

Ocena efektywności działania oczyszczalni ścieków z produkcji napojów bezalkoholowych i niskoalkoholowych

Evaluation of efficiency of the WWTP, treating wastewater from non-alkohol and low-alcohol beverages.

Radostaw Żyłka, Wojciech Dąbrowski*)

Słowa kluczowe: *Produkcja napojów, przemysł napojowy, oczyszczanie ścieków, ultrafiltracja, flotacja DAF*

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań efektywności systemu oczyszczania ścieków z produkcji napojów bezalkoholowych i niskoalkoholowych. Zawansowany układ oparty jest o proces flotacji i biologiczne oczyszczanie z zastosowaniem osadu czynnego i modułu ultrafiltracji. Badania efektywności prowadzono na poszczególnych etapach oczyszczania, ogółem w okresie od września do listopada 2021 roku wykonano dwanaście serii pomiarowych. W trakcie badań określono: biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT5), chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), azot ogólny (N_{og.}), fosfor ogólny (P_{og.}), zawiesiny ogólne (Z_{og.}). Oprócz efektów oczyszczania przeanalizowano także usuwane ładunki zanieczyszczeń. Badany obiekt wykazał się wysoką efektywnością usuwania substancji organicznej, wynoszącą 98,7% w przypadku BZT5 i 99,5% w przypadku ChZT. W przypadku azotu ogólnego i fosforu było to 79,7% i 94,6%. Wyniki badań mogą okazać się przydatne dla operatorów lub projektantów analogicznych systemów oczyszczania ścieków, charakteryzujących się zbliżonym składem ścieków. We wnioskach przedstawiono też planowany zakres dalszych badań, wpisujących się w problematykę gospodarki o obiegu zamkniętym.

Keywords:

Abstract

This paper presents the results of a study of the effectiveness of a system for treating wastewater from the production of soft drinks and low-alcohol beverages. The advanced system is based on a flotation process and biological treatment using activated sludge and an ultrafiltration module. Efficiency tests were carried out on the different stages of treatment, with a total of twelve measurement series performed between September and November 2021. Biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total suspended solids (TSS) were determined during the study. In addition to the treatment effects, the pollutant loads removed were also analyzed. The investigated plant showed high efficiency of organic matter removal, amounting to 98.7% for BOD₅ and 99.5% for COD. For total nitrogen and phosphorus, it was 79.7% and 94.6%. The results of the study may prove useful to operators or designers of analogous wastewater treatment systems with similar wastewater composition. The conclusions also outline the planned scope of further research as part of a closed loop economy.

1. Wprowadzenie

Produkcja napojów w Polsce odpowiadała w 2019 r. za 1,4% wartości globalnej produkcji krajowego przemysłu. W latach 2014-2019 nastąpił wzrost produkcji napojów o 15%, natomiast wzrost eksportu w tym samym okresie wyniósł aż 60%. Największym odbiorcą polskich napojów są kraje Unii Europejskiej, do których trafia 75% całkowitego eksportu [8,9]. Ciągły rozwój tej gałęzi przemysłu spożywczego wymaga także nieustannego rozwijania infrastruktury, zaopatrującej zakłady produkcyjne w wodę oraz oczyszczającą ścieki. Napoje składają się w ok. 90% z wody, wobec czego jest ona kluczowym surowcem [16]. Wytwarzanie napojów charakteryzuje się wysoką wodochłonnością jednostkową, rzędu 1,84 l/l produktu (zakres 1,42 – 1,84 l/l produktu), skutkującą powstawaniem dużych ilości i ładunków zanieczyszczeń

w ściekach [2]. Jednostkowy współczynnik ilości ścieków, w zależności od zakładu i prowadzonej gospodarki wodno-ściekowej, może wynosić nawet 0,52 m³/m³ produktu [4]. Wymagania środowiskowe stawiane zakładom przemysłowym są bardzo rygorystyczne, ponadto klienci oczekują od producentów spełniania wysokich standardów ekologicznych [10]. Jest to przyczyną poszukiwania technologii wpisujących się w nowoczesne, zielone trendy, m.in. gospodarki niskoemisyjnej czy o obiegu zamkniętym. Celem badań przeprowadzonych w jednym z zakładów produkujących napoje nisko i bezalkoholowe była ocena efektywności zaawansowanego systemu oczyszczania ścieków i wskazanie możliwości rozwoju tego typu systemów pod kątem zwiększenia efektywności i stabilności pracy. Analizie poddano obiekt oczyszczalni ścieków z produkcji napojów firmy Krynica Vitamin SA.

*) Radostaw Żyłka, dr inż. – Krynica Vitamin SA, ul. Matyldy 35, 03-606 Warszawa, Zakład Produkcyjny nr 1, Dziadkowskie – Folwark, 08-206 Huszlew, Wojciech Dąbrowski, dr hab. inż. prof. PB – Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

2. Materiał i metodyka badań

2.1. Charakterystyka przedsiębiorstwa wytwarzającego ścieki

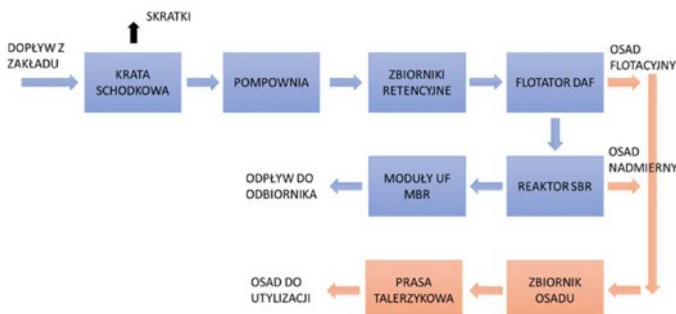
Krynica Vitamin S.A. jest czołowym polskim producentem napojów bezalkoholowych i niskoalkoholowych. W portfolio firmy znajduje się szereg produktów z segmentu CSD (carbonated soft drinks) i alko-pop. Przedsiębiorstwo świadczy głównie usługi rozlewnicze i co-packingowe dla światowych marek, w produkcji jest też wiele receptur opracowanych autorsko. Zakład produkcyjny w Dziadkowskim – Folwarku zlokalizowany jest w tyglu województw mazowieckiego, lubelskiego i podlaskiego. Zdolności produkcyjne sięgają ponad półtora miliona puszek i butelek napojów dziennie, co przekłada się na ok. milion litrów produktu [4]. Zakład wyposażony jest we własne ujęcie wody oraz oczyszczalnię ścieków, która jest przedmiotem rozważań niniejszego artykułu.

2.2. Charakterystyka analizowanej oczyszczalni ścieków

Ścieki odprowadzane z zakładu do oczyszczalni, to głównie wody zużyte w procesach mycia CIP i COP (cleaning in place, cleaning out of place), wody popłuczne oraz resztki produktu. Niewielki odsetek stanowią dodatkowo ścieki bytowe. Zastosowanie nowoczesnych stacji mycia w zakładach spożywczych, to z jednej strony oszczędność wody i chemikaliów, a z drugiej wzrost stężeń zanieczyszczeń w ściekach. Pierwszym etapem oczyszczania jest krata schodkowa, na której dochodzi do separacji wszystkich pływających i wleczonych cząstek stałych, zagrażających poprawnemu funkcjonowaniu urządzeń w dalszych procesach. Następnie, ścieki poprzez pompownię, trafiają do zbiorników retencyjnych, w których zachodzi uśrednienie ładunku zanieczyszczeń oraz oczyszczenia. Jest to typowe rozwiązanie stosowane w oczyszczalniach ścieków przemysłowych, umożliwiające stabilną pracę dalszych elementów systemu. Oczyszczanie fizyko-chemiczne realizowane jest za pomocą flotatora ciśnieniowego DAF (dissolved air flotation). Następnie ścieki trafiają do reaktora biologicznego SBR (Sequence Batch Reactor). Naprzemienne procesy napowietrzania i mieszania w środowisku niedotlenionym gwarantują usunięcie związków organicznych oraz biogennych (głównie azotu) poprzez nityfikację i denityfikację. Ze względu na specyficzny skład ścieków, proces biologiczny wspomagany jest dozowaniem odżywek w formie moczniaka i kwasu fosforowego. W reaktorze SBR nie jest prowadzona faza sedymentacji i dekantacji oczyszczonych ścieków, tak jak ma to miejsce w typowych reaktorach porcyjowych. Separacja osadu i oczyszczonych ścieków odbywa się w reaktorze membranowym poprzez ultrafiltrację. Mieszanka ścieków i osadu krąży przez układ dziesięciu ceramicznych modułów. Permeat, czyli ścieki oczyszczone, odprowadzany jest do odbiornika, którym jest rzeka Piszczanka lub wykorzystywany w procesach mycia membran. Z kolei retentat (zagęszczony osad czynny) zawracany jest do reaktora biologicznego, w celu utrzymania w nim odpowiedniego stężenia biomasy. Osad nadmierny oraz osad flotacyjny kierowane są do zbiornika, a następnie na prasę talerzykową. Odwodnione do ok. 15% s.m. osady utylizowane są przez wyspecjalizowaną firmę [4]. Przepustowość hydrauliczna obiektu wynosi 230 m³/d. Schemat obiektu badań przedstawiono na rys. 1.

