

**TEMAT PRACY: ANALIZA TECHNOLOGICZNA
PROCESÓW OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW
I PRZERÓBKİ OSADÓW ŚCIEKOWYCH
W OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW
W RABCE-ZDRÓJ**

ZLECENIODAWCA: Zakład Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o.
z siedzibą w Rabce-Zdroju
ul. Zaryte 141a
34-700 Rabka-Zdrój

Zespół autorski

dr inż. Wiesława Styka
dr inż. Piotr Beńko



Kraków, grudzień 2020r

SPIS TREŚCI

1.	WSTĘP.....	3
1.1.	Przedmiot i cel opracowania.....	3
1.2.	Podstawa opracowania	3
2.	CHARAKTERYSTYKA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RABCE-ZDROJU.....	5
2.1.	Charakterystyka obiektów technologicznych układu oczyszczania ścieków.....	7
2.2.	Charakterystyka obiektów technologicznych układu przeróbki osadu	15
2.3.	Warunki pozwolenia wodno – prawnego	17
3.	OCENA AKTUALNYCH WARUNKÓW PRACY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RABCE-ZDROJU.....	18
3.1.	Bilans ścieków surowych	18
3.1.1.	Ilość ścieków	19
3.1.2.	Jakość ścieków dopływających do oczyszczalni	22
3.2.	Jakość ścieków dopływających do reaktorów	32
3.3.	Charakterystyka jakościowa ścieków oczyszczonych.....	35
3.4.	Bilans osadów	41
4.	OSZACOWANIE BILANSU ŚCIEKÓW DLA OKRESU DOCELOWEGO	46
4.1.	Założenia bilansowe	46
5.	WARUNKI PRACY REAKTORÓW BIOLOGICZNYCH.....	47
5.1.	Parametry technologiczne reaktorów biologicznych.....	47
5.2.	Identyfikacja warunków i ocena możliwości usuwania azotu i fosforu.....	50
5.3.	Obliczenia sprawdzające procesu biologicznego oczyszczania	51
6.	PODSUMOWANIE Z WYTYCZNYMI TECHNICZNO - TECHNOLOGICZNYMI DLA MODERNIZACJI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RABCE-ZDROJU.....	55
7.	NIEZBĘDNE DZIAŁANIA MODERNIZACYJNE DLA UTRZYMANIA WYSOKIEJ EFEKTYWNOŚCI OCZYSZCZANIA I SPRAWNOŚCI OBIEKTÓW.....	57
8.	OPIS TECHNICZNY NIEZBĘDNYCH DZIAŁAŃ MODERNIZACYJNYCH.....	60

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot i cel opracowania

Przedmiotem opracowania jest: *Analiza technologiczna procesów oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju*. Celem analizy jest określenie wytycznych techniczno-technologicznych dla modernizacji oczyszczalni, obejmujących identyfikację niezbędnych działań modernizacyjnych dla utrzymania wysokiej efektywności oczyszczania i sprawności obiektów oczyszczalni wraz z opisem będącym podstawą działań przetargowych modernizacji oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdrój.

1.2. Podstawa opracowania

Formalną podstawę opracowania stanowi umowa – zlecenia zawarta w dniu 02.04.2020r. w Krakowie, pomiędzy „Zakładem Wodociągów i Kanalizacji” Sp. z o.o. z siedzibą w Rabce-Zdroju, adres: 34-700 Rabka-Zdrój, ul. Zaryte 141a, a autorami niniejszego opracowania.

Przy wykonaniu opracowania wykorzystano następujące materiały:

1. Decyzja Starosty Nowotarskiego udzielająca pozwolenia wodnoprawnego na wprowadzanie oczyszczonych ścieków komunalnych z mechaniczno — biologicznej oczyszczalni do rzeki Raba z dnia 22.07.2015 r.
2. Projekt Oczyszczalni Ścieków w Rabce opracowany przez BIPROKOM, Kraków 1996,
3. Dokumentacja techniczna Oczyszczalni Ścieków w Rabce opracowana przez HYDROTRES S.A., 1999.
4. Łacki A., Ocena technologiczna układu oczyszczania ścieków i przeróbki osadu na oczyszczalni ścieków w Rabce, praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, wrzesień 2001r.
5. Surówka O., Analiza eksploatacyjna oczyszczalni ścieków w Rabce Zdrój, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Krakowska, luty 2020r.,
6. Materiały seminarium naukowo – technicznego: Eksploatacja i badania oczyszczalni ścieków SBR, Nowy Targ, 1 – 2 października 1998 r.
7. Mańczak M., Balbierz P., Dekantery reaktorów okresowego działania, http://www.pzits.not.pl/docs/ksiazki/Odra_2010/Manczak%20253-260.pdf.

8. Bever J., Stein A., Teichmann H. „Zawansowane metody oczyszczania ścieków” Projprzem – EKO, Bydgoszcz 1997.
9. Wytyczne ATV „Zasady obliczania jednostopniowych urządzeń osadu czynnego o przepustowości powyżej 5000 równoważnych mieszkańców” A 131 luty 1991.
10. Niemiecki zbiór reguł ATV Ścieki – odpady Materiały pomocnicze ATV – M210 P Sekwencyjne reaktory porcjowe SBR, wrzesień 1997.
11. Wyniki badań ilości i jakości ścieków surowych i oczyszczonych oraz dane eksploatacyjne z istniejącej oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju, z lat 2018-2019, udostępnione przez Użytkownika oczyszczalni.
12. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12.07.2019 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).

2. CHARAKTERYSTYKA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RABCE-ZDROJU

Oczyszczalnię ścieków w Rabce można zaliczyć do obiektów średniej wielkości, została oddana do eksploatacji w 1999 r i pierwotnie zaprojektowana na przepływ dobowy średni $Q_{\text{śrd}} = 8\,700 \text{ m}^3/\text{d}$ oraz przepływ dobowy maksymalny $Q_{\text{maxd}} = 10\,140 \text{ m}^3/\text{d}$. Projektowane obciążenie oczyszczalni ładunkiem zanieczyszczeń, wyrażone równoważną liczbą mieszkańców, wynosiło **RLM = 32 600**.

Obecnie, oczyszczalnia w Rabce przyjmuje ścieki z gminy Rabka-Zdrój, w której skład wchodzi Rabka, Ponice, Chabówka, Rdzawka oraz z miejscowości Skomielna Biała, należącej do gminy Lubień.

Schemat technologiczny oczyszczalni w Rabce-Zdroju przedstawiono na rysunku nr 2.1. Obejmuje on linię mechaniczno-biologicznego oczyszczanie ścieków oraz linię przeróbki osadu nadmiernego.

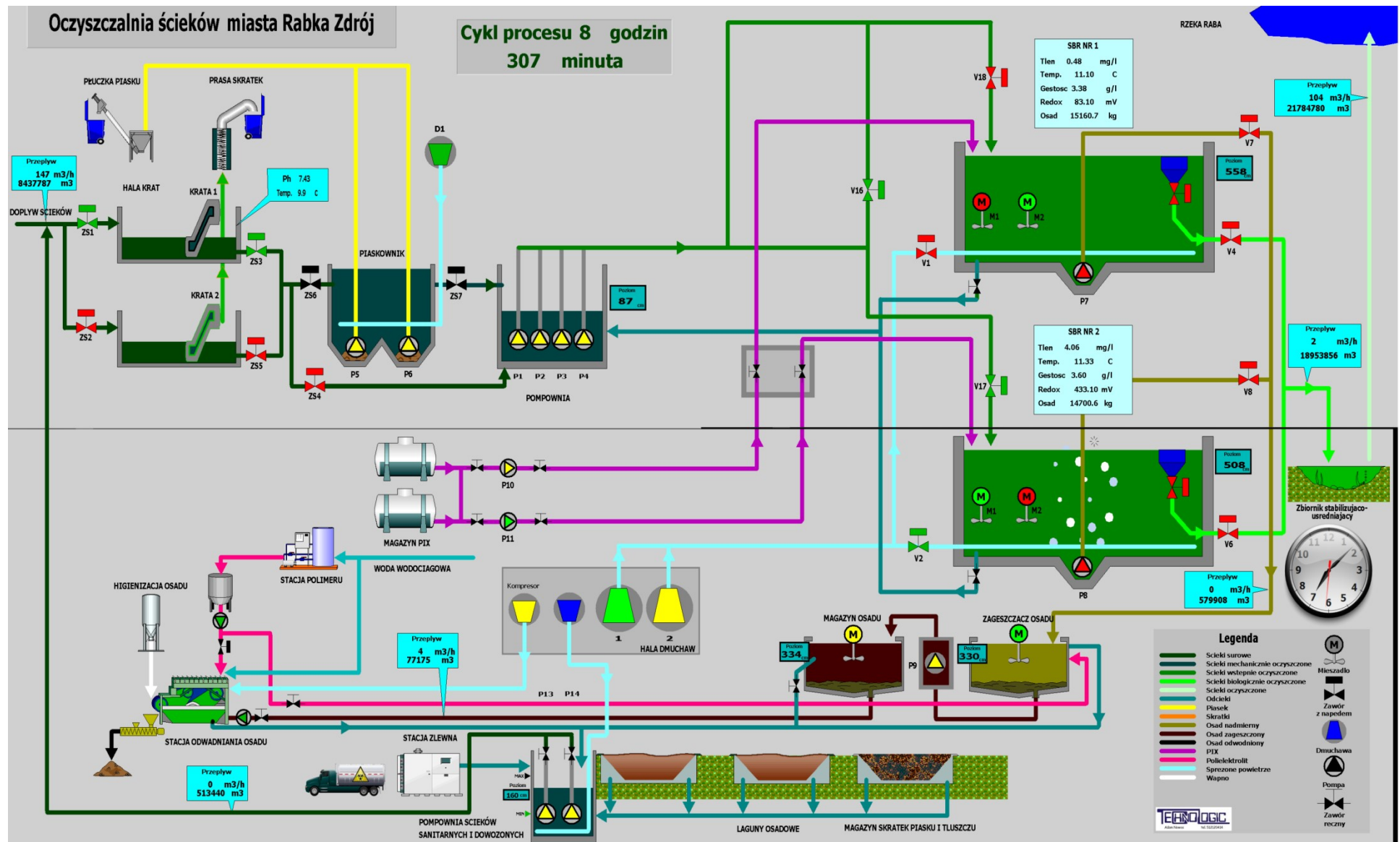
Oczyszczanie mechaniczne polega na oddzielaniu skratek na kracie gęstej oraz piasku w piaskowniku napowietrzanym.

Uwzględniając wymagania stawiane ściekom oczyszczonym, w linii ściekowej zaprojektowano układ technologiczny uwzględniający biologiczne usuwanie związków biogennych. Jako proces uzupełniający zaprojektowano proces strącania fosforu poprzez dawkovanie koagulantu.

Drugi stopień oczyszczania - oczyszczanie biologiczne, prowadzone jest w porcjowych reaktorach osadu czynnego SBR. Końcowym elementem linii ściekowej jest staw (zbiornik) stabilizacyjno-uśredniający. Wylot ze zbiornika pełni funkcję komory pomiarowej, służącej do kontroli jakości ścieków oczyszczonych. Na kolektorze odpływowym ze stawu zainstalowany jest przepływomierz elektromagnetyczny do pomiaru ilości ścieków oczyszczonych. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do rzeki Raby, a ich wylot zlokalizowany jest na prawym brzegu Raby, w km 103 + 100.

Oczyszczalnia wyposażona została w układ przeróbki osadów ściekowych, bazujący na symultanicznej tlenowej stabilizacji osadu w reaktorach biologicznych.

Powstający w wyniku przyrostu biomasy osad nadmierny, odprowadzany jest z reaktorów SBR do zagęszczacza grawitacyjnego, a następnie trafia do stacji odwadniania i odbierany jest do końcowego zagospodarowania przez wyspecjalizowaną firmę.



Rys. 2.1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Rabce Zdrój (praca dyplomowa)

2.1. Charakterystyka obiektów technologicznych układu oczyszczania ścieków

• Doprowadzenie ścieków do oczyszczalni

Ścieki z miasta dopływają kolektorem głównym o średnicy $DN = 800$ mm, który prowadzi ścieki ze spadkiem dna wynoszącym 3 ‰. Oczyszczalnia przystosowana została także do przyjmowania ścieków dowożonych samochodami asenizacyjnymi. Zainstalowano kontenerową stację zlewną, poprzez którą ścieki dowożone trafiają do lokalnej pompowni ścieków. Do pompowni tej kierowane są również ścieki bytowe i wody osadowe z terenu oczyszczalni. Pompownia przepompowuje ścieki do komory rozdzielczej przed halą krat, znajdującej się na początku linii ściekowej układu technologicznego oczyszczalni.

• Stacja zlewna ścieków dowożonych i lokalna pompownia ścieków sanitarnych i dowożonych

Kontenerowa stacja zlewna, służąca do odbioru ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym wyposażona jest w łapacz kamieni i rozdrabniarkę. Ścieki dowożone odbierane w punkcie zlewnym, pozbawione skrutek, przepływają do pompowni ścieków sanitarnych.

Pompownia ścieków sanitarnych i dowożonych wykonana została w formie zbiornika podziemnego o wymiarach:

- długość $L = 8,8$ m
- szerokość $B = 5,8$ m
- głębokość czynna $H_{cz} = 2,4$ m
- pojemność czynna $V_{cz} = 122,5$ m³.

Do tego zbiornika trafiają:

- ścieki dowożone,
- wody nadosadowe,
- wody infiltracyjne z lagun,
- ścieki własne, bytowo gospodarcze z terenu oczyszczalni.

Wyposażenie pompowni stanowią dwie pompy zatapialne o parametrach:

- wydajność $Q_1 = 6,9$ l/s,

- wysokość podnoszenie $H = 8 \text{ m H}_2\text{O}$,
- moc silnika $N_s = 2,0 \text{ kW}$.

Pompownia kieruje ścieki na początek głównej linii ściekowej - do studni rozdzielczej przed halą krat.

• Hala krat

W budynku zainstalowane są dwie kraty z mechanicznym usuwaniem skrerek:

- ⇒ krata taśmowo-hakowa - KTH 800, o prześwicie $b = 3 \text{ mm}$, o przepustowości $Q = 600 \text{ m}^3/\text{h}$,
- ⇒ krata schodkowa o prześwicie $b = 4 \text{ mm}$, o przepustowości $Q = 720 \text{ m}^3/\text{h}$.

Krata taśmowo-hakowa stanowi główne wyposażenie stacji krat i pracuje przy średnim obciążeniu hydraulicznym oczyszczalni. Pracująca równolegle krata schodkowa włączana jest przy zwiększonej ilości ścieków doprowadzanych do oczyszczalni.

Oddzielone na kratkach skratki trafiają do zainstalowanej w budynku krat praso-płuczki typ PPC/250 o wydajności prasowania do $1 \text{ m}^3/\text{h}$, a następnie po wypłukaniu i sprasowaniu transportowane są podajnikiem do kontenera.

Pozbawione skrerek ścieki kierowane są do procesu oddzielania piasku w piaskowniku napowietrzanym. Układ kanałów odprowadzających ścieki po kratkach umożliwia pominięcie piaskownika i skierowanie ścieków bezpośrednio do studni zbiorczej głównej pompowni ścieków. W tym celu zostały zamontowane zastawki kanałowe z elektrycznymi napędami, służące do regulacji kierunku przepływu ścieków.

W hali krat zainstalowany został automatyczny pobierak próbek ścieków.

• Piaskownik napowietrzany

W oczyszczalni wybudowano jeden piaskownik prostokątny, żelbetowy z dwoma lejami do oddzielania i gromadzenia piasku. Wymiary piaskownika:

- długość $L = 6 \text{ m}$,
- szerokość $B = 4,1 \text{ m}$,
- głębokość całkowita $H_c = 6,5 \text{ m}$, głębokość czynna $H_{cz} = 2,7 \text{ m}$,
- objętość czynna $V_{cz} = 66,4 \text{ m}^3$,
- powierzchnia piaskownika $24,6 \text{ m}^2$.

Piaskownik wyposażony jest w instalację do napowietrzania. Oddzielony piasek odprowadzany jest zamontowanymi w lejach pompami. Pulpa piaskowa trafia do separatora o maksymalnej przepustowości 30 m³/h (do 0,6 t sm piasku/h), w którym następuje płukanie i odwadnianie piasku. Z separatora piasek za pomocą podajnika śrubowego kierowany jest do kontenera.

W praktyce eksploatacyjnej, pomimo wyposażenia piaskownika w system napowietrzania, nie udaje się osiągnąć efektywnego oddzielania tłuszczów. Ponadto, uwidocznione w trakcie remontu rusztów napowietrzających zalegające na dnie reaktorów biologicznych pokłady piasku, świadczą o niewystarczającej efektywności usuwania piasku.

Ścieki doprowadzane do oczyszczalni, po oddzieleniu z nich piasku, kierowane są do pompowni głównej.

• **Pompownia główna**

Pompownia główna wyposażona została w pompy instalacji suchej, zlokalizowane w wydzielonym pomieszczeniu (pompowni suchej), zasysające ścieki ze zbiornika czterpalnego.

Pomieszczenie pompowni suchej zlokalizowane jest w piwnicy budynku mechanicznego oczyszczania. Zbiornik czterpalny (studnia zbiorcza pompowni) przylega do w/w budynku - ściana zewnętrzna budynku jest zarazem ścianą zbiornika.

Zbiornik czterpalny pompowni ma następujące wymiary:

- długość $L = 11,6$ m,
- szerokość $B = 5,5$ m,
- głębokość czynna $H_{cz} = 1,25$ m,
- objętość czynna $V_{cz} = 80$ m³.

W pompowni suchej zainstalowane są cztery pompy firmy Flygt CT 3201 HT 632 o następujących parametrach:

- wydajność $Q_1 = 360$ m³/h,
- wysokość podnoszenia $H = 10$ m H₂O,
- moc silnika $N_s = 22,0$ kW.

Praca pompowni sterowana jest automatycznie, w oparciu o radarowy pomiar poziomu ścieków w zbiorniku czerpalnym, z ustalonymi trzema poziomami włączania się pomp:

- jedna pompa – poziom 110 cm,
- druga pompa – poziom 150 cm,
- trzecia + czwarta pompa - poziom 200 cm.

Układ rurociągów tłocznych pozwala na realizację różnych schematów przepływu ścieków w warunkach eksploatacji.

Ścieki pompowane są na przemian do jednego z dwóch reaktorów biologicznych SBR.

• **Reaktory biologiczne SBR (rys.2.2)**

Biologiczne oczyszczanie ścieków w oczyszczalni w Rabce realizowane jest w 2-ch reaktorach porcjowych SBR, przy zastosowaniu planu cyklu oczyszczania uwzględniającego usuwanie związków organicznych i biogennych ze ścieków.

Reaktory SBR to kołowe, betonowe zbiorniki o wymiarach:

- średnica $D = 32$ m,
- głębokość czynna $H_{cz} = 6,5$ m,
- objętość czynna każdego z reaktorów wynosi $V_{cz} = 5\,225$ m³.

Wypożenie każdego z reaktorów stanowią następujące urządzenia:

- System napowietrzania drobno pęcherzykowego:
dyfuzory membranowe dyskowe, liczba dyfuzorów - 1560 szt., $q_1 = 2,5$ m³/h;
- Mieszadło zatapialne - 2 szt.
średnica śmigła 560 mm
prędkość obrotowa 470 min⁻¹
moc silnika 10 kW;
- Dekanter ścieków oczyszczonych – 1 szt., wydajność $Q = 1450$ m³/h;
- Pompa osadu nadmiernego – 1 szt
wydajność 162 m³/h
wysokość podnoszenie 10 m H₂O
moc silnika 9,0 kW.

W celu uzupełniającego chemicznego strącenia fosforu, stosowany jest koagulant PIX, który dawkowany jest bezpośrednio do reaktorów SBR, w pobliżu miejsca zainstalowania mieszadeł.

Każdy z reaktorów wyposażony jest w urządzenia do pomiaru poziomu ścieków, stężenia tlenu rozpuszczonego, temperatury, potencjału redox, gęstości osadu oraz w przelew awaryjny, z odprowadzeniem do pompowni ścieków sanitarnych i dowożonych.

Pomiędzy reaktorami SBR zlokalizowano klatkę schodową, komorę zamknięć dolnych dekanterów oraz komorę pomiarową osadu nadmiernego.

W każdym reaktorze zainstalowany jest spust denny umożliwiający całkowite opróżnienie reaktora i skierowanie jego zawartości do studni zbiorczej pompowni ścieków. Kanały spustowe mają średnicę $D = 400$ mm. Po około 19 m (SBR1) i 13 m (SBR2) włączone są do rurociągu $D = 400$, $L = 16$ m, prowadzącego do komory czerpnej pompowni głównej.

Reaktory biologiczne pracują równolegle. Ich cykl pracy uzależniony jest od ilości ścieków doprowadzanych do oczyszczalni. Przy ilości ścieków nie przekraczającej $Q_d = 8\,500\text{ m}^3/\text{d}$ stosowany jest podstawowy czas trwania cyklu $t_c = 8$ h. W sytuacji wzrostu dopływu ścieków, czas trwania cyklu ulega skróceniu do $t_c = 6$ h.



Rys. 2.2. Reaktor biologiczny SBR

- **Stacja dmuchaw**

W stacji dmuchaw zainstalowano 2 dmuchawy rotacyjne Hibon SNH 870 do napowietrzania reaktorów SBR. Parametry dmuchaw:

wydajność $Q_1 = 5100 \text{ m}^3/\text{h}$

ciśnienie sprężu $\Delta P = 750 \text{ mbar}$

moc silnika $N_s = 160 \text{ kW}$

Ze stacji dmuchaw powietrze, prowadzone jest jednym nadziemnym rurociągiem sprężonego powietrza, który rozdziela się na dwa rurociągi doprowadzające powietrze do rusztu zainstalowanego w każdym z reaktorów SBR. Na przewodach tych zamontowane są zasuwy odcinające dopływ powietrza w czasie tych faz cyklu oczyszczania, w których napowietrzanie musi być wyeliminowane (faza niedotleniona, faza sedymentacji, faza dekantacji).

Aktualnie, parametrem sterującym pracą dmuchaw w fazach napowietrzania może być stężenie tlenu, mierzone sondą tlenową zainstalowaną w każdym reaktorze SBR.

Stacja dozowania PIX

Dla zwiększenia stopnia defosfatacji stosowany jest siarczan żelaza PIX. Stacja dozowania koagulantu PIX (rys.2.3) składa się z dwóch zbiorników magazynowych o objętości $V = 18 \text{ m}^3$ oraz dwóch pomp dozujących. Zastosowano dwugłowicowe pompy MEMDOS ZMR 55, $N_s = 0,52 \text{ kW}$, o wydajności 55 l/h z każdej głowicy przy przeciwcisnieniu 10 bar .



Rys.2.3. Zbiorniki PIX

- **Zbiornik (staw) stabilizująco - uśredniający**

W układach technologicznych oczyszczalni stosujących reaktory porcjowe SBR, jak w przypadku oczyszczalni ścieków w Rabce, stabilizująco-uśredniająca funkcja stawu ma na celu:

- wyeliminowanie uderzeniowego odprowadzania dużej ilości ścieków, odpływających z reaktorów SBR w krótko trwającej (zwykle ok. 1h) fazie dekantacji i ich równomierne odprowadzenie do odbiornika,
- uśrednienie jakości ścieków odprowadzanych z dwóch reaktorów, w kolejnych cyklach ich pracy,
- zatrzymanie resztkowej zawiesiny zawartej w ściekach odprowadzanych z reaktorów SBR podczas pierwszej fazy dekantacji lub w przypadku awarii dekanterów.

Do funkcji zbiornika stabilizująco – uśredniającego zaadaptowano jedną z 3-ch kwater pierwotnie zaprojektowanych lagun osadowych (rys.2.4), po zabezpieczeniu jej płytami betonowymi i geomembraną, przeciwdziałającą infiltracji ścieków do podłoża. Powstały w ten sposób zbiornik ma wymiary:

- długość dna $L = 80 \text{ m}$
- szerokość dna $B = 34 \text{ m}$
- głębokość czynna $H = 0,8 \text{ m}$
- nachylenie skarp $1 : 1,5$

– pojemność czynna $V = 2176 \text{ m}^3$.

Zbiornik wyposażony został w przelew odprowadzający ścieki do odbiornika. Jest to punkt kontroli spełniania przez oczyszczalnię warunków pozwolenia wodno-prawnego.

Staw wymaga oczyszczania – średnio raz w roku, dla wyeliminowania zagniwania zsedymetowanego osadu i zakwitów glonów.



Rys. 2.4. Staw - zbiornik uśredniający

- **Komora pomiarowa ścieków oczyszczonych odprowadzanych do rzeki Raby**

Funkcję komory pomiarowej ścieków oczyszczonych służącej do kontroli pracy oczyszczalni pełni wylot ze stawu stabilizującego – uśredniającego. Jest to punkt automatycznego poboru próbek do badań jakości ścieków. Pomiar ilości prowadzony jest przy pomocy przepływomierza elektromagnetycznego zainstalowanego na kolektorze odprowadzającym ścieki ze stawu do odbiornika, tj. rzeki Raby.

- **Wylot ścieków oczyszczonych**

Wylot ścieków oczyszczonych do rzeki Raby w km 103 + 100 zlokalizowany jest na działce o nr ewidencyjnym 1614 w miejscowości Rabka — Zdrój stanowiącej własność Skarbu Państwa, znajdującej się w zarządzie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie.

2.2. Charakterystyka obiektów technologicznych układu przeróbki osadu

- **Odprowadzenie osadu nadmiernego z reaktorów SBR**

Ze środka każdego z reaktorów SBR, ponad zwierciadłem ścieków i górną ścianą reaktora, wyprowadzony jest rurociąg do odprowadzania osadu nadmiernego. Poza reaktorem, na pionowym odcinku tego rurociągu, zainstalowana jest zasuwa spustu osadu. Dalej, rurociąg prowadzony jest pod ziemią, do komory pomiarowej z przepływomierzem do pomiaru ilości odprowadzanego osadu nadmiernego.

