

**dr inż. Monika Stankiewicz**

adiunkt w Zachodniopomorskiej Szkole Biznesu w Szczecinie

**mgr inż. Bartłomiej Stankiewicz**

## **Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w gminie Kaczory**

### **Streszczenie**

Celem niniejszego artykułu jest ocena efektywności pracy oczyszczalni ścieków w Kaczorach po przebudowie na podstawie wyników badań fizykochemicznych ścieków surowych oraz ścieków oczyszczonych. Dane pomiarowe zbierano od momentu zakończenia prac budowlanych w 2017 roku. W pracy przeanalizowano wskaźniki zanieczyszczeń zebrane do 2020 roku, a w oparciu o uzyskane wyniki uzyskano potwierdzenie, że przebudowana oczyszczalnia funkcjonuje w sposób prawidłowy i wysoce wydajny.

### **Słowa kluczowe**

oczyszczalnia ścieków, redukcja zanieczyszczeń, technologia oczyszczania ścieków, efektywność pracy oczyszczalni ścieków, właściwości fizykochemiczne ścieków

### **Wprowadzenie**

„Skuteczne oczyszczanie ścieków należy traktować, zwłaszcza w naszym kraju, jako zadanie priorytetowe”<sup>1</sup>. Ochrona ilościowa i jakościowa wód wynikać powinna nie tylko z ograniczonych zasobów wodnych Polski<sup>2</sup> ale również z podjętych zobowiązań wynikających z przystąpienia do struktur Unii Europejskiej<sup>3</sup> tj. wypełnienia wymogów dyrektywy Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych<sup>4</sup> zgodnie z terminami i okresami przejściowymi zapisanymi w Traktacie Akcesyjnym. W tym celu Rada Ministrów w 2003 roku utworzyła Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK). Program ten ma za zadanie identyfikację rzeczywistych potrzeb w zakresie uprządkowania gospodarki ściekowej i uszeregowanie ich realizacji, zawiera wykaz aglomeracji, które winny być wyposażone w systemy kanalizacji zbiorczej i oczyszczalnie ścieków. Dzięki jego założeniom w latach 2003–2016 wybudowano 84,8 tys. km sieci kanalizacyjnej, powstały 403 nowe oczyszczalnie ścieków komunalnych i przeprowadzono 1575 inwestycji w istniejących obiektach (obejmujących przebudowę i/lub rozbudowę). Ten cel pochłonął 63,8 mld zł. Piąta aktualizacja programu (rok 2017) zawierająca listę zadań zaplanowanych na lata 2016–2021 dotyczy 1587 aglomeracji (dotyczy to tym samym 38,8 mln mieszkańców) z 1769 oczyszczalniami ścieków komunalnych. Na ten okres zaplanowano budowę 116 nowych oczyszczalni ścieków, inwestycje na 1010 obiektach, budowę 14 661 km nowej sieci kanalizacyjnej i modernizację 1 506 km istniejącej. Ich realizacja pochłonie 27,85 mld zł. W wyniku zatwierdzenia tego

<sup>1</sup> W. Miernik, D. Młyński, Analiza efektywności pracy oczyszczalni ścieków w Krzeszowicach po modernizacji, *EPISTEME* 22/2014, t. II, s. 303–310 [za:] J. Łomotowski, A. Szpindor, *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2002. Definicja: „Oczyszczaniem ścieków nazywamy procesy prowadzące do zmiany ich składu jakościowego, polegające na redukcji zanieczyszczeń takich jak: zawiesiny koloidalne i łatwo opadające, zanieczyszczenia pochodzenia organicznego oraz związki biogenne, w taki sposób, aby chroniły wody odbiornika przed zanieczyszczeniem, a w konsekwencji ograniczyły do minimum zagrożenia dla zdrowia ludzi i zwierząt”.

<sup>2</sup> Problem deficytu wody na świecie szerzej omówiono w publikacji: <https://www.ekologia.pl/srodowisko/ochrona-srodowiska/susza-na-swiecie-oraz-najwieksze-problemy-z-tym-zwiazane-pustynnienie-i-stepowienie-polski-i-swiata,13467.html> [dostęp: 8.09.2020 r.]. W Polsce od 1 lipca 2020 r. w celu ochrony zasobów wodnych uruchomiono Rządowy Program „Moja Woda” (<https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/moja-woda/> [dostęp: 8.09.2020 r.]).

<sup>3</sup> W. Miernik, D. Młyński, op.cit., s. 303–310.

<sup>4</sup> Dz. Urz. WE L 135 z 30.05.1991 r., s. 40–52, z późn. zm.; Dz. Urz. WE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 002, s. 26.

dokumentu powstał również Master Plan dla dyrektywy ściekowej zawierający najistotniejsze, planistyczne informacje z zakresu gospodarki ściekowej<sup>5</sup>.

Uporządkowanie gospodarki ściekowej nie jest zadaniem łatwym – wymaga dostosowania systemu oczyszczania ścieków do wymagań ekonomicznych i ekologicznych panujących na danym obszarze. Prawidłowe zaprojektowanie oczyszczalni ścieków, a następnie właściwa jej eksploatacja daje szansę na ograniczenie poziomu zanieczyszczeń w ściekach do granic dozwolonych prawem i ograniczenie zagrożenia dla środowiska naturalnego. Jak istotne jest właściwe opracowanie wytycznych związanych z doborem odpowiedniej technologii oczyszczania ścieków umożliwiające efektywne jej działanie świadczyć może choćby jeden z możliwych skutków ich braku: nieoczyszczone (lub w niewystarczającym stopniu oczyszczone) ścieki bytowe odprowadzane do wód powierzchniowych czy bezpośrednio do ziemi są źródłem związków biogenych, przyczyniają się do zmniejszania retencyjności zbiorników wodnych, a nawet potrafią prowadzić do ich zaniku<sup>6</sup>. Wody powierzchniowe to zarówno najważniejszy odbiornik ścieków jak i główne źródło zaopatrzenia w wodę do picia wielu aglomeracji miejskich. Są nieodzowne w procesach technologicznych prawie wszystkich gałęzi przemysłu jak również w rolnictwie. Sytuacja, w której wody powierzchniowe są wykorzystywane jednocześnie jako odbiornik ścieków i jako źródło wody, jest, jak wskazują Miernik i Młyński, „przyczyną bardzo wielu problemów i konfliktów, które mogą być rozwiązywane bądź optymalnie regulowane tylko poprzez funkcjonowanie kompleksowego systemu zarządzania gospodarką wodną”<sup>7</sup>.

Jednym ze sposobów poprawy czystości środowiska wodnego jest oczyszczanie ścieków przez sprawne, skuteczne i niezawodne w usuwaniu zanieczyszczeń w pełnym zakresie ich obciążenia oczyszczalnie<sup>8,9</sup>. Jednak nie wszystkie są w stanie dostosować swoją pracę do zmieniających się dynamicznie stężeń zanieczyszczeń, wielkości dopływu ścieków czy nowych przepisów formalno-prawnych. Co gorsze, efektywność ich pracy często nie jest kontrolowana, sprawność wdrożonych przed laty technologii maleje, a trwałość konstrukcji (betonowych, żelbetowych czy stalowych) zaczyna przekraczać żywotność urządzeń mechanicznych. Konieczne staje się wówczas przeprowadzenie przebudowy istniejących obiektów, co nie jest zadaniem łatwym. Projektanci muszą zapewnić bowiem nie tylko skuteczniejszą technologię, ale również wymagany efekt ekologiczny, nowoczesne urządzenia i (w miarę możliwości) wykorzystać istniejące już obiekty kubaturowe, a całość oparta powinna być na wynikach badań jakościowych dopływających ścieków surowych oraz wielkości dopływu z okresu co najmniej kilku lat<sup>10</sup>. Problem ten jest szczególnie widoczny na terenach wiejskich, gdzie zwiększa się zarówno liczba mieszkańców, standard wyposażenia w urządzenia sanitarne, a co za tym idzie wzrasta ilość odprowadzanych ścieków. To właśnie na terenach wiejskich najczęściej przebudowuje się lub buduje nowe systemy kanalizacji i oczyszczania ścieków. Zwłaszcza tutaj z uwagi na występujące znaczne trudności w utrzymaniu właściwego stopnia oczyszczania ścieków (ze względu na związki biogenne) preferowane są oczyszczalnie niezawodne technologicznie o wysokim stopniu oczyszczania. Oczyszczalnie te muszą być również odporne na wahania przepływu i ładunku zanieczyszczeń w doprowadzanych ściekach oraz charakteryzować się niską kapitałochłonnością, prostotą wykonania i eksploatacji, a efektywność ich pracy musi być na bieżąco monitorowana<sup>11,12</sup>.

<sup>5</sup> <https://poznan.wody.gov.pl/nasze-dzialania/krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych> [dostęp: 8.09.2020 r.].

<sup>6</sup> K. Chmielowski, A. Młyńska, D. Młyński, Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Kołaczycach, *Inżynieria Ekologiczna*, vol.45, 2015, s. 44–50.

<sup>7</sup> W. Miernik, D. Młyński, op.cit., s. 303–310.

<sup>8</sup> A. Masłoń, J. Tomaszek, Ocena efektywności oczyszczalni ścieków w Lubaczowie, *Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury / Journal of civil engineering, environment and architecture*, JCEEA, t. XXX, z. 60 (3/13), lipiec–wrzesień 2013, s. 209–222.

<sup>9</sup> Z. Dymaczewski, *Poradnik eksploatora oczyszczalni ścieków*, PZITS, 2011.

<sup>10</sup> I. Bartkowska, L. Dzienis, D. Wawrentowicz, Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji, *Inżynieria Ekologiczna* nr 24, 2011, s. 226–235.

<sup>11</sup> S. Krzanowski, A. Wałęga, Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* nr 3/2/2006, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, s.17–37.

<sup>12</sup> J. Bień, *Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych – planem rozwoju gospodarki ściekowej w Polsce. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Kanalizacja wsi – stan obecny, perspektywy rozwoju”*. Poznań – Puszczykowo, 2004. s. 18–20.

W niniejszej pracy ocenie poddana zostanie efektywność pracy pierwszej wybudowanej w gminie Kaczory (obszar wiejski) oczyszczalni, na której zaobserwowano (przed decyzją o przebudowie) większość wyżej omówionych problemów. Obiekt ten, wybudowany w 1994 roku zgodnie ze wszystkimi wymogami i standardami wraz z upływem czasu zaczął być w kwestii rozwiązań technologicznych przestarzały. Niemożliwe było również zbieranie żadnych danych na temat stanu maszyn, urządzeń czy bezpieczeństwa obiektów, a monitorowanie ewentualnych awarii czy obsługa obiektów technologiczna prowadzona była wyłącznie ręcznie, przez pracowników. Przyrost liczby mieszkańców spowodował zwiększenie ilości odbieranych ścieków i wymusił przebudowę oczyszczalni.

Ocena efektywności pracy oczyszczalni po przebudowie będzie wyrażona stopniem redukcji zanieczyszczeń, bo to on stanowi podstawowy cel przeprowadzonej przebudowy obiektu.

### **Technologia oczyszczania ścieków zastosowana w oczyszczalni ścieków w gminie Kaczory**

Rok 2017 był przełomowy dla oczyszczalni ścieków w gminie Kaczory (województwo wielkopolskie). Po wielu latach przygotowań do inwestycji, gromadzenia środków finansowych i po blisko dwóch latach prac budowlanych (różnych branż) do użytku oddano przebudowany, dostosowany do obowiązujących norm ochrony środowiska i wymogów Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska obiekt. W ramach realizowanych prac przeprowadzono przebudowę obiektu, wdrożono informatyczny system sterowania i monitorowania procesów technologicznych, co umożliwiło pełną (w tym również zdalną) kontrolę nad procesami oczyszczania ścieków<sup>13</sup>. „Inwestycja w nowoczesne technologie” stała się tu „gwarancją pewności działania”<sup>14</sup> oraz znacząco zwiększyła wydajność pracy i podniosła jakość procesu oczyszczania ścieków. Praca oczyszczalni od momentu zakończenia prac budowlanych jest stale monitorowana, zbierane są dane pomiarowe, a wdrożone algorytmy sterowania obiektami pozwalają na kontrolę poziomu obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń oraz na zachowanie prawidłowej gospodarki napływającymi ściekami<sup>15</sup>. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie oceny skuteczności funkcjonowania obiektu w oparciu o wybrane dla oczyszczalni wskaźniki niezawodności pracy.

W ramach przebudowy oczyszczalni ścieków w Kaczorach stosowaną do tej pory technologię złożeń biologicznego splukiwanego zastąpiono technologią niskoobciążonego osadu czynnego (schemat technologiczny oczyszczalni przedstawiono na rys. 1). Wykorzystuje ona proces samooczyszczania wód powierzchniowych, tj. mineralizację organicznych zanieczyszczeń, znajdujących się w ściekach, przez bakterie wyhodowane w komorach reaktora biologicznego. W związku ze zmianą technologii w oczyszczalni przebudowano komorę kraty wstępnej, przepompownię ścieków surowych oraz komorę zasuw.

Powstały również nowe obiekty: zbiornik retencyjno-uśredniający, sitopiaskownik, przepompownia ścieków oczyszczonych mechanicznie, dwie komory tlenowe reaktora biologicznego, trzy osadniki wtórne pionowe, dwie komory pomiarowe recyrkulacji osadu, stacja dmuchaw wraz ze stacją dozowania PIX i stacją odwadniania i higienizacji osadu oraz komora stabilizacji tlenowej osadu nadmiernego. Oczyszczalnia wyposażona została również w urządzenia i obiekty wspierające proces oczyszczania ścieków m.in.: budynek socjalny i obiekty techniczne, komora pomiarowa ścieków oczyszczonych, zbiornik wody technologicznej etc.

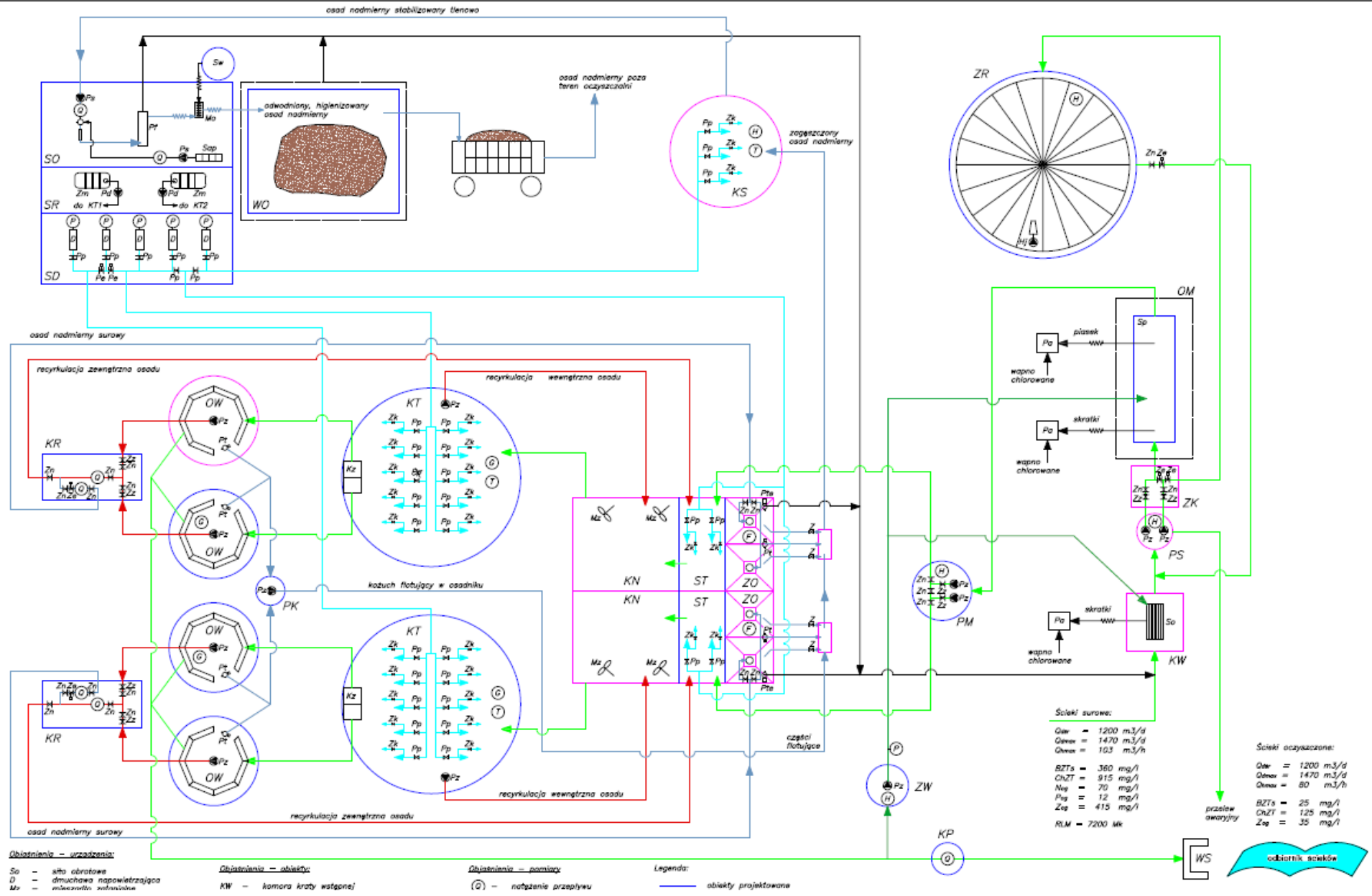
<sup>13</sup> Niniejszy artykuł stanowi kontynuację tematu podjętego przez autorów. Charakterystyka obiektu oraz opis wdrożonych rozwiązań informatycznych w oczyszczalni ścieków w Kaczorach dostępne są w publikacji: M. Stankiewicz, B. Stankiewicz, Narzędzia informatyczne w technologii oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w gminie Kaczory. FIRMA I RYNEK 2/2019 nr 56. ISSN: 2657-3245. Wydanie online nr 2019/02 (56). Data wydania: 08.12.2019 r. s. 85-94.

<sup>14</sup> <https://automatykab2b.pl/wywiady/44668-jak-modernizowac-i-automatyzowac-oczyszczalnie-ściekow> [dostęp: 6.09.2020 r.].

<sup>15</sup> B. Stankiewicz, op.cit., s. 83-92.

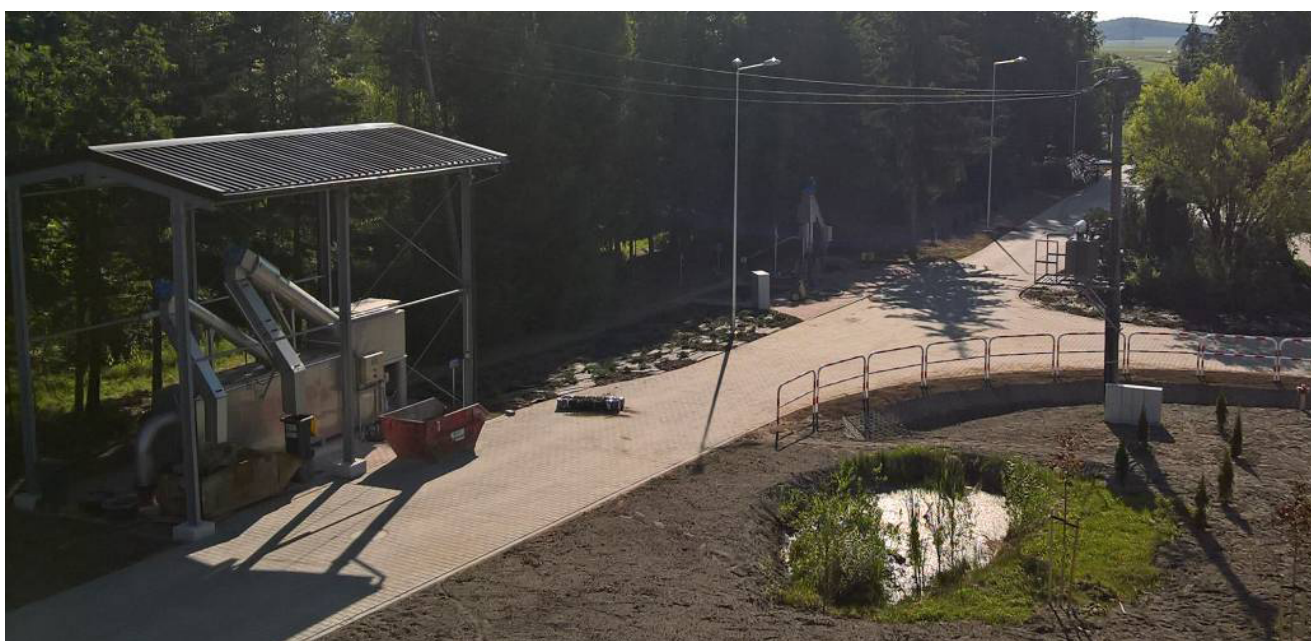
**Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Kaczorach**

Źródło: projekt budowlano-wykonawczy, Branża Sanitarna-technologie, „MEKOR”, Gniezno, 2011.



## Oczyszczanie ścieków odbywa się po przebudowie etapowo:

Etap 1 – oczyszczanie mechaniczne – rozpoczyna się już w komorze kraty wstępnej wyposażonej w sito pionowe o mocy maksymalnej 2,5 kW. Tutaj ścieki zostają oczyszczone ze skratek i następnie gromadzone są w przepompowni ścieków surowych, która wyposażona jest w dwie pompy o wydajności 30,0 l/s, wysokości podnoszenia 7,0 m i mocy 4,7 kW (każda). Obie pompy (w zależności od wielkości napływu ścieków) mogą przepompowywać (naprzemiennie) ścieki surowe poprzez komorę zasuw do zblokowanej oczyszczalni mechanicznej (sitopiaskownika) albo w sytuacji większego napływu spowodowanego deszczem jedna z nich może przepompowywać ścieki do zbiornika retencyjnego, druga natomiast do sitopiaskownika. Za rozdział ścieków odpowiada komora zasuw – jest ona wyposażona w dwie zasuwki z napędami wieloobrotowymi i sterownikami. Ostatnim elementem oczyszczania mechanicznego napływających ścieków jest sitopiaskownik, oddzielający od ścieków piasek oraz pozostałe skratki. Urządzenia wykorzystane w etapie oczyszczania mechanicznego przedstawiono na rys. 2.



**Rys. 2. Urządzenia pierwszego etapu oczyszczania – oczyszczanie mechaniczne**

Źródło: materiały własne.

- Etap 2 – oczyszczanie biologiczne – obejmuje redukcję związków organicznych z napływających ścieków w dwóch identycznych ciągach technologicznych. Za przydział ścieków do ciągu odpowiada przepompownia ścieków oczyszczonych mechanicznie wyposażona w dwie pompy o wydajności 35,1 l/s, wysokości podnoszenia 10,5 m i mocy 5,9 kW (każda). Co prawda do każdego z ciągów technologicznych oczyszczania biologicznego przypisana jest jedna pompa, ale możliwe jest również dowolne kierowanie ściekami dzięki systemowi zasuw ręcznych (jest to istotne w momencie awarii czy remontu). Reaktory biologiczne są wyposażone w trzy kolejne strefy: selektor tlenowy, komorę niedotlenioną i komorę tlenową (przedstawiono na rys. 3). W pierwszej strefie panują warunki tlenowe – stacja dmuchaw dostarcza powietrze, tu następuje wymieszanie napływających ścieków oczyszczonych mechanicznie z osadem recykulowanym z osadników wtórnych. Następnie mieszanina ścieków i osadu czynnego przepływa do strefy drugiej wyposażonej w dwa mieszadła o mocy 1,5 kW każde i tu zachodzi proces denitryfikacji i uwolnienie azotu w postaci gazowej. Aby ten proces usprawnić w kolejnej strefie zastosowano recyrkulację wewnętrzną osadu czynnego, w niej zamontowano po jednej pompie zatapialnej. Tutaj zachodzą procesy rozkładu biochemicznego związków organicznych i nieorganicznych, amonifikacja i nityfikacja związków azotu oraz pobieranie fosforu ze ścieków. Dalej oczyszczone ścieki z każdej komory tlenowej kierowane są na dwa osadniki wtórne.



**Rys. 3. Komory reaktorów biologicznych**

Źródło: materiały własne

- Etap 3 – oddzielenie osadu od ścieków oczyszczonych – na dnie osadnika gromadzi się osad w procesie sedymentacji, a oczyszczone ścieki odprowadzane są poprzez koryta grzebieniowe w kierunku odbiornika ścieków. Zgromadzony osad z każdego osadnika odprowadzany jest poprzez komory recyrkulacji odpowiednio do selektorów tlenowych w ramach recyrkulacji zewnętrznej lub do zagęszczaczy grawitacyjnych jako osad nadmierny przeznaczony do usunięcia z układu oczyszczania<sup>16</sup> (zob. rys. 4).



**Rys. 4. Osadniki wtórne i komory tlenowe reaktorów biologicznych**

Źródło: materiały własne.

<sup>16</sup> Ibidem.

## Wyniki badania efektywności pracy oczyszczalni ścieków w Kaczorach

Dane do badań ilościowych i jakościowych oczyszczalnia gromadzi od zakończenia pierwszego etapu przebudowy. Dane te zbierane są w formie sprawozdań, raportów laboratoryjnych, a bieżące przepływy odczytywane i archiwizowane automatycznie z przepływomierza przez system SCADA. Oczyszczalnia nie przeprowadziła dotychczas analizy efektywności swojej pracy, sprawdza jedynie prawidłowość działania procesu oczyszczania.

W oparciu o dane pomiarowe (za okres od listopada 2017 do sierpnia 2020) przekazane przez oczyszczalnię ścieków przeprowadzono kolejno:

- analizę fizykochemiczną napływających ścieków oraz analizę mikrobiologiczną osadu po zakończeniu przebudowy (okres wstępnej eksploatacji),
- analizę odpadów towarzyszących procesowi oczyszczania,
- analizę fizykochemiczną ścieków oczyszczonych,
- ocenę efektywności pracy oczyszczalni po przebudowie.

W okresie wstępnej eksploatacji przebudowanej oczyszczalni przeprowadzono sukcesywnie badania fizykochemiczne ścieków oraz badania mikroskopowe bakterii w osadzie czynnym. Zestawienie parametrów ścieków dopływających do oczyszczalni w Kaczorach oraz bilans ładunków zanieczyszczeń przedstawiono w tab. 1 i 2.

**Tab. 1. Parametry ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Kaczorach w okresie wstępnej eksploatacji**

Lp.	Wskaźnik	J.m.	Wartość	Założenia projektowe
1.	Organiczne BZT5	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	434	360
2.	Organiczne ChZTCr	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	1046,1	915
3.	Azot ogólny	mg N/dm <sup>3</sup>	121,7	70
4.	Fosfor ogólny	mg P/dm <sup>3</sup>	14,4	12
5.	Zawiesiny ogólne	mg/dm <sup>3</sup>	317,5	415
6.	Odczyn pH	–	8,04	6,5÷9,0

Źródło: „Sprawozdanie z rozruchu technologicznego” ECO TREATMENT, Gniezno, 2017.

**Tab. 2. Bilans ładunków zanieczyszczeń ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Kaczorach w okresie wstępnej eksploatacji**

Lp.	Wskaźnik zanieczyszczenia	J.m.	Wartość	Założenia projektowe
1.	Organiczne BZT5 Lp BZT5	kg O <sub>2</sub> /d	315,9	432,0
2.	Organiczne ChZT Lp CHZT	kg O <sub>2</sub> /d	761,5	1.098,0
3.	Azot ogólny Lp Nog.	kg N/d	88,6	84,0
4.	Fosfor ogólny Lp Pog.	kg P/d	10,5	17,6
5.	Zawiesiny ogólne Lp zaw. og.	kg/d	231,1	498,0

Źródło: „Sprawozdanie z rozruchu technologicznego” ECO TREATMENT, Gniezno, 2017.

Wartości stężeń zanieczyszczeń w ściekach napływających do oczyszczalni w odniesieniu do założeń projektowych wykazują, że:

- rzeczywiste stężenia w ściekach surowych w zakresie zanieczyszczeń organicznych są wyższe o około 20 proc. w stosunku do zakładanych wartości na etapie projektowania oczyszczalni dla BZT<sub>5</sub> i o około 15 proc. dla ChZT,

- stosunek ChZT do BZT<sub>5</sub> jest na poziomie około 2,4 i stanowi to typowy wynik dla ścieków komunalnych,
- zwiększone jest stężenie w zakresie substancji biogenych tj.: azotu o około 75 proc. i fosforu o około 20 proc. w odniesieniu do założeń projektowych.

Nowo uruchamiana oczyszczalnia ścieków potrzebuje czasu aby osiągnąć pełną wydajność. Zwykle potrzeba na to kilku tygodni, bo taki jest czas ustabilizowania się składu mikrofauny („dojrzwiania osadu”). Jest to proces w którym zachodzi wiele zmian w jakościowym i ilościowym składzie gatunków organizmów, które tworzą osad czynny – jedne się pojawiają, inne znikają. Analizy składu osadu jeszcze we wrześniu 2016 roku wykazały dominację orzęsków osiadłych z grupy Opercularia sp., które to charakterystyczne dla osadów o niestabilnych warunkach i wysokim obciążeniu zanieczyszczeniami. Zgodnie z oczekiwaniami z początkiem lutego 2017 przeważać zaczęły orzęski pełzające, charakterystyczne dla poprawy wydajności systemu, a od kwietnia obserwować można było już orzęski z grupy V.convalaria oraz Epistilis sp., co potwierdziło dobrą i stabilną jego pracę. Ponadto widoczne były również ameby domkowe Arcella sp. (które świadczą o niskim obciążeniu osadu, dobrym natlenieniu i dobrej nityfikacji) oraz duża ilość wrotek (wskaźnik dłuższego wieku osadu). Ostatecznie, przeprowadzone w czerwcu analizy pokazały, że osad jest dobrze skolonizowany, a orzęski w nim występujące są gatunkami charakterystycznymi dla dobrych i stabilnych warunków panujących w komorze tlenowej.

Analizy odpadów powstających w trakcie procesu oczyszczania ścieków pozwala wnioskować, że skratki (poddawane procesowi płukania i prasowania) w okresie wstępnej eksploatacji obiektu były wydzielane ze ścieków na kracie wstępnej oraz w zablokowanej oczyszczalni mechanicznej w ilości około 6540 m<sup>3</sup>/m-c tj. około 0,3 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ścieków. Z kolei piasek był wydzielany ze ścieków w sitopiaskowniku w ilości około 2120 dm<sup>3</sup>/m-c tj. około 0,01 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ścieków, a osad nadmierny odprowadzany w ilości około 36÷40 m<sup>3</sup>/d. W tym wypadku przekłada się to na 195–240 kg s.m.o./d – oznacza to przyrost osadu na poziomie 0,7–0,8 kg s.m.o./kg usuniętego BZT<sub>5</sub>. W wyniku zagęszczania i stabilizowania tlenowo osadu nadmiernego oraz po odwodnieniu na prasie ślimakowej stopień odwodnienia kształtuje się na poziomie 78–82 proc.<sup>17</sup>

W czerwcu 2017 roku po końcowym rozruchu oczyszczalni przeprowadzono kolejne badania fizykochemiczne ścieków doprowadzanych do oczyszczalni ścieków. Uzyskane tym razem wartości wskaźników zanieczyszczeń przedstawione zostały w tab. 3 i 4.

**Tab. 3. Parametry ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Kaczorach wyniki badań rozruchowych z 01.06.2017 roku**

L.p.	Wskaźnik	J.m.	Wartość	Założenia projektowe
1.	Organiczne BZT <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	378,0	360,0
2.	Organiczne ChZTCr	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	1.024,0	915,0
3.	Fosfor ogólny	mg P/dm <sup>3</sup>	11,1	12,0
4.	Azot ogólny	mg N/dm <sup>3</sup>	110,0	70,0
5.	Zawiesiny ogólne	mg/dm <sup>3</sup>	407,0	415,0
6.	Odczyn pH	–	7,4	6,5÷9,0

\*) Pozwolenie wodno-prawne

Źródło: „Sprawozdanie z rozruchu technologicznego” ECO TREATMENT, Gniezno, 2017.

<sup>17</sup> Ibidem.



**Tab. 4. Parametry ścieków oczyszczonych odprowadzanych z oczyszczalni ścieków w Kaczorach wyniki badań rozruchowych z 01.06.2017 roku**

L.p.	Wskaźnik	J.m.	Wartość	Założenia projektowe
1.	Organiczne BZT <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	10,5	25,0
2.	Organiczne ChZT <sub>Cr</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	69,0	125,0
3.	Fosfor ogólny	mg P/dm <sup>3</sup>	0,99	brak limitu <sup>*)</sup>
4.	Azot ogólny	mg N/dm <sup>3</sup>	12,4	brak limitu <sup>*)</sup>
5.	Zawiesiny ogólne	mg/dm <sup>3</sup>	6,4	35,0
6.	Odczyn pH	–	7,4	6,5÷9,0

Źródło: „Sprawozdanie z rozruchu technologicznego” ECO TREATMENT, Gniezno, 2017.

Efektywność pracy oczyszczalni wyraża się stopniem redukcji zanieczyszczeń. W trakcie eksploatacji wstępnej oczyszczalni ścieków w Kaczorach uzyskano następujący stopień redukcji zanieczyszczeń – tab. 5.

**Tab. 5. Stopień redukcji zanieczyszczeń oczyszczalni ścieków w Kaczorach**

L.p.	Wskaźnik zanieczyszczenia	J.m.	Wartość uzyskana	Założenia projektowe	Wartości pozw. wodno-prawne
1.	Organiczne BZT <sub>5</sub>	%	97	93	70÷90
2.	Organiczne ChZT <sub>Cr</sub>	%	93	86	min. 75
3.	Zawiesiny ogólne	%	98	92	min. 90
4.	Fosfor ogólny	%	91	83	brak wymagań
5.	Azot ogólny	%	88	79	brak wymagań

Źródło: obliczenia własne na podstawie „Sprawozdanie z rozruchu technologicznego” ECO TREATMENT, Gniezno, 2017.

Do przeprowadzenia szerszej analizy efektywności pracy oczyszczalni wykorzystano udostępnione przez eksploatatora obiektu wyniki badań fizykochemicznych ścieków surowych i ścieków oczyszczonych, obejmujące blisko czterdzieści sprawozdań, pochodzących z okresu od listopada 2017 do sierpnia 2020 roku. Analizie poddano zmiany wartości trzech wskaźników zanieczyszczeń – BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub> oraz zawiesiny ogólnej, zarówno w ściekach surowych, jak i w ściekach oczyszczonych. Zestawienie zbiorcze uzyskanych wyników badań przedstawia tab. 6.

**Tab. 6. Dane pomiarowe ścieków**

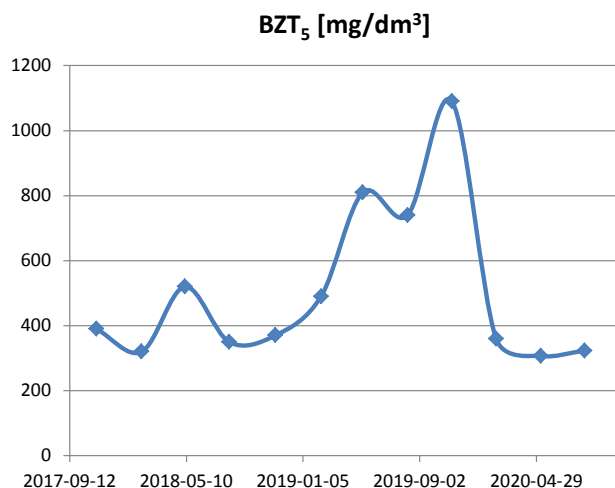
L.p.	Data	Ściek	Organiczne BZT <sub>5</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	Organiczne ChZT <sub>Cr</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	Zawiesiny ogólne [mg/dm <sup>3</sup> ]
1.	2018-01-03	Surowy	370	1377	780
		Oczyszczony	7	87	13
2.	2018-02-07	Surowy	320	1043	410
		Oczyszczony	< 3	88	3,2
3.	2018-03-08	Surowy	520	1388	310
		Oczyszczony	6	102	7,6

Tab. 6. Dane pomiarowe ścieków (cd.)

L.p.	Data	Ściek	Organiczne BZT <sub>s</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	Organiczne ChZT <sub>cr</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	Zawiesiny ogólne [mg/dm <sup>3</sup> ]
4.	2018-04-05	Surowy	340	943	270
		Oczyszczony	<3	71	4,4
5.	2018-05-07	Surowy	520	1095	220
		Oczyszczony	6	113	8,1
6.	2018-06-06	Surowy	290	876	260
		Oczyszczony	7	48	14
7.	2018-07-09	Surowy	390	1054	360
		Oczyszczony	5	36	8,8
8.	2018-08-06	Surowy	350	851	230
		Oczyszczony	7	66	9,6
9.	2018-09-17	Surowy	320	1056	470
		Oczyszczony	11	82	19
10.	2018-10-04	Surowy	360	1060	250
		Oczyszczony	4	46	14
11.	2018-11-09	Surowy	370	701	97
		Oczyszczony	4	68	9,8
12.	2018-12-05	Surowy	480	1141	430
		Oczyszczony	6	48	12
13.	2019-02-11	Surowy	490	1695	340
		Oczyszczony	7	67	14
14.	2019-05-08	Surowy	810	1599	250
		Oczyszczony	9	65	11
15.	2019-08-08	Surowy	740	1505	370
		Oczyszczony	<3	46	8,5
16.	2019-11-07	Surowy	1090	2190	440
		Oczyszczony	5	58	7,4
17.	2020-02-06	Surowy	360	827	290
		Oczyszczony	3	75	9,9
18.	2020-05-08	Surowy	307	1054	340
		Oczyszczony	<3	48	4,8
19.	2020-08-06	Surowy	323	1123	363
		Oczyszczony	3	55	5,4

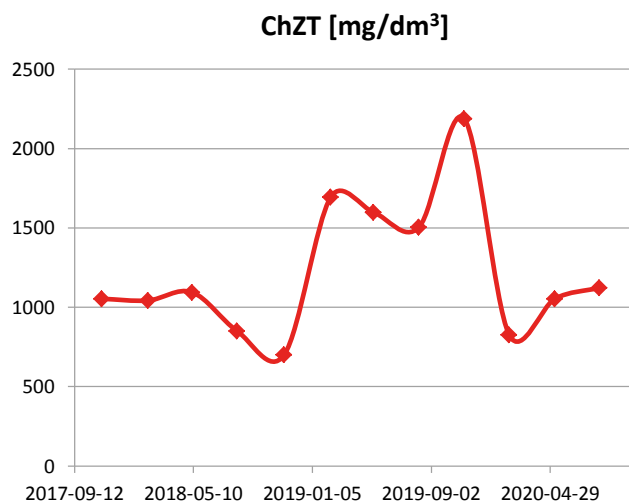
Źródło: opracowanie własne z danych otrzymanych z oczyszczalni ścieków.

Na rys. 5÷10 przedstawiono zmiany badanych wskaźników w okresie od listopada 2017 roku do sierpnia 2020 roku.



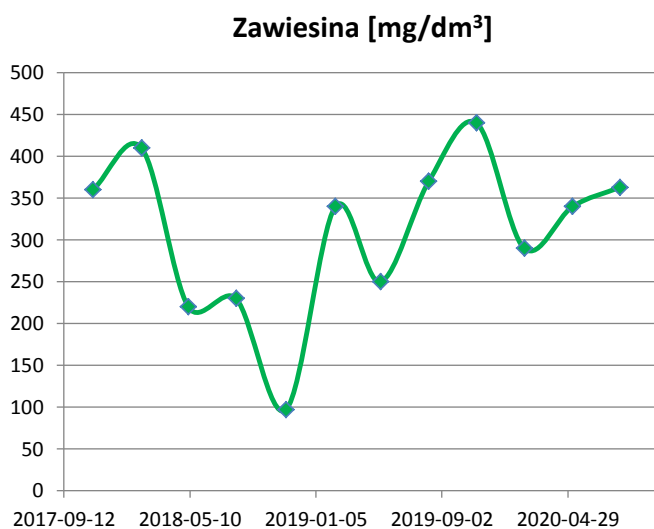
Rys. 5. Zawartość BZT<sub>5</sub> w ściekach surowych ciekach surowych

Źródło: opracowanie własne.



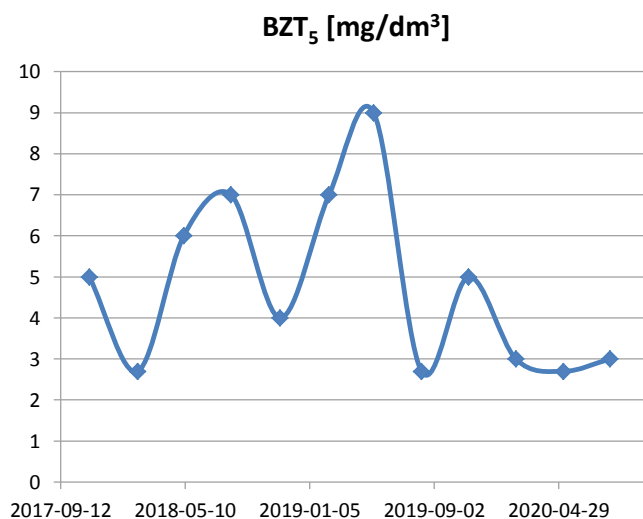
Rys. 6. Zawartość ChZT w ściekach surowych

Źródło: opracowanie własne.



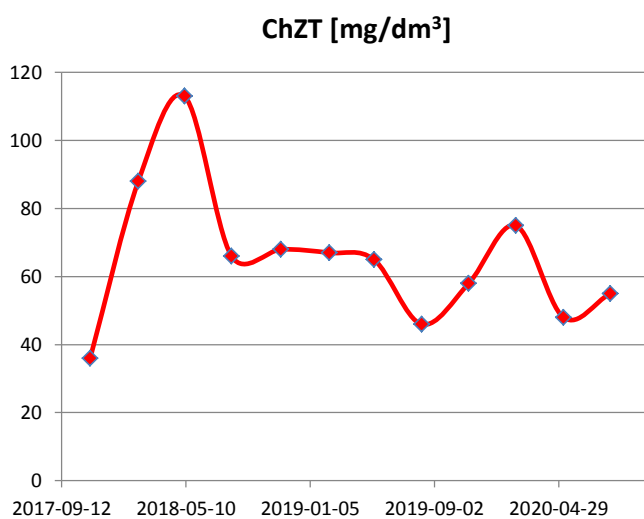
Rys. 7. Zawartość zawiesiny ogólnej w ściekach surowych

Źródło: opracowanie własne.



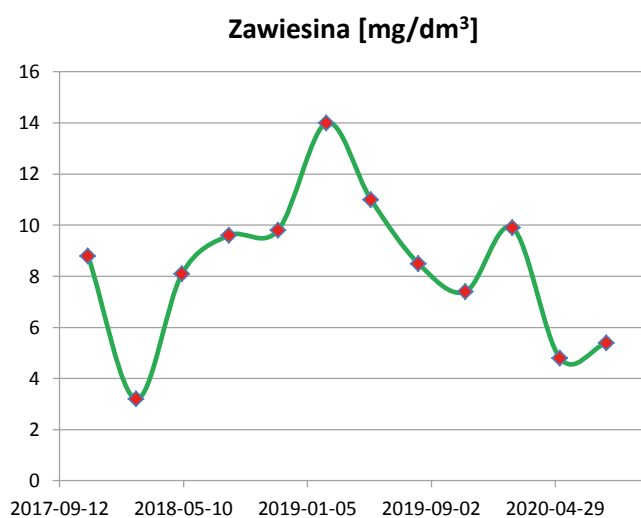
**Rys. 8. Zawartość BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych**

Źródło: opracowanie własne.



**Rys. 9. Zawartość ChZT w ściekach oczyszczonych**

Źródło: opracowanie własne.



**Rys. 10. Zawartość zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych**

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie pozyskanych wyników badań fizykochemicznych obliczono procentową redukcję danego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych z następującej zależności<sup>18</sup>:

$$\eta = \frac{S_S - S_0}{S_S} \cdot 100\%$$

gdzie:

- $\eta$  – redukcja danego wskaźnika zanieczyszczeń,
- $S_S$  – stężenie danego wskaźnika w ściekach surowych,
- $S_0$  – stężenie danego wskaźnika w ściekach oczyszczonych.

Stopnie redukcji poszczególnych zanieczyszczeń w okresie od stycznia 2018 roku do sierpnia 2020 roku przedstawiono w tab. 7.

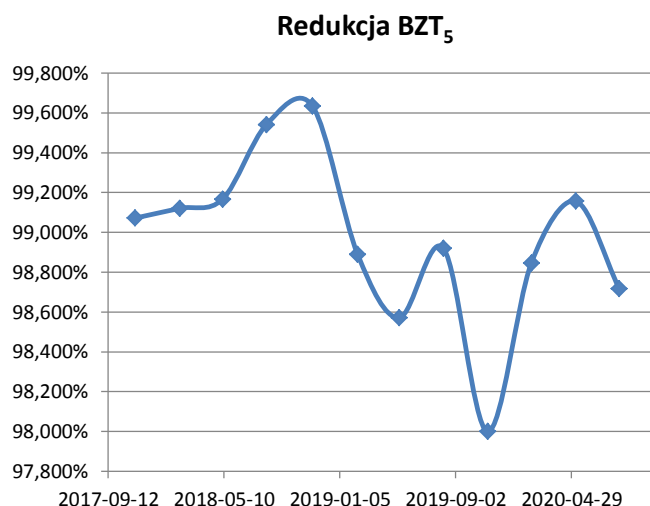
Wykresy obrazujące efektywność oczyszczalni (redukcję badanych wskaźników) w okresie od listopada 2017 roku do sierpnia 2020 roku przedstawiono na rys. 11÷13.

**Tab. 7. Stopień redukcji zanieczyszczeń**

Lp.	Data	Organiczne BZT <sub>5</sub> [%]	Organiczne ChZT <sub>cr</sub> [%]	Zawiesiny ogólne [%]
1.	2018-01-03	98,718%	96,584%	97,556%
2.	2018-02-07	98,000%	92,244%	95,826%
3.	2018-03-08	98,108%	93,682%	98,333%
4.	2018-04-05	99,156%	91,563%	99,220%
5.	2018-05-07	98,846%	92,651%	97,548%
6.	2018-06-06	99,206%	92,471%	98,370%
7.	2018-07-09	98,846%	89,680%	96,318%
8.	2018-08-06	97,586%	94,521%	94,615%
9.	2018-09-17	98,718%	96,584%	97,556%
10.	2018-10-04	98,000%	92,244%	95,826%
11.	2018-11-09	96,563%	92,235%	95,957%
12.	2018-12-05	98,889%	95,660%	94,400%
13.	2019-02-11	98,919%	90,300%	89,897%
14.	2019-05-08	98,750%	95,793%	97,209%
15.	2019-08-08	98,571%	96,047%	95,882%
16.	2019-11-07	98,889%	95,935%	95,600%
17.	2020-02-06	99,635%	96,944%	97,703%
18.	2020-05-08	99,541%	97,352%	98,318%
19.	2020-08-06	99,167%	90,931%	96,586%

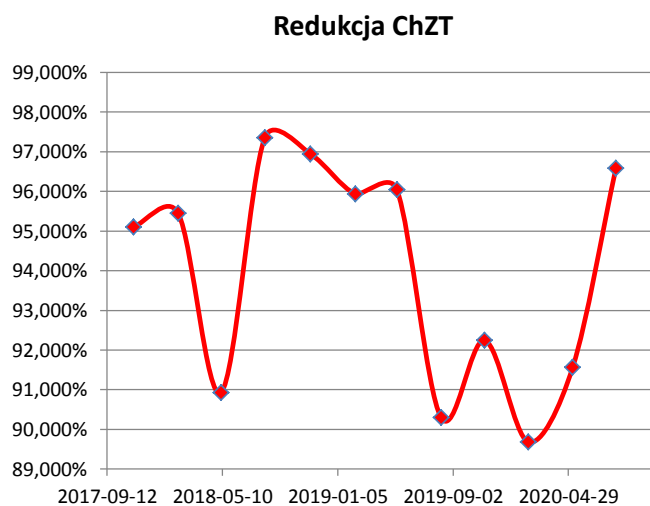
Źródło: opracowanie własne

<sup>18</sup> A. Anielak, Niekonwencjonalne metody usuwania substancji biogenych w bioreaktorach sekwencyjnych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 2, 2006, s. 23–27 [za:] K. Chmielowski, A. Młyńska, D. Młyński, op. cit.



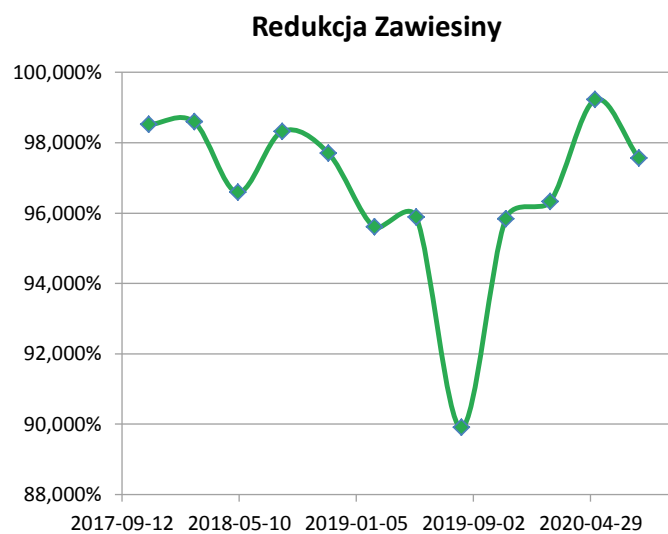
**Rys. 11. Stopień redukcji BZT<sub>5</sub> w trakcie procesu oczyszczania**

Źródło: opracowanie własne.



**Rys. 12. Stopień redukcji ChZT w trakcie procesu oczyszczania**

Źródło: opracowanie własne.



**Rys. 13. Stopień redukcji zawiesiny ogólnej w trakcie procesu oczyszczania**

Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie i rekomendacje

Oczyszczalnia ścieków w Kaczorach charakteryzuje się wysoką efektywnością i stabilnością działania procesu oczyszczania ścieków co potwierdziła analiza przepływów oraz prowadzonych badań kontrolnych w okresie do sierpnia 2020 roku.

Wdrożone algorytmy sterowania obiektami na oczyszczalni zapewniają osiągnięcie założonych wyników oczyszczania oraz prawidłową gospodarkę napływającymi ściekami. Pozwala to na utrzymanie stałego poziomu obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń, pomimo zmian w napływie ścieków oraz zmian ich stopnia zanieczyszczenia.

Dzięki wysokiej wydajności procesu oczyszczalnia osiąga wyniki redukcji zanieczyszczeń znacząco przekraczając wymagania stawiane przez uzyskane pozwolenie wodno-prawne oraz przyjęte założenia w projekcie przebudowy oczyszczalni<sup>19</sup>.

Rekomenduje się prowadzenie cyklicznie badań jakościowych dopływających ścieków surowych oraz wielkości dopływu, kontrole efektywności pracy oczyszczalni co kilka lat.

## Bibliografia

- Anielak A., Niekonwencjonalne metody usuwania substancji biogenych w bioreaktorach sekwencyjnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* nr 2, 2006.
- Bartkowska I., Dzieńis L., Wawrentowicz D., Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji, *Inżynieria Ekologiczna* nr 24, 2011.
- Bień J., Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych – planem rozwoju gospodarki ściekowej w Polsce”. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Kanalizacja wsi – stan obecny, perspektywy rozwoju”. Poznań – Puszczykowo, 2004.
- Chmielowski K., Młyńska A., Młyński D., Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Kołaczycach, *Inżynieria Ekologiczna* vol.45, 2015.
- Dymaczeński Z., Poradnik eksploatora oczyszczalni ścieków. PZITS, 2011.
- Krzanowski S., Wałęga A., Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* nr 3/2/2006, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi.
- Łomotowski J., Szpindor A., Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2002.
- Masłoń A., Tomaszek J., „Ocena efektywności oczyszczalni ścieków w Lubaczowie”, *Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury / Journal of civil engineering, environment and architecture, JCEEA*, t. XXX, z. 60 (3/13), lipiec-wrzesień 2013.
- Miernik W., Młyński D., Analiza efektywności pracy oczyszczalni ścieków w Krzeszowicach po modernizacji, *EPISTEME* 22/2014, t. II.
- Stankiewicz B., Nowoczesny system sterowania i monitoringu na przykładzie oczyszczalni ścieków w gminie Kaczory, Szczecin, 2018, praca dyplomowa.
- Stankiewicz M., Stankiewicz B., Narzędzia informatyczne w technologii oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w gminie Kaczory. *FIRMA I RYNEK* 2/2019 nr 56. ISSN: 2657–3245. Wydanie online nr 2019/02 (56).
- <https://poznan.wody.gov.pl/nasze-dzialania/krajowy-program-oczyszczania-ściekow-komunalnych>
- <https://www.ekologia.pl/srodowisko/ochrona-srodowiska/susza-na-swiecie-oraz-najwieksze-problemy-z-tym-zwiazane-pustynnienie-i-stepowienie-polski-i-swiata,13467.html>
- <https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/moja-woda/>
- <https://automatykab2b.pl/wywiady/44668-jak-modernizowac-i-automatyzowac-oczyszczalnie-ściekow>

---

<sup>19</sup> B. Stankiewicz, op.cit.

- Dz. Urz. WE L 135 z 30.05.1991 r., s. 40–52, z późn. zm.; Dz. Urz. WE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 002, str. 26.
- Projekt budowlano-wykonawczy, Branża Sanitarna-technologie „MEKOR”, Gniezno, 2011.
- Sprawozdanie z rozruchu technologicznego „ECO TREATMENT”, Gniezno, 2017.

## **Operational efficiency of wastewater treatment plant in Kaczory**

### **Summary**

The purpose of this article is evaluation of work efficiency of wastewater treatment plant in Kaczory after reconstruction, based on the results of physicochemical tests of raw wastewater and treated wastewater. Measurement data was collected since the completion of construction works in 2017. The study analyzed the collected pollution indicators in the period to 2020 year and on the basis of the obtained results, it was confirmed that the rebuilt sewage treatment plant is functioning properly and highly efficiently.

### **Keywords**

wastewater treatment plant, reduction of pollutions, wastewater treatment technology, efficiency of wastewater treatment plants, physicochemical properties of wastewater