2.3 Metodyka badań

W celu oceny efektywności procesu oczyszczania wykonano dwa serie pomiarowych, w okresie wrzesień – listopad 2021. Próbkę ścieków pobierane były przez obsługę, jako średnie ze zmiany pracy obiektu, w odstępach 1-godzinnych. Analizy wykonano w zewnętrznym laboratorium akredytowanym. Badania ścieków surowych, po procesie flotacji oraz po procesie oczyszczania w reaktorze biologicznym (po modułach UF) obejmowały następujące wskaźniki: pH,



Rys. 1. Schemat analizowanej oczyszczalni ścieków [4]
Fig. 1. Scheme of analyzed wastewater treatment plant [4]

BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólne oraz związki biogenne czyli azot i fosfor ogólny (P_{og.} i N_{og.}). Poprzez odczyty z układu pomiarowego obiektu monitorowano także dobową ilość ścieków (Q_d), co umożliwiło obliczenia ładunków zanieczyszczeń. Kolejnym etapem badań była analiza danych i ich obróbka statystyczna. W artykule przedstawiono jedynie wartości średnie i zakresy analizowanych wskaźników. Zaawansowana obróbka danych będzie użyta w dalszych badaniach do procesu modelowania.

3. Wyniki i dyskusja

3.1 Efektywność usuwania substancji organicznej i związków biogennych

W tab. 1 przedstawiono zawartość substancji organicznych, wyrażonych wartościami BZT₅ i ChZT oraz stężenia związków biogennych w ściekach surowych. Odczyn ścieków surowych przyjmował wartości w zakresie pH od 4,66 do 5,84. Średnia wartość ChZT w okresie badań wynosiła około 4833 mgO₂/l i przyjmowała wartości w zakresie od 539 do 9710 mgO₂/l. Są to wartości dużo wyższe od podawanych w literaturze. Chiu-Yue i in. [3] podają wartość 1200 mg/l, Fei i in. [7] 130,47 mg/l, Amuda i Amoo [1] 1750 mg/l. Średnia wartość BZT₅ w okresie badań wynosiła 2275 mgO₂/l i przyjmowała wartości w zakresie od 1254 do 4031 mgO₂/l. Stężenie azotu ogólnego i fosforu ogólnego (wartość średnia) w okresie badań wynosiło odpowiednio 80,26 mg/l i 3,14 mg/l i przyjmowało wartości w zakresie odpowiednio od 38 do 147 mg/l i 1,31 do 5,11 mg/l. Sheldon i Erdogan [13] podają zawartość fosforu ogólnego na poziomie 7,6 mg/l (zakres 6,8 - 8,8 mg/l). Analizując wskaźniki jakości ścieków stwierdzono, iż zawartość substancji organicznej jest wysoka i zbliżona dla wartości charakterystycznych w przypadku ścieków z przemysłu mleczarskiego [15, 5].

W tab. 2 przedstawiono zawartość substancji organicznych wyrażonych jako BZT₅ i ChZT oraz związków biogennych azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach po procesie flotacji ciśnieniowej DAF. Średnie stężenie substancji organicznych, wyrażonych jako ChZT, w okresie badań wynosiło 4277 mgO₂/l i przyjmowało wartości w zakresie 1984 – 9236 mg O₂/l. W przypadku BZT₅ było to analogicznie 1563 mg O₂/l i od 231 do 3818 mg O₂/l. Średnie stężenie związków biogennych - azotu ogólnego i fosforu ogólnego w okresie badań wynosiło odpowiednio 67,14 mg/l i 1,88 mg/l. W tab. 3 przedstawiono natomiast wskaźniki jakości ścieków po procesie oczyszczania biologicznego i ultrafiltracji. Wartość średnia ChZT w okresie badań wynosiła 52,2 mg O₂/l i przyjmowała wartości w zakresie od 10,9 do 91,0 mg O₂/l, a średnie BZT₅ analogicznie 9,2 mgO₂/l i zmieniał się od 3,0 do 25,0 mg O₂/l. Stężenie związków azotu ogólnego i fosforu ogólnego po procesie oczyszczania wynosiło odpowiednio 14,87 mg/l w przypadku azotu ogólnego i 0,17 mg/l w przypadku fosforu. Analizując wyniki badań przedstawione w tab. 1 i 2 zaobserwowano kilkukrotnie wzrost wartości stężeń zanieczyszczeń po procesie flo-

tacji. Zjawisko to może być efektem m.in. cyrkulacji odcieków z odwadniania osadów ściekowych, okresowo zwiększających ładunek zanieczyszczeń dopływający do flotatora. Oddziaływanie odcieków na efektywność procesu oczyszczania dotyczy głównie obiektów stosujących beztlenową stabilizację osadów ściekowych. Oddziaływanie odcieków z tlenowej stabilizacji osadów w oczyszczalniach ścieków mleczarskich czy też oczyszczalni komunalnych stosujących autermiczną stabilizację osadów było przedmiotem szeregu badań [5, 6]

Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w procesie oczyszczania biologicznego w SBR i ultrafiltracji membranowej wyniosła średnio 98,5% dla BZT₅ (zakres od 96,4 do 99,7%), 98,9% dla ChZT (zakres od 95,2 do 99,8%), 75,1% w przypadku azotu ogólnego (zakres od 50,0 do 88,1%) i analogicznie w przypadku fosforu ogólnego 87,9% (zakres od 53,8 do 98,2%). Wartości są zbliżone do uzyskanych przez Matošić i in. [10], którzy podają dla reaktora MBR skuteczność usuwania BZT₅ 97% oraz ChZT 94%. Dla porównania, skuteczność usuwania BZT₅ i ChZT w tych samych ściekach przez sam osad czynny autorzy podają na poziomie odpowiednio 47% i 43%. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w całym procesie oczyszczania ścieków wyniósł średnio 98,7% dla ChZT (zakres od 97,3% do 99,8%), 99,5% dla ChZT (zakres od 98,9 do 99,9%), 79,7% w przypadku azotu (zakres od 55,4 do 88,8%) oraz 94,6% dla fosforu ogólnego (zakres od 82,1 do 98,6%).

Tabela 1. Zawartość substancji organicznych wyrażonych jako BZT₅ i ChZT oraz związków biogennych w ściekach surowych [mg/l]

Table 1. Organic matter expressed as BOD₅ and COD and nutrients expressed as total nitrogen TN and total phosphorus TP in raw wastewater [mg/l]

Seria	ChZT	BZT ₅	N _{og.}	P _{og.}
1	9 710	3 949	61,6	4,76
2	4 385	1 921	49,6	3,53
3	3 686	1 917	64,7	5,11
4	3 782	1 974	61,1	3,51
5	3 659	1 876	147,0	3,12
6	2 539	1 254	122,0	3,64
7	4 138	2 327	49,6	1,31
8	4 070	1 440	62,0	1,60
9	7 330	2 992	38,0	2,54
10	2 951	1 726	98,5	3,42
11	3 459	1 900	107,0	3,29
12	8 293	4 031	102,0	1,81

Tabela 2. Zawartość substancji organicznych wyrażonych jako BZT₅ i ChZT oraz związków biogennych po procesie flotacji ciśnieniowej [mg/l]

Table 2. Content of organic matter expressed as BOD₅ and COD and nutrients after dissolved air flotation DAF [mg/l]

Seria	ChZT	BZT ₅	N _{og.}	P _{og.}
1	9 326	3 818	88,7	1,84
2	4 319	1 601	105,0	2,68
3	2 842	1 198	43,8	0,48
4	3 307	1 855	60,2	2,79
5	3 218	1 880	48,3	2,76
6	2 249	1 215	70,9	2,53
7	3 828	1 613	66,5	0,39
8	3 275	960	20,0	0,51
9	7 395	3 133	33,0	0,22
10	1 984	231	83,5	1,65
11	2 317	245	90,5	1,79
12	7 274	1 016	95,9	4,88

Tabela 3. Zawartość substancji organicznych wyrażonych jako BZT₅ i ChZT oraz związków biogennych po oczyszczeniu biologicznym i ultrafiltracji membranowej – ścieki oczyszczone [mg/l]

Table 3. Content of organic matter expressed as BOD₅ and COD and nutrients after biological treatment and ultrafiltration – treated wastewater [mg/l]

Seria	ChZT	BZT ₅	N _{og.}	P _{og.}
1	38,8	6,0	13,9	0,85
2	10,9	3,0	22,1	0,05
3	41,9	6,0	7,4	0,07
4	19,8	4,0	21,9	0,35
5	58,6	8,0	18,4	0,05
6	68,8	12,0	29,8	0,05
7	56,5	9,0	10,9	0,05
8	91,0	16,0	10,0	0,05
9	88,0	25,0	7,0	0,06
10	70,9	11,0	12,6	0,05
11	31,5	5,0	13,0	0,13
12	37,4	6,0	11,4	0,29

3.2 Skuteczność usuwania zawiesin ogólnych

W tab. 4 przedstawiono efektywność usuwania zawiesin ogólnych w poszczególnych etapach oczyszczania oraz w całym obiekcie. Zawiesina ogólna usuwana była podczas flotacji ze średnią skutecznością wynoszącą 77,7%, przyjmując wartości z zakresu od 20,7% do 96,9%. Wyniki korespondują z uzyskanymi przez Amuda i Amoo [1] w procesie koagulacji/flokulacji. Autorzy podają skuteczność usuwania zawiesiny w zakresie od 74% do 97%. W reaktorze SBR i podczas ultrafiltracji średnia skuteczność usuwania zawiesin wyniosła 94,4%, przyjmując wartości w zakresie od 80,8% do 99,0%. Cała oczyszczalnia ścieków usuwała zawiesinę ogólną ze średnią skutecznością wynoszącą 99,4%, przyjmując wartości w zakresie od 98,2% do 99,9%.

Tabela 4. Skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej ze ścieków na poszczególnych etapach oczyszczania

Table 4. Removal of total suspended solids TSS during particular treatment stages

Seria	Flotacja DAF	Oczyszczanie biologiczne i ultrafiltracja	Cała oczyszczalnia ścieków
1	90,9%	80,8%	98,2%
2	96,1%	91,0%	99,6%
3	94,2%	93,4%	99,6%
4	93,5%	95,5%	99,7%
5	95,5%	95,1%	99,8%
6	96,9%	97,7%	99,9%
7	84,0%	91,3%	98,6%
8	88,5%	93,8%	99,3%
9	85,6%	97,3%	99,6%
10	20,7%	98,9%	99,1%
11	22,7%	99,0%	99,2%
12	63,6%	99,0%	99,6%

3.3 Ładunki zanieczyszczeń na poszczególnych etapach procesu oczyszczania

Na rys. 2 przedstawiono ładunek substancji organicznych wyrażonych jako BZT₅ na poszczególnych etapach oczyszczania. Średni ładunek BZT₅ w ściekach surowych wyniósł 655,5 kg/d, przyjmując wartości z zakresu od 397 do 991,6 kg/d. Średni ładunek BZT₅

w ściekach po flotacji DAF wynosił 468,2 kg/d, przyjmując wartości z zakresu od 51,2 do 905,4 kg/d. Średni ładunek BZT₅ w ściekach po oczyszczeniu biologicznym i ultrafiltracji wynosił 2,8 kg/d, przyjmując wartości z zakresu od 1,0 do 7,2 kg/d BZT₅. Analogicznie rys. 3 przedstawia ładunek substancji organicznych wyrażonych jako ChZT, na poszczególnych etapach oczyszczania. Średni ładunek ChZT w ściekach surowych wynosił 1396,2 kg/d, przyjmując wartości z zakresu od 678,7 do 2126,5 kg/d. Koresponduje to z wynikami podanymi przez Muhamad Ng i in. [12] którzy badali efektywność oczyszczania przez membrany HF (hollow fiber) ścieków z ładunkiem ChZT wynoszącym 1231 kg/d. Autorzy uzyskali skuteczność usuwania równą 86,5%. Średni ładunek ChZT w ściekach po flotacji DAF wynosił 1243,9 kg/d, przyjmując wartości z zakresu od 456,3 do 2137,2 kg/d. Średni ładunek ChZT w ściekach po oczyszczeniu biologicznym i ultrafiltracji wynosił 15,4 kg/d. Rysunek 4 przedstawia ładunek związków biogennych mierzonych jako azot ogólny na poszczególnych etapach oczyszczania. Średni ładunek azotu ogólnego w ściekach surowych wynosił 23,6 kg/d, w ściekach po flotacji DAF wynosił 20,0 kg/d, a po oczyszczeniu biologicznym i ultrafiltracji wynosił 4,7 kg/d. Średni ładunek fosforu ogólnego w ściekach surowych wynosił 0,9 kg/d, w ściekach po flotacji DAF 0,6 kg/d, a w ściekach po oczyszczeniu biologicznym i ultrafiltracji wynosił 0,04 kg/d.

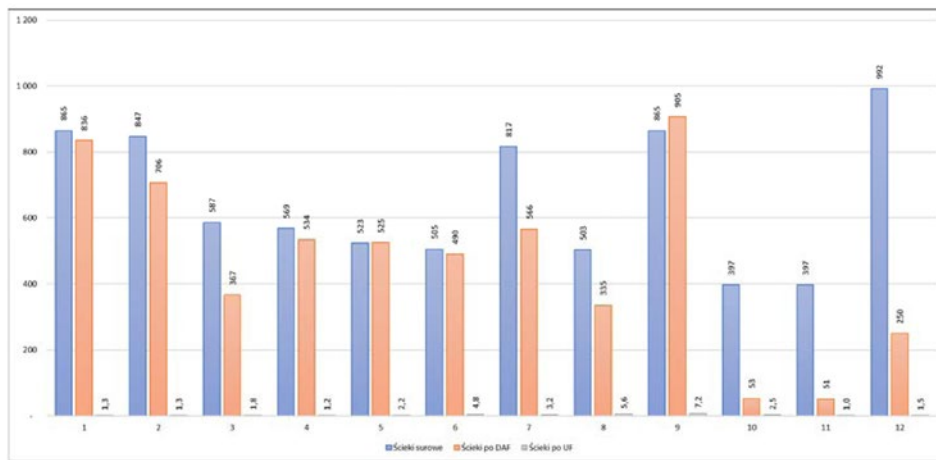
Z analizy rysunków 1-5 wynika iż głównym problemem w trakcie procesu oczyszczania są: wysoka zawartość substancji organicznej i azotu. Stężenie jak i ładunki jednostkowe fosforu są niskie. W przypadku azotu ogólnego za proces jego usuwania odpowiedzialny jest stopień biologiczny i ultrafiltracja. W przypadku substancji organicznej skuteczność flotacji jest zmienna. Proces ten pozwala odciążać

komory biologiczne, jednak jego efektywność w porównaniu np. z oczyszczaniem ścieków mleczarskich czy z przemysłu mięsnego, nie jest wysoka [15]. Przedstawienie efektywności procesu oczyszczania w postaci ładunków ścieków surowych, w trakcie oczyszczania i odprowadzanych do odbiornika jest istotne, przy ocenie oddziaływania obiektu na środowisko naturalne, w tym przypadku na odbiornik ścieków. Umożliwi to np. ocenę czynników wpływających na analizowany odbiornik, takich jak np. odprowadzenie ścieków komunalnych, wód deszczowych czy też spływów obszarowych odpowiedzialnych w dużym stopniu za stan wód powierzchniowych w kraju.

4. Wnioski

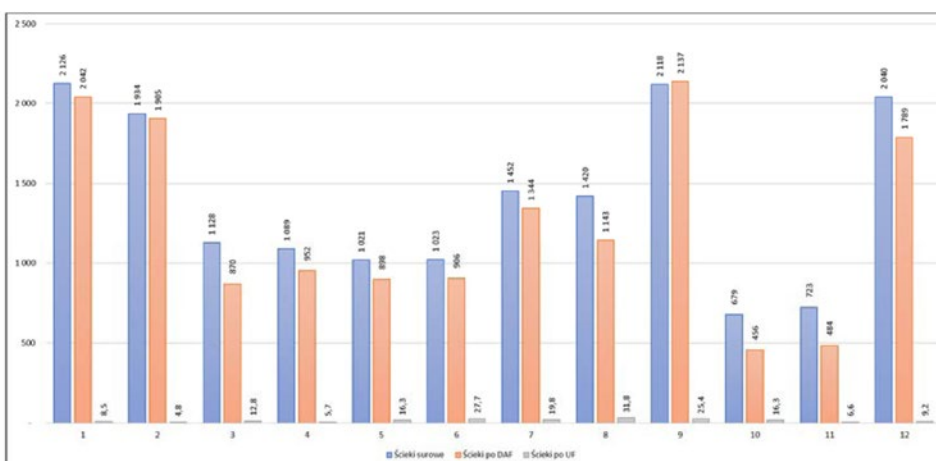
Przeprowadzenie badania dotyczące efektywności procesu oczyszczania ścieków odprowadzanych z zakładu Krynica Vitamin SA pozwoliło na sformułowanie następujących wniosków:

- Analizowany system oczyszczania ścieków z przemysłu napojowego gwarantuje wysoki efekt oczyszczania i ochronę odbiornika. Spełnione są wskaźniki jakości określone w pozwoleniu środowiskowym.
- Oczyszczalnia ścieków w okresie badań charakteryzowała się wysoką efektywnością usuwania zanieczyszczeń, wynoszącą 98,7% w przypadku BZT₅ i 99,5% w przypadku ChZT. W przypadku azotu ogólnego było to 79,7% i 94,6% w przypadku fosforu ogólnego. Za wysoki efekt usuwania substancji organicznej odpowiada głównie reaktor biologiczny i moduł ultrafiltracji.
- Zaobserwowano wahania wskaźników jakości ścieków po procesie flotacji ciśnieniowej, które były spowodowane wewnętrzną cyrkulacją odcieków z odwadniania osadów.



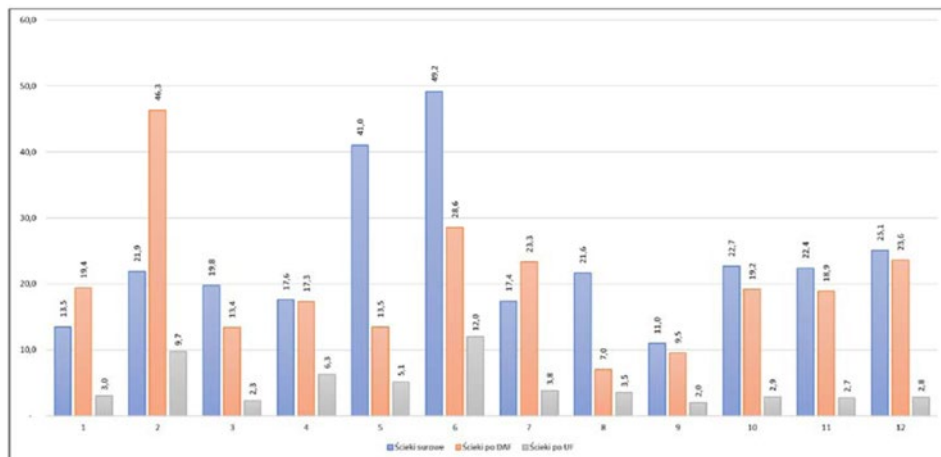
Rys. 2. Ładunek substancji organicznych wyrażonych jako BZT₅ na poszczególnych etapach oczyszczania w seriach 1-12 [kg/d BZT₅]

Fig. 2. Load of organic matter expressed as BOD₅ during particular treatment stages, series 1-12 [kg/d BOD₅]



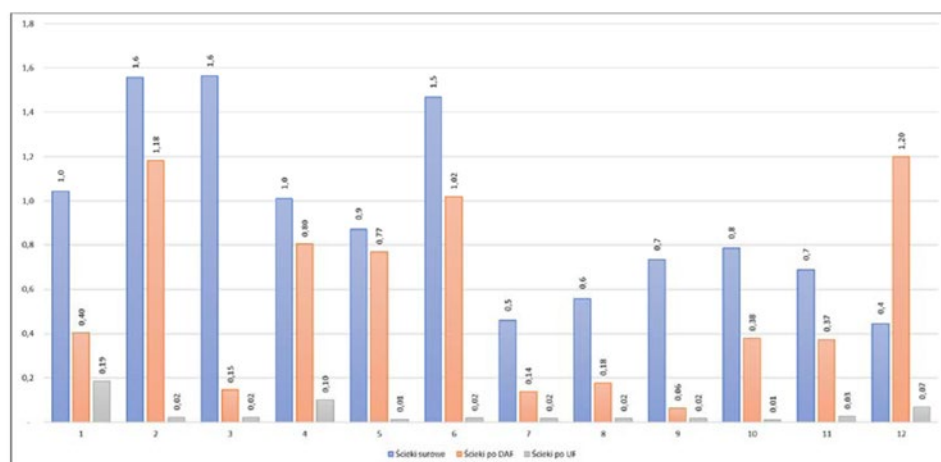
Rys. 3. Ładunek substancji organicznych wyrażonych jako ChZT na poszczególnych etapach oczyszczania, seria 1-12 [kg/d ChZT]

Fig. 3. Load of organic matter expressed as COD during particular treatment stages, series 1-12 [kg/d COD]



Rys. 4. Ładunek związków biogenych mierzonych jako azot ogólny na poszczególnych etapach oczyszczania, seria 1-12 [kg/d N_{Tot}]

Fig. 4. Load of nutrients expressed as total nitrogen NTOT during particular treatment stages, series 1-12 [kg/d N_{Tot}]



Rys. 5. Ładunek związków biogenych mierzonych jako fosfor ogólny na poszczególnych etapach oczyszczania, seria 1-12 [kg/d P_{Tot}]

Fig. 5. Load of nutrients expressed as total phosphorus PTOT during particular treatment stages, series 1-12 [kg/d P_{Tot}]

- Planowana jest kontynuacja badań celem oceny efektywności modułu ultrafiltracji. Należy rozwiązać także problem odcieków, przez ewentualne zastosowanie ich odrębnego podczyszczania. Istnieje szereg rozwiązań, w tym metody naturalne oparte o np. złoża hydrofitowe. Oddzielny kierunek badań to możliwość pozyskania energii w procesie oczyszczania, przez zastosowanie reaktora bez-tlenowego, ocena śladu węglowego czy też możliwości odzysku wody ze ścieków oczyszczonych. