

Wpływ powodzi na funkcjonowanie miejskiej oczyszczalni ścieków w Paczkowie

The impact of flooding on the performance of the municipal wastewater treatment plant in Paczków

Adam Rak^{1*} , Sandra Tetlak-Kurowska², Artur Rolka³, Dominik Rak⁴

¹ Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Opolska

² Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Paczkowie

³ Burmistrz Gminy Paczków

⁴ Ekocentrum Sp. z o.o. Wrocław

*Kontakt / Correspondence: a.rak@po.edu.pl

Streszczenie:

Artykuł przedstawia analizę wpływu powodzi z września 2024 r. na funkcjonowanie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie oraz ocenę skuteczności działań podjętych w celu przywrócenia ciągłości oczyszczania ścieków. Przedstawiono zakres zniszczeń infrastruktury technologicznej i awaryjny tryb pracy oczyszczalni. Analiza wyników eksploatacyjnych wykazała, że rozwiązanie to umożliwiło stabilizację procesu oczyszczania i osiągnięcie parametrów zgodnych z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym. Przedstawiono rekomendacje projektowania infrastruktury wodno-kanalizacyjnej odpornej na skutki zmian klimatu i ekstremalnych zjawisk powodziowych.

Słowa kluczowe: powódź, oczyszczanie ścieków, oczyszczalnia ścieków, SBR, retencja

Abstract:

This paper presents an analysis of the impact of the September 2024 flood on the operation of the Municipal Wastewater Treatment Plant in Paczków and evaluates the effectiveness of the measures implemented to restore the continuity of wastewater treatment. The extent of damage to the technological infrastructure and the emergency operation mode are described. An analysis of operational performance data demonstrated that the temporary configuration successfully stabilized the treatment process and enabled the treated wastewater to comply with the discharge standards of the water permit. The paper also provides recommendations for the design of water and wastewater infrastructure resilient to the impacts of climate change and extreme flood events.

Keywords: flood, wastewater treatment, wastewater treatment plant, SBR, retention

1. Wprowadzenie

Celem pracy jest ocena wpływu powodzi z września 2024 r. na funkcjonowanie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie oraz ocena skuteczności zastosowanych rozwiązań technologicznych umożliwiających utrzymanie ciągłości oczyszczania ścieków w okresie odbudowy obiektu.

Powódź w 2024 roku została wywołana przez tzw. „niż geneueński – Borys” o dość specyficznym charakterze – na Dolnym Śląsku – którym był obszarem najbardziej dotkniętym. Opady w Sudetach były bardzo wysokie (ale generalnie niższe niż w 1997 roku). Największe wartości odnotowano w zlewni Nysy Kłodzkiej i Bobru [12]. Sytuacja w Kotlinie Kłodzkiej była mniej korzystna. Po awarii zapory

w Stroniu Śląskim oraz przelewu bocznego zbiornika Topola, konsekwencje tej sytuacji były katastrofalne praktycznie na całej długości Nysy Kłodzkiej – aż do ujścia do Odry. Miejska Oczyszczalnia Ścieków (MOŚ) w Paczkowie zlokalizowana jest przy ulicy Moniuszki 17 w północno-wschodniej części m. Paczkowa. Od strony północnej położenie jej ogranicza rzeka Nysa Kłodzka, od strony południa Potok Młynówka. Odbiornikiem oczyszczonych na urządzeniach mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków typu APIS jest rzeka Nysa Kłodzka. Tym samym MOŚ została narażona na oddziaływanie fali powodziowej. Ostatni pomiar ścieków oczyszczonych w wysokości 1495 m³ zanotowano 14.09.2024 r. o godz. 22.00 [1]. Zalanie oczyszczalni falą powodziową nastąpiło 15.09.2024 r. o godz. 06.00 (rys. 1) pierwszą falą powodziową o wysokości ca 1,2–1,4 m licząc

od poziomu terenu oczyszczalni. Druga fala o krótszym cyklu była nieco wyższa, osiągając ca 2,0 m. Po przejściu fali powodziowej służby ZWIK podjęły działania ratownicze i umożliwiające awaryjne uruchomienie niektórych urządzeń (18–23.09), w tym montaż tymczasowej pompowni zasilanej z agregatu prądotwórczego w celu przepompowywania ścieków z pompowni I stopnia bezpośrednio do rzeki Nysy Kłodzkiej. W dniu 09.10.2024 r. uruchomiono system odwozu ścieków do kolektora ścieków w Otmuchowie lub do oczyszczalni w Nysie. Przygotowano laguny jako zbiornik przejściowy do poboru ścieków przez beczkowozy. W tym czasie podjęto także prace porządkowe na obiekcie (usunięcie drzew, namułu itp.), dezynfekcję pomieszczeń socjalnych, tymczasową naprawę drogi dojazdowej oraz częściowe odpompowanie ścieków z zalanych obiektów – komór osadnika wtórnego, zbiornika osadu nadmiernego, komory żelbetowej w części separacji, zbiornika retencyjnego, zbiornika bioreaktora.



Rys. 1. Widok na zalaną Miejską Oczyszczalnię Ścieków w Paczkowie (ZWIK Paczków)

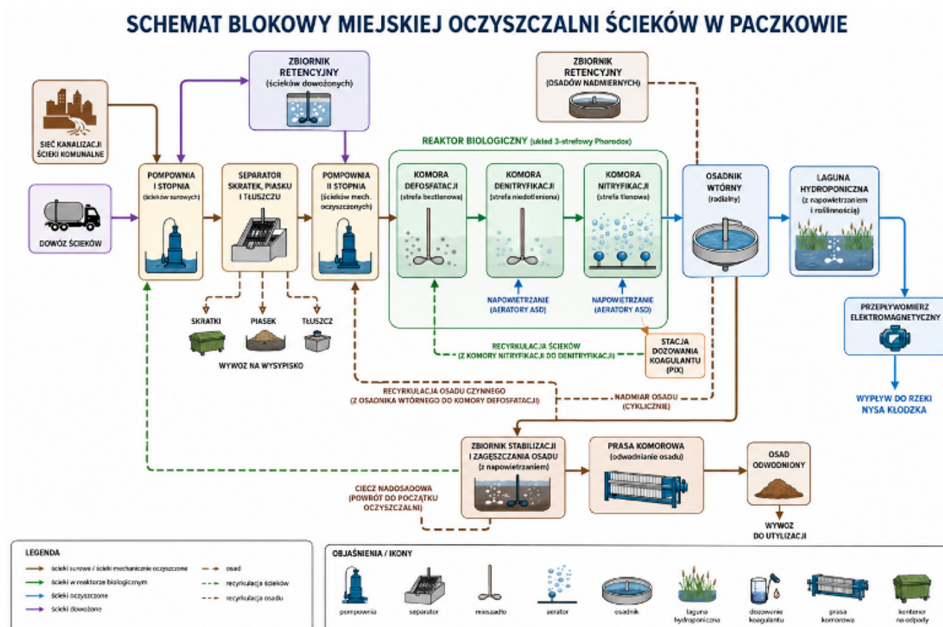
Fig. 1. Flooded Municipal Sewage Treatment Plant in Paczków (ZWIK Paczków)

Przeprowadzona inwentaryzacja [1] wykazała znaczne zniszczenia i uszkodzenia. Całkowitemu zniszczeniu uległ ciąg technologiczny, aparatura kontrolno-pomiarowa, sterowania i automatyki. Uszkodzeniu uległy maszyny i urządzenia ciągu technologicznego (agregaty prądotwórcze, dmuchawy, sprężarki, panele) z wyjątkiem pomp na pompowni I i II stopnia. Stan konstrukcji zbiornika bioreaktora, osadnika wtórnego, zbiornika osadu nadmiernego oceniono jako zły, wręcz awaryjny.

2. Charakterystyka oczyszczalni w Paczkowie

MOŚ zaprojektowana na 22 396 RLM została wybudowana w 1999 roku. Maksymalne hydrauliczne obciążenie oczyszczalni wynosi 2 500 m³/d, jednak w rzeczywistości obiekt przyjmuje dziennie około 1 350 m³ ścieków. Oczyszczalnia jest zbudowana na planie koła, a wszystkie urządzenia ciągu technologicznego umieszczono we wnętrzu budynku. Jest to istotne z punktu widzenia oszczędności przestrzeni oraz ograniczania negatywnego wpływu obiektu na otoczenie. Dzięki zadaszeniu zminimalizowane są uciążliwości zapachowe związane z procesem oczyszczania [2, 16]. O zastosowaniu wymagającej technologii o wysokiej efektywności zdecydowało pozwolenie wodnoprawne wydane z 13 marca 2020 r. [9], które określiło wymagania dla ścieków oczyszczonych odprowadzanych do rzeki Nysa Kłodzka. Najwyższe dopuszczalne wartości określono odpowiednio: zawiesina 35 mg/dm³, ChZT_{cr} 125 mg/dm³, BZT₅ 25 mgO₂/dm³, azot ogólny 30 mg/dm³, fosfor ogólny 2 mg/dm³ i węglowodory ropopochodne 15 mg/dm³.

Technologia oczyszczania ścieków oparta jest na osadzie czynnym [7], natomiast jako trzeci stopień oczyszczania wykorzystano reaktor biologiczno-hydrauliczny w postaci laguny hydroponicznej (rys. 2, 3) o pojemność czynnej 530 m³ [2]. Dzięki obudowie w otoczeniu laguny panują warunki szklarniowe, gdzie temperatura dochodzi do 40°C, a wilgotność nawet do 90%. Intensyfikuje to procesy samooczyszczania.



Rys. 2. Schemat technologiczny Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie (ZWIK Paczków)

Fig. 2. Technological diagram of the Municipal Sewage Treatment Plant in Paczków (ZWIK Paczków)

Przed powodzią zastosowane rozwiązania skutecznie ograniczały stężenia zawiesiny, materii organicznej oraz biogenów, poprawiały stabilność jakości ścieków odpływowych z wykorzystaniem naturalnych procesów biologicznych przy relatywnie niskich nakładach energetycznych [3, 4, 6, 8, 15].



Rys. 3. Laguna hydroponiczna (ZWIK Paczków)
Fig. 3. Hydroponic lagoon (ZWIK Paczków)

3. Analiza efektywności oczyszczania ścieków

3.1. Metodyka badań

Badania przeprowadzono w oparciu o analizę funkcjonowania Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie w trzech okresach eksploatacyjnych: przed powodzią (do 09.2024), w okresie pracy awaryjnej po powodzi (09.2024–11.2025) oraz po uruchomieniu tymczasowego układu technologicznego z reaktorem SBR (11.2025 r. do 06.2026). Podstawę analiz stanowiły dokumentacja techniczna i eksploatacyjna oczyszczalni, wyniki monitoringu jakości ścieków surowych i oczyszczonych prowadzonego przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Paczkowie, wyniki badań laboratoryjnych wykonywanych zgodnie z obowiązującymi metodami referencyjnymi oraz dokumentacja dotycząca uszkodzeń powodziowych oraz procesu odbudowy oczyszczalni. Analizie poddano podstawowe wskaźniki jakości ścieków: BZT₅, ChZT, zawiesinę ogólną, azot ogólny oraz fosfor ogólny, porównując wartości uzyskane w poszczególnych etapach funkcjonowania oczyszczalni z wymaganiami obowiązujących pozwoleń wodnoprawnych.

Ocenę skuteczności zastosowanych rozwiązań technologicznych przeprowadzono na podstawie zmian efektywności usuwania zanieczyszczeń oraz stabilności pracy układu technologicznego w warunkach zmiennego obciążenia hydraulicznego, charakterystycznego dla kanalizacji ogólnospławnej. W analizie wykorzystano metodę porównawczą, zestawiając parametry pracy oczyszczalni przed powodzią, w okresie funkcjonowania awaryjnego oraz po wdrożeniu tymczasowej technologii oczyszczania opartej na reaktorze SBR, lagunie hydroponicznej i systemie ozonowania ścieków. Uzyskane wyniki odniesiono do danych literaturowych dotyczących oczyszczalni wykorzystujących technologię osadu czynnego, laguny hydroponiczne oraz procesy ozonowania ścieków.

3.2. Okres do powodzi (do 09.2024)

Przeprowadzone analizy w latach 2009–2011 wykazały, że realizowanie procesu oczyszczania ścieków w oczyszczalni wzbo-gaconej o trzeci stopień oczyszczania ścieków w postaci laguny hydroponicznej, pozwala na skuteczne zmniejszenie stężeń zanieczyszczeń w ściekach [3]. Skuteczność usuwania związków organicznych wyrażona w BZT₅ i ChZT przekraczała wymagane pozwoleniem wodnoprawnym 90%, co umożliwiło uzyskanie na odpływie wartości BZT₅ poniżej 4,8 mgO₂/dm³, a ChZT w grani-cach 24,2–33,0 mgO₂/dm³. Efekty usuwania związków biogen-nych były wysokie dzięki zastosowaniu oczyszczania biologicz-nego wspomaganego dawkowaniem koagulantu, efektem czego odprowadzano nie więcej niż 0,3 mgP/dm³ fosforu ogólnego i 20,4 mgN/dm³ ogólnego azotu. Na odpływie uzyskano wartości zawie-siny mniejsze niż 3,4 mg/dm³ i w 100% spełniono konieczność za-pewnienia minimum 90,0% skuteczności oczyszczania (tabela 1).

Tabela 1. Średnia roczna sprawność oczyszczalni w latach 2009–2011 (ZWIK Paczków, [3])

Table 1. Average annual efficiency of the wastewater treatment plant in 2009–2011 (ZWIK Paczków, [3])

Rok	BZT5	ChZT	Azot ogólny	Fosfor ogólny	Zawiesina ogólna
2009	98,8	97,3	77,0	98,5	98,4
2010	98,0	94,8	98,1	95,1	98,5
2011	98,7	95,6	90,8	98,1	99,0

3.3. Okres po powodzi – praca w trybie awaryjnym

Mając na uwadze zakres zniszczeń powodziowych, stan tech-niczny urządzeń nadających się do dalszej eksploatacji, położenie względem odbiornika (narażenie na zalewanie) i koszty remontu podjęto decyzję o wybudowaniu praktycznie nowej oczyszczalni. W istniejącym obiekcie uruchomiono awaryjny układ technolo-giczny oparty na następujących procesach (rys. 4).

I faza: Ścieki z kanalizacji miejskiej doprowadzane są do pom-powni ścieków surowych, a ścieki dowożone gromadzone są w napowietrzanym zbiorniku retencyjnym i cyklicznie odprowa-dzane do pompowni ścieków surowych. Z pompowni ścieki tłó-czone są do separatora skrutek, piasku i tłuszczu, skąd dopływają do pompowni II stopnia.

II faza: Ścieki pompowane są do laguny hydroponicznej, w któ-rej dozuje się wodę ozonową. Okresowo konieczne jest usuwanie osadu nadmiernego z laguny. Nadmiar osadu odprowadzany jest do napowietrzanego zbiornika stabilizacji i zagęszczania. Ciecz nadosadowa odprowadzana jest na początek układu oczyszczania ścieków, a osad poddawany jest procesowi mechanicznego odwadniania.

W trybie awaryjnej pracy laguna została przygotowana do na-powietrzania ścieków (pierwsza strefa) oraz do kontaktu z wodą ozonową (druga strefa). Zastosowano kontenerowy ozonator za-pewniający wyjściowy poziom ozonu w wodzie 0,5–1,0 mg/dm³. W przypadku ścieków ozonowanie dezaktywuje części bakterii obecnych w ściekach i ogranicza powstawanie nieprzyjemnych.



Rys. 4. Schemat technologiczny oczyszczania ścieków w trybie awaryjnym (ZWIK Paczków)
Fig. 4. Technological diagram of wastewater treatment in emergency mode (ZWIK Paczków)

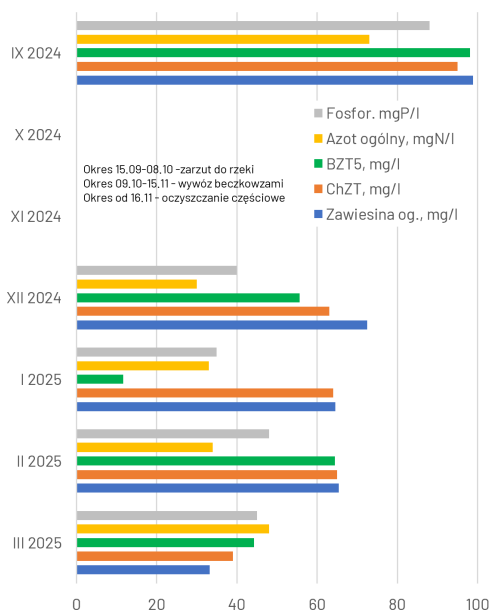
Działanie ozonu podczas oczyszczania ścieków zapewnia dezynfekcję, wspomaganie flokulacji, utlenianie zawiesiny koloidalnej związków organicznych (efektem odbarwianie) oraz redukcja zawartości związków organicznych oraz utlenianie śladowych ilości związków organicznych (w tym zanieczyszczeń odpowiedzialnych za smak, zapach, fenoli, pestycydów) [14]. Ozonowanie 100% ścieków przed zrzutem do rzeki zapewnia zwiększenie zawartości tlenu rozpuszczonego w rzece i chroni przed deficytami tlenu w bezpośrednim sąsiedztwie zrztu.

W dniu 18.02.2025 r. uzyskano nowe Pozwolenie wodnoprawne [10, 11], które znacznie złagodziło wymagania dla ścieków oczyszczonych odprowadzanych do rzeki Nysa Kłodzka dla zmniejszonej RLM 7 351 i Q_{SRD} 2 500 m³/d. Najwyższe dopusz-

czalne wartości określono odpowiednio: zawiesina 35mg/dm³, ChZT_{Cr} 125 mg/dm³ i BZT₅ 25 mgO₂/dm³. Nie określono wartości dopuszczalnych dla azotu ogólnego, fosforu ogólnego i węglowodorów. Przeprowadzone analizy danych z okresu od uruchomienia awaryjnego ciągu technologicznego do 03.2025 wykazały, że proces oczyszczania ścieków był znacznie uzależniony od jakości ścieków dopływających z kanalizacji ogólnospławnej (tab. 2, rys. 5). Wielkość redukcji usuwania związków organicznych wyrażona w BZT₅ i ChZT była zróżnicowana w wynosiła odpowiednio: zawiesiny od 65,4 do 33,2 mg/dm³; ChZT od 70,2 do 38,4 mg/dm³; BZT₅ od 64, 4 do 11,7 mgO₂/dm³. Z powyższych danych wynika, że w wskaźnikach zawiesina i BZT₅ parametry ścieków oczyszczonych nie zostały dotrzymane.

Tabela 2. Wskaźniki ścieków surowych i oczyszczonych, I–III 2025 r. (ZWIK Paczków)
Table 2. Raw and treated sewage indicators, January–March 2025 (ZWIK Paczków)

	Ściek surowy (ściek oczyszczony)	Ściek surowy (ściek oczyszczony)	Ściek surowy (ściek oczyszczony)	Pozwolenie wodnoprawne (+50% awaria)
Data poboru	07–08. 01.2025	05–06. 02.2025	05–06. 03.2025	–
Zawiesina ogólna, mg/dm ³	231 (64,45)	295 (65,4)	268 (33,2)	35,0 (45)
ChZTCr, mg/dm ³	775 (64,6)	969 (70,2)	679 (38,4)	125,0 (187,5)
BZT5, mgO ₂ /dm ³	180 (11,7)	320 (64,4)	334 (44,3)	25,0 (37,5)
Azot ogólny, mg/dm ³	62,8 (33,3)	62,2 (33,9)	68,6 (47,95)	nie określono
Fosfor ogólny, mg/dm ³	6,98 (35,2)	6,60 (48,8)	7,95 (45,7)	nie określono
Węglowodory ropopochodne mg/dm ³	-	<1,0	-	nie określono



Rys. 5. Redukcja (%) podstawowych wskaźników ścieków w okresie 12.2024 – 03.2025 (ZWIK Paczków)

Fig. 5. Reduction (%) of basic sewage indicators in the period December 2024 – March 2025 (ZWIK Paczków)

3.4. Tymczasowa technologia oczyszczania ścieków

W 11.2025 została uruchomiona tymczasowa instalacja oczyszczania ścieków. Od tego momentu oczyszczalnia działa według schematu pokazanego na rys. 6.

Ścieki mechanicznie oczyszczone pozbawione skrutek i piasku przepływają grawitacyjnie do przepompowni P2 skąd tłoczone są do węzła rozdzielającego ścieki do zbiornika retencyjno-uśredniającego. Ścieki ze zbiornika retencyjno-uśredniającego, w funkcji pracy reaktora SBR tłoczone są do tego reaktora w fazie

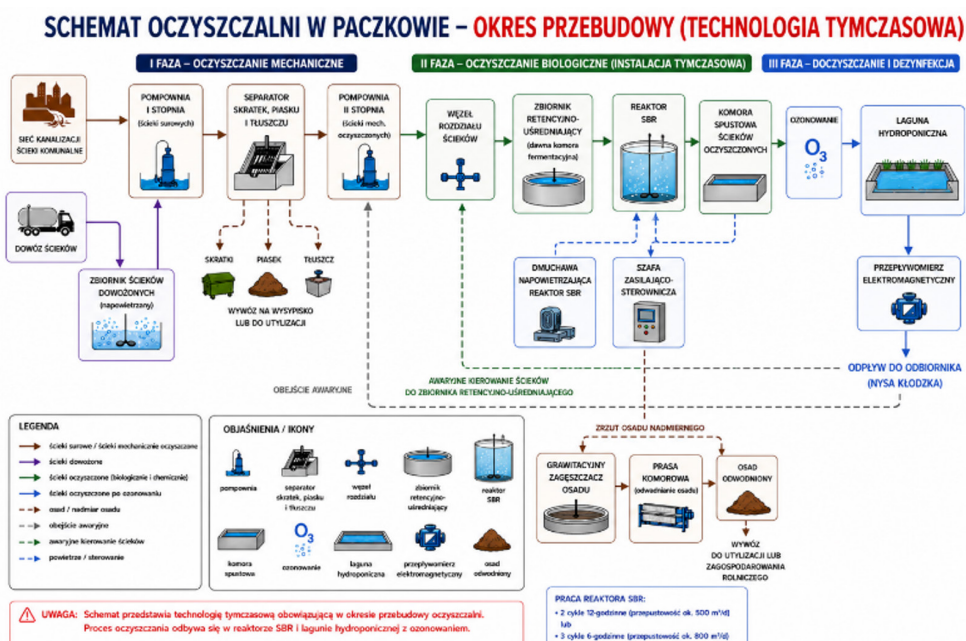
napełniania. Dla uzyskania wymaganej przepustowości reaktora SBR niezbędna jest jego praca w dwóch cyklach 12 godzinnych (przepustowość 500 m³/d) lub 3 cyklach 6 godzinnych na dobę (przepustowość 800 m³/d). Ilość cykli zależna jest od ilości ścieków dopływających do oczyszczalni, ładunku zanieczyszczeń oraz parametrów ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika. Operator oczyszczalni ma dostęp z poziomu sterowni do monitoringu stanu pracy oczyszczalni tymczasowej i możliwość regulacji pracy obiektów technologicznych i urządzeń. Z reaktora SBR ścieki oczyszczone są kierowane na lagunę, gdzie są ozonowane i dalej odpływają do rzeki Nysy Kłodzkiej.

Tymczasowa technologia oczyszczania bazuje poniższych obiektach:

I Obiekty istniejące: przepompownia ścieków surowych P1, punkt zlewny ścieków dowożonych, sito-piaskownik, przepompownia ścieków mechanicznie oczyszczonych P2, laguna hydroponiczna, system ozonowania ścieków, komora pomiarowa ścieków oczyszczonych, grawitacyjny zagęszczacz osadu, stacja odwadniania osadu.

II Obiekty istniejące / modernizowane: zbiornik retencyjno-
-uśredniający (dawna komora fermentacyjna), reaktor SBR na
bazie istniejącego zbiornika retencyjnego (rys. 7), komora spu-
stowa ścieków oczyszczonych z reaktora SBR, rurociągi techno-
logiczne oczyszczalni tymczasowej, dmuchawa napowietrzająca
reaktora SBR, szafa zasilająco-sterownicza oczyszczalni tymcza-
sowej.

Przeprowadzone analizy za okres od uruchomienia tymczasowego ciągu technologicznego do 06.2026 wykazały, że proces oczyszczania ścieków w oczyszczalni został ustabilizowany, osiągając w ten sposób wymagane wskaźniki zanieczyszczeń w ściekach na odpływie (tab. 3, rys. 8). Szczególnie widoczne jest to od 11.2025.



Rys. 6. Tymczasowy schemat technologiczny oczyszczalni ścieków na okres odbudowy (ZWIK Paczków)

Fig. 6. Temporary technological diagram of the sewage treatment plant for the reconstruction period (ZWIK Paczków)



Rys. 7. Reaktor SBR adaptowany na bazie zbiornika retencyjnego (ZWIK Paczków)

Fig. 7. SBR reactor adapted on the basis of a retention tank (ZWIK Paczków)



Rys. 8. Redukcja (%) podstawowych wskaźników ścieków w okresie I/2025–VII/2026

Fig. 8. Reduction (%) of basic sewage indicators in the period I/2025–VII/2026

Tabela 3. Wskaźniki ścieków surowych i oczyszczonych w okresie 01.2025–07.2026 r. (ZWIK Paczków)
Table 3. Raw and treated sewage indicators in the period January 2025–July 2026 (ZWIK Paczków)

Parametr	2025	2026 (I–VII)	2025	2026 (I–VII)	2025	2026 (I–VII)	Pozwolenie wodnoprawne
	Maksymalna		Minimalna		Średnia		
Ilość ścieków dopływających, m³/d	2199 (IV)	1162 (I)	280 (VII)	511 (V)	822,5	700,34	2500,00
Ścieki surowe dopływające do oczyszczalni							
Zawiesina, mg·dm³	392 (VI)	852 (VI)	108 (VII)	266 (VI)	238,83	443,86	
ChZTcr, mg/dm³	969 (I)	1240 (VI)	432 (VII)	634 (III)	697,33	838,57	
BZT5, mgO₂/dm³	383 (XII)	628 (VI)	191 (VII)	237 (II)	271,17	403,00	
Ścieki oczyszczone							
Zawiesina, mg/dm³	179 (III)	37,1 (I)	22 (XII)	11,2 (IV)	71,09	20,97	35,0
ChZTcr, mg/dm³	418 (III)	91,5 (VII)	127 (XII)	36,8 (II)	236,67	62,67	125,0
BZT5, mgO₂/dm³	197 (III)	28,6 (VII)	27,3 (XII)	7,4 (III)	99,88	19,90	25,0
Redukcja (%)							
Zawiesina, %	88,47	97,79	33,21	91,51	68,98	94,87	
ChZTcr, %	70,2	94,14	38,44	86,64	64,73	92,39	
BZT5, %	72,2	96,88	11,67	92,78	61,19	95,22	

4. Podsumowanie – dyskusja wyników

Przeprowadzone badania pozwoliły na kompleksową ocenę wpływu katastrofalnej powodzi z 09.2024 na funkcjonowanie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie oraz ocenę skuteczności działań podjętych w celu przywrócenia ciągłości oczyszczania ścieków.

Przed wystąpieniem powodzi klasyczny układ osadu czynnego z biologicznym usuwaniem azotu i fosforu oraz innowacyjnym trzecim stopniem oczyszczania w lagunie hydroponicznej umożliwiał uzyskanie parametrów ścieków oczyszczonych znacznie lepszych od wymaganych w pozwoleniu wodnoprawnym. Uzyskane wyniki są zgodne z obserwacjami przedstawionymi przez Cooper i wsp. [3] oraz Jakubaszek [4], którzy wykazali wysoką skuteczność lagun hydroponicznych.

Katastrofalna powódź z 09.2024 spowodowała niemal całkowite zniszczenie infrastruktury technologicznej oczyszczalni. Analiza uszkodzeń wykazała, że największą podatność na oddziaływanie wody powodziowej wykazują urządzenia technologiczne i elektryczne zlokalizowane poniżej poziomu zalewu, natomiast elementy konstrukcyjne obiektów żelbetowych zachowały możliwość dalszego wykorzystania po przeprowadzeniu odpowiednich prac remontowych lub modernizacyjnych.

W bardzo krótkim czasie uruchomiono rozwiązania umożliwiające ograniczenie zagrożenia sanitarnego i środowiskowego, obejmujące między innymi: budowę tymczasowego systemu przepompowywania ścieków z wykorzystaniem agregatów prądotwórczych, organizację transportu ścieków do sąsiednich oczyszczalni, wykorzystanie istniejącej laguny jako zbiornika retencyjnego, sukcesywne oczyszczanie i odmulanie zalanych obiektów, odtworzenie podstawowych funkcji technologicznych przy wykorzystaniu sprawnych elementów infrastruktury. Działania te umożliwiły utrzymanie ciągłości odbioru ścieków z terenu aglomeracji, mimo praktycznie całkowitego zniszczenia zasadniczego ciągu technologicznego. Z punktu widzenia bezpieczeństwa sanitarnego była to decyzja o kluczowym znaczeniu dla ograniczenia zagrożeń epidemiologicznych oraz ochrony środowiska.

Wyniki badań wykazały, że awaryjny układ oparty głównie na mechanicznym podczyszczaniu ścieków oraz lagunie hydroponicznej nie był w stanie zapewnić stabilnych parametrów ścieków oczyszczonych. W okresie od stycznia do marca 2025 obserwowano znaczne wahania skuteczności usuwania zawie-

siny, BZT₅ oraz ChZT, które były bezpośrednio związane z dużą zmiennością jakości ścieków dopływających z kanalizacji ogólnospławnej.

Istotnym osiągnięciem przedstawionym w pracy było opracowanie oraz wdrożenie tymczasowej technologii oczyszczania ścieków wykorzystującej reaktor sekwencyjny SBR, istniejące elementy infrastruktury oczyszczalni, lagunę hydroponiczną oraz system ozonowania ścieków. Rozwiązanie to umożliwiło wykorzystanie zachowanych elementów istniejącej infrastruktury przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów inwestycyjnych i skróceniu czasu przywracania funkcjonalności oczyszczalni.

Przeprowadzone analizy eksploatacyjne wykazały wyraźną poprawę jakości ścieków oczyszczonych po uruchomieniu reaktora SBR. Proces biologicznego oczyszczania został ustabilizowany, a uzyskiwane parametry ścieków zaczęły spełniać wymagania określone w obowiązującym pozwoleniu wodnoprawnym. Szczególnie istotna była znacznie większa odporność nowego układu technologicznego na zmienność hydraulicznego i jakościowego obciążenia oczyszczalni, charakterystyczną dla kanalizacji ogólnospławnej.

Na uwagę zasługuje również zastosowanie procesu ozonowania jako elementu wspomagającego pracę oczyszczalni. Ozonowanie nie zastępuje procesów biologicznych, jednak skutecznie ogranicza liczbę mikroorganizmów chorobotwórczych, poprawia natlenienie ścieków odprowadzanych do odbiornika oraz redukuje uciążliwości zapachowe. W warunkach pracy awaryjnej rozwiązanie to istotnie zwiększyło bezpieczeństwo ekologiczne odbiornika, ograniczając ryzyko lokalnych deficytów tlenowych w rzece Nysie Kłodzkiej.

Przeprowadzone badania wskazują również na potrzebę zmiany podejścia do projektowania obiektów infrastruktury krytycznej zlokalizowanych na terenach zagrożonych powodzią. Dotychczas dominującym kryterium projektowym była optymalizacja kosztów inwestycyjnych oraz funkcjonalności technologicznej. Doświadczenia z powodzi w roku 2024 pokazują jednak, że równie istotnym kryterium powinna być odporność infrastruktury na zjawiska ekstremalne wynikające ze zmian klimatu.

Oznacza to konieczność: podwyższania rzędnych posadowienia obiektów technologicznych, lokalizowania urządzeń elektrycznych i systemów automatyki powyżej przewidywanego poziomu zalewu, zapewnienia możliwości szybkiego przełączenia oczyszczalni na tryb awaryjny, stosowania modułowych układów technologicznych umożliwiających etapową odbudowę, projektowania dodatkowej retencji ścieków oraz awaryjnych źródeł zasilania.

Przedstawione rozwiązania mają charakter uniwersalny i mogą zostać wykorzystane podczas odbudowy innych oczyszczalni ścieków uszkodzonych wskutek powodzi lub innych katastrof naturalnych.

Uzyskane wyniki potwierdzają zasadność budowy nowej oczyszczalni ścieków w Paczkowie z wykorzystaniem nowoczesnych technologii oczyszczania oraz zachowaniem najlepszych dostępnych praktyk (BAT). Nowy obiekt powinien uwzględniać doświadczenia wyniesione z powodzi z roku 2024, w szczególności zwiększoną odporność na zalanie, możliwość prowadzenia pracy awaryjnej oraz wykorzystanie rozwiązań zapewniających wysoką efektywność energetyczną i eksploatacyjną.

W szerszej skali regionalnej wyniki badań potwierdzają również, że trwałe ograniczenie ryzyka powodziowego w zlewni

Nysy Kłodzkiej wymaga równoległej realizacji działań systemowych przewidzianych w programie redukcji ryzyka powodziowego, obejmujących budowę zbiornika Kamieniec Ząbkowicki oraz innych obiektów retencyjnych [5]. Dopiero połączenie działań hydrotechnicznych z odpowiednio zaprojektowaną, odporną na ekstremalne zjawiska infrastrukturą komunalną pozwoli na znaczące ograniczenie strat środowiskowych, społecznych i gospodarczych podczas przyszłych powodzi.

Podsumowując, przeprowadzone badania wykazały, że mimo niemal całkowitego zniszczenia oczyszczalni możliwe było zachowanie ciągłości gospodarki ściekowej dzięki szybkim działaniom organizacyjnym oraz zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Opracowana i wdrożona technologia tymczasowa potwierdziła swoją skuteczność oraz może stanowić model postępowania dla innych jednostek samorządowych i przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych przygotowujących procedury reagowania na sytuacje kryzysowe związane z występowaniem powodzi.

Warto podkreślić, że wdrożona technologia tymczasowa nie stanowiła rozwiązania odtworzeniowego, lecz była przykładem adaptacyjnego wykorzystania zachowanej infrastruktury oczyszczalni, pozwalającego na znaczące ograniczenie kosztów inwestycyjnych i skrócenie czasu przywracania funkcjonalności obiektu.

Istotnym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonych analiz jest wpływ charakteru systemu kanalizacyjnego na pracę oczyszczalni. Aglomeracja Paczków wyposażona jest głównie w kanalizację ogólnospławną, co powoduje znaczną nierównomierność dopływu ścieków zarówno pod względem hydraulicznym, jak i jakościowym. W okresach intensywnych opadów oraz roztopów do oczyszczalni dopływają znacznie większe ilości ścieków rozcieńczonych wodami opadowymi, natomiast w okresach bezdeszczowych obserwuje się stosunkowo niewielkie przepływy przy wysokich stężeniach zanieczyszczeń. Tak duża zmienność obciążenia hydraulicznego stanowi jedno z podstawowych wyzwań eksploatacyjnych dla oczyszczalni ścieków wykorzystujących procesy biologiczne. Uzyskane wyniki badań wskazują, że projektowana oczyszczalnia powinna być wyposażona w odpowiednią retencję hydrauliczną umożliwiającą czasowe magazynowanie nadmiaru ścieków podczas opadów nawalnych oraz ich stopniowe kierowanie do procesu biologicznego. Zastosowanie zbiornika retencyjno-uśredniającego wraz z reaktorem SBR pozwala nie tylko na wyrównanie chwilowych przepływów, ale również stabilizuje ładunek zanieczyszczeń dopływających do reaktora biologicznego, co przekłada się na większą efektywność usuwania związków organicznych i biogenów. Rozwiązanie takie zwiększa odporność oczyszczalni na zjawiska ekstremalne oraz poprawia bezpieczeństwo eksploatacji w warunkach obserwowanych zmian klimatu. Doświadczenia uzyskane podczas odbudowy oczyszczalni wskazują, że przyszłe inwestycje w zakresie infrastruktury wodno-kanalizacyjnej powinny uwzględniać nie tylko wymagania technologiczne wynikające z obowiązujących przepisów, lecz również odporność obiektów na skutki zmian klimatu. Oznacza to konieczność projektowania oczyszczalni z odpowiednim zapasem retencji hydraulicznej, możliwością pracy w warunkach znacznych nierównomierności dopływu ścieków oraz możliwością funkcjonowania w trybie awaryjnym. Szczególnie w aglomeracjach wyposażonych w kanalizację ogólnospławną retencja ścieków staje się obecnie jednym z podsta-

wowych elementów zapewniających stabilność procesu oczyszczania oraz ograniczenie ryzyka niekontrolowanych zrzutów do odbiorników.

5. Literatura

- [1] Rak, A., Duda, A., Rak, D., & Schmolke, P. (2024). *Miejska Oczyszczalnia Ścieków w Paczkowie. Ocena zniszczeń i stanu obiektu spowodowanych przez powódź – wrzesień 2024 wraz z charakterystyką obiektu w zakresie konstrukcyjno-budowlanym, technologicznym, automatyki i sterowania* [Niepublikowany maszynopis]. Urząd Miasta i Gminy w Paczkowie.
- [2] Bawiec, A., Paweska, K., Zawalek, T., & Pulikowski, K. (2013). Ocena redukcji zanieczyszczeń w oczyszczalni hydroponicznej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* Nr 1/IV/2013, s. 99–111.
- [3] Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B., & Shutes, R. B. E. (1996). *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*. Swindon: Water Research Centre.
- [4] Jakubaszek, A. (2022). Pollutants removal efficiency in the hydroponic lagoon of the wastewater treatment plant. *Civil and environmental engineering reports*, 32(4). 293–305. <https://doi.org/10.2478/ceer-2022-0059>
- [5] Zaleski, J., & Balcerowicz, M. (2025). *Program redukcji ryzyka powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej*. BKP PGW Wody Polskie, SWECO, GISPartner, IMGW-PIB, RZGW Wrocław
- [6] Marek, K., Pawęska, K., Bawiec, A., & Baran, J. (2021). Sewage flow conditions in a hydroponic lagoon in terms of quality of treated wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 277. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05235-8>
- [7] Padlo L., Machowicz J., 2000. *Księga eksploatacji oczyszczalni*. Miejska Oczyszczalnia Ścieków w Paczkowie
- [8] Rastinifard, N., & Tota-Maharaj, K. (2026). Constructed wetlands as nature-based solutions for wastewater treatment: A scoping review of iucn global standard reporting and complementary advanced oxidation polishing. *Nature-Based Solutions*, 9, 100318. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2026.100318>
- [9] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2020). *Decyzja – pozwolenie wodnoprawne z dnia 13 marca 2020 r. dla ZWiK Paczków na wprowadzenie oczyszczonych ścieków komunalnych do Nysy Kłodzkiej w km 88+630* [Decyzja administracyjna]
- [10] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2025). *Decyzja – pozwolenie wodnoprawne z dnia 11 marca 2025 r. dla ZWiK Paczków na wprowadzenie oczyszczonych ścieków komunalnych do Nysy Kłodzkiej w km 88+630* [Decyzja administracyjna]
- [11] Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. (2025). *Decyzja nr 111/2025 z dnia 28 maja 2025 r. korygująca pozwolenie wodnoprawne z dnia 11 marca 2025 r. dla ZWiK Paczków na wprowadzenie oczyszczonych ścieków komunalnych do Nysy Kłodzkiej w km 88+630* [Decyzja administracyjna].
- [12] Banasiak, R. (2025). Wstępna ocena przejścia powodzi na Odrze we wrześniu 2024. *Gospodarka Wodna*, 2, 2–6. <https://doi.org/10.15199/22.2025.2.1>
- [13] Askari, S. S., Giri, B. S., Basheer, F., Izhar, T., Ahmad, S. A., & Mumtaz, N. (2024). Enhancing sequencing batch reactors for efficient wastewater treatment across diverse applications: A comprehensive review. *Environmental Research*, 260, 119656. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119656>
- [14] Lim, S., Shi, J. L., Von Gunten, U., & McCurry, D. L. (2022). Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review. *Water Research*, 213, 118053. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118053>
- [15] Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530–549. <https://doi.org/10.3390/w2030530>
- [16] Zawalek, T. (2010). Czy oczyszczalnia ścieków może być bardziej Eko. In *Forum Eksploatatora*, s. 36-38.