełniających danych infrastrukturalnych i monitoringowych.

Materiały i metody

Podstawę analizy stanowiły dane ze sprawozdań z realizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) za lata 2022-2024. Oczyszczalnie pogrupowano według projektowej (aktualnej) maksymalnej wydajności wyrażonej w RLM, przyjmując cztery klasy wielkości: 2000-9999 RLM, 10 000-14 999 RLM, 15 000-99 999 RLM oraz >100 000 RLM. Analizę prowadzono w układzie rocznym oraz w podziale na klasy wielkości oczyszczalni. Ocenie poddano stężenie azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach dopływających i oczyszczonych oraz procentową redukcję obu wskaźników.

Przed analizą dla każdej zmiennej usunięto obserwacje z brakami danych oraz wpisami nienumerycznymi. Wartości odstające zidentyfikowano z zastosowaniem reguły 1,5-krotności rozstępu międzykwartylowego IQR (interquartile range). Za wartości odstające uznano obserwacje mniejsze od $Q1 - 1,5 \times IQR$ lub większe od $Q3 + 1,5 \times IQR$, gdzie $Q1$ oznacza kwartył dolny, a $Q3$ kwartył górny. Obserwacje te wykluczono z dalszych obliczeń statystycznych. Wyniki przedstawiono jako liczebność próby (n), średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe, medianę oraz zakres kwartyłu dolnego i górnego ($Q1-Q3$). Średnią i odchylenie standardowe wykorzystano do ogólnej charakterystyki poziomu i zmienności analizowanych wskaźników. Medianę oraz przedział międzykwartylowy zastosowano jako miary lepiej opisujące dane eksploatacyjne o rozkładach asymetrycznych i zróżnicowanej zmienności.

Różnice pomiędzy klasami wielkości oczyszczalni oceniano z zastosowaniem

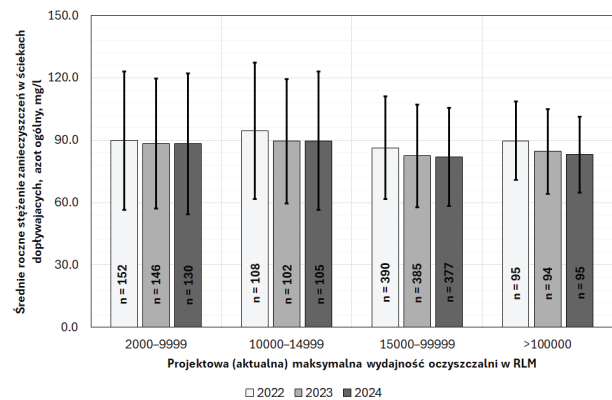
testu Kruskala-Wallisa. Siłę i kierunek zależności pomiędzy wielkością oczyszczalni wyrażoną w RLM a analizowanymi wskaźnikami oceniano za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana. Za statystycznie istotne przyjmowano wartości $p < 0,05$.

W analizie zgodności aglomeracji wykorzystano dane dotyczące spełniania warunku III oraz łącznej zgodności aglomeracji z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG. Uzupełniając wykorzystano wybrane dane Banku Danych Lokalnych (BDL) Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) [9] do charakterystyki tła infrastrukturalnego i inwestycyjnego, dane Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ) [1] dotyczące oceny eutrofizacji wód powierzchniowych w Polsce w latach 2020-2023 jako tła środowiskowe oraz informacje z części opisowych KPOŚK do interpretacji wyników [3, 5, 6].

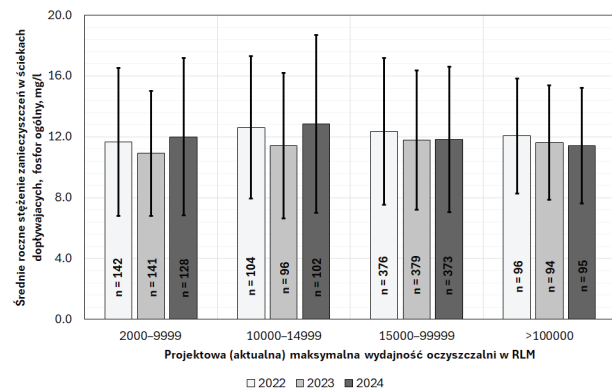
Wyniki analizy

Analiza stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach dopływających do komunalnych oczyszczalni ścieków wskazuje, że różnice pomiędzy klasami wielkości obiektów były wyraźniejsze dla azotu ogólnego niż dla fosforu ogólnego (rys. 1 i 2, tab. 1). Dla azotu wyższe wartości występowały na ogół w klasach 2000-9999 RLM oraz 10 000-14 999 RLM, a niższe w klasach 15 000-99 999 RLM oraz >100 000 RLM. Odnotowano również, że większy rozrzut wyników dotyczył przede wszystkim mniejszych oczyszczalni. Przykładowo, w roku sprawozdawczym 2024 w klasie 2000-9999 RLM zakres międzykwartylowy ($Q1-Q3$) dla azotu ogólnego wynosił 70,00-111,22 mg/l, podczas gdy w klasie 15 000-99 999 RLM zawierał się w zakresie 65,83-97,25 mg/l. Wskazuje to, że do mniejszych oczyszczalni częściej dopływały ścieki o bardziej zmiennej jakości. Dla fosforu ogólnego zróżnicowanie wyników pomiędzy klasami oczyszczalni było mniejsze. Mediany w latach 2022-2024 mieściły się w przedziale 10,46-12,10 mg/l, a różnice pomiędzy klasami oczyszczalni pozostawały niewielkie, przy wyraźnym nakładaniu się zakresów międzykwartylowych.

Z technologicznego punktu widzenia oznacza to, że warunki dopływu silniej różnicowały klasy oczyszczalni w odniesieniu do azotu ogólnego niż do fosforu ogólnego. Różnice obserwowane na odpływie i w stopniu redukcji mogą być związane nie tylko z jakością ścieków dopływających, lecz również z uwarunkowaniami technologicznymi oraz sposobem eksploatacji oczyszczalni.



Rys. 1. Stężenie azotu ogólnego w ściekach dopływających do komunalnych oczyszczalni ścieków w latach 2022-2024
Fig. 1. Total nitrogen concentration in wastewater influent to municipal wastewater treatment plants in 2022-2024



Rys. 2. Stężenie fosforu ogólnego w ściekach dopływających do komunalnych oczyszczalni ścieków w latach 2022-2024
Fig. 2. Total phosphorus concentration in wastewater influent to municipal wastewater treatment plants in 2022-2024

Tabela 1. Mediana oraz kwartył dolny i górny (Q1–Q3) dla stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach dopływających do komunalnych oczyszczalni ścieków
Table 1. Median and lower and upper quartiles (Q1–Q3) for total nitrogen and total phosphorus concentrations in wastewater influent to municipal wastewater treatment plants

Parametr	Klasa RLM	Statystyka	2022	2023	2024
Dopływ – azot ogólny, mg/l	2000–9999	mediana	93,68	85,86	90
		Q1–Q3	71,88–112,00	69,19–109,88	70,00–111,22
	10000–14999	mediana	97,52	91,19	92,6
		Q1–Q3	72,81–113,86	71,08–109,10	68,98–106,97
	15000–99999	mediana	84,53	80,05	81,06
		Q1–Q3	69,26–104,40	66,00–99,00	65,83–97,25
	>100000	mediana	90,3	81,59	83,25
		Q1–Q3	74,90–100,90	70,60–97,53	70,16–96,21
Dopływ – fosfor ogólny, mg/l	2000–9999	mediana	11,1	10,46	11,38
		Q1–Q3	8,22–15,00	8,54–13,13	8,70–14,58
	10000–14999	mediana	12,1	10,8	11,76
		Q1–Q3	9,39–15,36	8,18–14,24	9,16–15,13
	15000–99999	mediana	11,73	11,03	11,2
		Q1–Q3	9,01–15,00	8,21–14,43	8,30–14,53
	>100000	mediana	11,6	11,09	10,95
		Q1–Q3	9,33–14,20	8,68–14,19	8,41–13,82

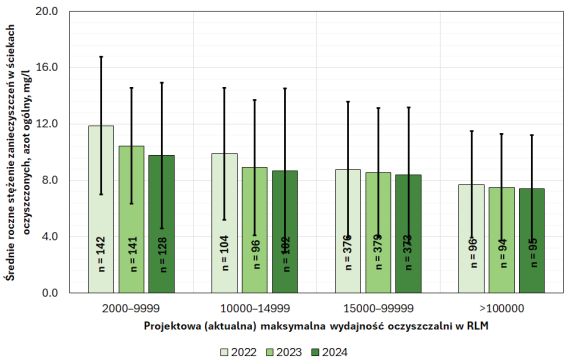
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych KPOŚK [3, 5, 6]

Analiza stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych wskazuje, że wraz ze wzrostem RLM oczyszczalni malały stężenia na odpływie, a zmienność wyników była na ogół mniejsza (rys. 3 i 4, tab. 2). Dla azotu ogólnego najwyższe wartości odnotowano w klasie 2000-9999 RLM, a najniższe w klasie

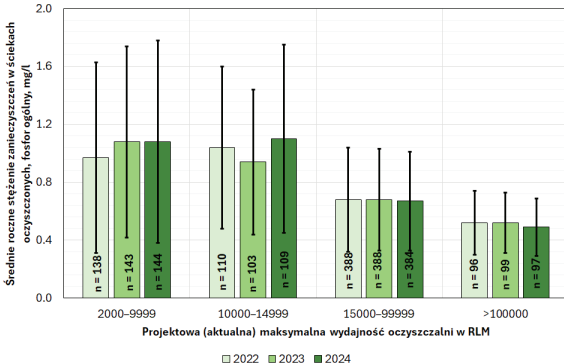
>100 000 RLM. W roku 2024 mediana stężenia na odpływie wynosiła odpowiednio 9,45 mg/l i 7,56 mg/l. Dla fosforu ogólnego zależność ta była jeszcze bardziej wyraźna. W dwóch największych klasach oczyszczalni mediany stężeń na odpływie mieściły się w latach 2022-2024 w wąskim przedziale 0,60-0,62 mg/l dla

klasy 15 000-99 999 RLM i 0,47-0,50 mg/l dla klasy >100 000 RLM. Oznacza to, że większe oczyszczalnie osiągały niższe stężenia w odpływach oraz bardziej stabilne parametry ścieków oczyszczonych.

Uzyskane stężenia w odpływie należy interpretować również w kontekście wymagań dotyczących jakości ścieków oczyszczonych, określonych w rozporządzeniu z dnia 12 lipca 2019 r. [7], przy zachowaniu zastrzeżenia, że formalna ocena zgodności odnosi się do RLM aglomeracji, a nie bezpośrednio do RLM oczyszczalni. W dwóch największych klasach oczyszczalni mediany stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego były niższe niż poziomy referencyjne właściwe dla większych aglomeracji. Również w mniejszych klasach mediany stężeń w odpływach pozostawały na ogół niższe od tych wartości, jednak towarzyszył im większy rozrzut wyników. Różnice pomiędzy klasami oczyszczalni dotyczyły więc nie tylko poziomu stężeń w odpływach, lecz również stabilności utrzymania parametrów ścieków oczyszczonych.



Rys. 3. Stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych odprowadzanych z komunalnych oczyszczalni ścieków według klas wielkości w latach 2022-2024
Fig. 3. Total nitrogen concentration in treated wastewater discharged from municipal wastewater treatment plants by size class in 2022-2024



Rys. 4. Stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych odprowadzanych z komunalnych oczyszczalni ścieków według klas wielkości w latach 2022-2024
Fig. 4. Total phosphorus concentration in treated wastewater discharged from municipal wastewater treatment plants by size class in 2022-2024

Tabela 2. Mediana oraz kwartył dolny i górny (Q1–Q3) dla stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych odprowadzanych z komunalnych oczyszczalni ścieków
Table 2. Median and lower and upper quartiles (Q1–Q3) for total nitrogen and total phosphorus concentrations in treated wastewater discharged from municipal wastewater treatment plants

Parametr	Klasa RLM	Statystyka	2022	2023	2024
Odpływ – azot ogólny, mg/l	2000–9999	mediana	10,0	10,15	9,45
		Q1–Q3	7,50–14,05	7,08–12,94	6,37–13,04
	10000–14999	mediana	9,3	8,3	8,37
		Q1–Q3	7,24–12,10	5,66–11,33	6,38–10,71
	15000–99999	mediana	8,61	8,6	8,13
		Q1–Q3	6,60–10,90	6,37–10,70	6,04–10,49
	>100000	mediana	7,93	7,3	7,56
		Q1–Q3	6,51–8,88	6,06–8,88	6,10–8,63
Odpływ – fosfor ogólny, mg/l	2000–9999	mediana	0,99	0,88	0,8
		Q1–Q3	0,54–1,62	0,58–1,53	0,50–1,40
	10000–14999	mediana	0,92	0,77	1
		Q1–Q3	0,67–1,39	0,61–1,23	0,61–1,38
	15000–99999	mediana	0,6	0,62	0,6
		Q1–Q3	0,40–0,90	0,43–0,91	0,41–0,90
	>100000	mediana	0,48	0,5	0,47
		Q1–Q3	0,35–0,67	0,34–0,67	0,35–0,62

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych KPOŚK [3, 5, 6]

Analiza stopnia redukcji azotu ogólnego i fosforu ogólnego wskazuje, że skuteczność usuwania biogenów była zróżnicowana w zależności od wielkości oczyszczalni (rys. 5 i 6, tab. 3). Dla azotu ogólnego różnice pomiędzy klasami były widoczne, lecz niewielkie. W 2024 r. mediana redukcji wzrosła od 89,37% w klasie 2 000-9999 RLM do 91,42% w klasie >100 000 RLM, a podobny układ występował również w latach 2022-2023. W klasach mniejszych zakresy międzykwartyłowe były szersze, co wskazuje na większą zmienność skuteczności usuwania azotu. Dla fosforu ogólnego zróżnicowanie było większe. W roku 2024 mediana redukcji mieściła się w przedziale 92,00-93,23% w klasach mniejszych oraz 95,00-96,00% w dwóch największych klasach oczyszczalni. Jednocześnie w obiektach większych rozrzut wyników był mniejszy, co wskazuje na bardziej stabilne warunki usuwania fosforu.

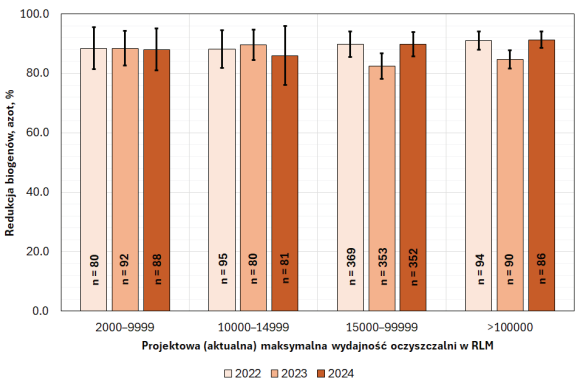
Uzyskane wartości redukcji odniesiono również do wymagań określonych w rozporządzeniu z dnia 12 lipca 2019 r. [7]. Dla azotu ogólnego wymagany poziom redukcji w większych aglomeracjach wynosi 70-80%, a dla fosforu ogólnego 80%. Mediany redukcji uzyskane we wszystkich analizowanych klasach oczyszczalni były wyższe od poziomów referencyjnych, jednak w klasach mniejszych towarzyszył

im większy rozrzut wyników. Różnice pomiędzy klasami dotyczyły więc nie tylko poziomu redukcji, lecz również stabilności utrzymania tego efektu.

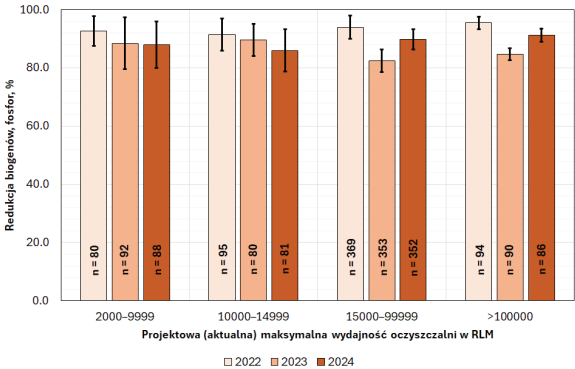
Tabela 3. Mediana oraz kwartył dolny i górny (Q1–Q3) dla procentowej redukcji azotu ogólnego i fosforu ogólnego w komunalnych oczyszczalniach ścieków
Table 3. Median and lower and upper quartiles (Q1–Q3) for percentage removal of total nitrogen and total phosphorus in municipal wastewater treatment plants

Parametr	Klasa RLM	Statystyka	2022	2023	2024
Redukcja – azot ogólny, %	2000–9999	mediana	90,5	88,45	89,37
		Q1–Q3	84,75–93,00	84,00–92,00	84,81–93,00
	10000–14999	mediana	89	90,8	89,1
		Q1–Q3	85,00–92,50	87,15–93,37	83,95–92,00
	15000–99999	mediana	90	89,9	90
		Q1–Q3	87,00–93,00	86,86–92,15	87,39–92,80
	>100000	mediana	91	91,15	91,42
		Q1–Q3	89,00–93,00	89,31–93,00	89,80–93,00
Redukcja – fosfor ogólny, %	2000–9999	mediana	94	91,87	93,23
		Q1–Q3	90,00–96,11	84,00–95,50	86,92–95,96
	10000–14999	mediana	92	92,56	92
		Q1–Q3	88,92–96,00	88,93–95,92	86,67–95,16
	15000–99999	mediana	95	94,71	95
		Q1–Q3	92,00–97,00	91,94–96,70	92,31–96,92
	>100000	mediana	96	95,85	96
		Q1–Q3	94,00–97,00	94,07–96,97	94,10–97,10

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych KPOŚK [3, 5, 6]



Rys. 5. Redukcja azotu ogólnego w komunalnych oczyszczalniach ścieków według klas wielkości w latach 2022-2024
Fig. 5. Total nitrogen removal in municipal wastewater treatment plants by size class in 2022-2024



Rys. 6. Redukcja fosforu ogólnego w komunalnych oczyszczalniach ścieków według klas wielkości w latach 2022-2024
Fig. 6. Total phosphorus removal in municipal wastewater treatment plants by size class in 2022-2024

Wyniki testu Kruskala–Wallisa wskazały, że ogólne zróżnicowanie pomiędzy klasami wielkości oczyszczalni zależało od analizowanego wskaźnika (tab. 4). Dla fosforu ogólnego na dopływie test Kruskala–Wallisa nie wykazał istotnych statystycznie różnic pomiędzy klasami wielkości oczyszczalni. Dla azotu ogólnego na dopływie test Kruskala–Wallisa wykazał istotne statystycznie zróżnicowanie pomiędzy klasami, natomiast wartości współczynnika Spearmana wskazywały na słabą ujemną zależność pomiędzy wielkością oczyszczalni a stężeniem azotu ogólnego na dopływie (tab. 5; rho od –0,087 do –0,125). Znacznie wyraźniejsze zależności odnotowano dla ścieków oczyszczonych: dla azotu ogólnego na odpływie rho mieściło się w przedziale od –0,146 do –0,186, a dla fosforu ogólnego od –0,296 do –0,371. Podobny trend uzyskano dla stopnia redukcji biogenów, przy czym zależność pomiędzy wielkością oczyszczalni a skutecznością redukcji była wyraźniejsza dla fosforu ogólnego niż dla azotu. Wyniki te potwierdzają, że klasy wielkości oczyszczalni były najsilniej różnicowane przez parametry ścieków oczyszczonych oraz skuteczność redukcji,

natomiast parametry ścieków dopływających miały mniejsze znaczenie.

Ocena zgodności aglomeracji z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG została przedstawiona zgodnie z warunkami I–III stosowanymi w sprawozdawczości KPOŚK. Warunek I dotyczy stopnia skanalizowania aglomeracji, warunek II – wydajności oczyszczalni względem obciążenia aglomeracji, a warunek III – standardów oczyszczania ścieków, w tym jakości ścieków oczyszczonych i skuteczności usuwania zanieczyszczeń [2–6]. Warunki te oceniane są hierarchicznie.

W tabeli 6 przedstawiono zmiany udziału aglomeracji spełniających warunki I, II i III w latach 2022–2024, natomiast w tabeli 7 przedstawiono rozkład liczby takich aglomeracji w podziale na klasy RLM.

Analiza danych zbiorczych wskazuje na stopniową poprawę sytuacji w latach 2022–2024 (tab. 6). Udział aglomeracji spełniających warunek I wzrósł z 60,39% w 2022 r. do 62,49% w 2024 r., warunek II z 56,80% do 58,89%, natomiast warunek III z 52,16% do 55,48%. Oznacza to wzrost udziału aglomeracji w pełni

zgodnych z wymaganiami dyrektywy, zgodnie z hierarchicznym sposobem oceny warunków I–III (tab. 6) [3, 5, 6].

Tabela 6. Udział aglomeracji spełniających poszczególne warunki zgodności (I–III) z dyrektywą 91/271/EWG w latach 2022–2024 na podstawie części opisowych sprawozdań KPOŚK
Table 6. Share of agglomerations meeting individual compliance conditions (I–III) under Directive 91/271/EEC in 2022–2024, based on the descriptive sections of the KPOŚK reports

Rok	Warunek I %	Warunek II %	Warunek III %
2022	60,39	56,80	52,16
2023	61,70	57,93	53,67
2024	62,49	58,89	55,48

Źródło: Opracowanie własne na podstawie części opisowych sprawozdań KPOŚK [3, 5, 6]

W układzie klas wielkości aglomeracji największą liczbę aglomeracji spełniających łącznie trzy warunki zgodności odnotowano w grupie 2000–10 000 RLM, co wiązało się z największą liczebnością tej klasy w strukturze wszystkich aktywnych aglomeracji (tab. 7). W 2024 r. w klasie tej 540 aglomeracji spełniało łącznie wszystkie trzy warunki zgodności. W klasie 15 000–100 000 RLM liczba ta wynosiła 216, natomiast w klasie 10 000–15 000 RLM – 47 [3, 5, 6]. Należy przy tym podkreślić, że ostatnia kolumna w tabeli 7 przedstawia udział aglomeracji spełniających łącznie trzy warunki w ogólnej liczbie aktywnych aglomeracji, a nie poziom zgodności wewnątrz poszczególnych klas RLM. Wartości procentowe w tej kolumnie pokazują, jaka część wszystkich aktywnych aglomeracji w skali kraju przypada na aglomeracje z danej klasy RLM, które spełniały łącznie trzy warunki zgodności, a nie jaki był poziom zgodności wewnątrz tej klasy. Oznacza to, że wysoki udział klasy 2 000–10 000 RLM w tej kolumnie wynika przede wszystkim z jej dominującej liczebności w strukturze krajowej. Z punktu widzenia interpretacji systemowej wskazuje to, że to właśnie ta klasa najsilniej wpływa na ogólny poziom zgodności aglomeracji w Polsce, choć nie oznacza to automatycznie najwyższego poziomu zgodności wewnątrz samej grupy.

Mimo obserwowanej poprawy pełna zgodność aglomeracji z wymaganiami dyrektywy nadal nie została osiągnięta. W roku 2024 łącznie trzy warunki spełniało 55,48% aktywnych aglomeracji, co oznacza, że 44,52% nadal nie osiągało pełnej zgodności z przyjętym układem oceny (tab. 6 i 7). Jednocześnie analiza oryginalnych arkuszy sprawozdawczych dotyczących oczyszczalni wskazuje, że udział aktywnych oczyszczalni spełniających wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych, wynikające

Tabela 4. Wyniki testu Kruskala–Wallisa oceniającego zróżnicowanie analizowanych wskaźników pomiędzy klasami wielkości oczyszczalni w latach 2022–2024
Table 4. Results of the Kruskal–Wallis test assessing differences in the analysed indicators between wastewater treatment plant size classes in 2022–2024

Zmienna	2022	2023	2024
Dopływ – azot ogólny	H=9,48; p=0,0236	H=9,16; p=0,0272	H=11,07; p=0,0114
Dopływ – fosfor ogólny	H=2,49; p=0,4774	H=2,63; p=0,4526	H=2,76; p=0,4300
Odpływ – azot ogólny	H=34,02; p<0,000001	H=35,58; p<0,000001	H=20,03; p=0,00017
Odpływ – fosfor ogólny	H=74,79; p<0,000001	H=81,18; p<0,000001	H=104,58; p<0,000001
Redukcja azotu	H=9,46; p=0,0238	H=19,34; p=0,00023	H=17,65; p=0,00052
Redukcja fosforu	H=31,99; p<0,000001	H=54,06; p<0,000001	H=42,64; p<0,000001

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych KPOŚK [3, 5, 6]

Tabela 5. Wyniki korelacji rang Spearmana pomiędzy wielkością oczyszczalni a analizowanymi wskaźnikami w latach 2022–2024
Table 5. Results of Spearman’s rank correlation between wastewater treatment plant size and the analysed indicators in 2022–2024

Zmienna	2022	2023	2024
Dopływ – azot ogólny	rho = -0,107; p=0,0036	rho = -0,087; p=0,0191	rho = -0,125; p=0,00087
Dopływ – fosfor ogólny	rho = 0,009; p=0,8039	rho = 0,055; p=0,1435	rho = -0,066; p=0,0815
Odpływ – azot ogólny	rho = -0,183; p<0,000001	rho = -0,186; p<0,000001	rho = -0,146; p=0,00010
Odpływ – fosfor ogólny	rho = -0,296; p<0,000001	rho = -0,337; p<0,000001	rho = -0,371; p<0,000001
Redukcja azotu	rho = 0,097; p=0,0138	rho = 0,125; p=0,00188	rho = 0,123; p=0,00247
Redukcja fosforu	rho = 0,211; p<0,000001	rho = 0,291; p<0,000001	rho = 0,251; p<0,000001

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych KPOŚK [3, 5, 6]

z rozporządzenia z dnia 12 lipca 2019 r. [7], był wysoki i stabilny: 92,1% w 2022 r. (1496 z 1625 obiektów), 91,7% w 2023 r. (1484 z 1618) oraz 92,7% w 2024 r. (1498 z 1616). Oznacza to, że niepełna zgodność aglomeracji z dyrektywą nie może być interpretowana wyłącznie jako efekt niespełniania wymagań jakościowych przez pojedyncze oczyszczalnie, lecz ma również wymiar infrastrukturalny i systemowy [3, 5, 6].

Uzyskane wyniki warto odnieść do szerszej logiki programowej AKPOŚK. VI AKPOŚK został przygotowany jako instrument doprowadzenia aglomeracji o RLM $\geq 2\ 000$ do zgodności z wymaganiami dyrektywy 91/271/EWG, a osiągnięcie efektu ekologicznego powiązane z realizacją zaplanowanych inwestycji do końca 2027 r. [10]. W tym kontekście obserwowana w latach 2022-2024 poprawa wskaźników zgodności ma znaczenie pozytywne, ale jest nadal niewystarczająca do uznania procesu wdrażania za zakończony. Fakt rozpoczęcia prac nad VII AKPOŚK po sprawozdaniu za 2024 r. potwierdza, że problem zgodności systemowej pozostaje aktualny i nadal wymaga

działań inwestycyjnych oraz organizacyjnych w skali całych aglomeracji [11, 12].

Dane przedstawione w tabeli 8 wskazują na konsekwentną rozbudowę infrastruktury kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków w latach 2020-2024. W analizowanym okresie długość czynnej sieci kanalizacyjnej osiągnęła 185,8 tys. km, a udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków wyniósł 76,2%, wobec odpowiednio 169,6 tys. km i 74,9% w 2020 r. Równocześnie liczba mieszkańców obszarów wiejskich korzystających z kanalizacji zwiększyła się z 6,61 mln do 7,03 mln osób. Jest to potwierdzeniem stopniowego rozszerzania infrastruktury zwłaszcza poza największe ośrodki miejskie. W tym okresie wzrósł również wolumen ścieków oczyszczanych i odprowadzanych ogółem, z 1,344 mln dam³/rok do 1,427 mln dam³/rok.

W analizowanym okresie utrzymywał się także wysoki potencjał technologiczny systemu w zakresie usuwania biogenów. Liczba oczyszczalni z podwyższonym usuwaniem biogenów pozostawała stabilna, na poziomie 809-824 obiektów, natomiast ich łączna przepustowość zwiększyła

się z 7,26 mln m³/d do 7,40 mln m³/d. Oznacza to, że rozwój systemu miał w dużej mierze wymiar technologiczny, co jest istotne w kontekście wyników przedstawionych wcześniej dla stężeń odpływowych i skuteczności redukcji azotu oraz fosforu. Jednocześnie, mimo rozwoju infrastruktury i utrzymywania wysokiego potencjału oczyszczania, do odbiorników nadal trafiały znaczne ładunki biogenów po oczyszczeniu. W przypadku azotu ogólnego wartości te utrzymywały się na poziomie około 15-16 mln kg/rok, natomiast dla fosforu ogólnego wzrosły z 0,997 mln kg/rok w 2020 r. do 1,138 mln kg/rok w 2024 r. Wskazuje to, że rozbudowa infrastruktury kanalizacyjnej i utrzymywanie wysokiego potencjału oczyszczania nie były jeszcze równoznaczne z proporcjonalnym zmniejszeniem presji biogenów na środowisko wodne. Potwierdza to również fakt, że ścieki nie-oczyszczane, choć stanowiły niewielki strumień w porównaniu z całym systemem, nadal występowały.

Zauważalny był również wzrost nakładów na gospodarkę ściekową i ochronę wód, z 5,53 mld zł w 2020 r. do 8,39 mld zł w 2023 r., po czym w 2024 r. nastąpił spadek do 7,48 mld zł. Dane te wskazują, że w analizowanym okresie prowadzono intensywne działania inwestycyjne, jednak ich efekty należy oceniać nie tylko przez pryzmat rozbudowy infrastruktury, lecz również rzeczywistego ograniczenia ładunków azotu i fosforu odprowadzanych do środowiska. W tym sensie dane GUS/BDL stanowią ważne uzupełnienie wcześniejszych wyników dotyczących skuteczności oczyszczania ścieków oraz zgodności aglomeracji, pokazując, że poprawa parametrów systemu nie była jeszcze równoznaczna z pełnym osiągnięciem efektu ekologicznego.

Przedstawione wyniki dotyczące stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych oraz skuteczności redukcji obu wskaźników należy interpretować również w szerszym kontekście środowiskowym, ponieważ związki te należą do podstawowych czynników eutrofizacji wód powierzchniowych [1]. Dane Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ) dotyczące oceny eutrofizacji wód powierzchniowych w Polsce w latach 2020-2023 wskazują, że zjawisko to nadal ma dużą skalę w ujęciu krajowym (tab. 9) [1].

Jak przedstawiono w tabeli 9, eutrofizację stwierdzono w 3134 spośród 4137 ocenionych punktów pomiarowo-kontrolnych (PPK), tj. w 75,8% przypadków [1]. Największe znaczenie dla tego obrazu miały wody rzeczne, dla których eutrofizację stwierdzono w 2599 z 3427 lokalizacji,

Tabela 7. Spełnienie przez aglomeracje warunków zgodności I–III z dyrektywą 91/271/EWG w latach 2022-2024 według klas RLM, na podstawie części opisowych sprawozdań KPOŚK
Table 7. Compliance of agglomerations with conditions I–III under Directive 91/271/EEC in 2022-2024 by RLM class, based on the descriptive sections of the KPOŚK reports

Rok	Przedział RLM aglomeracji	Warunek I – stopień skanalizowania aglomeracji	Warunek II – wydajność oczyszczalni względem RLM aglomeracji	Warunek III – standardy oczyszczania ścieków	Udział aglomeracji spełniających łącznie 3 warunki w ogólnej liczbie aktywnych aglomeracji, %
		liczba aglomeracji			
2022	$\geq 150\ 000$	19	17	15	0,98
	$\geq 100\ 000 < 150\ 000$	22	22	21	1,37
	$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	226	218	203	13,27
	$\geq 10\ 000 < 15\ 000$	72	69	56	3,66
	$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	582	539	499	32,61
	$< 2\ 000$	4	4	4	0,26
2022	RAZEM	925	869	798	52,16
2023	$\geq 150\ 000$	18	17	15	0,98
	$\geq 100\ 000 < 150\ 000$	21	19	18	1,18
	$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	235	220	207	13,56
	$\geq 10\ 000 < 15\ 000$	65	61	51	3,34
	$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	595	560	521	34,14
	$< 2\ 000$	7	7	7	0,46
2023	RAZEM	941	884	819	53,67
2024	$\geq 150\ 000$	15	13	12	0,79
	$\geq 100\ 000 < 150\ 000$	23	22	21	1,38
	$\geq 15\ 000 < 100\ 000$	241	225	216	14,16
	$\geq 10\ 000 < 15\ 000$	60	55	47	3,08
	$\geq 2\ 000 < 10\ 000$	603	573	540	35,41
	$< 2\ 000$	11	10	10	0,66
2024	RAZEM	953	898	846	55,48

Źródło: Opracowanie własne na podstawie części opisowych sprawozdań KPOŚK [3, 5, 6]

co stanowiło również 75,8% ocenionych punktów [1]. W pozostałych kategoriach wód udział punktów eutroficznych wynosił 74,9% dla wód jeziornych, 68,8% dla zbiornikowych oraz 100,0% dla wód przejściowych i przybrzeżnych, przy znacznie mniejszej liczbie punktów pomiarowych [1]. W porównaniu z okresem 2016-2019 udział wód eutroficznych wzrósł z 66,5% do 75,8%, a udział wód nieeutroficznych zmniejszył się z 33,5% do 24,2% [1].

Dane z monitoringu GIOŚ nie stanowią podstawy do bezpośredniego powiązania pracy oczyszczalni z jakością odbiorników, lecz potwierdzają, że skuteczność usuwania biogenów w oczyszczalniach komunalnych ma istotne znaczenie środowiskowe w skali kraju.

Wcześniejsze analizy wykazały, że mimo wysokiego udziału oczyszczalni spełniających wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych oraz obserwowanej poprawy wskaźników zgodności aglomeracji, do środowiska nadal odprowadzano znaczne ładunki azotu i fosforu. W tym kontekście dane GIOŚ potwierdzają, że problem skuteczności usuwania biogenów nie ma wyłącznie wymiaru infrastrukturalnego lub technologicznego, lecz pozostaje zagadnieniem bezpośrednio związanym z efektem środowiskowym osiąganym w skali kraju [1].

Wyniki uzyskane dla Polski warto odnieść do szerszego kontekstu europejskiego. Europejska Agencja Środowiska

(European Environment Agency, EEA) wskazuje, że w 2022 r. 81% mieszkańców UE-27 było podłączonych co najmniej do systemów zapewniających biologiczne oczyszczanie ścieków, co potwierdza wysoki, choć nadal niepełny poziom obsługi ludności systemami oczyszczania ścieków w Europie [13]. Jednocześnie EEA podkreśla, że wcześniejsza poprawa jakości wód słodkich była związana, m.in. z rozwojem oczyszczania ścieków oraz ograniczeniem zawartości fosforu w detergentach, jednak w ostatnich latach obserwuje się wyraźne spowolnienie dalszej poprawy, zwłaszcza w odniesieniu do stężeń fosforu w wodach rzecznych [14]. Oznacza to, że nawet rozbudowa infrastruktury i zwiększenie udziału ludności korzystającej z oczyszczania ścieków nie przekładają się wprost na szybkie ograniczenie presji biogenów w środowisku wodnym [13, 14]. W tym kontekście wyniki dotyczące skuteczności usuwania azotu i fosforu w oczyszczalniach komunalnych w Polsce można traktować jako element szerszego europejskiego problemu utrzymywania się presji biogenów mimo rozwoju infrastruktury i technologii oczyszczania [12]. Z perspektywy wdrażania prawa środowiskowego istotne jest również, że Komisja Europejska w Environmental Implementation Review 2025 odnotowała, iż Polska nie dotrzymała ostatecznego terminu zgodności z dyrektywą dotyczącą oczyszczania ścieków komunalnych w 2015 r. [15]. Oznacza to, że uzyskane wyniki należy interpretować nie tylko w skali krajowej, lecz również jako część szerszych trudności związanych z wdrażaniem polityki wodnej i ściekowej w Europie [13-15]. Potwierdza to również utrzymujące się znaczenie problematyki wodno-ściekowej w polityce środowiskowej UE [16].

Dyskusja

W polskiej literaturze dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych dominują analizy odnoszące się do pracy pojedynczych oczyszczalni, zmian stężeń związków węgla, azotu i fosforu w ciągu technologicznym oraz potrzeb modernizacyjnych konkretnych obiektów. Dobrze ilustrują to studia poświęcone wybranym gminnym oczyszczalniom, m.in. w Hajnówce i Jasle oraz innym obiektom komunalnym [17-21]. Tego typu publikacje dobrze opisują warunki pracy pojedynczych układów, ich skuteczność i ograniczenia technologiczne. Przedstawiona analiza ma natomiast szerszy zakres, ponieważ dotyczy zróżnicowania skuteczności usuwania biogenów pomiędzy klasami wielkości oczyszczalni oraz jej związku z oceną zgodności aglomeracji.

Tabela 8. Wybrane wskaźniki infrastrukturalne, technologiczne i środowiskowe gospodarki ściekowej w Polsce w latach 2020-2024 na podstawie danych GUS/BDL
Table 8. Selected infrastructural, technological and environmental indicators of wastewater management in Poland in 2020-2024 based on data from Statistics Poland / Local Data Bank (BDL)

Wskaźnik	Jednostka	2020	2021	2022	2023	2024
Rozwój infrastruktury i dostępność usług						
Ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków	% ludności ogółem	74,9	75,2	75,7	75,9	76,2
Długość czynnej sieci kanalizacyjnej	km	169629,7	173484,8	177613,7	181521,6	185794,0
Ludność korzystająca z kanalizacji na wsi	osoba	6612629	6721186	6839341	6940181	7028584
Ścieki oczyszczane odprowadzone ogółem	dam³/rok	1344215,5	1367110,9	1364246,5	1394768,1	1427460,1
Potencjał technologiczny						
Oczyszczalnie z podwyższonym usuwaniem biogenów	szt.	820	819	824	810	809
Przepustowość oczyszczalni z podwyższonym usuwaniem biogenów	m³/d	7260758	7283528	7344397	7411541	7402629
Presja biogenów						
Ładunek azotu ogólnego w ściekach po oczyszczeniu	kg/rok	15501498	16395124	15258528	15337622	15083524
Ładunek fosforu ogólnego w ściekach po oczyszczeniu	kg/rok	997095	1011152	1040686	1101511	1137857
Ścieki nieoczyszczane	dam³/rok	10356,5	11157,9	3878,5	4068,1	5852,1
Nakłady						
Nakłady na gospodarkę ściekową i ochronę wód	tys. zł	5531087,4	5696903,4	6505981,6	8387712,0	7478441,7

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS/BDL [9]

Tabela 9. Ocena eutrofizacji wód powierzchniowych w Polsce w latach 2020-2023 na podstawie danych GIOŚ [1]
Table 9. Assessment of surface water eutrophication in Poland in 2020-2023 based on data from the Chief Inspectorate of Environmental Protection [1]

Kategoria wód	Ocenione punkty pomiarowo-kontrolne (PPK), liczba	Eutroficzne, liczba	Eutroficzne, %	Nieeutroficzne, liczba	Nieeutroficzne, %
Jeziorne	658	493	74,9	165	25,1
Przejęciowe	8	8	100,0	0	0,0
Przybrzeżne	12	12	100,0	0	0,0
Rzeczne	3427	2599	75,8	828	24,2
Zbiornikowe	32	22	68,8	10	31,3
Razem	4137	3134	75,8	1003	24,2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GIOŚ [1]

Uzyskane wyniki wskazują, że różnice pomiędzy klasami wielkości oczyszczalni były mniejsze na dopływie, a bardziej zaznaczone na odpływie i w stopniu redukcji biogenów. Sugeruje to, że zróżnicowania efektu oczyszczania nie należy wiązać wyłącznie z jakością ścieków dopływających, lecz również ze stabilnością prowadzenia procesu. Potwierdzają to publikacje poświęcone eksploatacji, ocenie niezawodności i porównawczej ocenie pracy oczyszczalni, w których podkreśla się znaczenie zmienności dopływu, temperatury ścieków, warunków eksploatacji oraz konfiguracji technologicznej dla końcowego efektu oczyszczania [22-24]. W tym kontekście mniejszą zmienność wyników uzyskanych dla fosforu ogólnego można interpretować jako przesłankę, że w badanym zbiorze danych usuwanie azotu było bardziej wrażliwe na zmienność warunków pracy.

Szczególne znaczenie praktyczne mają wyniki uzyskane dla mniejszych klas oczyszczalni, w których częściej obserwowano większą zmienność parametrów odpływu i skuteczności usuwania biogenów. Problem ten był już opisywany w publikacjach dotyczących małych / gminnych oczyszczalni [25-28]. Wskazuje się w nich, że osiągnięcie niskich stężeń azotu i fosforu w odpływie bywa w takich obiektach trudniejsze, a utrzymanie stabilnego efektu oczyszczania wymaga większej kontroli warunków hydraulicznych i eksploatacyjnych lub stosowania rozwiązań wspomagających [27, 28]. Wyniki własne potwierdzają, że w mniejszych oczyszczalniach efekt oczyszczania był mniej stabilny. W warunkach polskich ma to szczególne znaczenie na obszarach, gdzie rozwój infrastruktury przebiegał z opóźnieniem, a warunki techniczne odbiegają od warunków pracy dużych układów scentralizowanych [26, 29].

Uzyskane wyniki pokazują, że wysoki udział oczyszczalni spełniających wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych nie przekłada się automatycznie na pełną zgodność aglomeracji. Jest to zgodne z logiką wdrażania dyrektywy 91/271/EWG, w ramach której oceniano nie tylko jakość odpływu z oczyszczalni, lecz również spełnienie wymagań infrastrukturalnych dla aglomeracji [29, 30]. Rozwój infrastruktury i modernizacja oczyszczalni nie zawsze przekładały się na pełny efekt środowiskowy, zwłaszcza na obszarach o rozproszonej zabudowie i zróżnicowanym poziomie wyposażenia technicznego [26, 29, 30]. Przedstawione w pracy wyniki wskazują, że ocena pojedynczej oczyszczalni nie jest wystarczająca do oceny skuteczności układu aglomeracyjnego. Należy jednak zaznaczyć, że dane

KPOŚK mają charakter sprawozdawczy i nie zawierają pełnego opisu technologii ani warunków pracy poszczególnych oczyszczalni. Z tego względu analiza pozwala na ocenę porównawczą i systemową, ale nie na jednoznaczne wskazanie przyczyn różnic w skuteczności oczyszczania ścieków w poszczególnych obiektach.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza wskazuje, że w latach 2022-2024 w krajowej gospodarce ściekowej równolegle obserwowano rozwój infrastruktury oraz utrzymujące się ograniczenia w zakresie skuteczności i stabilności usuwania biogenów. Potwierdzają to zarówno wyniki odnoszące się do oczyszczalni ścieków, jak i dane z aglomeracji oraz środowiskowe. W grupach największych oczyszczalni odnotowano najniższe stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych oraz najmniejszą zmienność wyników. W przypadku redukcji biogenów zależność ta była wyraźniejsza dla fosforu ogólnego niż dla azotu ogólnego, jednak w obu przypadkach większe oczyszczalnie charakteryzowały się bardziej stabilnymi parametrami pracy niż obiekty mniejsze.

Wyniki systemowe wskazują na stopniową poprawę poziomu zgodności. Udział aglomeracji spełniających łącznie wszystkie trzy warunki wzrósł z 52,16% w 2022 r. do 55,48% w 2024 r., jednak pełna zgodność nadal nie została osiągnięta. Równocześnie rosła długość sieci kanalizacyjnej, udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków oraz potencjał obiektów z podwyższonym usuwaniem biogenów, a mimo to do odbiorników nadal trafiały znaczne ładunki azotu i fosforu po oczyszczeniu. Dane GIOŚ wskazujące na eutrofizację w 75,8% ocenionych punktów pomiarowo-kontrolnych potwierdzają, że problem ma realny wymiar środowiskowy. Na tle europejskim obraz ten nie jest odosobniony, ponieważ wysoki udział ludności korzystającej z oczyszczania ścieków współwystępuje z utrzymującą się presją biogenów w środowisku wodnym.

Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Szczególnej uwagi wymagają oczyszczalnie z klas 2000-9999 RLM oraz 10 000-14 999 RLM, w których obserwowano większy rozrzut wyników i mniejszą stabilność parametrów odpływu oraz redukcji biogenów. Wyniki wskazują na potrzebę identyfikacji obiektów charakteryzujących się niestabilną pracą i wymagających działań modernizacyjnych lub eksploatacyjnych.
2. Dalsza poprawa zgodności aglomeracji nie powinna być utożsamiana

wyłącznie z rozbudową infrastruktury kanalizacyjnej. Kluczowe znaczenie ma zapewnienie stabilnego utrzymania wymaganych parametrów ścieków oczyszczonych oraz skuteczności redukcji biogenów w oczyszczalniach.

3. Dane dotyczące stężeń i redukcji azotu oraz fosforu powinny być interpretowane łącznie z danymi dotyczącymi zgodności aglomeracji oraz uwarunkowań infrastrukturalnych, zwłaszcza w odniesieniu do warunku III, ponieważ dopiero takie ujęcie pozwala ocenić, czy poprawa na poziomie obiektu przekłada się na zgodność aglomeracji.
4. W praktyce eksploatacyjnej zasadne jest silniejsze powiązanie oceny skuteczności usuwania biogenów z warunkami hydraulicznymi i technologicznymi oczyszczalni, ponieważ same wartości stężeń na dopływie i odpływie oraz stopnia redukcji nie wyjaśniają w pełni obserwowanego zróżnicowania wyników pomiędzy klasami oczyszczalni.
5. Utrzymujące się wysokie ładunki azotu i fosforu po oczyszczeniu oraz wysoki udział wód eutroficznych wskazują, że ocena skuteczności oczyszczania powinna obejmować nie tylko zgodność formalną, lecz również rzeczywisty efekt środowiskowy w skali kraju.

Bibliografia

- [1] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Departament Monitoringu Środowiska. (2024). Ocena eutrofizacji wód powierzchniowych wykonana na podstawie danych pomiarowych z lat 2020-2023. Warszawa.
- [2] Rada Europejskich Wspólnot. (1991). Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich, L 135, 30.05.1991.
- [3] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2025). Sprawozdanie z realizacji Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych w 2024 roku. Warszawa.
- [4] Parlament Europejski & Rada Unii Europejskiej. (2024). Dyrektywa (UE) 2024/3019 z dnia 27 listopada 2024 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (wersja przekształcona).
- [5] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2023). Sprawozdanie z realizacji Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych w 2022 roku. Warszawa.
- [6] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2024). Sprawozdanie z realizacji Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych w 2023 roku. Warszawa.
- [7] Minister Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej. (2019). Rozporządzenie z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311).
- [8] Sejm Rzeczypospolitej Polskiej. (2017). Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (tekst jednolity, Dz.U. z późn. zm.).

- [9] Główny Urząd Statystyczny. (2025). Bank Danych Lokalnych (BDL) [baza danych statystycznych].
- [10] Ministerstwo Infrastruktury. (2022). VI aktualizacja Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych.
- [11] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2025, 24 stycznia). Ważna informacja dla gmin! Ruszają prace nad VII AKPOŚK.
- [12] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2025). Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych.
- [13] European Environment Agency. (2024). Population connected to at least secondary wastewater treatment. European Environment Agency.
- [14] European Environment Agency. (2024). Nutrients in freshwater in Europe. European Environment Agency.
- [15] European Commission. (2025). 2025 Environmental Implementation Review: Country Report – Poland. Commission Staff Working Document, SWD(2025) 320 final. Brussels.
- [16] European Commission. (2025). Communication on the 2025 Environmental Implementation Review: Environmental implementation for prosperity and security (COM(2025) 420 final).
- [17] Barikowska, I., Dzienis, L., & Wawrentowicz, D. (2011). Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji. *Inżynieria Ekologiczna*, (24), 226–235.
- [18] Ignatowicz, K., Nowicki, Ł., & Puchlik, M. (2011). Profil zmian stężenia związków węgla, azotu i fosforu w oczyszczalni ścieków komunalnych w Nowej Wsi Elckiej. *Inżynieria Ekologiczna*, (24), 52–63.
- [19] Ignatowicz, K., Struk-Sokołowska, J., & Kaziemierowicz, J. (2013). Ocena usuwania związków węgla, azotu i fosforu w komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokółce. *Ekonomia i Środowisko*, 4(47), 158–168.
- [20] Czarnota, J., & Masłoń, A. (2015). Analiza efektywności technologicznej oczyszczalni ścieków w Nisku. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture / Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 62(3/1/15), 75–86.
- [21] Młyński, D., Chmielowski, K., Młyńska, A., & Miernik, W. (2016). Ocena skuteczności pracy oczyszczalni ścieków w Jasle. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1/1, 147–162. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2016.1.1.011>
- [22] Bugajski, P. (2011). Wpływ temperatury ścieków na wielkość wybranych wskaźników zanieczyszczeń z oczyszczalni działającej w układzie sekwencyjnym SBR. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 7–15.
- [23] Bugajski, P. (2014). Ocena niezawodności usuwania związków biogenych w oczyszczalni ścieków metodą Weibulla. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 576, 13–21.
- [24] Silva, C., & Rosa, M. J. (2020). Performance assessment of 23 wastewater treatment plants—A case study. *Urban Water Journal*, 17(1), 78–85. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1734634>
- [25] Heidrich, Z., & Stariko, G. (2008). Kierunki rozwiązań oczyszczalni ścieków dla wiejskich jednostek osadniczych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5, 169–177.
- [26] Piasecki, A. (2019). Water and sewage management issues in rural Poland. *Water*, 11(3), 625. <https://doi.org/10.3390/w11030625>
- [27] Karczmarczyk, A., Bus, A., & Baryła, A. (2021). Assessment of the efficiency, environmental and economic effects of compact type on-site wastewater treatment plants—Results from random testing. *Sustainability*, 13(2), 982. <https://doi.org/10.3390/su13020982>
- [28] Mažeikienė, A., & Šarko, J. (2023). Additional treatment of nitrogen and phosphorus using natural materials in small-scale domestic wastewater treatment unit. *Water*, 15(14), 2607. <https://doi.org/10.3390/w15142607>
- [29] Preisner, M. (2020). An analytical review of different approaches to wastewater discharge standards with particular emphasis on nutrients. *Environmental Management*, 66(4), 694–708. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01344-y>
- [30] Preisner, M., Smol, M., & Szoldrowska, D. (2021). Trends, insights and effects of the Urban Wastewater Treatment Directive (91/271/EEC) implementation in the light of the Polish coastal zone eutrophication. *Environmental Management*, 67(2), 342–354. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01401-6>



III KONFERENCJA

BRANŻA WOD.-KAN.
**OCHRONA I BEZPIECZEŃSTWO
 INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ**
 Reagowanie w sytuacjach kryzysowych



14–16 września
 2026r.

Gdynia
 Hotel Mercure