W pierwotnie zaprojektowanym układzie do odprowadzania osadu zastosowano pompę wirową, zainstalowaną na dnie reaktora.

Dzięki układowi wysokościowemu (poziom osadu w zagęszczaczu znajduje się znacznie poniżej poziomu ścieków w reaktorze) i prawidłowemu wykonaniu rurociągu osadowego, w praktyce eksploatacyjnej zrezygnowano z pompowego odprowadzania osadu na rzecz systemu lewarowego.

- **Zagęszczacz grawitacyjny osadu**

Do zagęszczania osadu nadmiernego zastosowano grawitacyjny zagęszczacz przepływowy, którego parametry i wyposażenie scharakteryzowano poniżej:

- średnica $D = 7,5 \text{ m}$,
- wysokość ściany bocznej $H = 3,6 \text{ m}$,
- wysokość czynna $H_{cz} = 3,0 \text{ m}$,
- powierzchnia $F = 44,2 \text{ m}^2$,
- pojemność czynna $V_{cz} = 133,0 \text{ m}^3$.
- mieszadło prętowe – 1 szt., moc silnika $N_s = 0,55 \text{ kW}$.

Zagęszczacz został wyposażony w przykrycie stalowe, aktualnie o dużym stopniu skorodowania.

- **Pompownia osadu zagęszczonego**

Funkcję pompowni osadu zagęszczonego pełni studzienka zlokalizowana pomiędzy zagęszczaczem a zbiornikiem magazynowym osadu, wyposażona w zatapialną pompę osadu o parametrach:

- wydajność $Q = 54 \text{ m}^3/\text{h}$,
- wysokość podnoszenia $H = 5 \text{ m H}_2\text{O}$,
- moc silnika $N_s = 2,0 \text{ kW}$.

- **Zbiornik magazynowy osadu zagęszczonego**

Zbiornik magazynowy osadu ma identyczne gabaryty jak zagęszczacz osadu. Zainstalowano w nim mieszadło szybkoobrotowe oraz dekanter pływający do odprowadzania wody osadowej.

Ciecz osadowa ze zbiornika magazynowego odprowadzana poprzez dekanter, kierowana jest do pompowni ścieków sanitarnych i dowożonych i dalej do układu oczyszczania.

- **Stacja odwadniania osadu**

Końcowe odwadnianie osadu prowadzone jest w taśmowej prasie filtracyjnej. W skład instalacji stacji odwadniania wchodzi następujące urządzenia:

- pompa rotacyjna podająca osad zagęszczony:
 - wydajność $6 \div 8 \text{ m}^3/\text{h}$,
 - podnoszenie $15 \text{ m H}_2\text{O}$,
 - moc silnika $3,0 \text{ kW}$,
- stacja przygotowania i dawkowania polielektrolitu,
- pompa śrubowa dozująca polielektrolit – 1 szt.,
 - wydajność $0,5 \div 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$,
 - podnoszenie $20 \text{ m H}_2\text{O}$,
 - moc silnika $0,75 \text{ kW}$,
- prasa taśmowa z hydraulicznym mieszaczem osadu z polielektrolitem,
 - wydajność hydrauliczna $10 \div 15 \text{ m}^3/\text{h}$,
 - wydajność masowa 300 kg sm/h ,
 - moc silnika $0,75 \text{ kW}$,
- podajnik ślimakowy osadu odwodnionego do procesu higienizacji,
- sprężarka powietrza – 1 szt.,

moc silnika 2,2 kW.

- **Stacja higienizacji osadu**

Stacja higienizacji znajduje się w tym samym budynku co stacja odwadniania osadu. Instalacja higienizacji obejmuje następujące urządzenia:

- zasobnik wapna $V = 30 \text{ m}^3$, ładowność 25 ton, z instalacją dozującą:

mieszacz boczny, moc silnika 1,1 kW,

elektrowibrator, moc silnika 0,15 kW,

podajnik wapna, moc silnika 1, 5 kW,

dozownik wapna, wydajność $19 \div 95 \text{ kg/h}$, moc silnika 0,37 kW,

przenośnik ślimakowy wapna, długość $L = 3,5 \text{ m}$, moc silnika 1, 1 kW,

- mieszacz osadu z wapnem

wydajność max $5 \text{ m}^3/\text{h}$,

moc silnika 2 x 2,2 kW,

Mieszanina osadu i wapna przewożona jest ciągnikiem do laguny osadowej.

Od 2019 roku odwodniony osad transportowany jest na przyczepę ciągnikową za pomocą przenośnika bezwałowego, następnie trafia na plac magazynowy pod wiatą i stamtąd jest odbierany.

2.3. Warunki pozwolenia wodno – prawnego

Funkcjonowanie oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju reguluje pozwolenie wodno-prawne udzielone eksploatatorowi, tj. Zakładowi Wodociągów i Kanalizacji, przez Starostę Nowotarskiego – decyzją z dnia 2015-07-22, Znak: OŚ.6341.2.32.2015.DS.

W pozwoleniu określono warunki odprowadzania do odbiornika, tj. rzeki Raby w km 103+100 (współrzędne geograficzne wylotu: N: $49^{\circ}37'35,6''$, E: $20^{\circ}0'17,15''$):

- oczyszczonych ścieków komunalnych:

- w ilości:

$Q_{\text{dśr}} =$ $8\,700 \text{ m}^3/\text{d}$,

$Q_{\text{hmax}} =$ $725 \text{ m}^3/\text{h}$,

$$Q_r = 3\,963\,900 \text{ m}^3/\text{r},$$

- o dopuszczalnej zawartości zanieczyszczeń:

$$\text{BZT}_5 = 15 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3,$$

$$\text{ChZT} = 125 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3,$$

$$\text{Zawiesina ogólna} = 35 \text{ mg}/\text{dm}^3,$$

$$\text{Azot ogólny} = 15 \text{ mg N}/\text{dm}^3,$$

$$\text{Fosfor ogólny} = 2 \text{ mg P}/\text{dm}^3.$$

- wód opadowych terenu oczyszczalni:

- w ilości:

$$Q_{\text{dśr}} = 84,54 \text{ l/s},$$

- o dopuszczalnej zawartości zanieczyszczeń:

$$\text{Zawiesina ogólna} = 100 \text{ mg/l},$$

$$\text{Węglowodory ropopochodne} = 15 \text{ mg/l}.$$

Pozwolenie udzielone zostało na czas określony, tj. do dnia 30 czerwca 2025r.

3. OCENA AKTUALNYCH WARUNKÓW PRACY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RABCE-ZDROJU

3.1. Bilans ścieków surowych

Jako podstawę bilansu ilości i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni w Rabce-Zdroju przyjęto dane pomiarowe z 2-letniego okresu eksploatacyjnego 2018-19. Przekazane przez Eksploatatora obiektu dane objęły:

- wartości przepływów dobowych,
- wyniki analiz jakości ścieków surowych, wykonywanych z częstotliwością 2 razy w miesiącu w próbkach średniodobowych, proporcjonalnych do przepływu.

Jako uzupełnienie danych podstawowych uwzględniono wyniki analiz jakości ścieków dopływających do poszczególnych reaktorów biologicznych SBR, wykonywanych w próbkach średniodobowych z wszystkich cykli danego reaktora w dobie, pobieranych z częstotliwością 2 razy w miesiącu roku 2019.

3.1.1. Ilość ścieków

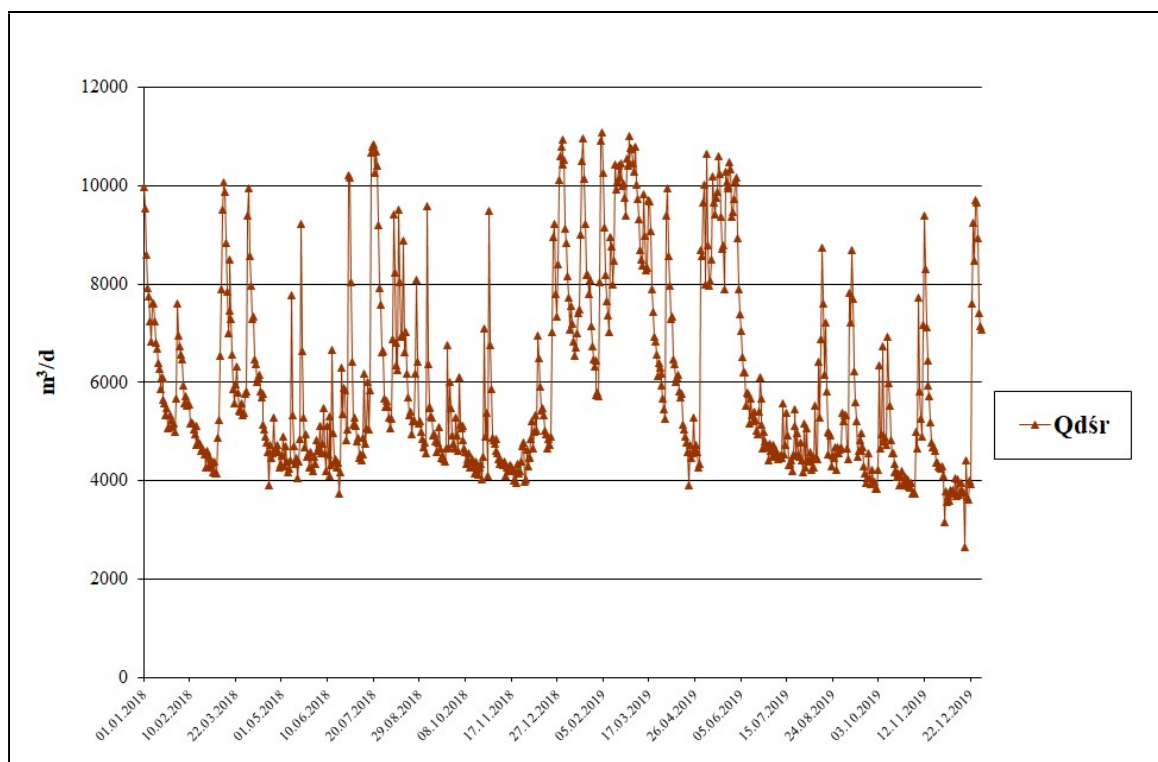
Charakterystyczne dla ilościowego dopływu ścieków do oczyszczalni w Rabce Zdroju są bardzo wyraźne wahania (rys. 3.1). Brak dokładnej inwentaryzacji systemu kanalizacji na terenie zlewni oczyszczalni utrudnia szacowanie udziału ścieków deszczowych i wód roztopowych w ogólnej ilości ścieków. Jednak przebieg zmienności dopływu wskazuje na ich istotny wpływ na bilans ilościowy ścieków.

Zmienność przepływu w analizowanym okresie oraz wartości charakterystyczne przepływów dobowych przedstawiono na wykresach 3.1 oraz zestawiono w tab.3.1, natomiast krzywe prawdopodobieństwa wystąpienia przepływów wraz z niższymi na rys. 3.2-3.4.

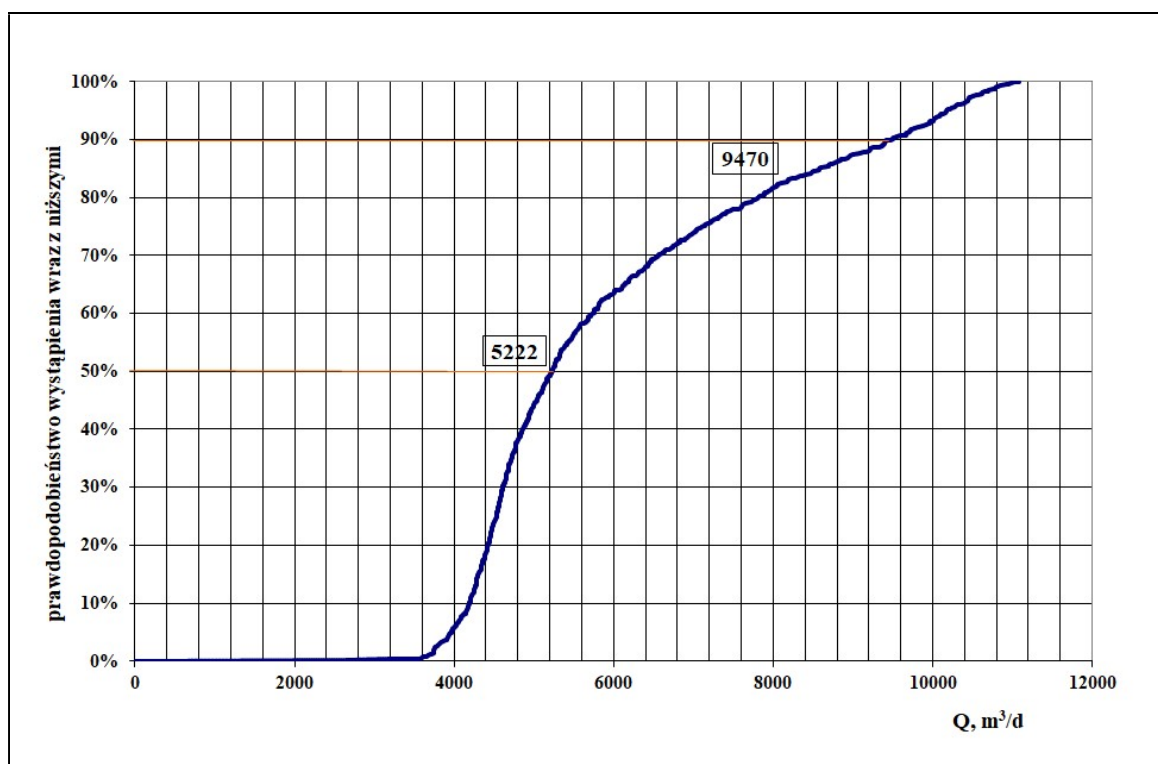
Średnia wartość przepływu ścieków z lat 2018-2019 wyniosła $Q_{d\bar{s}} = 6\,008 \text{ m}^3/\text{d}$, lecz wykazuje zróżnicowanie w kolejnych latach. Jest wyraźnie wyższa dla roku 2019, niż 2018 (o około 12 %), jednak wartości występujące wraz z niższymi z prawdopodobieństwem 50% dla tych lat są do siebie zbliżone, co świadczy o wystąpieniu większej ilości dni o bardzo wysokim przepływie w roku 2019.

Dobowe maksymalne przepływy są znacząco wyższe od wartości średnich, co przekłada się na nietypowo wysokie współczynniki nierównomierności dobowej, wynoszące $N_{d\max} = 1,7$ (rok 2019) oraz $N_{d\max} = 1,9$ (rok 2018). Maksymalny dobowy przepływ w analizowanym okresie wyniósł nieco powyżej $11\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, jednak wysokie wartości przepływów, wyższe od $8\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ wystąpiły stosunkowo często, szczególnie w pierwszej połowie 2019 roku. Jest to czynnik dodatkowo utrudniający eksploatację obiektów oczyszczalni.

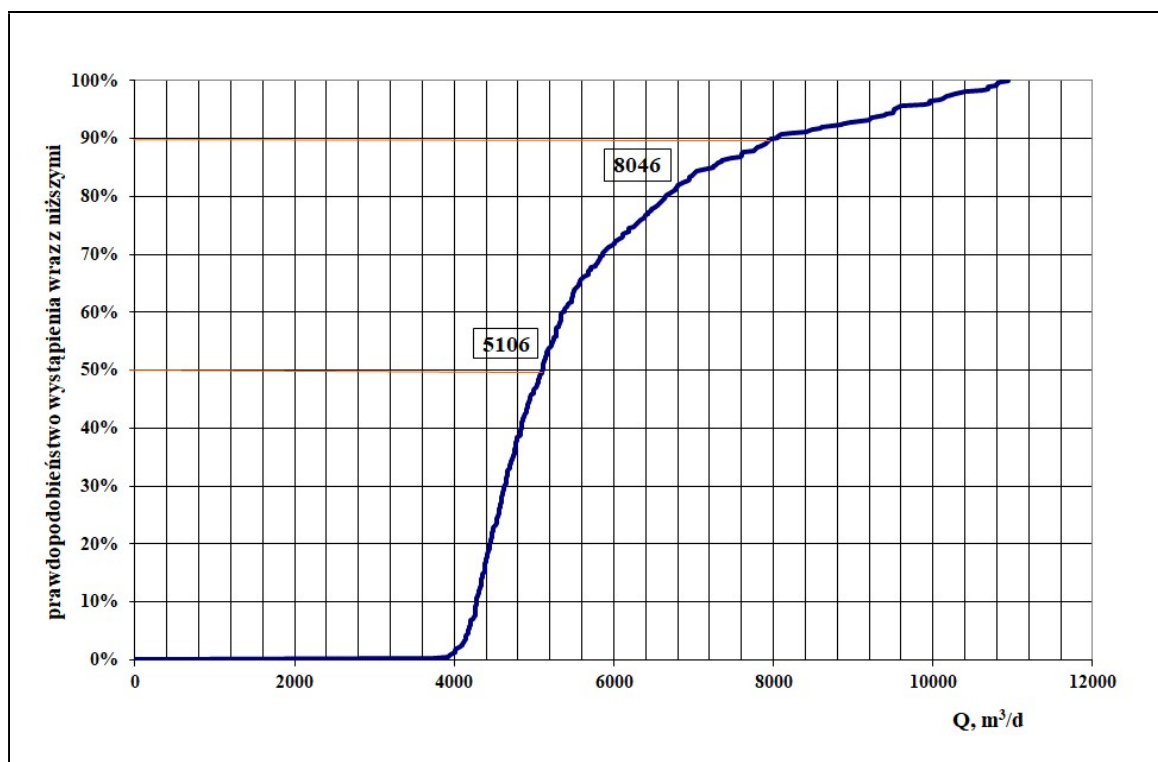
Występująca duża zmienność przepływów uwidacznia się wyraźnie na krzywych prawdopodobieństwa występowania wraz z niższymi (rys.3.2-3.4), które przybierają nietypowy kształt, z wypłaszczeniem już w okolicy prawdopodobieństwa równego 50%, szczególnie dla roku 2019. Duża częstotliwość występowania wysokich przepływów skutkuje tym, iż wartości przepływu dla prawdopodobieństwa występowania wraz z niższymi na poziomie 50% są znacząco niższe od wartości średnich.



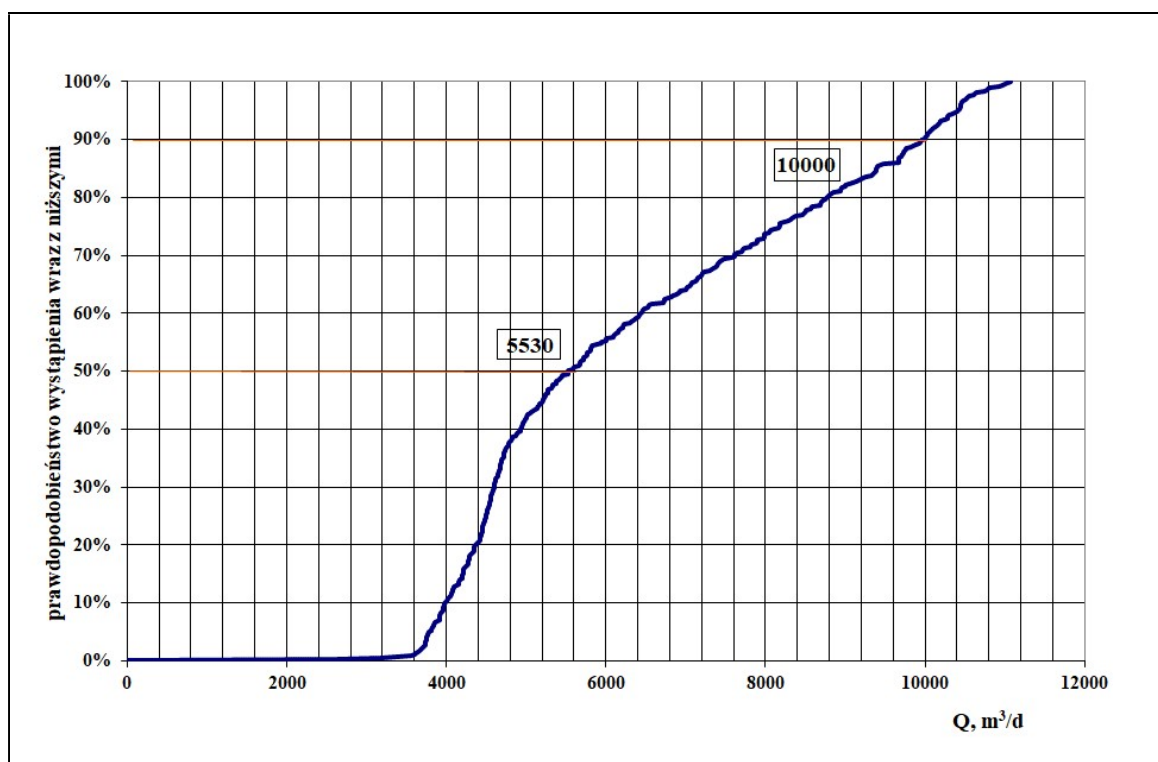
Rys.3.1. Zmienność ilości ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.2. Krzywa prawdopodobieństwa występowania $Q_{dśr}$ ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.3. Krzywa prawdopodobieństwa występowania Q_{dsr} ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w roku 2018



Rys.3.4. Krzywa prawdopodobieństwa występowania Q_{dsr} ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w roku 2019

*Tab.3.1. Wartości charakterystyczne przepływu dobowego
w oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju*

Wskaźnik	Qd [m ³ /d]		
	2018-19	2018	2019
Wartość średnia	6008	5670	6346
Odchylenie standardowe	1973	1618	2224
Maximum	11078	10940	11078
Minimum	2639	3746	2639
p = 50%	5222	5106	5530
p = 90 %	9470	8046	10000

3.1.2. Jakość ścieków dopływających do oczyszczalni

Na terenie oczyszczalni w Rabce-Zdroju wykonywane są analizy jakościowe ścieków surowych, jak również po mechanicznym oczyszczaniu, w rozdziale na poszczególne ciągi biologicznego oczyszczania – reaktory SBR1 i SBR2. Ze względu na pomiar ilościowy całości ścieków, bez ich rozdziału na poszczególne reaktory, miarodajne dla oceny charakterystyki ogólnej ścieków są wyniki analiz jakościowych w próbkach średniodobowych ścieków surowych, dla których możliwe jest określenie wielkości ładunków zanieczyszczeń dopływających. Analiza jakościowa ścieków surowych wykonywana jest z częstotliwością 2 razy w miesiącu, w zakresie obejmującym, poza głównymi wskaźnikami wynikającymi z pozwolenia wodnoprawnego, także formy azotu oraz fosforu, pH, zasadowość oraz chlorki i siarczany.

Związki organiczne i zawiesina ogólna

Wskaźniki charakteryzujące ilość zawiesiny oraz zanieczyszczeń organicznych podlegają, podobnie jak przepływ ścieków, bardzo wyraźnej zmienności (rysunki 3.5 i 3.7). Częściowo, wynika ona z rozcieńczenia ściekami deszczowymi w okresie występowania roztopów i deszczów, chociaż niewątpliwie uzdrowski i turystyczny charakter miejscowości ma duży wpływ na występujące wahania, zarówno ilości, jak i jakości ścieków.

Średnie stężenie zanieczyszczeń stałych (zawiesiny ogólne) jest na stosunkowo wysokim poziomie – 366 g/m³, na co wpływ ma duża ilość zawiesin niesionych przez opady dopływające do kanalizacji. Na czynnik ten wskazuje również nietypowo wysoki dla ścieków komunalnych stosunek Zog/BZT₅, który w odniesieniu do wartości średnich jest równy 1,4, ale podlega wahaniom od 0,8 do 2,2.

Tab.3.2. Wartości średnie stężenia głównych wskaźników zanieczyszczeń: związków organicznych i zawiesiny w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju, w latach 2018-19

Wskaźnik	BZT ₅		ChZT		Zog	
	S [g O ₂ /m ³]	Ł [kg O ₂ /d]	S [g O ₂ /m ³]	Ł [kg O ₂ /d]	S [g/m ³]	Ł [kg/d]
2018-19						
Wartość średnia	262	1452	557	3058	366	2003
Odchylenie standardowe	77	344	199	877	163	752
Maximum	450	2195	1198	5408	1010	4559
Minimum	120	740	231	1289	123	821
p = 50%	-	1468	-	2954	-	1914
p = 90 %	-	1835	-	4103	-	2870
2018						
Wartość średnia	291	1487	614	3117	380	1928
Odchylenie standardowe	60	262	161	643	129	569
Maximum	390	2024	904	4404	672	2962
Minimum	200	1028	320	1823	170	995
2019						
Wartość średnia	234	1416	499	3000	352	2079
Odchylenie standardowe	82	414	219	1074	193	906
Maximum	450	2195	1198	5408	1010	4559
Minimum	120	740	231	1289	123	821
RLM						
24 200						

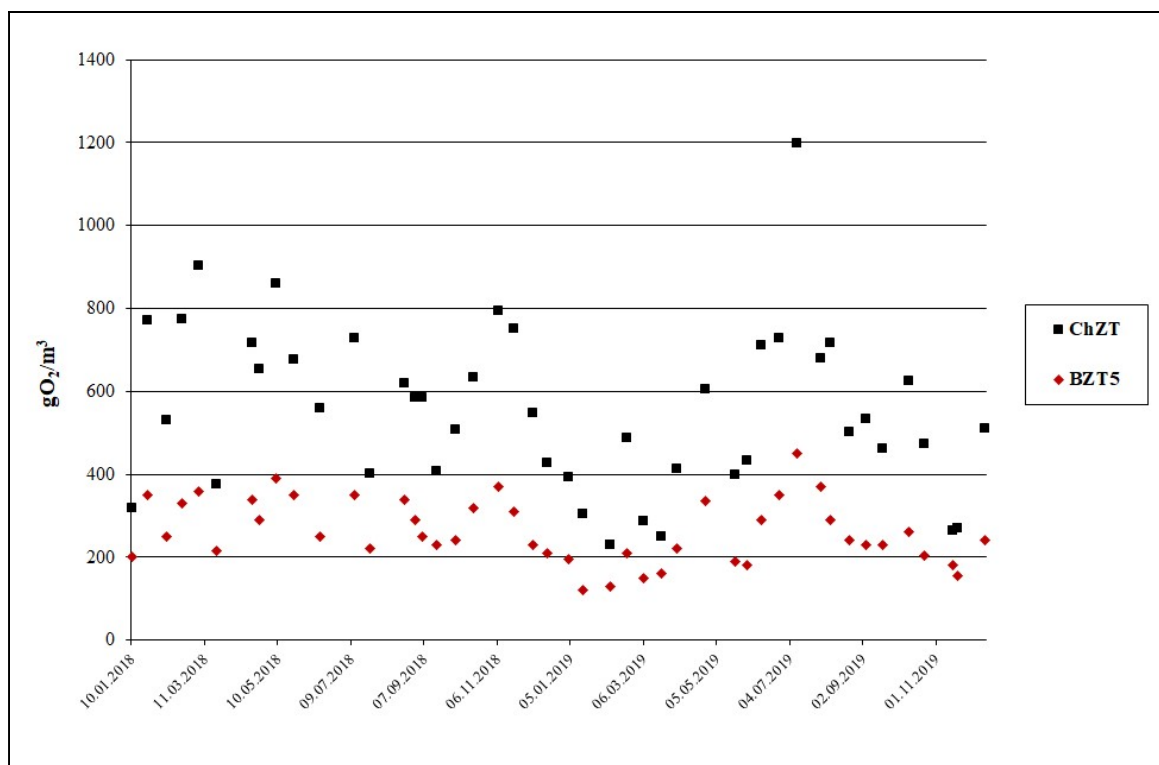
Z kolei, średnie stężenie BZT₅ (262 g/m³) jest trochę niższe od obserwowanych w typowych ściekach komunalnych, co wynika z rozcieńczenia ścieków w dni deszczowe. Zmienność wskaźników związanych z zawartością związków organicznych jest znaczna i wyraźnie podobna do zmienności stężenia zawiesiny. Wyraźna różnica pomiędzy stężeniami wszystkich wskaźników w roku 2018 (wyższe stężenia przy obserwowanych

niższych przepływach) oraz roku 2019, w sposób jednoznaczny potwierdzają duży wpływ rozcieńczenia ścieków wodami opadowymi na charakter ścieków dopływających.

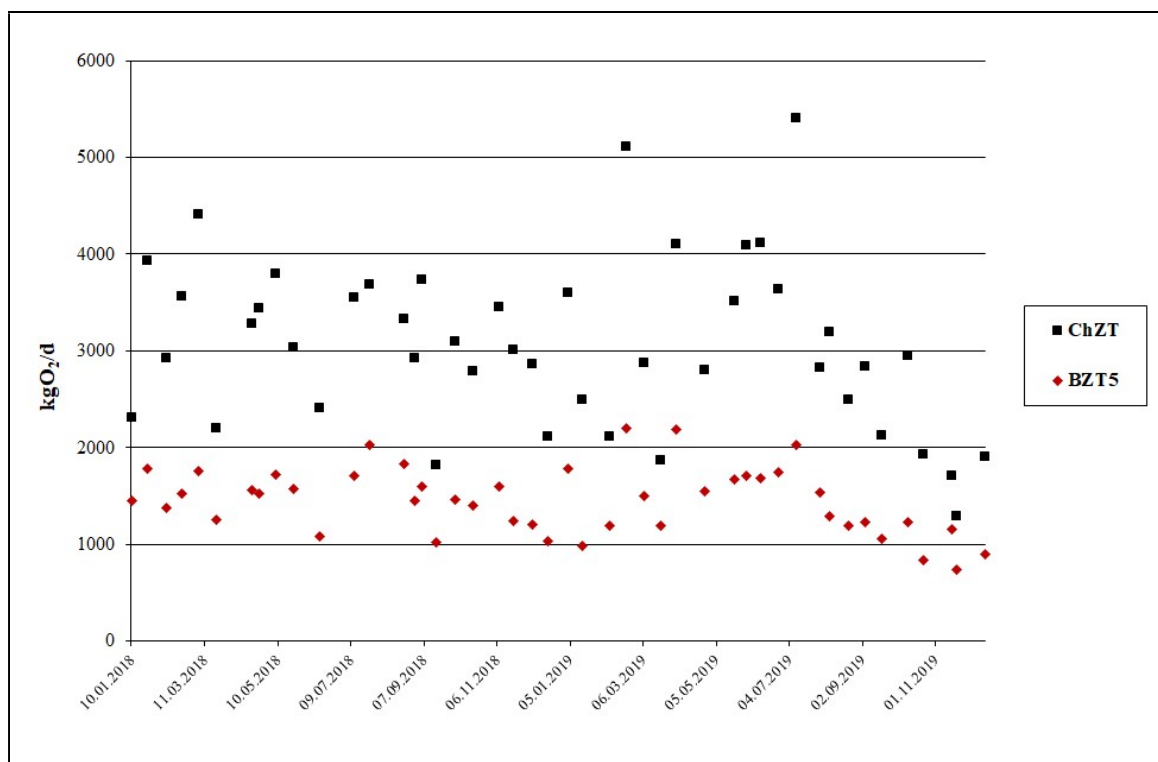
Stosunek ChZT/BZT_5 , ze średnią wartością na poziomie 2,1, wskazuje na zwiększony udział substancji organicznych trudno rozkładalnych biologicznie, a duża zmienność tej relacji (w zakresie 1,5 - 2,7) na incydentalne dopływy ścieków o charakterze przemysłowym.

Zmienność ładunków zanieczyszczeń jest mniejsza, niż obserwowana w przypadku stężeń zanieczyszczeń, ale również znacząca (rys. 3.6 i 3.8). Krzywe prawdopodobieństwa wystąpienia wraz z niższymi średniego dobowego ładunku BZT_5 , ChZT i zawiesiny ogólnej oraz odczytane z nich wartości charakterystyczne przedstawiono na rys. 3.9, a najważniejsze wartości parametrów określające ilość zanieczyszczeń stałych i organicznych w ściekach zebrano w tabeli 3.2.

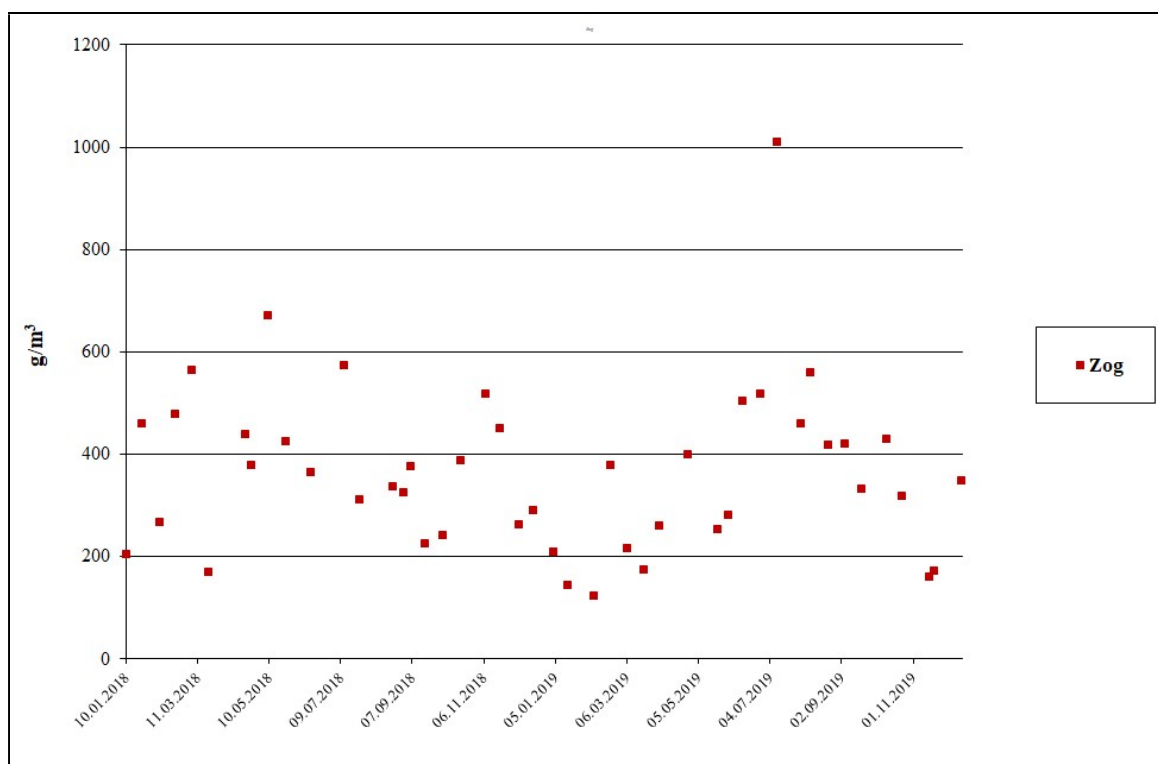
RLM, wyliczona w odniesieniu do wartości średniej ładunku z analizowanego okresu wynosi 24 200, natomiast w odniesieniu do ładunku występującego wraz z niższymi na poziomie 85 %, $\text{RLM}_{85\%} = 29\,200$.



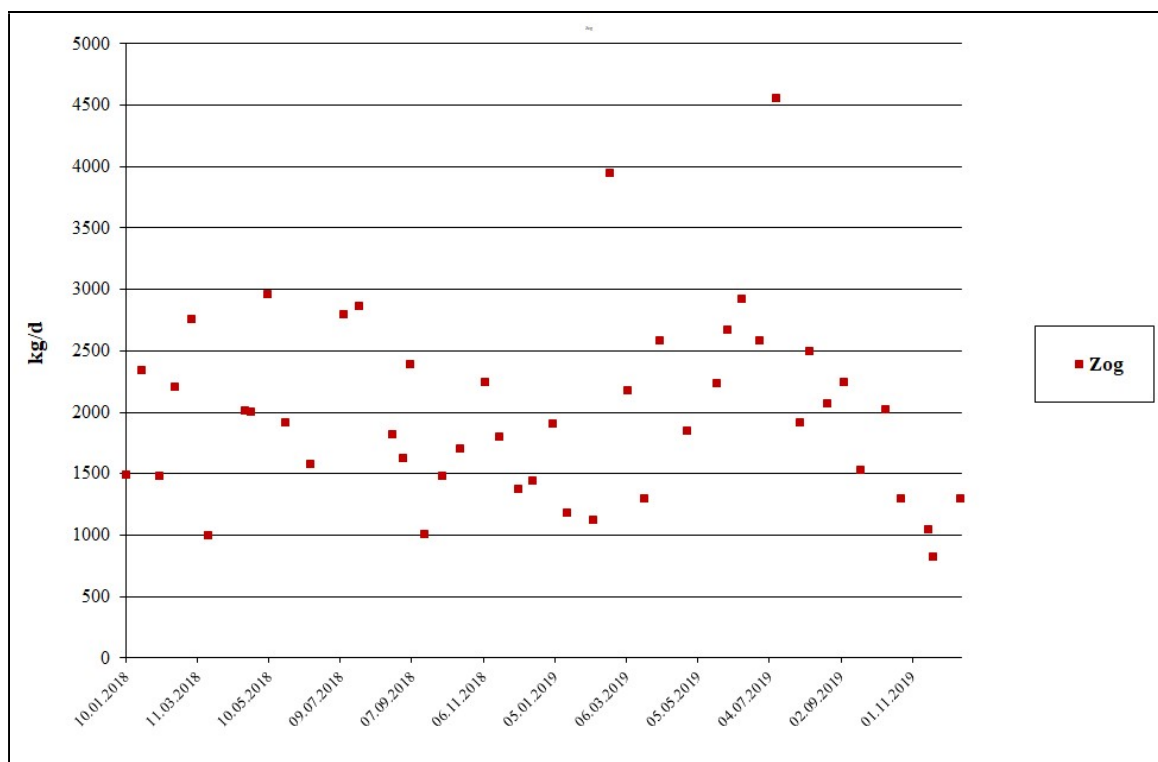
Rys.3.5. Zmienność stężenia BZT_5 i ChZT w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



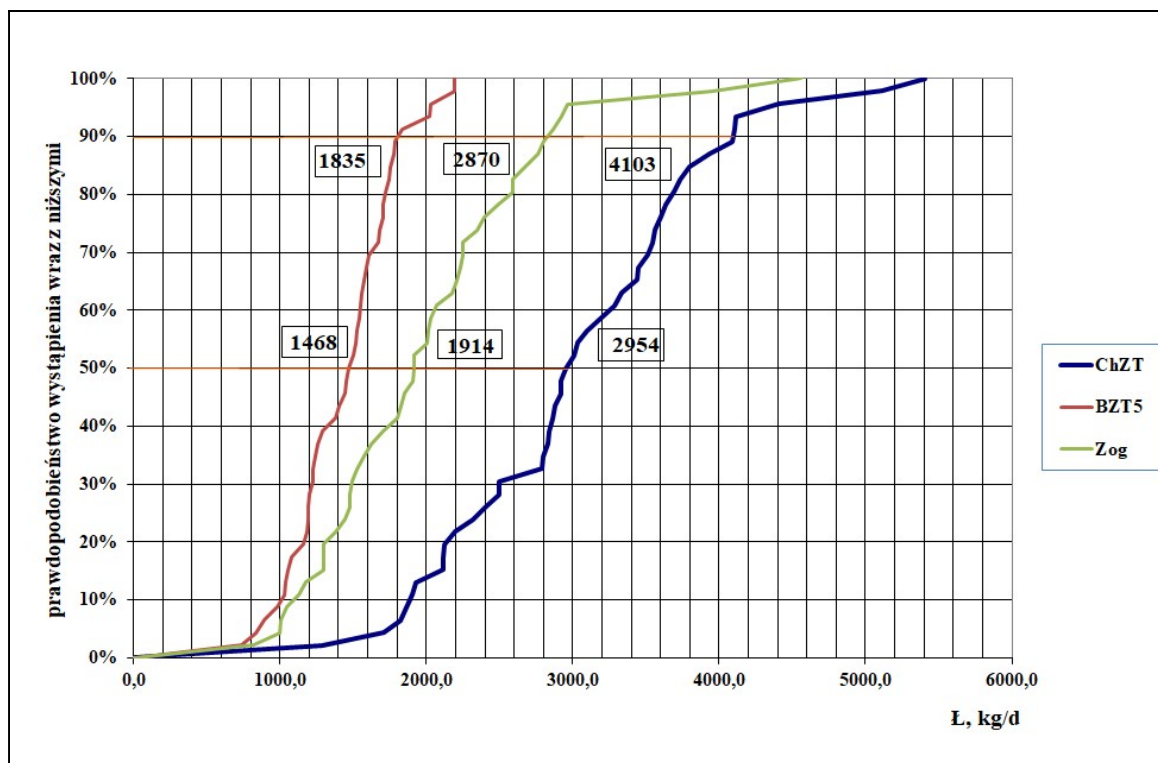
Rys.3.6. Zmienność ładunku BZT₅ i ChZT w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.7. Zmienność stężenia Z_{og} w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.8. Zmienność ładunku Z_{og} w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.9. Krzywe prawdopodobieństwa występowania ładunku $ChZT$, BZT_5 i Z_{og} w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

Związki azotu i fosforu

W przypadku zawartości związków biogenych w ściekach surowych obserwuje się zdecydowanie niższe wartości, niż w typowych ściekach komunalnych. W odniesieniu do stosunkowo typowych zawartości związków organicznych, stwarza to korzystne warunki dla procesów biologicznego usuwania azotu i fosforu, z punktu widzenia dostępności substratu organicznego. Zmienność stężenia związków biogenych jest znaczna (rys. 3.10 i 3.12), porównywalna do poziomu zmienności pozostałych wskaźników, podobnie w przypadku ładunków tych zanieczyszczeń (rys. 3.11 i 3.13).

Średnie stężenie azotu ogólnego wynosi dla analizowanego okresu $N_{og} = 38,5 \text{ g/m}^3$, natomiast fosforu ogólnego $P_{og} = 5,93 \text{ g/m}^3$. W przypadku średnich wartości stężenia związków azotu, tak jak w przypadku zawiesin oraz związków organicznych, widoczna jest różnica pomiędzy latami 2018 (zdecydowanie wyższe stężenia) oraz 2019, jednak ładunki azotu ogólnego w tych latach są praktycznie równe, co ponownie wskazuje na efekt rozcieńczenia.

Wartość średnia BZT_5/N_{og} wyniosła 7,0, jednak przy bardzo dużych wahanach w zakresie 3,3 – 10,8, co okresowo może powodować niedobory substratu dla procesu denitryfikacji. Należy pamiętać, że korzystny w tym kontekście, jest brak osadników wstępnych w układzie technologicznym oczyszczalni, co powoduje iż w części mechanicznej relacja BZT_5 do zawartości związków biogenych nie pogarsza się, jak w typowych układach z sedymentacją wstępną.

Relacja zawartości związków fosforu i wartości BZT_5 jest również bardzo korzystna dla procesów biologicznego oczyszczania i wynosi średnio $BZT_5/P_{og} = 46,2$ (wahania w zakresie 24,8 – 68,6).

Stosunkowo duży udział w ogólnej zawartości azotu w ściekach stanowi azot organiczny (średnio 47%), co przy braku sedymentacji wstępnej skutkuje przeniesieniem procesu amonifikacji całego ładunku N_{org} do reaktorów biologicznych.

Krzywe prawdopodobieństwa wystąpienia wraz z niższymi dla średniego dobowego ładunku azotu ogólnego i fosforu ogólnego oraz odczytane z nich wartości charakterystyczne przedstawiono na rys. 3.14, a najważniejsze wartości parametrów określające ilość zanieczyszczeń biogenych w ściekach zebrano w tabelach 3.3-3.4.

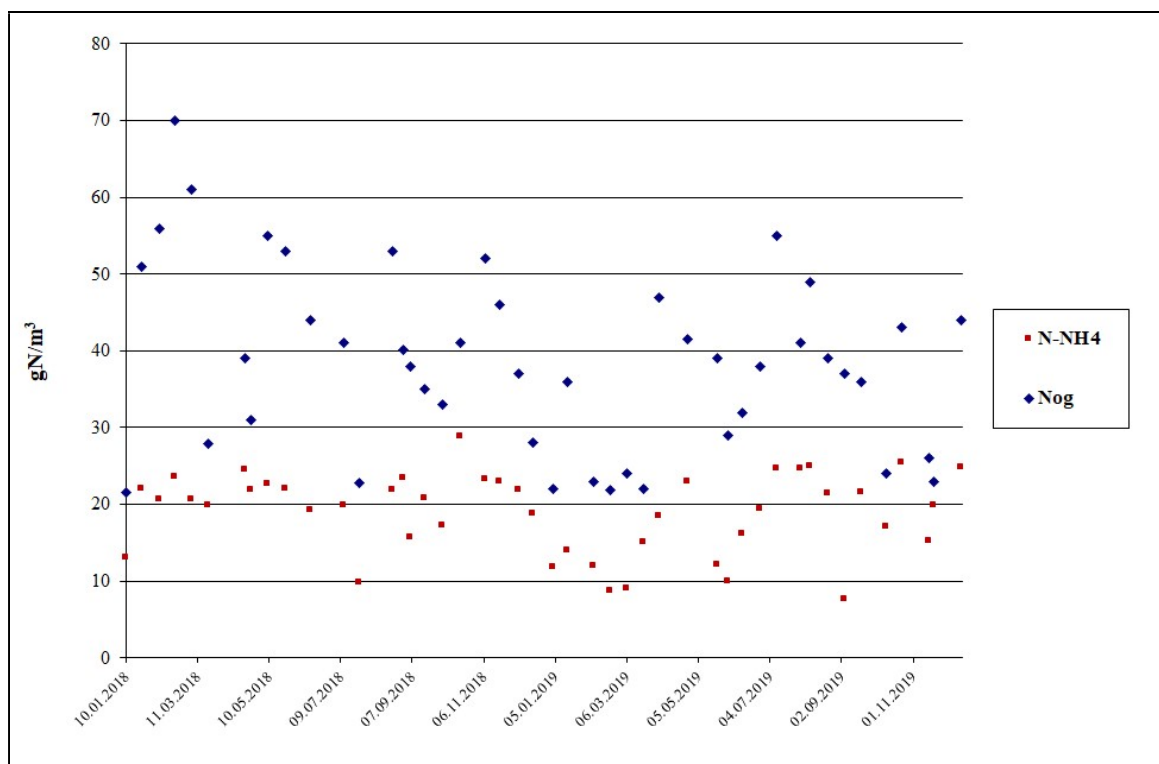
Tab.3.3. Wartości charakterystyczne stężenia i ładunku związków azotu w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

	Nog		N-NH4	N-NO3	N-NO2
Wskaźnik	S [g N/m³]	Ł [kg N/d]	S [g N/m³]		
2018-19					
Wartość średnia	38,5	214,2	18,9	0,41	0,088
Odchylenie standardowe	11,9	64,9	5,2	0,32	0,072
Maximum	70,0	468,0	28,8	1,42	0,380
Minimum	21,6	109,8	7,7	0,11	0,005
p = 50%	-	197,1	-	-	-
p = 90 %	-	297,2	-	-	-
2018					
Wartość średnia	42,5	214,8	20,6	0,36	0,090
Odchylenie standardowe	12,5	52,1	3,9	0,21	0,060
Maximum	70,0	322,7	28,8	0,91	0,232
Minimum	21,6	138,6	9,8	0,11	0,009
2019					
Wartość średnia	34,4	213,7	17,3	0,46	0,086
Odchylenie standardowe	9,9	76,9	5,9	0,40	0,083
Maximum	55,0	468,0	25,5	1,42	0,380
Minimum	21,8	109,8	7,7	0,20	0,005

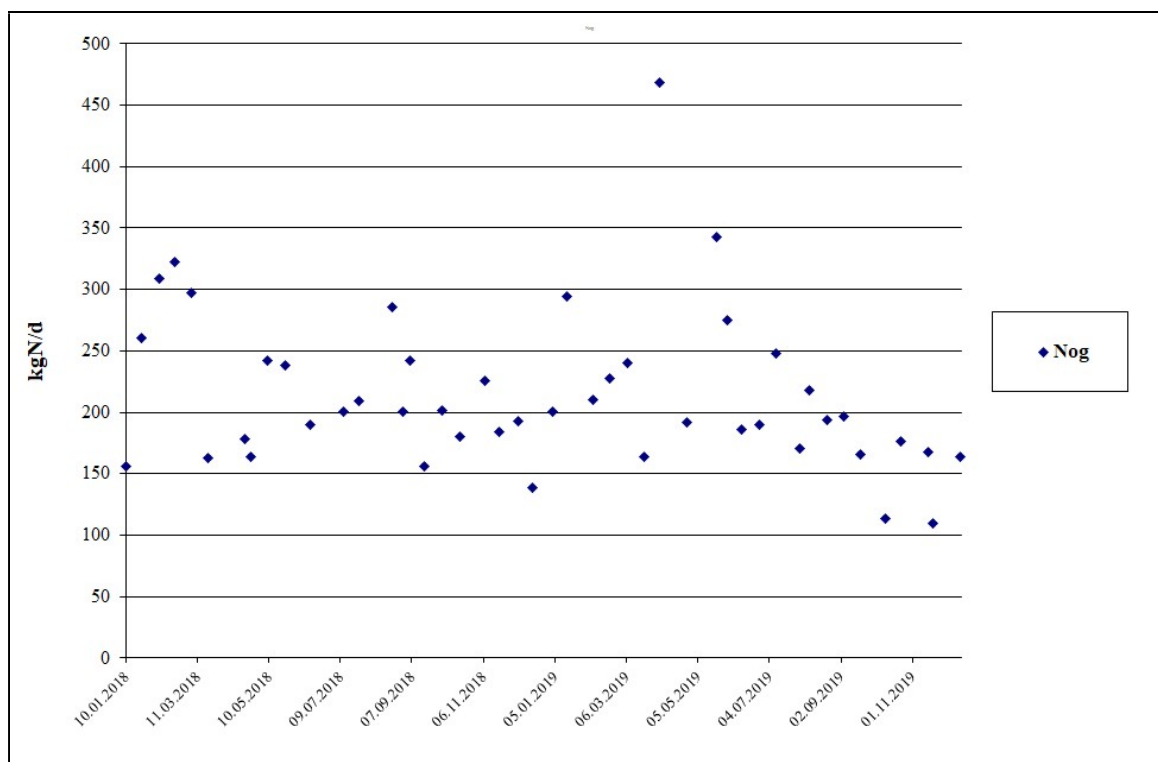
Tab.3.4. Wartości charakterystyczne stężenia i ładunku związków fosforu w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

	Pog		P-PO4
Wskaźnik	S [g P/m³]	Ł [kg P/d]	S [g P /m³]
2018-19			
Wartość średnia	5,93	32,6	1,93
Odchylenie standardowe	2,33	10,6	0,66
Maximum	15,40	69,5	3,65
Minimum	2,26	13,9	0,79
p = 50%	-	31,4	-
p = 90 %	-	46,1	-
2018			
Wartość średnia	6,11	31,5	2,27
Odchylenie standardowe	1,59	9,0	0,58
Maximum	9,65	57,8	3,65
Minimum	3,26	18,6	1,15

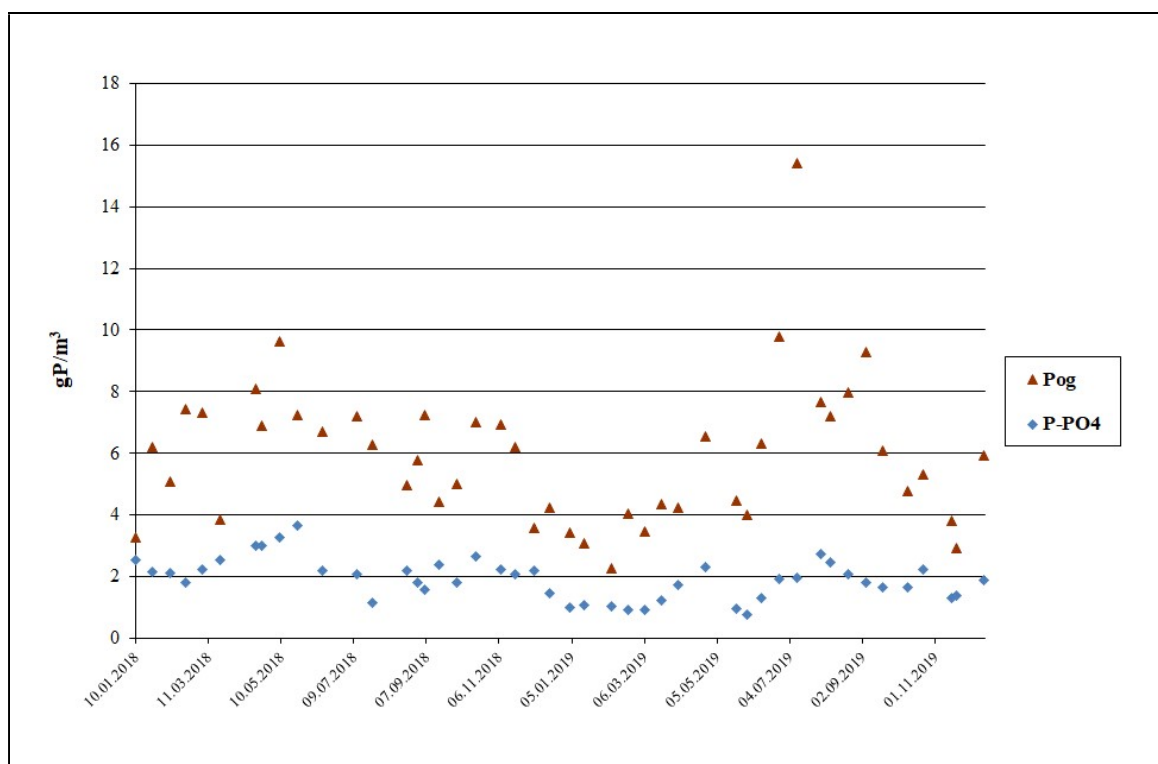
2019			
Wartość średnia	5,75	33,8	1,59
Odchylenie standardowe	2,92	12,0	0,56
Maximum	15,40	69,5	2,74
Minimum	2,26	13,9	0,79



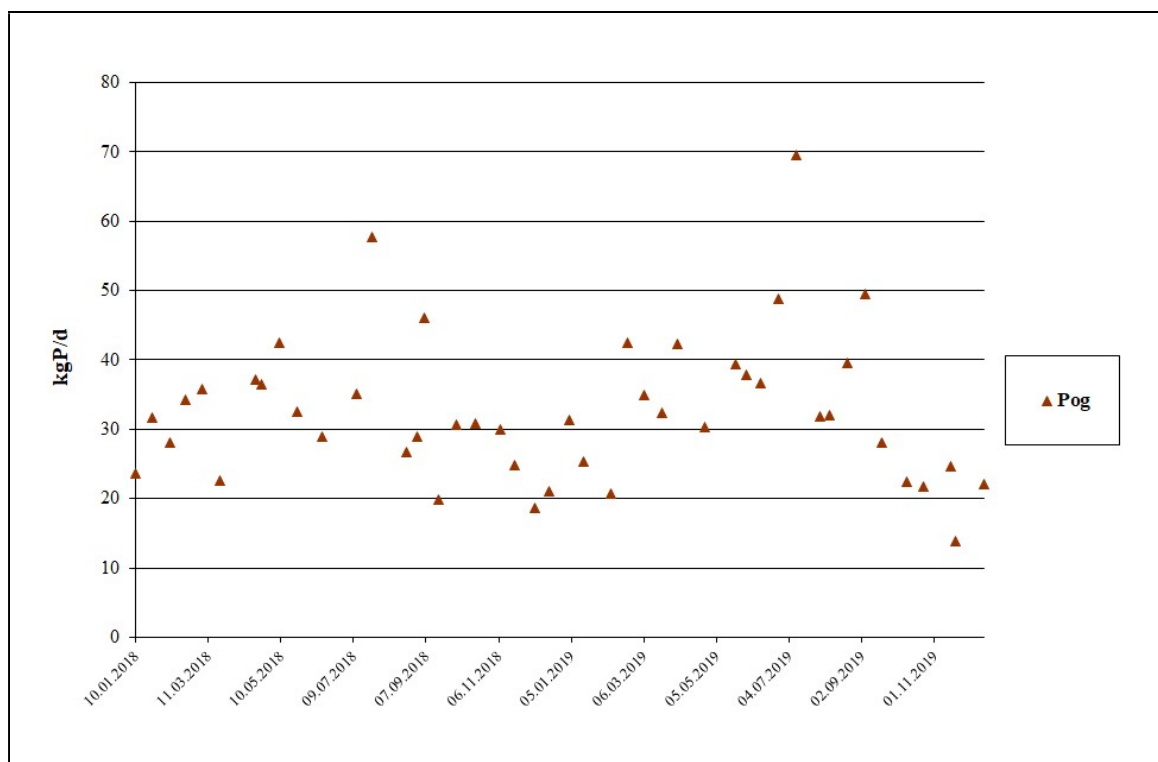
Rys.3.10. Zmienność stężenia azotu w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



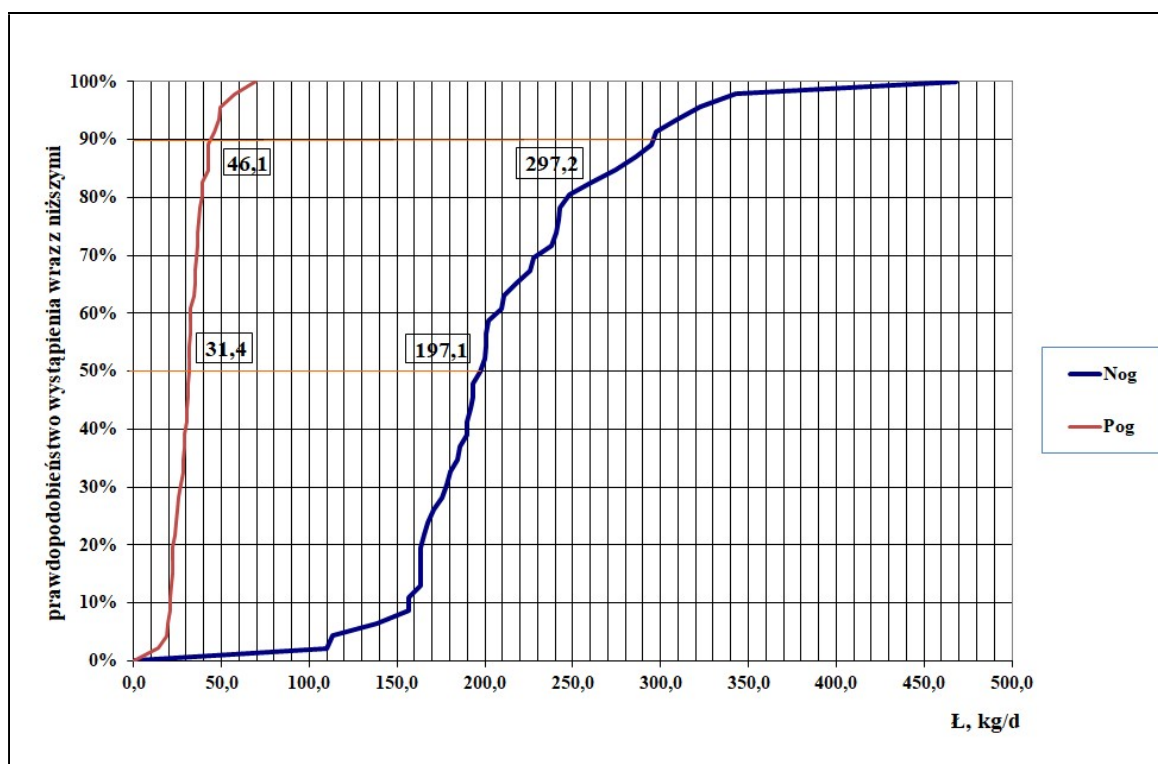
Rys.3.11. Zmienność ładunku azotu ogólnego w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.12. Zmienność stężenia fosforu ogólnego w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.13. Zmienność ładunku fosforu ogólnego w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

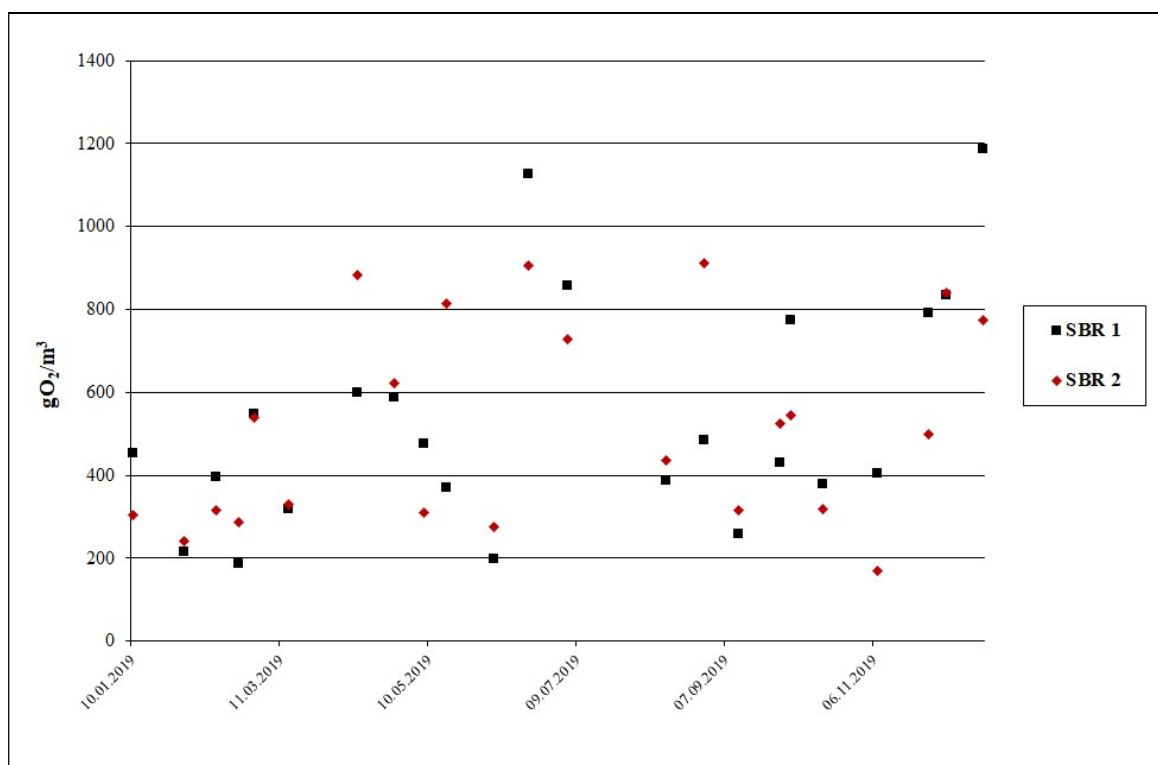


Rys.3.14. Krzywe prawdopodobieństwa występowania ładunku N_{og} i P_{og} w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

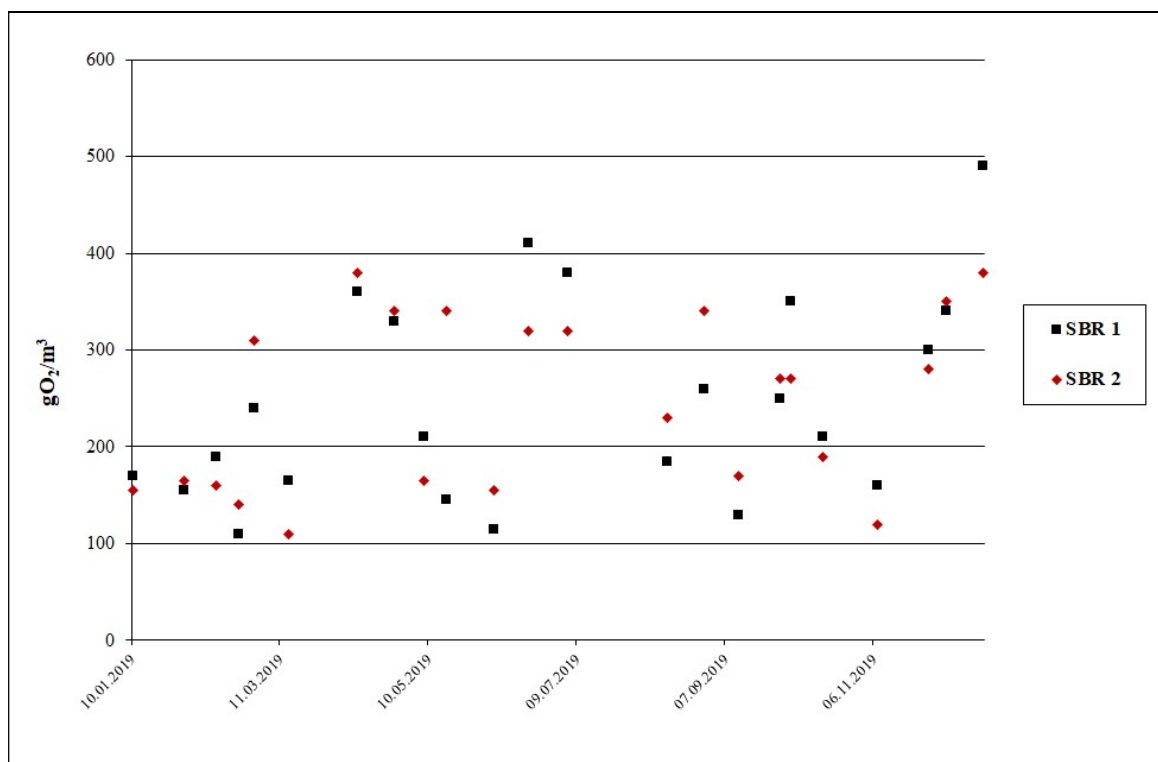
3.2. Jakość ścieków dopływających do reaktorów

Jakość ścieków w dopływie do części biologicznej charakteryzuje bardzo wyraźna zmienność (rys. 3.15 - 3.19), dotycząca wszystkich charakteryzowanych wskaźników jakościowych. Brak zbiornika retencyjnego oraz osadników wstępnych, które mogłyby zapewnić częściową retencję ścieków, powoduje, że nierównomierność ilości i jakości ścieków przenosi się do reaktorów biologicznych.

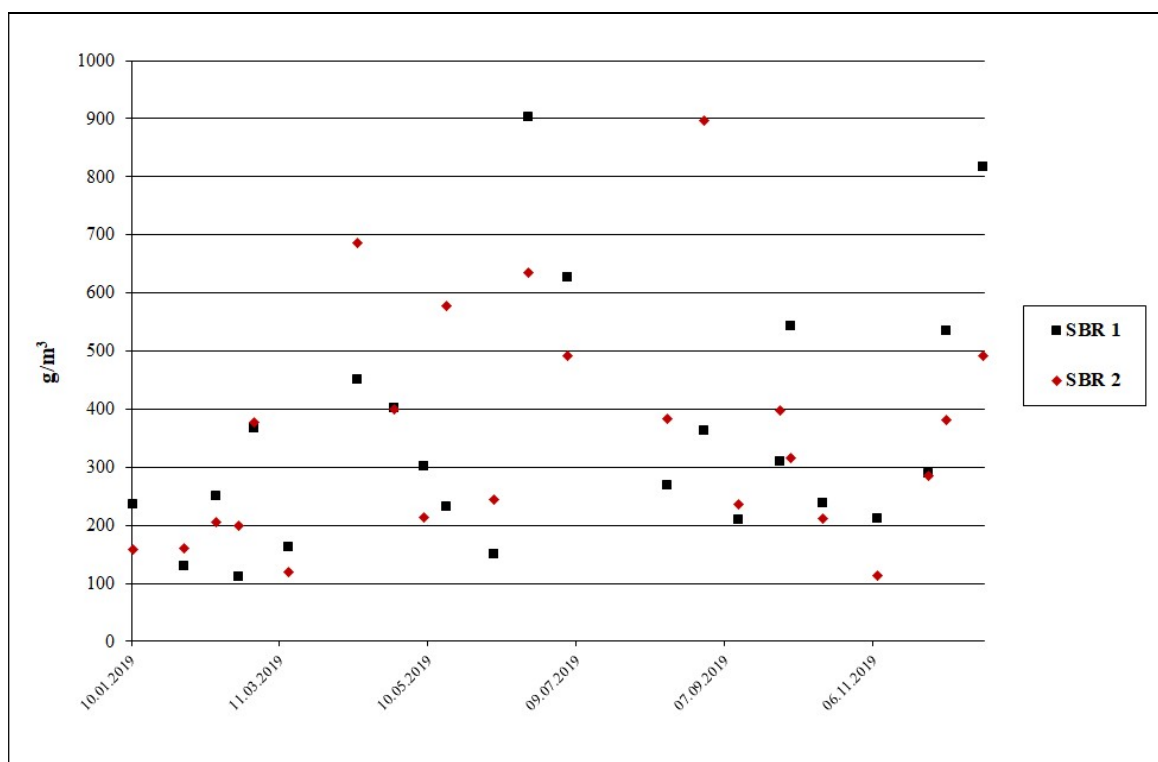
Wyniki badań wskazują, iż warunki pracy obydwu reaktorów są znacząco odmienne. Obserwowane różnice jakości ścieków dopływających do obu reaktorów utrudniają stabilne eksploatowanie oczyszczalni. Brak możliwości określania stopnia rozdziału ilości dopływających ścieków pomiędzy reaktory uniemożliwia porównanie wartości ładunków zanieczyszczeń dopływających do poszczególnych SBR-ów.



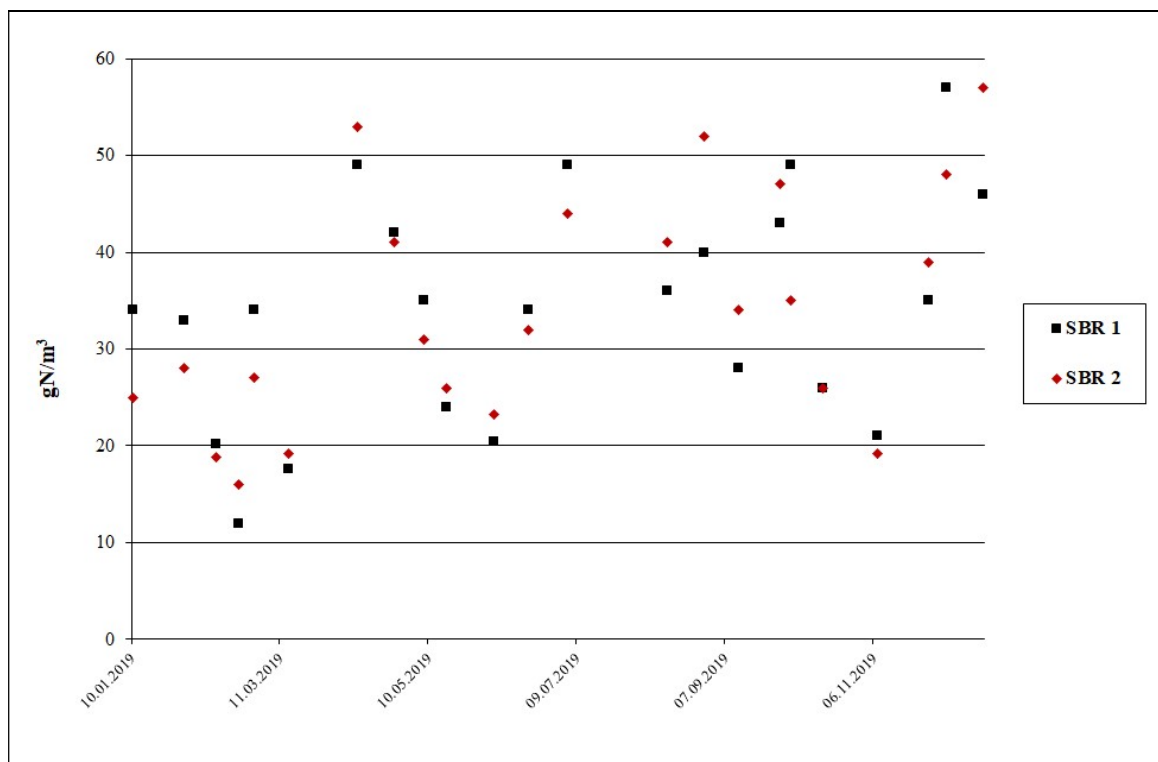
Rys.3.15. Zmienność stężenia ChZT w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w oczyszczalni Rabka-Zdrój w roku 2019



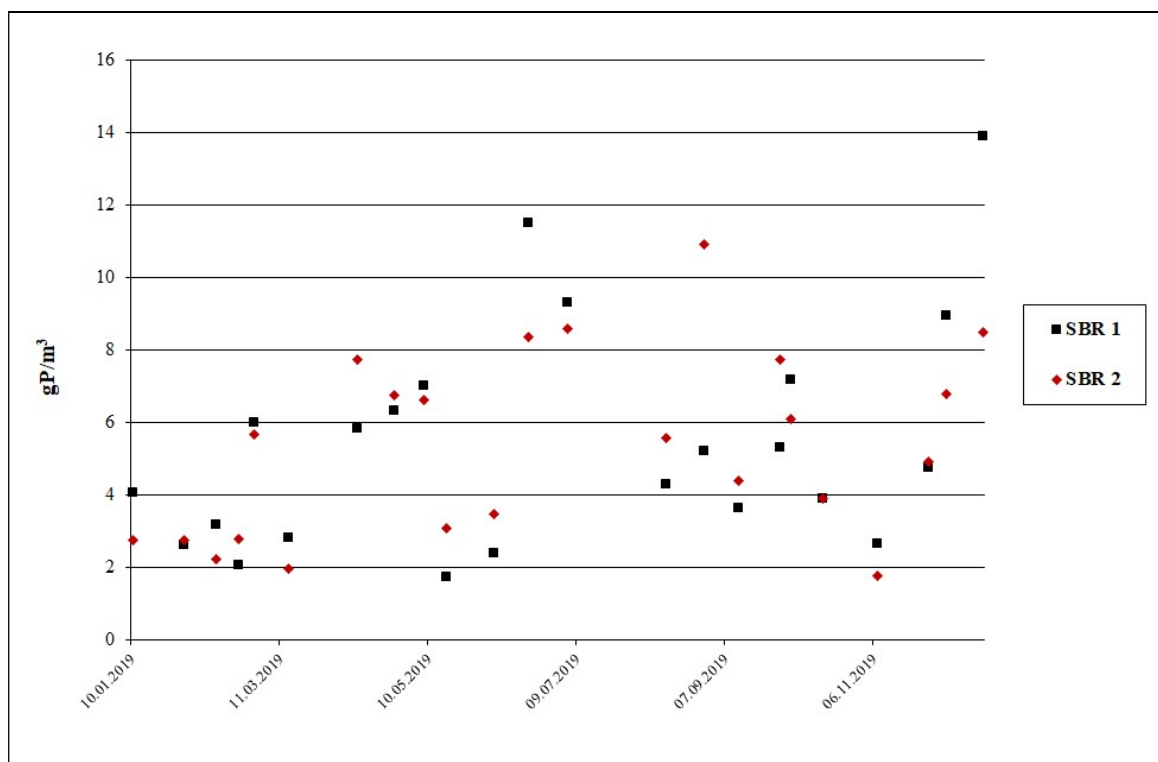
Rys.3.16. Zmienność stężenia BZT₅ w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w oczyszczalni Rabka-Zdrój w roku 2019



Rys.3.17. Zmienność stężenia Zog w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w oczyszczalni Rabka-Zdrój w roku 2019



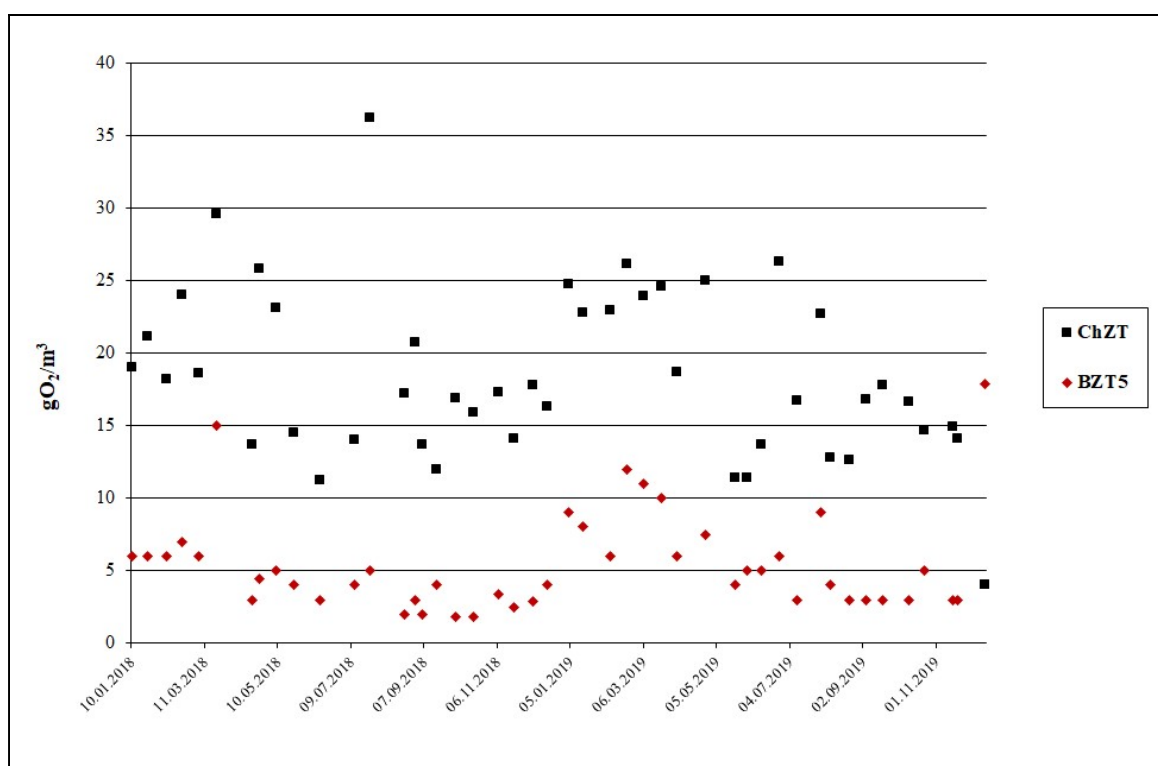
Rys.3.18. Zmienność stężenia Nog w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w oczyszczalni Rabka-Zdrój w roku 2019



Rys.3.19. Zmienność stężenia Pog w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w oczyszczalni Rabka-Zdrój w roku 2019

3.3. Charakterystyka jakościowa ścieków oczyszczonych

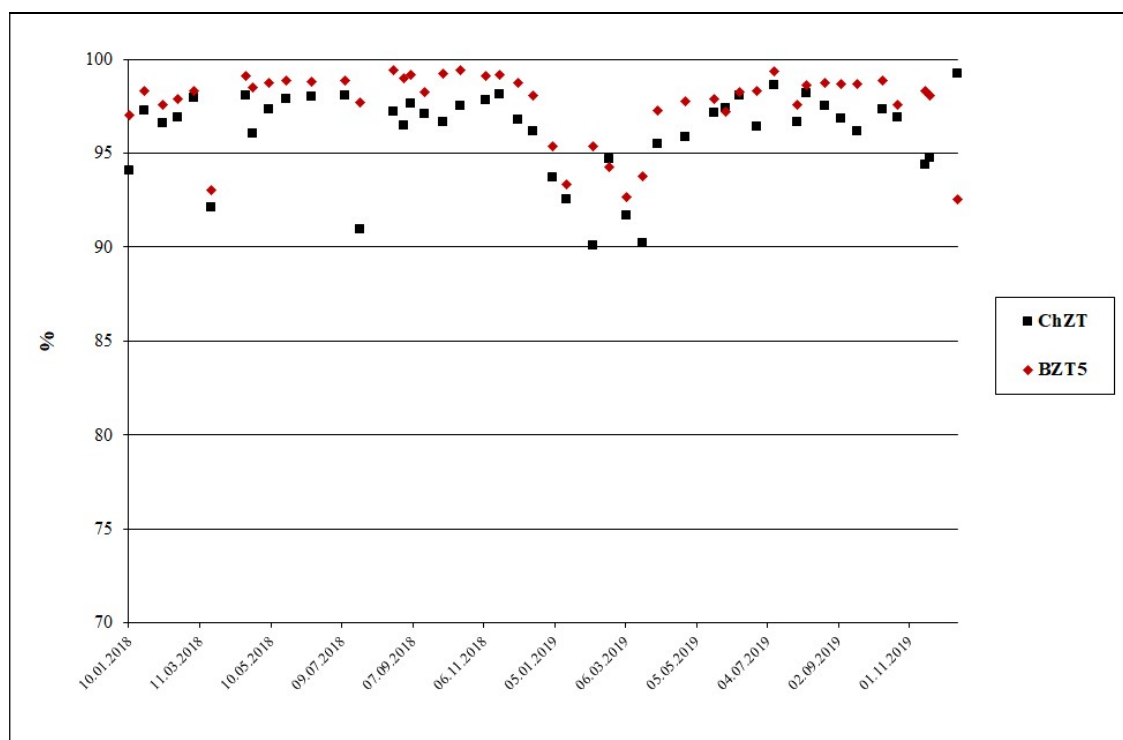
Wyniki analizy statystycznej dotyczącej jakości ścieków oczyszczonych zebrano w tab.3.5, natomiast zmienność stężenia zanieczyszczeń w odpływie przedstawiono na rysunkach 3.20, 3.22, 3.24 i 3.26. Równoległa analiza ścieków surowych oraz oczyszczonych pozwala na określenie efektywności oczyszczania, którą przedstawiono na rysunkach 3.21, 3.23, 3.25 oraz 3.27. Częstotliwość wykonywania analiz ścieków oczyszczonych jest taka, jak ścieków surowych - 2 razy w miesiącu.



Rys.3.20. Zmienność stężenia BZT₅ i ChZT w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

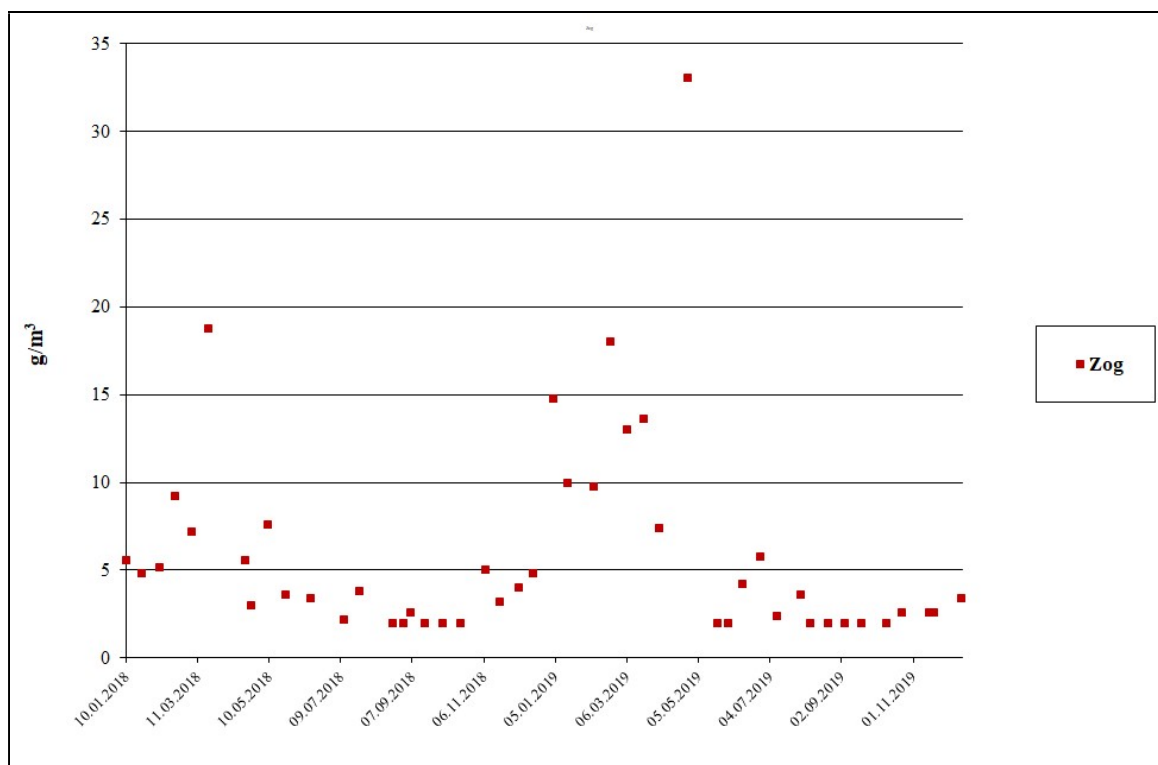
Usuwanie związków organicznych zachodzi z dużą efektywnością, co jest istotne szczególnie w przypadku ChZT, którego stężenie w ściekach surowych jest na stosunkowo wysokim poziomie. Stężenie ChZT w odpływie waha się, ale w niewielkim zakresie, z maksymalną wartością na poziomie 36,2 gO₂/m³, co jest wartością zdecydowanie niższą od wartości granicznej. Tylko jednokrotnie w ciągu obserwowanego okresu stężenie ChZT było wyższe od 30 gO₂/m³, a wartość średnia wyniosła zaledwie 18,1 gO₂/m³. Efektywność usuwania ChZT, pomimo niewielkich, incydentalnych wahań, nie spada poniżej 90 %, co

jest wartością dużo wyższą od zapisanej w obowiązujących przepisach. W przypadku BZT₅ efektywność usuwania jest jeszcze wyższa, z minimalną wartością na poziomie 92,7 % i wartością średnią na poziomie 97,8 %. Takie wysokie efektywności usuwania, przy jednocześnie stosunkowo niskim stężeniu tego wskaźnika w ściekach surowych skutkują niskimi stężeniami w ściekach oczyszczonych, ze średnią wartością na poziomie 5,1 gO₂/m³. Jednokrotnie, osiągnięta została wartość graniczna 15 gO₂/m³, ale nigdy nie zaobserwowano jej przekroczenia.

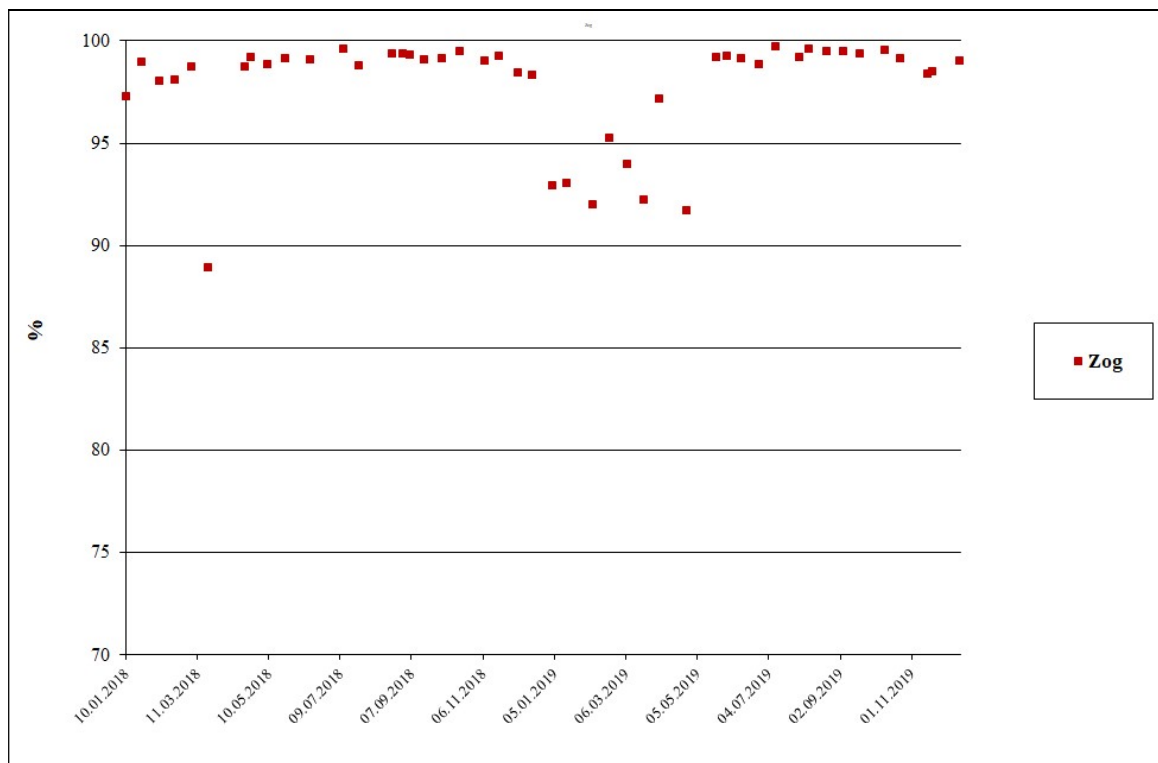


Rys.3.21. Zmienność efektywności usuwania BZT₅ i ChZT w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

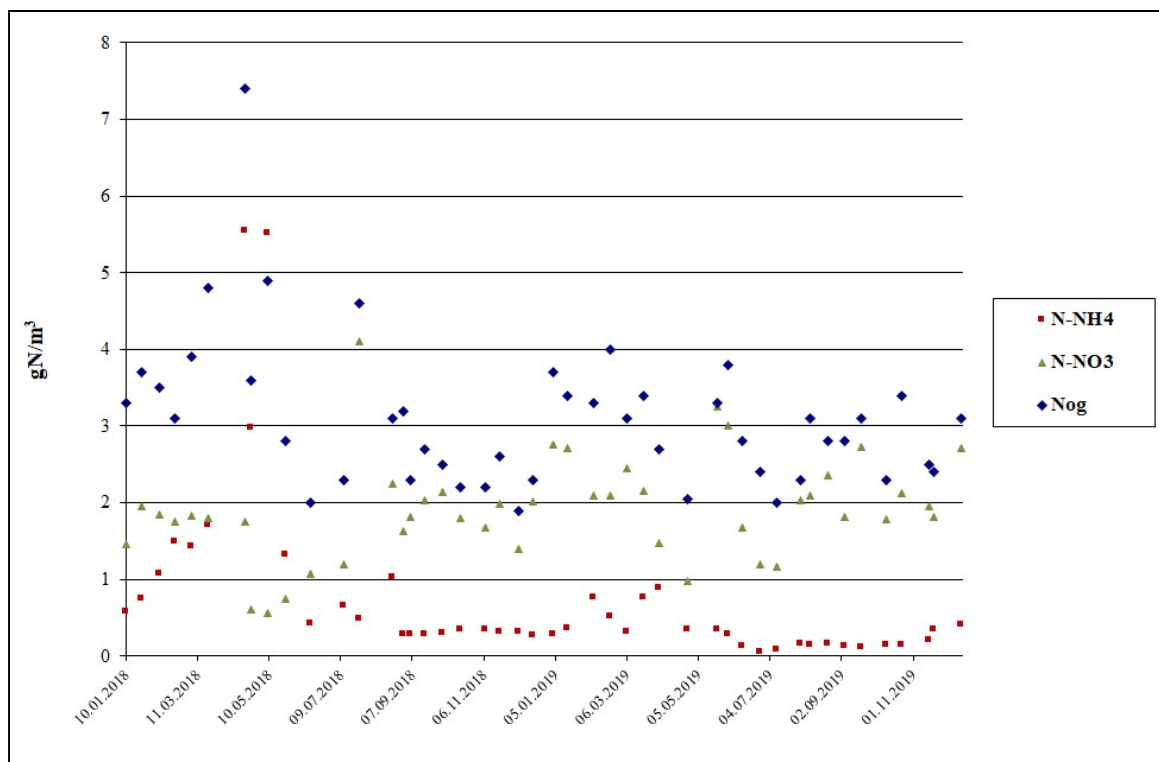
Stężenie zawiesiny, w większości analizowanego okresu, utrzymuje się na bardzo niskim poziomie, poniżej 5 g/m³, co świadczy o utrzymywaniu właściwego indeksu osadu. Incydentalnie jednak, obserwuje się pogorszenie jakości odpływu pod kątem zawiesin, na co wpływ mają z pewnością, sygnalizowane przez Eksploatatora obiektu, problemy eksploatacyjne z pracującymi w reaktorach SBR dekanterami i zasysaniem osadu do odpływu w fazie dekantacji. Pomimo okresowych problemów w pracy dekanterów, wartość średnia stężenia zawiesin w odpływie kształtuje się na poziomie 5,9 g/m³, a efektywność usuwania zawiesin na poziomie 97,9 %. W okresie spadku efektywności usuwania części stałych efektywność spada znacząco, w jednym z przypadków zaobserwowano wartość poniżej 90%.



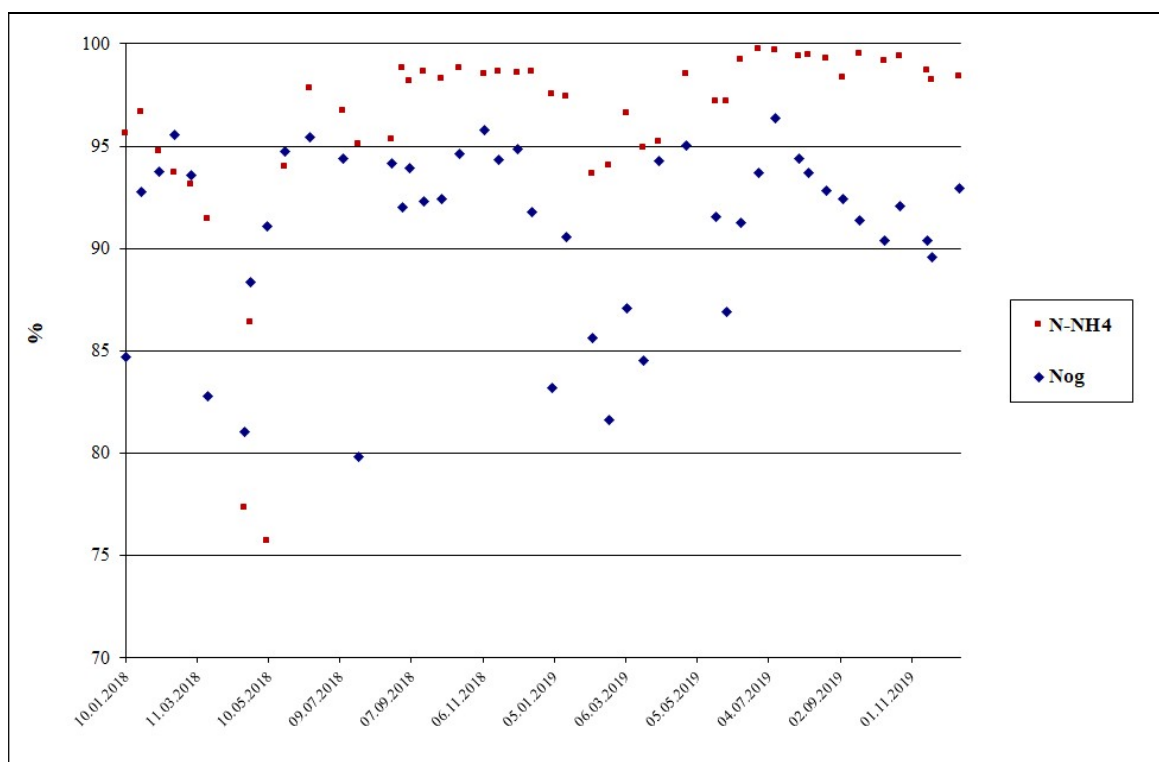
Rys.3.22. Zmienność stężenia Z_{og} w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.23. Zmienność efektywności usuwania zawiesin w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

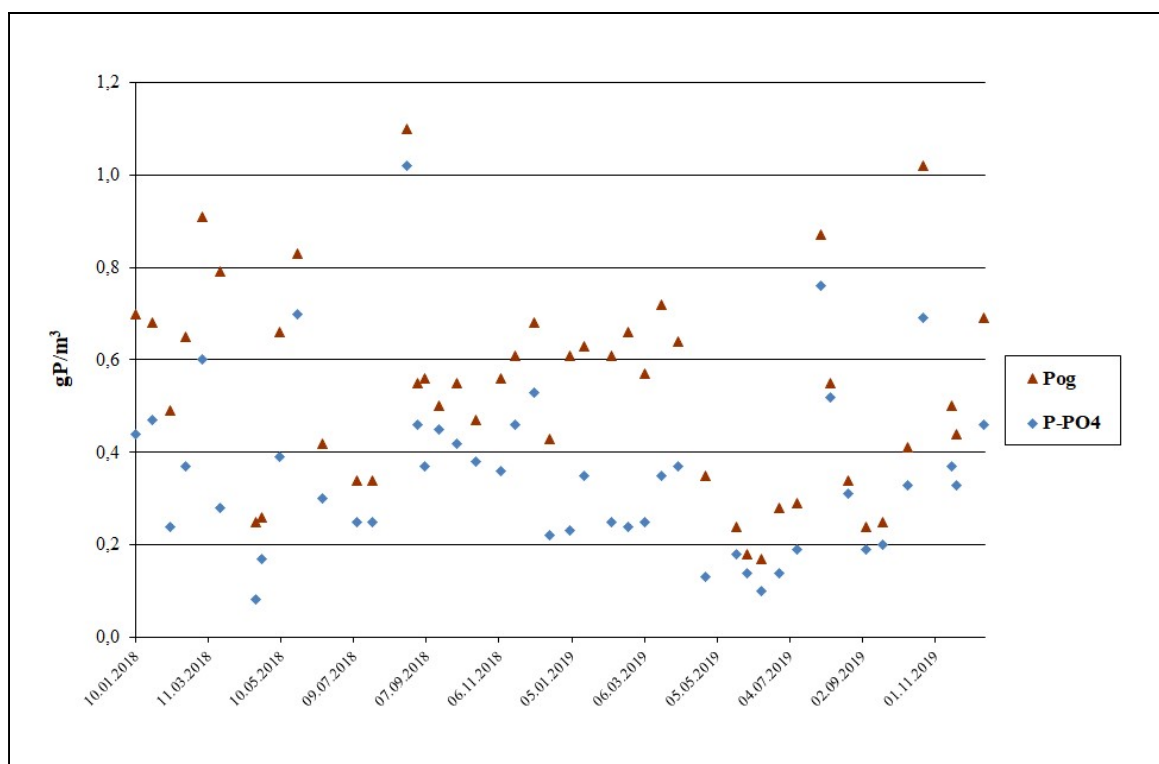


Rys.3.24. Zmienność stężenia azotu amonowego i azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.25. Zmienność efektywności usuwania związków azotu w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

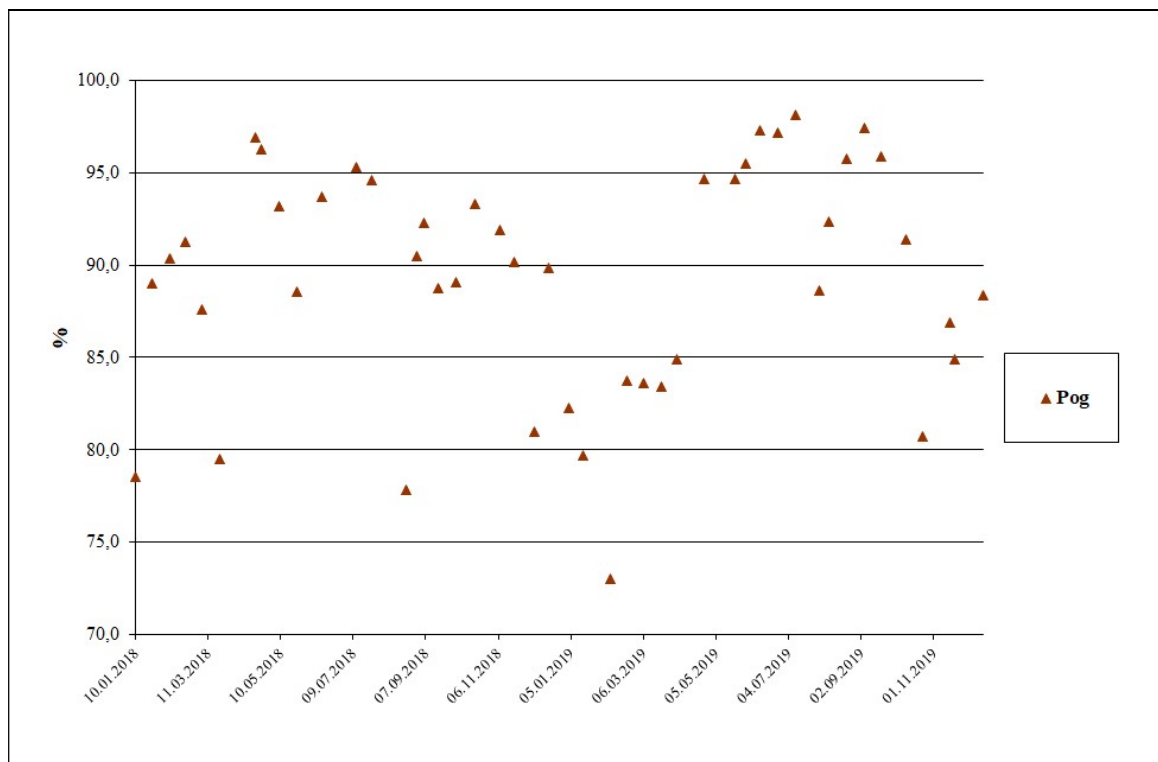
W przypadku oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju nie obserwuje się, typowych dla dużej części oczyszczalni w Polsce, problemów z osiągnięciem wymaganej efektywności usuwania azotu. Obserwowana w analizowanym okresie efektywność usuwania azotu ogólnego wynosi średnio 91,0 %, z wartości minimalną na poziomie 79,8%, co jest wartością wysoką, w odniesieniu do zapisanych w obowiązujących przepisach. Tak wysoka efektywność usuwania związków azotu, w połączeniu z niskimi stężeniami tych zanieczyszczeń w ściekach surowych, skutkuje bardzo niskimi stężeniami azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych. Poza jednym przypadkiem, stężenia azotu ogólnego nie przekraczają wartości 5 g/m³, przy wartości granicznej zapisanej w pozwoleniu wodnoprawnym na poziomie 15 g/m³. Najwyższe wartości stężenia azotu w ściekach oczyszczonych obserwowano przy obniżeniu efektywności nityfikacji w sezonie wiosennym 2018, ale nie powodowały one zagrożenia dla osiągnięcia wymaganych wartości.



Rys.3.26. Zmienność stężenia fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

W ściekach oczyszczonych obserwuje się niskie stężenia fosforu ogólnego, ze średnią wartością na poziomie 0,53 g/m³. Maksymalna obserwowana wartość stężenia to 1,10

g/m³, w większości przypadków występują wartości zdecydowanie poniżej 1 g/m³. Co zapewnia spełnienie nałożonych na oczyszczalnię wymagań w tym zakresie z dużym poziomem bezpieczeństwa. Efektywność usuwania fosforu charakteryzuje się dużą zmiennością, ze średnią wartością na poziomie 89,3, ale minimalną na poziomie 73,0 %. Bardzo niskie stężenia fosforu w ściekach surowych nie wymagają wyższych efektywności usuwania dla spełnienia wymagań pozwolenia wodnoprawnego.



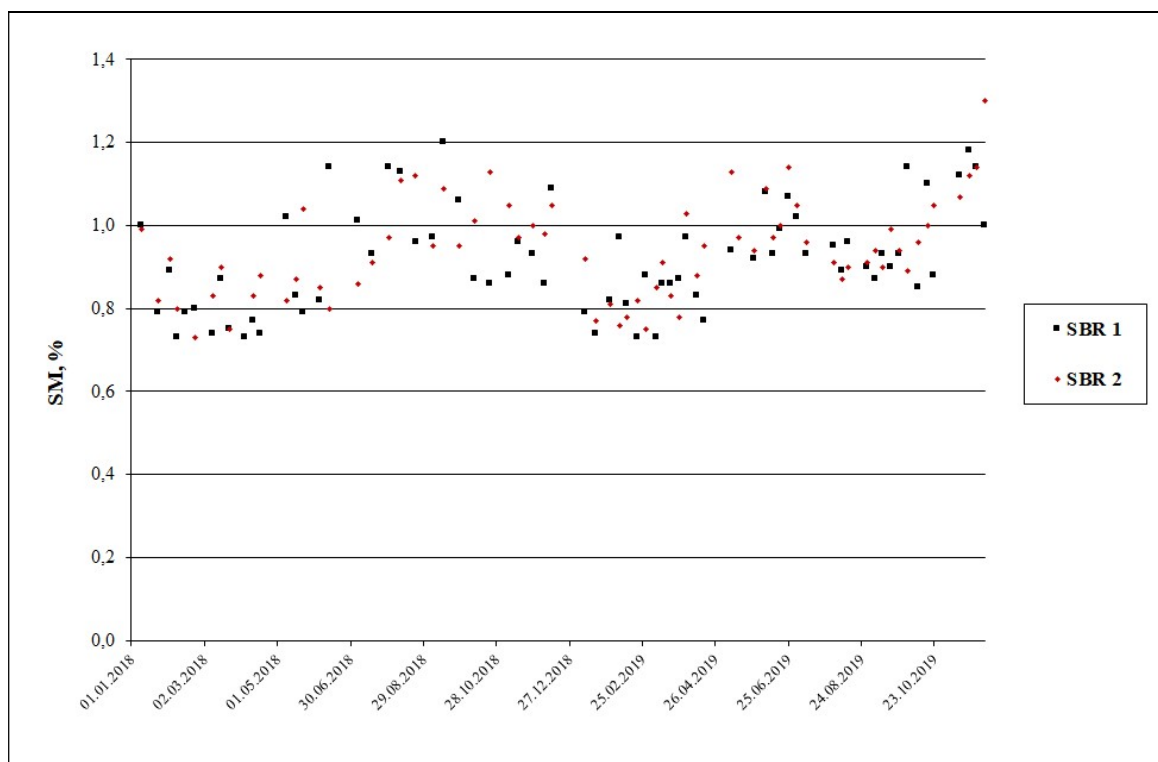
Rys.3.27. Zmienność efektywności usuwania fosforu ogólnego w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

Tab.3.5. Wartości średnie stężenia zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni w Rabce-Zdroju oraz efektywności oczyszczania w latach 2018-19

Wskaźnik	S, g/m ³	Efektywność oczyszczania, %
BZT₅	5,1 ± 2,9	97,8
ChZT	18,7 ± 5,4	96,1
Zog	5,9 ± 6,0	97,9
Nog	3,1 ± 1,0	91,0
N-NH₄	0,75 ± 1,16	96,1
N-NO₃	1,91 ± 0,67	
N-NO₂	0,070 ± 0,075	
Pog	0,53 ± 0,22	89,3

3.4. Bilans osadów

Zastosowany układ technologiczny oczyszczania ścieków generuje jedynie osad nadmierny, który po odprowadzeniu z reaktorów SBR poddawany jest grawitacyjnemu zagęszczaniu, a następnie traktowany jako osad ustabilizowany symultanicznie poddawany odwanianiu oraz higienizacji. W oczyszczalni prowadzone są analizy suchej masy oraz suchej masy organicznej osadu na poszczególnych etapach jego przeróbki, tj.: po odprowadzeniu z reaktorów, po zagęszczeniu, po odwodnieniu i po higienizacji. Procentową zawartość suchej masy w tych punktach ciągu technologicznego, obserwowaną w latach 2018-19, przedstawiono kolejno na rysunkach 3.28, 3.29 i 3.30. Zmienność udziału masy organicznej w suchej masie osadu przedstawiono na rysunku 3.31. Charakterystyczne wartości, dotyczące wartości SM i SMO zebrano w tabelach 3.6 i 3.7, natomiast sumaryczne ilości osadu nadmiernego odprowadzane z reaktorów SBR zestawiono w tabeli 3.8. dla okresu styczeń 2018-luty 2019, ze względu na brak danych dla pozostałej części analizowanego okresu.

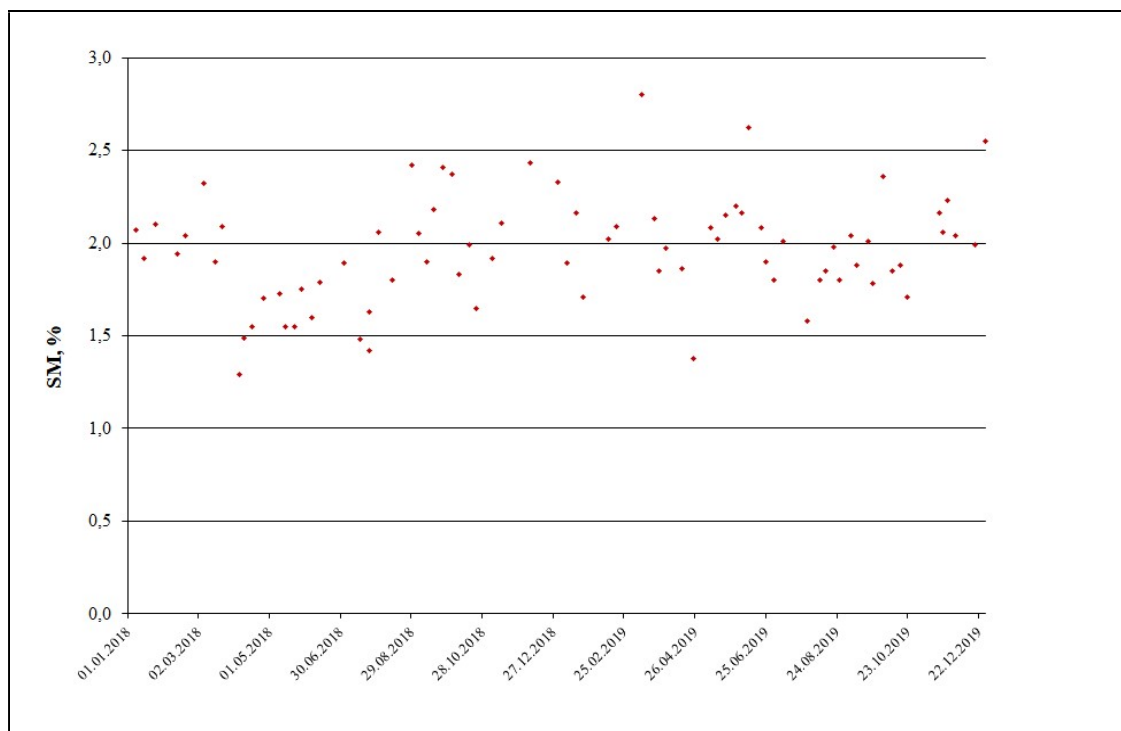


Rys.3.28. Zmienność suchej masy osadu nadmiernego, odprowadzanego z reaktorów SBR w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

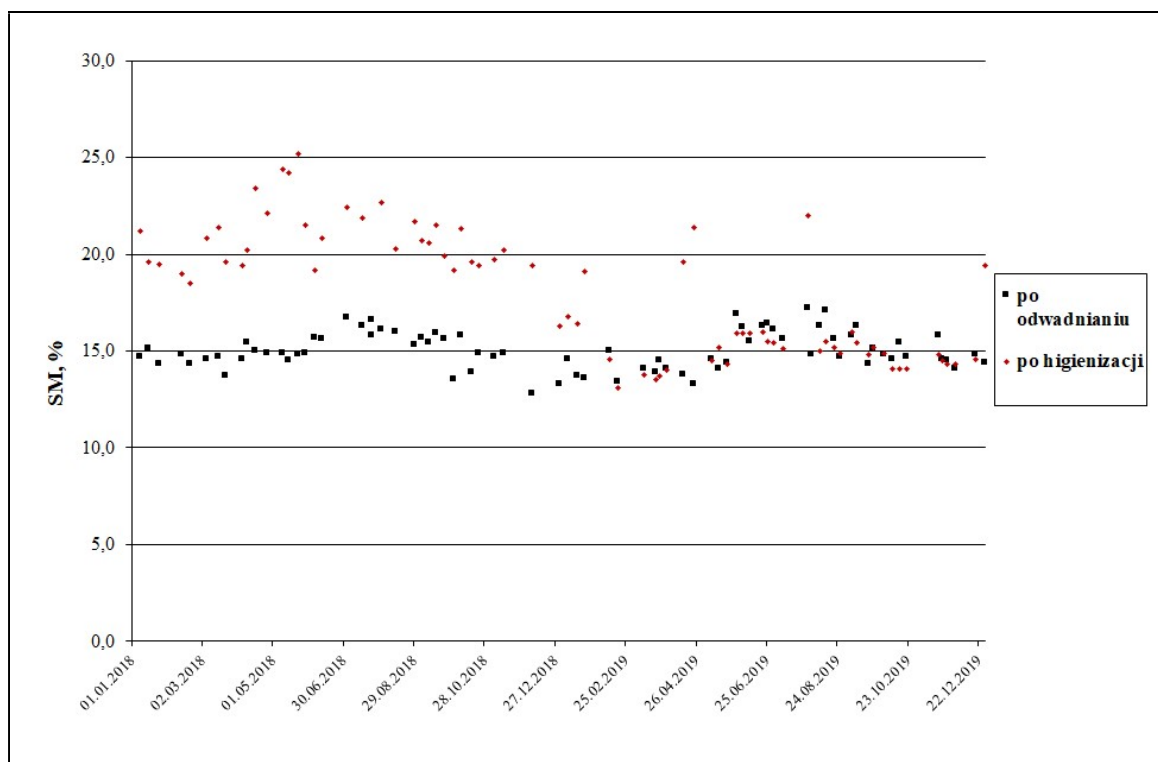
Suchą masę osadu odprowadzanego z reaktorów SBR charakteryzuje duża nierównomierność, wynikająca ze zmienności warunków ich pracy. Stężenie odprowadzanego osadu jest typowe dla układów z osadem czynnym i oscyluje pomiędzy 0,73-1,30 %, w sposób zbliżony, lecz nie identyczny, dla obu reaktorów. Obserwowane zmiany wartości mają w dużej mierze charakter sezonowy i związane są ze zmiennością indeksu osadu w reaktorach. Sposób eksploatacji reaktorów biologicznych powoduje, iż ilość osadu nadmiernego odprowadzanego z reaktorów wykazuje bardzo dużą zmienność sezonową, z wyższą ilością osadów w sezonie wiosenno-letnim (tab.3.8).

Zagęszczenie grawitacyjne osadu charakteryzuje bardzo niska efektywność i nie wpływa w znaczący sposób na charakterystykę osadu nadmiernego. Stopień zagęszczenia zmienia się jedynie w niewielkim stopniu, co powoduje, iż średnie stężenie suchej masy osadu zagęszczonego, kierowanego do odwadniania w obserwowanym okresie wyniosło 1,96 %. Mniejsza efektywność zagęszczania grawitacyjnego w okresie letnim powoduje jeszcze większe zróżnicowanie objętościowej ilości osadów kierowanych do węzła odwadniania w poszczególnych miesiącach roku.

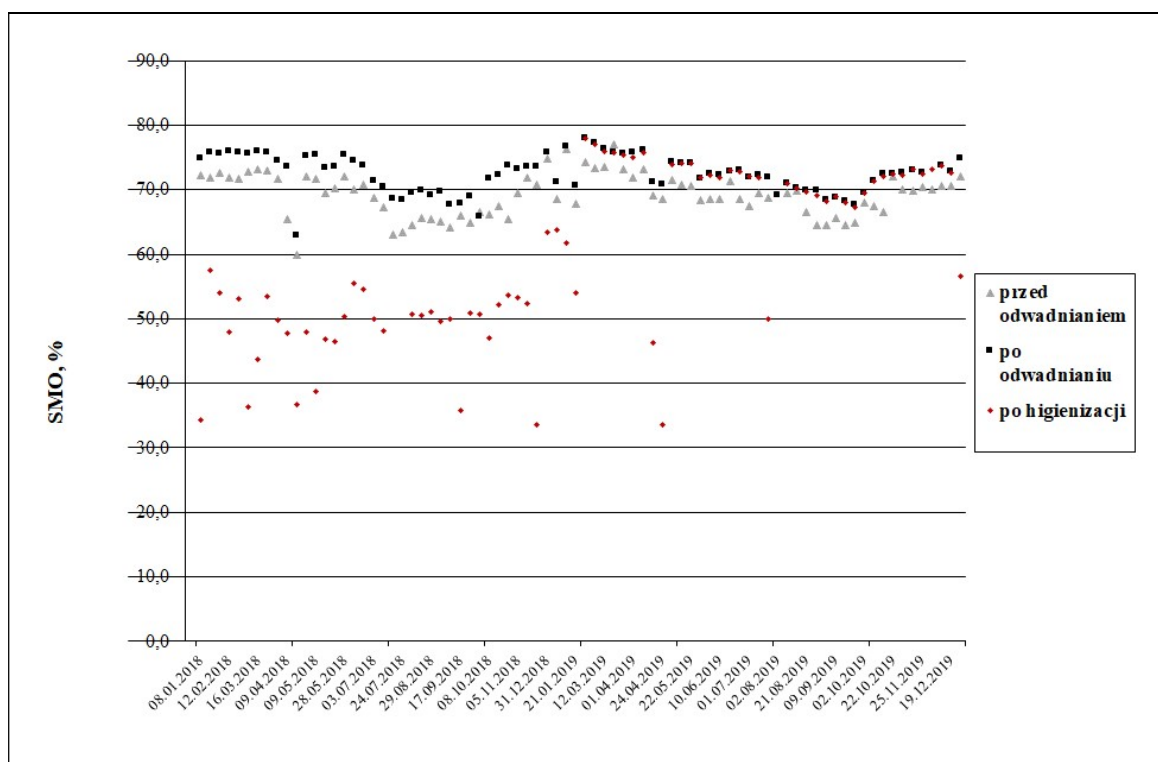
Oszacowane, na podstawie danych z okresu styczeń 2018-luty 2019 średnie ilości osadu po zagęszczeniu, zestawiono w tabeli 3.8.



Rys.3.29. Zmienność suchej masy osadu po zagęszczaniu grawitacyjnym w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.30. Zmienność suchej masy osadu po odwadnianiu w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19



Rys.3.29. Zmienność udziału masy organicznej w suchej masie osadu na poszczególnych etapach przeróbki w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

Tab.3.6. Wartości charakterystyczne SM i SMO osadu nadmiernego odprowadzanego z reaktorów SBR w oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

Wskaźnik	SBR1		SBR2	
	SM [%]	SMO [%]	SM [%]	SMO [%]
2018-19				
Wartość średnia	0,92	72,2	0,94	71,8
Odchylenie standardowe	0,13	2,4	0,12	2,4
Maximum	1,20	76,7	1,30	76,1
Minimum	0,73	66,2	0,73	63,3
2018				
Wartość średnia	0,91	72,2	0,93	72,0
Odchylenie standardowe	0,14	2,4	0,11	2,0
Maximum	1,20	75,5	1,13	74,6
Minimum	0,73	66,2	0,73	68,5
2019				
Wartość średnia	0,93	72,1	0,95	71,6
Odchylenie standardowe	0,12	2,5	0,12	2,6
Maximum	1,18	76,7	1,30	76,1
Minimum	0,73	67,4	0,75	63,3

Tab.3.7. Wartości charakterystyczne SM i SMO osadu na poszczególnych etapach jego przeróbki w oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

Wskaźnik	Osad po zagęszczaniu		Osad po odwadnianiu		Osad po higienizacji	
	SM [%]	SMO [%]	SM [%]	SMO [%]	SM [%]	SMO [%]
2018-19						
Wartość średnia	1,96	69,3	15,0	72,4	17,9	59,7
Odchylenie standardowe	0,29	3,3	1,0	2,9	3,3	13,0
Maximum	2,80	77,0	17,2	77,9	25,2	78,0
Minimum	1,29	60,0	12,8	62,8	13,0	33,5
2018						
Wartość średnia	1,90	68,7	15,0	72,4	20,8	48,5
Odchylenie standardowe	0,31	3,6	0,9	3,3	1,8	6,8
Maximum	2,43	74,9	16,7	76,0	25,2	63,4
Minimum	1,29	60,0	12,8	62,8	16,3	33,5
2019						
Wartość średnia	2,01	69,7	14,9	72,5	15,5	69,1
Odchylenie	0,26	2,9	1,1	2,6	2,0	8,9

standardowe						
Maximum	2,80	77,0	17,2	77,9	22,0	78,0
Minimum	1,38	64,6	13,0	67,6	13,0	33,5

Tab.3.8. Wartości charakterystyczne SM i SMO osadu nadmiernego odprowadzanego z reaktorów SBR w oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju w latach 2018-19

	Objętość odprowadzanego osadu		Średnie wartości SM		Objętość osadu
			przed ZG	po ZG	po ZG
	m ³ /m-c	m ³ /d	%	%	m ³ /d
sty.18	3231	104	0,90	2,03	46
lut.18	3004	107	0,80	1,99	43
mar.18	2521	81	0,79	2,10	30
kwi.18	6349	212	0,75	1,51	105
maj.18	6761	218	0,88	1,65	117
cze.18	6814	227	0,98	1,70	131
lip.18	6124	198	1,03	1,61	126
sie.18	2353	76	1,05	2,09	38
wrz.18	3978	133	1,08	2,14	67
paź.18	3450	111	0,87	1,96	49
lis.18	2249	75	0,92	2,02	34
gru.18	2484	80	0,98	2,38	33
sty.19	3285	106	0,78	1,92	43
lut.19	2813	97	0,85	2,06	40

Efektywność odwadniania na istniejącej prasie nie jest wysoka. Stężenie osadu po odwodnieniu oscyluje od ok. 13 % do ok. 17%, ze średnią wartością 15%. Po przeprowadzeniu procesu higienizacji, który nie jest stosowany w oczyszczalni w Rabce-Zdroju w sposób ciągły, sucha masa podnosi się do około 20%.

Sucha masa organiczna osadu jest wysoka w odniesieniu do wartości obserwowanych dla osadów ustabilizowanych i oscyluje po odwodnieniu w zakresie 63-78%, ze średnią wartością 72,4%. Potwierdza to brak pełnej stabilizacji osadu w układzie przeróbki oczyszczalni w Rabce-Zdroju.

4. OSZACOWANIE BILANSU ŚCIEKÓW DLA OKRESU DOCELOWEGO

4.1. Założenia bilansowe

Jako podstawę dla celów sprawdzenia warunków pracy oczyszczalni w okresie docelowym przyjęto wyniki bilansu ilości i jakości ścieków z lat 2018-19, sporządzonego w pkt.3. Prognozy dotyczące zmian liczby ludności korzystającej z systemu kanalizacyjnego oczyszczalni w Rabce-Zdroju oraz rozwoju sektora usługowo-przemysłowego nie wskazują na znaczące zmiany w ilości wytwarzanych ścieków. Pozwala to na założenie docelowego wzrostu ilości ścieków na poziomie max. 10 %, w stosunku do stanu obecnego. Podobne założenie przyjęto w odniesieniu do charakterystycznych wartości ładunków zanieczyszczeń.

Przepływ średni uwzględniający powyższe założenia:

$$Q_{dśr} = 6\,600 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{50\%} = 5\,750 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{90\%} = 10\,400 \text{ m}^3/\text{d}$$

Wartości charakterystyczne ładunku zanieczyszczeń przedstawiono poniżej w tabeli 4.1.

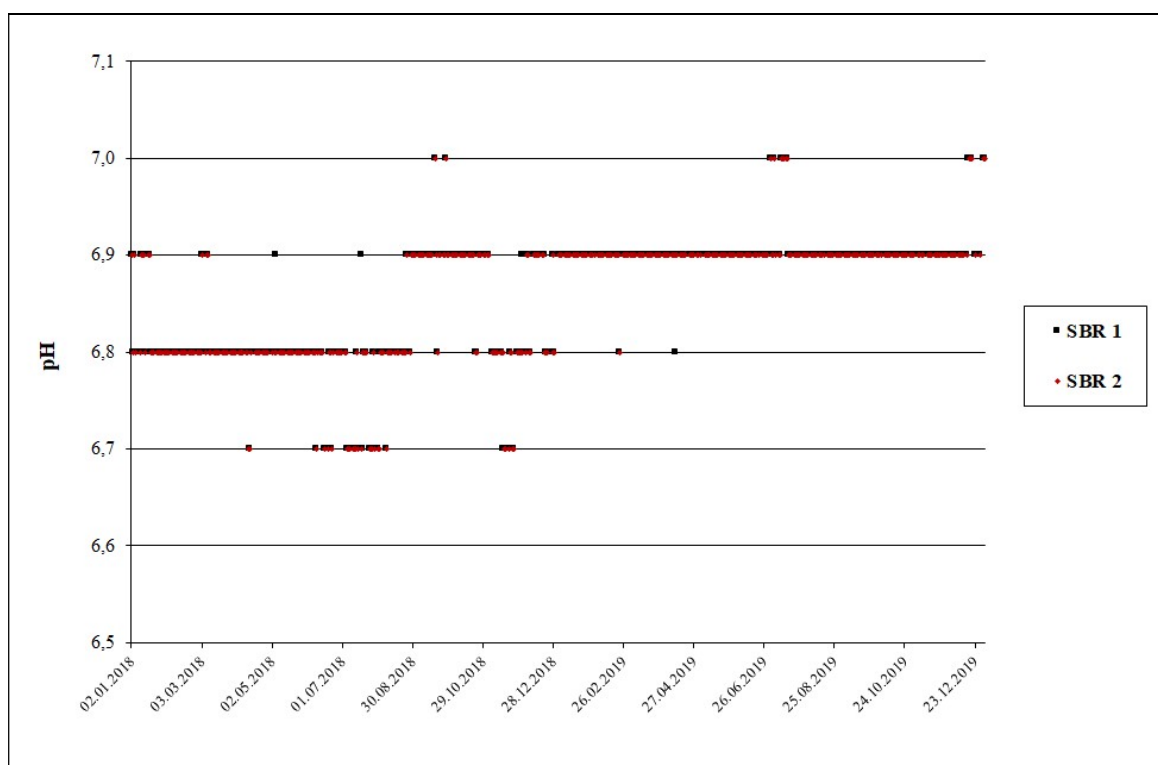
Tab.4.1. Wartości charakterystyczne ładunku zanieczyszczeń dla okresu perspektywicznego

Wskaźnik	Wartość średnia	p = 50%	p = 90%
BZT₅, kgO₂/d	1 600	1 600	2 000
ChZT, kgO₂/d	3 350	3 250	4 500
Zog, kg/d	2 200	2 100	3 150
Nog, kg N/d	235	217	327
Pog, kg P/d	36	35	51
RLM	26 667		

5. WARUNKI PRACY REAKTORÓW BIOLOGICZNYCH

5.1. Parametry technologiczne reaktorów biologicznych

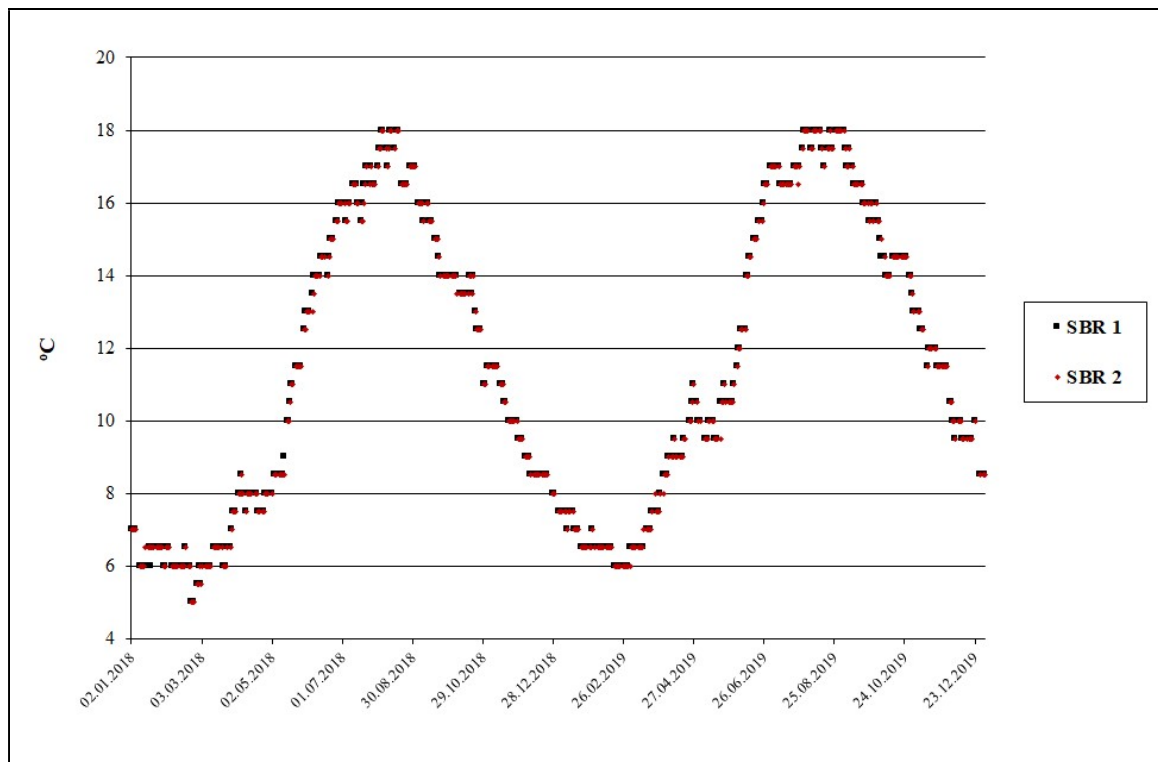
Reaktory biologiczne pracują w bardzo zmiennych warunkach procesowych, wynikających z nierównomierności dopływu ścieków oraz zmian ich stężenia, co przeanalizowano w punkcie 3.2. W każdym z reaktorów prowadzone są pomiary pH (rys.5.1) oraz temperatury (rys.5.2), natomiast w osadzie czynnym, pobieranym z obu reaktorów, oznaczane jest stężenie osadu (rys.5.3) oraz indeks osadu (rys.5.4). Wartości charakterystyczne tych parametrów zebrano w tabeli 5.1.



Rys. 5.1. Zmienność pH w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w latach 2018-19

Wartość odczynu ścieków nie ulega dużym zmianom (6,7-7,0) i nie stanowi problemu technologicznego dla reaktorów biologicznych. W przypadku temperatury z kolei, obserwowane są duże wahania, związane z warunkami klimatycznymi typowymi dla miejscowości podgórskich. Różnice pomiędzy reaktorami są niewielkie, a dynamika zmian dotyczy zmienności rocznej, z minimalnymi temperaturami w zimie na poziomie 5-6 stopni Celsjusza, co bardzo utrudnia eksploatację procesów biologicznych, w

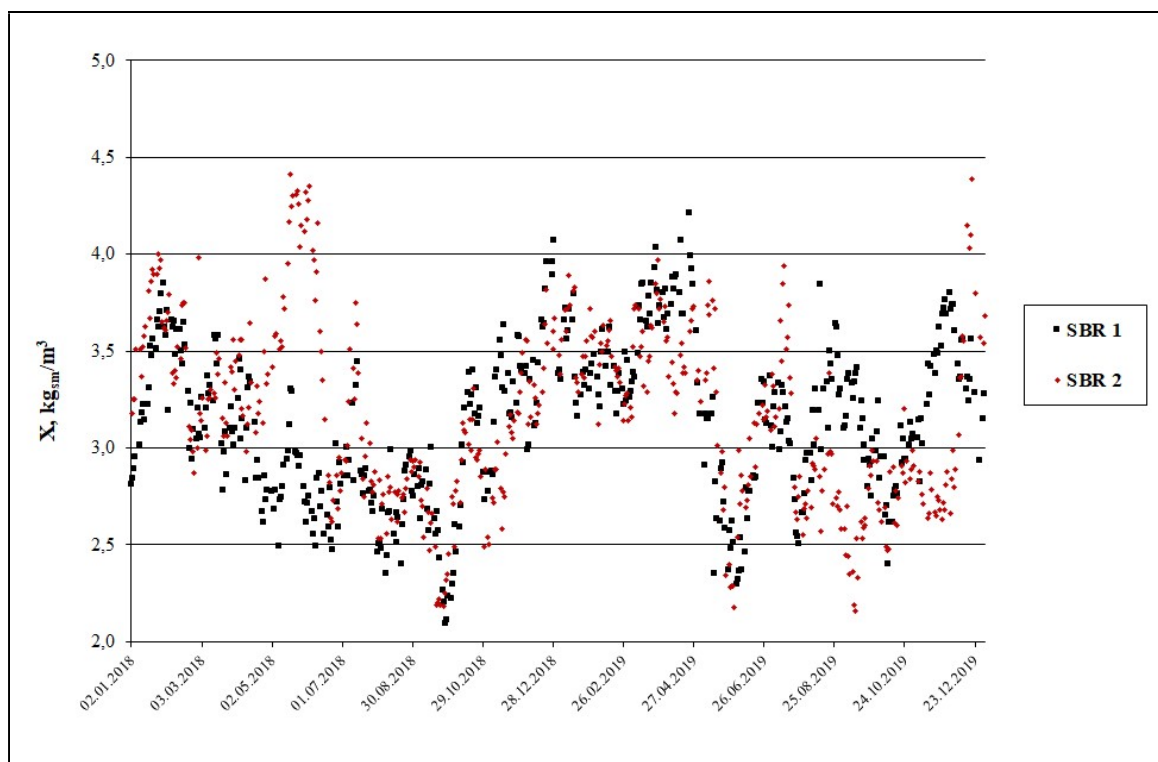
szczegółności w odniesieniu do procesu nitryfikacji. Okresy występowania niskich temperatur są na tyle długie, że średnie roczne temperatury wynoszą poniżej 12 °C, co jest niekorzystne dla procesów biologicznych i zmniejsza szybkość ich przebiegu.



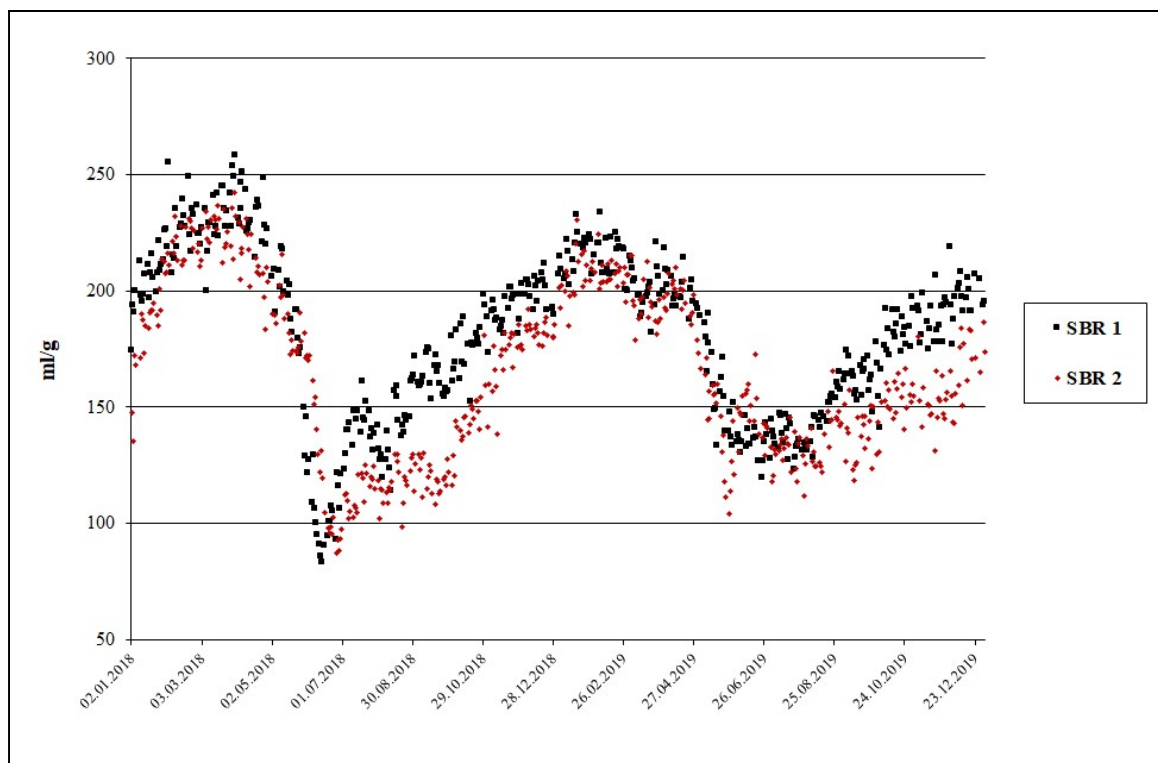
Rys.5.2. Zmienność temperatury w ściekach dopływających do reaktorów SBR 1 i SBR 2 w latach 2018-19

Stężenie osadu w reaktorach SBR utrzymywane jest na stosunkowo niskim poziomie i ulega dużym wahaniom w ciągu roku (w zakresie 2,1 – 4,4 g sm/dm³). Widoczne jest zwiększanie zapasu osadu i jego wieku w sezonie jesienno-zimowym, dla przeciwdziałania skutkom występowania niskich temperatur. Obserwuje się różnice w wartościach stężenia osadu w obu reaktorach, jednak nie są to znaczące różnice, wynikają jedynie z naturalnej zmienności procesowej w bieżącej eksploatacji. Średnie wartości stężenia osadu dla obu reaktorów to 3,1 oraz 3,2 g sm/dm³.

Osad czynny nie ma dobrych własności sedymentacyjnych. Przez większą część analizowanego okresu indeks osadu utrzymuje się na poziomie powyżej 150 ml/g, z okresami polepszania się tych własności w sezonie letnim. Również średnie wartości indeksu osadu w obu reaktorach przekraczają tę wartość, określaną jako graniczną. Widoczne są duże różnice pomiędzy reaktorami, wskazujące na lepszą kondycję osadu w reaktorze SBR nr 2.



Rys.5.3. Zmienność stężenia osadu w reaktorach SBR 1 i SBR 2 w latach 2018-19



Rys.5.4. Zmienność indeksu osadu w reaktorach SBR 1 i SBR 2 w latach 2018-19

Tab.5.1. Wartości średnie temperatury oraz stężenia i indeksu osadu w reaktorach SBR 1 i SBR 2 w latach 2018-19

Wskaźnik	T [°C]		X, g/m ³		IO, ml/g	
	SBR 1	SBR 2	SBR 1	SBR 2	SBR 1	SBR 2
2018-19						
Wartość średnia	11,5	11,5	3,1	3,2	180,5	165,0
Odchylenie standardowe	4,1	4,1	0,4	0,5	35,7	37,0
Maximum	18,0	18,0	4,2	4,4	258,1	242,5
Minimum	5,0	5,0	2,1	2,2	82,9	87,3
2018						
Wartość średnia	11,1	11,1	3,0	3,2	183,3	165,8
Odchylenie standardowe	4,1	4,0	0,4	0,5	40,5	42,7
Maximum	18,0	18,0	4,1	4,4	258,1	242,5
Minimum	5,0	5,0	2,1	2,2	82,9	87,3
2019						
Wartość średnia	11,8	11,8	3,2	3,1	177,6	164,1
Odchylenie standardowe	4,1	4,1	0,4	0,4	29,8	30,2
Maximum	18,0	18,0	4,2	4,4	233,6	230,5
Minimum	6,0	6,0	2,3	2,2	119,5	104,2

5.2. Identyfikacja warunków i ocena możliwości usuwania azotu i fosforu

Analizowany układ biologicznego oczyszczania, przy aktualnej konfiguracji technologicznej, charakteryzuje się wysoką efektywnością oczyszczania, zapewniającą osiągnięcie wymagań w odniesieniu do usuwania węgla, azotu i fosforu.

Poniżej dokonano sprawdzenia warunków procesowych dla okresu docelowego. Oszacowanie wymaganego potencjału denitryfikacji przeprowadzono dla ładunku zanieczyszczeń, odpowiadającego prawdopodobieństwu występowania (wraz z wartościami mniejszymi) $p = 90\%$ oraz dla prawdopodobieństwa $p = 50\%$ (tab.4.1).

Bilans azotu.

a) azot nitryfikowany:	p = 90 %	p = 50%
- stężenie w dopływie do reaktora, N/m ³	- 56,9	37,7
- stężenie w odpływie (N _{org}), N/m ³	- 2,0	
- stężenie w odpływie (N-NH ₄), N/m ³	- 0,5	
- azot przyswojony (4,5 % BZT _{5 us}), N/m ³	- 15,4	12,3
Saldo azotu do nitryfikacji ΔN _N , N/m ³	39,0	22,9
b) azot denitryfikowany:		
- saldo do nitryfikacji, N/m ³	- 39,0	22,9
- stężenie w odpływie (N-NO ₃), N/m ³	- 12,5	
Saldo azotu do denitryfikacji ΔN _{DN} , N/m ³	26,5	10,4

Określenie wymaganego potencjału denitryfikacji:

$$90\% \Delta N_{DN}/BZT_{5us} = 26,5/347,8 = 0,08 \text{ g N-NO}_3/\text{g BZT}_5$$

$$50\% \Delta N_{DN}/BZT_{5us} = 10,4/278,3 = 0,04 \text{ g N-NO}_3/\text{g BZT}_5$$

Warunki denitryfikacji nie są determinujące dla osiągnięcia wymaganej efektywności usuwania azotu. Kluczowe jest stworzenie warunków właściwych dla efektywnej nitryfikacji.

5.3. Obliczenia sprawdzające procesu biologicznego oczyszczania

Dla sprawdzenia warunków pracy reaktorów, w kontekście rozbudowy w perspektywnym okresie, jak również możliwości optymalizacji i modernizacji istniejącego układu przeprowadzono obliczenia sprawdzające, bazujące na obliczeniach wg metody ATV, których wyniki dla ładunków występujących z prawdopodobieństwem 50% przedstawiono w tabeli 5.2.

Tab.5.2. Wyniki obliczeń technologicznych, wg wytycznych ATV

Parametr	Dla ładunku zanieczyszczeń występującego z prawdopodobieństwem 50 %
T [°C]	12
Saldo azotu do nityfikacji [g/m ³]	39,0
Saldo azotu do denityfikacji [g/m ³]	26,5
V _D /V _R	0,2
Wymagany wiek osadu [d] - brak wydzielonej stabilizacji w ciągu linii osadowej	25
Objętość reaktora (istniejąca) [m ³]	10450
Ładunek BZT ₅ usunięty [kg BZT ₅ us/d]	1570
Jednostkowy przyrost osadu [kg sm/kg BZT ₅ us]	1,00
Przyrost osadu [kg/d]	1570
X [kgsm/m ³] graniczne 6 h cykl dla osiągnięcia stabilizacji symultanicznej WO = 25 d	5,6
X [kgsm/m ³] graniczne 8 h cykl dla osiągnięcia stabilizacji symultanicznej WO = 25 d	5,0
Średnie zapotrzebowanie na tlen [kg/d]	6800
Maksymalne zapotrzebowanie na tlen [kg/h] *)	354

***) Warunki pracy systemu napowietrzania**

Problemy eksploatacyjne z istniejącymi dmuchawami wymagają zainstalowania nowej jednostki. W założeniach Inwestora, ze względu na wspólny system przesyłu powietrza do obu reaktorów SBR i brak możliwości rozdziału rurociągów na obecnym etapie, modernizacja oczyszczalni obejmie zainstalowanie jednej nowej dmuchawy, której zadaniem będzie zapewnienie wymaganej podaży tlenu w obu reaktorach. Jedną z obecnie eksploatowanych dmuchaw po renowacji będzie miała zadanie wspomaganie nowej dmuchawy w okresach podwyższonego zapotrzebowania na tlen.

Przewidywany przez Inwestora sposób sterowania systemem napowietrzania, uwzględniający wskazania sond tlenowych, ale także sond stężenia azotu amonowego, jak

również możliwość ustalania zmiennej długości trwania cyklu powoduje, iż w krótkich okresach czasu konieczne będzie natlenianie obu reaktorów jednocześnie. Przykładowo:

- przy cyklu 6 – godzinnym i założeniu początkowego 1-godzinnego napełniania bez napowietrzania, 3-godzinnego napowietrzaniu, 1-godzinnych sedymentacji i dekantacji, fazy napowietrzania w obu reaktorach nie nakładają się na siebie,
- przy cyklu 6 – godzinnym i założeniu początkowego 1,5-godzinnego napełniania bez napowietrzania, 4,5-godzinnego napowietrzaniu, 1-godzinnych sedymentacji i dekantacji, fazy napowietrzania w obu reaktorach nakładają się na siebie w okresach 0,5 godzinnych na cykl.

W związku z tym, iż planowany cykl będzie miał charakter ruchomy w obliczeniach maksymalnego godzinowego zapotrzebowania na tlen założono ciągłą pracę nowo instalowanej dmuchawy, sterowanej centralnie przy pomocy rozbudowanego systemu AKP, a w przypadku prowadzenia planu cyklu w kształcie powodującym nakładanie się zapotrzebowania na tlen obu reaktorów - chwilowe wspomaganie działania nowej dmuchawy przez dmuchawę już istniejącą.

Warunki dekantacji

Aktualne problemy eksploatacyjne panujące w trakcie dekantacji wynikają z bardzo dużej zmienności obciążeń hydraulicznych reaktorów SBR, a to z kolei z dużego dopływu ścieków w trakcie występowania deszczów nawaalnych. Dobór i montaż nowych dekanterów musi uwzględniać charakterystykę ilościową ścieków dopływających do oczyszczalni oraz fakt braku jakichkolwiek obiektów, które zapewniłyby efekt retencji ścieków.

Do oszacowania ilości ścieków koniecznych do zdekantowania w trakcie cyklu wzięto pod uwagę następujące wartości przepływów:

$$Q_{d\acute{s}r} = 6600 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{h\acute{s}r} = 275 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{h\text{max}} (\text{warunki bezdeszczowe}) = 275 * 1,1 * 2 = 605 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{d\text{max}} \text{ deszcz} (p=90\%) = 10\,400 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{h\text{max}} (\text{warunki deszczowe } p = 90\% \text{ docelowe}) = 10400/24*2 = 867 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{h\text{max}} (\text{warunki deszczowe max lata 2018-19}) = 11078/24*2 = 923 \text{ m}^3/\text{h}$$

W warunkach eksploatacyjnych obserwuje się incydentalne występowanie chwilowych przepływów przekraczających $1000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Przyjęto, że maksymalna wydajność dekanterów musi zapewnić odprowadzenie ścieków oczyszczonych w ciągu godzinnej dekantacji przy dopływie ścieków do oczyszczalni na poziomie $Q_{hmax} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zważywszy na to, iż ilość dekantowanych ścieków uzależniona jest od długości cyklu przyjęto konieczność zapewnienia właściwych warunków pracy reaktorów w cyklu 6-godzinny podczas występowania deszczów nawalnych, stąd:

- *maksymalny dopływ w jednym cyklu*

$$\Delta V_{\max} = Q_{\max h} \cdot \frac{t_z}{n} [\text{m}^3]$$

$$\Delta V_{\max} = 1000 \cdot \frac{6}{2} = \mathbf{3000} [\text{m}^3]$$

- *współczynnik wymiany*

$$f_{A_{\max}} = \frac{\Delta V_{\max}}{V_{R1}} = \mathbf{3000/5225 = 0,57 [-]}$$

Pozwoli to na właściwe warunki dekantacji przy dłuższym (8-godzinny) cyklu pracy reaktorów w trakcie pogody bezdeszczowej:

- *maksymalny dopływ w jednym cyklu*

$$\Delta V_{\max} = Q_{\max h} \cdot \frac{t_z}{n} [\text{m}^3]$$

$$\Delta V_{\max} = 605 \cdot \frac{8}{2} = \mathbf{2420} [\text{m}^3]$$

- *współczynnik wymiany*

$$f_{A_{\max}} = \frac{\Delta V_{\max}}{V_{R1}}$$

$$f_{A_{\max}} = \frac{2420}{5225} = \mathbf{0,46 [-]}$$

Przyjęto wymaganą sumaryczną wydajność dekanterów w jednym reaktorze na poziomie $3000 \text{ m}^3/\text{h}$.

6. PODSUMOWANIE Z WYTYCZNYMI TECHNICZNO - TECHNOLOGICZNYMI DLA MODERNIZACJI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RABCE-ZDROJU

- Oczyszczalnia ścieków w Rabce Zdroju pracuje w trudnych warunkach eksploatacyjnych, co wynika w głównej mierze z dużej zmienności ilości ścieków, wywołanej znaczącym dopływem wód opadowych oraz roztopowych do komunalnego systemu kanalizacyjnego. Dodatkowym elementem, zwiększającym wpływ zmienności przepływu ścieków na pracę obiektów oczyszczalni jest brak w układzie w technologicznym zbiornika wyrównawczo-retencyjnego, jak również niepełny układ technologiczny mechanicznego oczyszczania, bez osadników wstępnych, które mogłyby częściowo zmniejszyć nierównomierność dopływu ścieków.
- Dopływ dużej ilości wód opadowych i roztopowych skutkuje także podwyższonymi stężeniami zawiesiny w dopływie. Przy braku sedimentacji wstępnej w układzie technologicznym skutkuje to przedostawaniem się dużej ilości zawiesin nieorganicznych do reaktorów biologicznych, co powoduje problemy eksploatacyjne, ale przede wszystkim skutkuje zwiększonym udziałem nieaktywnych biologicznie części stałych w kłaczkach osadu czynnego.
- Charakterystyka jakościowo ścieków, w zakresie związków organicznych, azotu oraz fosforu, sprzyja zachodzeniu efektywnych procesów usuwania związków biogennych, gdyż ich stężenia w ściekach surowych są dużo niższe, niż obserwowane w typowych ściekach komunalnych. Ma na to niewątpliwie wpływ duże rozcieńczenie ścieków dopływających do oczyszczalni. Jednakże, inne czynniki, jak np. dopływ ścieków pochodzenia przemysłowo-usługowego, powodują, iż nie obserwuje się aż tak niskich stężeń związków organicznych. O wpływie ścieków innych, niż bytowe, świadczy również zwiększona obecność zanieczyszczeń trudnorozkładanych, skutkująca wartościami stosunku $ChZT/BZT5 > 2$. W konsekwencji, relacje pomiędzy BZT5, a azotem ogólnym i fosforem ogólnym są wysokie, wyraźnie sprzyjające biologicznemu usuwaniu związków biogennych, w dużym stopniu dzięki ich asymilacji do syntezowanej biomasy.

- Niezależnie od występujących problemów eksploatacyjnych, oczyszczalnia wywiązuje się w pełni z nałożonych na nią wymagań, a uzyskiwana efektywność oczyszczalni jest bardzo wysoka, co przeanalizowano w punkcie 3 niniejszego opracowania. Występujące incydentalnie obniżenia efektywności oczyszczania są związane głównie z:
 - obniżaniem się temperatury ścieków w reaktorach biologicznych w okresie zimowym, co jest wynikiem zmiennych warunków klimatycznych, typowych dla miejscowości podgórskich w Polsce i wpływa negatywnie, głównie na proces nitrifikacji azotu amonowego,
 - okresową ucieczką osadu czynnego z reaktorów SBR do odpływu, co wynika z jednej strony z występującej przez większość roku wysokich wartości indeksu osadu, a z drugiej strony z problemów eksploatacyjnych z istniejącymi dekanterami, których wydajność oraz inne parametry techniczne nie są dostosowane do aktualnej ilości dekantowanych ścieków.
- Ważnym problemem eksploatacyjnym jest zużycie wyposażenia, zarówno części mechanicznej, jak również elementów dotyczących biologicznego oczyszczania, w tym systemu napowietrzania oraz mieszania.
- W przypadku linii osadowej, głównym problemem technologicznym jest brak stabilizacji osadu nadmiernego, którego symultaniczna stabilizacja w reaktorach biologicznych nie zapewnia pełnego i stałego efektu technologicznego, jak również wymagałaby znacznego wydłużenia wieku osadu (powyżej 25 dni), co mogłoby stanowić barierę eksploatacyjną.
- W przypadku przeróbki osadów ściekowych istotnym problemem jest również częściowe zużycie elementów mechanicznych oraz niska efektywność eksploatowanej prasy odwadniającej. Usprawnienia wymaga również system odprowadzenia osadu odwodnionego na plac składowy, z możliwością dopasowania jego parametrów do wymagań odbiorców osadu.

7. NIEZBĘDNE DZIAŁANIA MODERNIZACYJNE DLA UTRZYMANIA WYSOKIEJ EFEKTYWNOŚCI OCZYSZCZANIA I SPRAWNOŚCI OBIEKTÓW

Przeprowadzona analiza technologiczna oraz ocena efektywności pracy oczyszczalni wykazała, że pomimo trudnych warunków procesowych oraz występujących problemów eksploatacyjnych oczyszczalnia spełnia, z dużym zapasem bezpieczeństwa, wymagania określone w pozwoleniu wodnoprawnym. Zaprojektowany i eksploatowany układ technologiczny wymaga jednak modernizacji, co wynika nie tylko ze stanu technicznego pracujących tam obiektów i urządzeń, ale także aktualnego stanu wiedzy i możliwości technicznych i konieczności dopasowania układu do obecnego charakteru ilościowego i jakościowego ścieków. Realizacja działań modernizacyjnych, które zapewniłyby w okresie perspektywicznym utrzymanie wysokiej efektywności oczyszczania i sprawności obiektów, a także optymalizację jej pracy, w konsekwencji również ponoszonych kosztów, powinna przebiegać w następujących etapach:

I. CEL KRÓTKOTERMINOWY

Modernizacja oraz optymalizacja procesowa mająca za zadanie wymianę zużytych i niespełniających swojej roli w sposób optymalny, urządzeń i elementów technicznych oraz usprawnienie systemu transportu ścieków i osadów w węzłach sprawiających bieżące problemy eksploatacyjne. Konieczna jest także optymalizacja pracy reaktorów biologicznych SBR i włączenie wszystkich elementów oczyszczalni do systemu AKP, z pełnym sterowaniem cyklem SBR. W szczególności, działania modernizacyjne powinny dotyczyć:

- 1). Przebudowy układu doprowadzania ścieków do reaktorów SBR;
- 2). Demontażu oraz instalacji nowych rusztów napowietrzających oraz dyfuzorów drobnopęcherzykowych w reaktorach SBR, o wydajności dostosowanej do bieżącego i docelowego zapotrzebowania na tlen w warunkach maksymalnego obciążenia reaktorów ładunkiem związków organicznych;
- 3). Rozbudowy stacji dmuchaw obejmującej zainstalowanie nowej dmuchawy i pozostawienie jednej z aktualnie zainstalowanych dmuchaw jako urządzenia rezerwowego.
- 4). Wymiany urządzeń do mieszania ścieków w reaktorach;

- 5). Wymiany systemu dekantacji ścieków na zapewniający swobodne odprowadzenie ścieków oczyszczonych i nie powodujący zaburzeń przykrawędziowych, skutkujących wynoszeniem osadu z reaktorów SBR;
- 6). Przebudowy systemu odprowadzania ścieków z reaktorów SBR
- 7). Zawracania ścieków odprowadzanych z reaktorów SBR w pierwszej fazie dekantacji;
- 8). Wykonania ominięcia końcowego zbiornika (stawu) uśredniającego i skierowania ścieków odprowadzanych z reaktorów SBR do kanału odpływowego do odbiornika;
- 9). Wymiany pomp dozujących PIX;
- 10). Wymiany prasy taśmowej odwadniającej osady ściekowe na wirówkę, zapewniającą wyższą efektywność odwadniania. Zastosowanie wirówki dekantacyjnej, w miejsce stosowanej prasy odwadniającej spowodowałoby również większe bezpieczeństwo sanitarne, przez minimalizację kontaktu osadu odwadnianego z otoczeniem i brak oddziaływania bioaerozoli na obsługę oczyszczalni;
- 11). Przebudowy systemu odprowadzania osadu odwodnionego, poprzez przedłużenie przenośnika ślimakowego w sposób umożliwiający bezpośrednie dostarczanie osadu do zadaszonego magazynu osadu. Konieczne jest także wykonanie bypassu, pozwalającego w zależności od sposobu ostatecznego zagospodarowania osadu, na ominięcie węzła higienizacji osadu przed dostarczeniem odwodnionych osadów ściekowych pod wiatę;
- 12). Optymalizacji cyklu SBR
- 13). Zapewnienia wszystkim obiektom i urządzeniom oczyszczalni włączenia do istniejącego systemu sterowania.

II. CEL DŁUGOTERMINOWY

Przebudowa oczyszczalni uwzględniająca przede wszystkim usprawnienie usuwania piasku i tłuszczu oraz uzupełnienie linii osadowej o proces wydzielonej stabilizacji osadu dla uzyskania pełnej stabilizacji osadu nadmiernego odprowadzanego z reaktorów SBR.

W przypadku średniej wielkości oczyszczalni, w układach technologicznych linii ściekowej z reaktorami SBR, w którym nie jest stosowana sedymentacja wstępna, preferowaną metodą dostabilizowania osadu jest wydzielona stabilizacja tlenowa, prowadzona jako proces klasyczny (KWTSO) lub jako znacznie droższy inwestycyjnie proces autotermiczny (ATSO).

Przy aktualnej przepustowości, w oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju wymagałoby to dobudowy 2 komór stabilizacji (KWTSO) wraz z systemem ich natleniania oraz rozbudowy stacji dmuchaw. Bardziej zaawansowana technologicznie ATSO wymaga realizacji komory z kompletnym oprzyrządowaniem i instalacją oczyszczania powietrza.

Osiągnięcie dla warunków docelowych obciążenia oczyszczalni ładunkiem związków organicznych RLM powyżej 25 000 uzasadniałoby rozważenie zastosowania fermentacji metanowej wraz z odzyskiem powstającego biogazu, co wiązałoby się z włączeniem do układu technologicznego linii ściekowej procesu sedymentacji wstępnej (dobudową osadników wstępnych).

Dodatkowo, włączenie do układu technologicznego sedymentacji wstępnej, z jednej strony zapewniłoby częściowe wyrównanie ścieków przed częścią biologiczną, a z drugiej strony zmniejszyłoby obciążenie reaktorów ładunkiem związków organicznych oraz zawiesin mineralnych wpływających niekorzystnie na strukturę biomasy.

8. OPIS TECHNICZNY NIEZBĘDNYCH DZIAŁAŃ MODERNIZACYJNYCH

Przeprowadzona analiza technologiczna warunków pracy i efektywności oczyszczalni ścieków w Rabce-Zdroju oraz stanu technicznego wyposażenia wykazała, że konieczne jest podjęcie działań modernizacyjnych.

Ramowy zakres działań inwestycyjnych dla zrealizowania celu krótkoterminowego wraz z opisem rozwiązań technicznych scharakteryzowano poniżej.

1) Układ doprowadzania ścieków do reaktorów SBR

- W ramach przebudowy układu dopływu ścieków do reaktorów należy przedłużyć istniejące rurociągi tłoczne DN 300 w pobliżu dna reaktorów i wykonać na całej powierzchni reaktorów system równomiernego, wielopunktowego rozprowadzenia ścieków do warstwy osadu zatrzymanego w reaktorze po fazie sedymentacji i dekantacji w poprzednim cyklu.
- System rozprowadzenia ścieków nie może kolidować z rusztem napowietrzającym, ani zakłócać i obniżać efektywności pracy dyfuzorów napowietrzających.

2) System napowietrzania reaktorów SBR

Ruszt napowietrzający - demontaż zużytych oraz instalacja nowych rusztów napowietrzających

- Ze względu na zaobserwowane zużycie rusztu, skutkujące wypływaniem jego fragmentów w trakcie dotychczasowej eksploatacji reaktorów SBR, należy wymienić całość rusztów w obu reaktorach SBR.
- Ruszt w każdym z reaktorów SBR musi być podzielony dodatkowo na 4 sekcje. Każda sekcja napowietrzająca powinna być wyposażona w przepustnicę centryczną z napędem ręcznym i uszczelnieniem, dla umożliwienia odcięcia części rusztów w razie awarii.
- Wszystkie przewody sprężonego powietrza - ruszty napowietrzające (przewody pionowe, rozdzielające i rozdzielcze wraz z zamocowaniami) powinny być wykonane ze stali nierdzewnej min. 0H18N9 (304).

- Rurociągi powietrzne zasilające każdy z SBR-ów muszą być zaopatrzone w zawory odcinające.
- Każdy reaktor SBR musi być zasilany sprężonym powietrzem poprzez elektryczną przepustnicę regulacyjną. Ponadto, pomiędzy reaktorami należy wykonać połączenie przewodem z odcięciem z przepustnicą regulacyjną.
- Istniejące przewody zasilające, tj. rurociągi sprężonego powietrza pomiędzy stacją dmuchaw, a pionami rozprowadzającymi w każdym SBR, nie wymagają wymiany.
- Układ rusztów napowietrzających powinien mieć zapewnioną możliwość odwodnienia.
- Ruszty napowietrzające należy wypoziomować aby różnica rzędnych posadowienia dyfuzorów w jednej komorze nie była większa niż 0,5 cm.
- System napowietrzania powinien zapewnić pokrycie maksymalnego godzinowego zapotrzebowania na tlen rozpuszczony w reaktorach biologicznych, na poziomie $O_2 = 354 \text{ kg } O_2/h$.

Dyfuzory drobnopęcherzykowe - demontaż zużytych oraz instalacja nowych

- Należy przewidzieć zastosowanie wyłącznie napowietrzania drobnopęcherzykowego, realizowanego za pomocą dyfuzorów membranowych, rurowych z membraną wykonaną z PU (poliuretan). Korpus dyfuzora wykonany z PP.
- Parametry dyfuzorów:
 - średnica znamionowa dyfuzora 63 mm
 - całkowita długość dyfuzora 820 mm, długość czynna 750 mm,
 - sposób łączenia dyfuzorów: łącznik $\frac{3}{4}''$ wykonany ze stali 0H18N9 wg PN (AISI 304),
 - membrany muszą być mocowane bezstopniowymi obejmami wykonanymi ze stali min. 0H18N9 wg PN (AISI 304),
- Liczba i zagęszczenie dyfuzorów musi zapewnić dostarczenie do komory wymaganej ilości tlenu oraz wymieszanie całej objętości komory, eliminujące sedimentację osadu czynnego w fazie napowietrzania.

3) Stacja dmuchaw - wymiana dmuchaw napowietrzających

- Należy przewidzieć zastosowanie jednej nowej dmuchawy odśrodkowej opartej na technologii łożysk magnetycznych, bezolejowej, chłodzonej powietrzem. z napędem o zmiennej prędkości obrotowej.
- Dmuchawa powinna być wyposażona m.in. w:
 - szafę elektryczną z falownikiem, zaawansowanym sterownikiem dmuchawy, sterownikiem łożysk magnetycznych, baterią kondensatorów, jak również wszystkimi zabezpieczeniami typu dławiki skoków napięcia oraz filtry zakłóceń harmoniczných,
 - pełne okablowanie, czujniki oraz monitoring pracy dmuchawy,
 - zintegrowany system przegród zmniejszających poziom hałasu,
 - regulacyjny zawór wydmuchowy oraz tłumik,
 - silnik synchroniczny z magnesem stałym,
 - jednostopniowy wirnik odśrodkowy dmuchawy.
- Jedna z istniejących dmuchaw po renowacji powinna pełnić funkcję urządzenia wspomagającego.
- Wydajność nowej dmuchawy powinna odpowiadać maksymalnemu zapotrzebowaniu powietrza dla obu reaktorów SBR, oszacowanemu w oparciu o maksymalne zapotrzebowanie tlenu i efektywność natleniania zastosowanych dyfuzorów. Nadciśnienie 750 mbar.
- Należy zastosować dmuchawę z płynną regulacją przepływu powietrza przy pomocy zintegrowanego przemiennika częstotliwości.
- Wskaźnik energetyczny systemu dmuchaw: max. 0,025 kWh/Nm³.
- Poziom hałasu emitowanego przez dmuchawę (obudowa/bez obudowy): max 70/90 (± 3 dB(A)).
- Z dmuchawy powinny być przekazane do systemu sterowania: sygnały pracy dmuchawy (w tym wentylatora obudowy), sygnały alarmowe oraz sygnały nastaw urządzenia.
- Dmuchawa musi być wyposażona w czujnik ciśnienia oraz przepływu i współdziałać z układem sterowania ilością tłoczonego powietrza, obejmującym

m.in. istniejące sondy tlenowe, nowo zabudowane sondy do pomiaru stężenia azotu amonowego oraz przepustnice powietrzne.

- Dmuchawy muszą posiadać układ sterowniczy z rejestracją poboru mocy i czasu pracy każdej dmuchawy.

4) System mieszania w reaktorach SBR - demontaż zużytych oraz instalacja nowych mieszadeł

- Analogicznie, jak w istniejącym obecnie rozwiązaniu, nowo instalowane mieszadła powinny być mieszadłami zatapialnymi o osi poziomej, przystosowanymi do pracy przy całkowitym zanurzeniu w ściekach.
- Należy zastosować mieszadła wolnoobrotowe ze śmigłem trzyłopatowym samooczyszczającym się, o wysokiej sprawności i średnicy do $D=2,0$ m;
- Liczba mieszadeł w każdym reaktorze – 2 szt. Mieszadła powinny zapewniać utrzymanie minimalnej prędkości 30 cm/s w całej objętości reaktora.
- Elementy składowe mieszadeł muszą być wykonane z wytrzymałych materiałów odpornych na korozję:
 - Śmigło wykonane z poliuretanu wzmacnianego włóknem szklanym
 - Piasta wykonana z żeliwa klasy min. GG25;
 - Obudowa mieszadła wykonana z żeliwa klasy min. GG25 zabezpieczona powłoką antykorozyjną;
 - Wał mieszadła wykonany ze stali nierdzewnej klasy min. AISI 431 i nie gorszych właściwościach mechanicznych i wytrzymałościowych.
 - Zaczep ślizgowy mieszadła do prowadnicy wykonane ze stali kwasoodpornej klasy minimum AISI 316L;
- Wymagania dla uszczelnień:
 - Uszczelnienie mechaniczne zewnętrzne pojedyncze wykonane z materiału o nie gorszej odporności antykorozyjnej niż węgiel wolframu i gęstości materiału nie niższej niż 14g/cm³, produkowane przez dostawcę urządzenia.
 - Uszczelnienia wewnętrzne wargowe;
 - Komora olejowa uszczelnienia musi być wypełniona olejem parafinowym – nieszkodliwym dla środowiska w przypadku powstania wycieku.

- Mieszadło musi być wyposażone w zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem temperatury oraz w czujnik kontroli zawilgocenia, współpracujący z układem sygnalizującym.
- Konstrukcja nośna powinna zapewniać stabilną pracę mieszadła a elementy tej instalacji muszą być wykonane ze stali nierdzewnej klasy min. AISI 304.
- Należy zapewnić dostęp eksploatacyjny do mieszadeł. Prowadnice powinny umożliwiać:
 - instalację mieszadła na dowolnej wysokości,
 - ustawienie kątów osi mieszadła w płaszczyźnie pionowej w zakresie $\pm 15^\circ$
 - bezpieczną obsługę, dzięki wyprowadzeniu górnej części prowadnic na odpowiednią wysokość

Prowadnice powinny być wyposażone w ogranicznik dolny zabezpieczający śmigła przed uszkodzeniem w wyniku uderzenia o dno oraz amortyzator.

- Mieszadła muszą cechować się możliwością zamiany miejsca ich pracy w reaktorze i pomiędzy reaktorami SBR.
- Dostawa mieszadeł zatapialnych ma obejmować swoim zakresem projekt/schemat montażu i ustawienia mieszadła w komorze, ze względu na optymalizację warunków hydrodynamicznych procesu mieszania. Wszystkie mieszadła powinny pochodzić od jednego producenta.

5) System dekantacji ścieków - demontaż zużytych oraz instalacja nowych dekanterów

- Należy zastosować dekantery z grawitacyjnym odpływem ścieków oczyszczonych, w liczbie 2 dekantery w każdym reaktorze SBR. Oba dekantery powinny być włączone do istniejącego rurociągu spustowego wewnątrz reaktora, przed przejściem przez ścianę boczną reaktora.
- Jeden z dekanterów zamontowany w miejscu istniejącego, natomiast drugi w miejscu zapewniającym możliwie równomierne obciążenie krawędzi przelewowych i powierzchni reaktora podczas dekantacji przy jednoczesnej minimalizacji długości nowych rurociągów włączeniowych do istniejącego systemu odprowadzania ścieków.

- Wydajność zastosowanych dekanterów w każdym reaktorze ma zapewnić odprowadzenie maksymalnej objętości wymiennej w ciągu jednej godziny pracy w fazie dekantacji $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Dekanter ma zapewnić takie pobieranie dekantowanych ścieków, aby wyeliminować przedostawanie się kożucha i kłaczków osadu do rury spustowej,
- Należy zastosować dekanter, zapewniający podniesienie przelewu odpływowego ponad zwierciadło ścieków w fazie napowietrzania i mieszania, a następnie opuszczenie przelewu po fazie sedymentacji poniżej zwierciadła ścieków (dekanter z ruchomym ramieniem, dekanter teleskopowy, dekanter z mechanicznym zamknięciem wlotu).
- Dekantery powinny być wykonane w całości ze stali nierdzewnej klasy min. 1.4301 (nie dopuszcza się dekanterów z przewodami elastycznymi).

6) System odprowadzania ścieków z reaktorów SBR

Udrożnienie układu odprowadzania ścieków oczyszczonych wymaga:

- likwidacji zwężek zainstalowanych na rurociągach spustowych z dekanterów tj. zwężek symetrycznych DN500/DN400 $L=300 \text{ mm}$ wraz z elementami orurowania DN 406,4 (rura $L=500 \text{ mm}$, łuk 25° $L=621 \text{ mm}$, rura jednokołnierzowa $L=750 \text{ mm}$) z równoczesnym przedłużeniem rurociągu spustowego DN 500 do miejsca zainstalowania nowych przepustnic DN 500 z napędem elektrycznym oraz wykonaniem przejść wodoszczelnych przez ściany komory zasuw,
- zainstalowania nowych przepustnic DN 500 w miejsce istniejących DN 400,
- wymiany rozejścia: DN 500 na $2 \times \text{DN } 400$ na rozejście: DN 600 na $2 \times \text{DN } 500$,
- likwidacji zwężki DN 600/DN 500, $L = 600 \text{ mm}$ i zastąpienia jej odcinkiem DN 600 z przejściem wodoszczelnym przez ścianę komory zasuw.

7) Zawracanie ścieków odprowadzanych z reaktorów SBR w pierwszej fazie zrzutu przy dekantacji

- Należy zrealizować instalację z elektrozasuwą czasową (przepustnicą), umożliwiającą zawrócenie ścieków z pierwszej fazy dekantacji na początek linii oczyszczania ścieków.

- Ścieki z pierwszej fazy dekantacji należy skierować do istniejących rurociągów dennych (spustowych), służących aktualnie do awaryjnego (eksploatacyjnego) opróżniania reaktorów SBR, odprowadzających spust z reaktorów do studni zbiorczej głównej pompowni ścieków.
- Po określonym czasie zasuwa zostaje zamknięta i ścieki odpływają do odbiornika. przez istniejący kanał i wylot ścieków oczyszczonych.

8) Ominięcie końcowego zbiornika (stawu) uśredniającego i skierowania ścieków odprowadzanych z reaktorów SBR do kanału odpływowego do odbiornika;

Należy przewidzieć budowę fragmentu rurociągu tłoczego umożliwiającego ominięcie stawu uśredniającego, w okresie jego wyłączenia z eksploatacji, prowadzącego od budynku krat do kanału odpływowego do odbiornika. Przewidywana długość rurociągu DN250 to około 350 m.

9) Wymiana pomp dozujących PIX

- Stację dozowania PIX należy wyposażyć w nowe 2 pompy dozujące o analogicznej charakterystyce jak pompy istniejące (wydajność 55 l/h z każdej głowicy przy ciśnieniu 10 bar).

10) Wymiana urządzenia odwadniającego osady ściekowe na zapewniające wyższą efektywność odwadniania.

- Stację odwadniania osadu zlokalizowaną w istniejącym budynku technologicznym należy wyposażyć w nowe urządzenie odwadniające: wirówkę o wydajności $Q = 20-25 \text{ m}^3/\text{h}$ zapewniającą uzyskanie stężenie suchej masy osadu odwodnionego $\text{sm} \geq 20\%$ oraz instalację przygotowania i dawkowania polielektrolitu. Przy aktualnej charakterystyce osadu zagęszczonego, w okresie docelowym konieczne będzie wydłużenie czasu pracy wirówki do 8 h/d przez 5 dni w tygodniu.

Uwaga:

Zastąpienie istniejącej prasy wirówką zapewni wysoki i stabilny efekt odwadniania oraz większe bezpieczeństwo sanitarne dla obsługi wynikające z minimalnego kontaktu osadu odwadnianego z otoczeniem i braku emisji bioaerozoli. Pomimo niższego, niż w przypadku prasy, zużycia wody płuczacej, przy zastosowaniu

wirówki należy liczyć się z wyższymi kosztami eksploatacyjnymi ze względu na wyższe, niż w przypadku prasy taśmowej, zużycie energii elektrycznej i polielektrolitu.

- Stacja odwadniania powinna być wyposażona w urządzenia do pomiaru:
 - ⇒ przepływomierz do pomiaru objętości doprowadzanego osadu,
 - ⇒ przepływomierz do pomiaru ilości polielektrolitu,
 - ⇒ rotometr do pomiaru ilości wody do rozcieńczania polielektrolitu.
- Należy zapewnić możliwość ręcznej regulacji parametrów technologicznych instalacji przygotowania polielektrolitu i odwadniania: stężenia roztworu polielektrolitu podczas pracy urządzenia, dawki polielektrolitu poprzez zmianę liczby obrotów pompy dozującej, ilości osadu doprowadzanego do odwadniania, ilości polielektrolitu ze stacji roztwarzania oraz ilości doprowadzanej wody.
- Należy zapewnić możliwość używania proszku lub emulsji do kondycjonowania osadu.
- Należy zapewnić automatyczną kontrolę pracy stacji odwadniania z przesyłaniem stanów pracy i mierzonych parametrów do nadrzędnego systemu sterowania oczyszczalnią.
- W stacji odwadniania osadu konieczne jest zastosowanie materiałów o szczególnej odporności na środowisko silnie korozyjne – niezbędna jest tu stal nierdzewna gatunku minimum 0H18N9.

11) System odprowadzania osadu odwodnionego – przebudowa

- Należy wykonać ominięcie węzła higienizacji osadu, umożliwiającego skierowanie osadu odwodnionego bezpośrednio na plac magazynowy.
- Należy przedłużyć przenośnik ślimakowy osadu odwodnionego/higienizowanego w taki sposób, aby zapewnić jego transport bezpośrednio na zadaszony plac magazynowy (pod wiatę), bez konieczności stosowania w tym celu dodatkowych środków transportu (np. przyczepy ciągnikowej).

12) Optymalizacja cyklu SBR

- W reaktorach SBR należy zainstalować sondy do pomiaru stężenia N-NH_4 (po 1 szt. na każdy reaktor) i włączyć je do układu sterowania systemem

napowietrzania. Regulacja natleniania odbywać się będzie z uwzględnieniem wybranego algorytmu regulacji: od sondy tlenowej oraz amonowej.

- W reaktorach należy zamontować również sondy do pomiaru stężenia azotu azotanowego, w celu umożliwienia automatycznego sterowania długością fazy denitryfikacji (po 1 szt. na każdy reaktor) oraz włączyć je do centralnego systemu sterowania zainstalowanego w oczyszczalni w sposób umożliwiający zakończenie fazy denitryfikacji w zależności od ich wskazań.

13) Zapewnienie wszystkim obiektom i urządzeniom oczyszczalni włączenia do istniejącego systemu sterowania.

- Wszystkie nowoprojektowane urządzenia powinny zostać zintegrowane, zarówno z istniejącym wyposażeniem obiektów technologicznych, jak i z systemem kontroli i sterowania całej oczyszczalni.
- Nowe urządzenia i układy pomiarowe muszą zostać włączone do nadrzędnego, istniejącego systemu sterowania i wizualizacji, tak aby wszystkie dane pomiarowe mogły być przesyłane do centralnej dyspozytorni wyposażonej w komputerowy system sterowania.
- Zintegrowany system sterowania powinien:
 - umożliwiać zdalne ręczne i automatyczne sterowanie ze stanowiska dyspozytora oraz sterowanie ręczne lokalne,
 - sygnalizować wszystkie stany awaryjne, w tym awarie urządzeń mechanicznych oraz przekroczenie poziomów alarmowych,
 - spełniać wymóg kompatybilności wszystkich jego elementów pod względem sprzętowym (sterowniki jednego producenta) i programowym (oprogramowanie SCADA).
- Należy przewidzieć możliwość lokalnego ręcznego sterowania dla nowo instalowanych urządzeń. Ponadto, nowo realizowane/modernizowane węzły technologiczne muszą spełniać wymogi wzajemnych zabezpieczeń pracy poszczególnych urządzeń (np. urządzenie odwadniające/ przenośnik ślimakowy osadu).

UWAGA!

Szczegółowe wytyczne dla systemu sterowania po rozbudowie oczyszczalni, dla poszczególnych węzłów technologicznych podano poniżej.

– Natlenianie

System sterowania uruchamia dmuchawę „turbo” podczas zapotrzebowania na tlen otwierając zasuwę na rurociągu tłocznym głównej dmuchawy i wystawia sygnał uruchomienia tej dmuchawy. W miarę wzrostu i przekroczenia zapotrzebowania na tlen i obniżania się ciśnienia w rurociągu tłocznym, dołączy się do pracy druga dmuchawa. Dmuchawy pracować będą w kaskadzie, pracując z własnym wbudowanym algorytmem utrzymującym zadane ciśnienie w rurociągu. Dla odczytu ciśnienia w rurociągu tłocznym należy wprowadzić do systemu (układ I/O hala dmuchaw) sygnał analogowy 4-20 mA z czujnika ciśnienia, który należy zamontować na rurociągu. Równocześnie, otwiera się odpowiednia przepustnica V1 reaktor nr 1 lub V2 reaktor nr 2 na 100% otwarcia. Regulacja natleniania przebiega uwzględniając wybrany algorytm regulacji od sondy tlenowej oraz/lub amonowej. Dmuchawa „turbo” pracuje utrzymując stałe ciśnienie w rurociągu tłocznym natomiast sterowanie natlenianiem reaktorów odbywa się poprzez regulację kąta otwarcia przepustnicy V1 lub V2 (regulator PID) z systemu sterowania. Sygnały z sond tlenowych to sygnały analogowe 4-20 mA doprowadzone do kanałów analogowych, jak w istniejącej instalacji, natomiast sondy amonowe należy połączyć z systemem sterowania w protokole Modbus. Dodatkowo, należy wyposażyć układy I/O (wyspy): SBR oraz wyspę dmuchawy w moduły portów szeregowych RSTI_EP_5261, po 1 sztuce na wyspę. Napędy przepustnic V1, V2 należy wymienić na napędy ze sterowaniem analogowym z możliwością regulacji kąta otwarcia sygnał analogowy 4-20mA z istniejącego modułu analogowego wyspa SBR. Przy dostosowaniu pracy dmuchawy należy wziąć pod uwagę komunikację z systemem sterowania w protokole Modbus.

– Dekantacja

- Istniejącą szafę sterowania dekanterami należy zlikwidować, a sterowanie nowymi przepustnicami dekanterów przeprowadzić z istniejącej szafy sterowniczej SBR. Jeżeli nowe układy zasilające sterujące nie zmieszczą się w

szafie sterowniczej SBR wówczas należy zaprojektować nową szafę sterowniczą dla obsługi dekanterów.

- *Należy tak zmodyfikować algorytm sterowania, aby cykl dekantacji rozpoczynał się od nawrócenia spustu do pompowni otwarta przepustnica „nawracająca” zamknięta spustowa z warunkiem czasowym lub warunkiem mętności cieczy dekantowanej – pierwsza faza dekantacji. Następnie po spełnieniu powyższych warunków zamykana jest przepustnica „nawracająca” i otwierany zostaje spust do stawu uśredniającego z regulacją wartości przepływu zadanego dla dekantacji, przez operatora z systemu sterowania SCADA. Przepustnice spustowe są sterowane sygnałem analogowym 4-20mA - kąt otwarcia z istniejącego modułu analogowego wyspa SBR.*

– **Mieszadła**

- *Mieszadła nowe należy podłączyć do istniejącej szafy sterowniczej wymieniając przy tym zabezpieczenia termiczne na nowe o odpowiedniej wartości prądu wyzwolenia dla silników nowych mieszadeł, z blokadą pracy podczas napowietrzania.*

14) Uwagi końcowe

- Prace modernizacyjne powinny być tak zaplanowane i prowadzone, aby nie spowodować zakłóceń i pogorszenia efektywności pracy oczyszczalni,
- Należy zastosować materiały odporne na warunki panujące w oczyszczalni. Wszystkie elementy mające kontakt ze ściekami i osadami powinny zostać wykonane z materiałów odpornych na środowisko agresywne, tak aby zapewnić ich maksymalnie długą żywotność.
- Skrzynki przyłączeniowo-sterownicze urządzeń zasilanych elektrycznie powinny być wyposażone w rozwiązania zapewniające bezpieczeństwo i posiadać obudowę z tworzyw izolacyjnych.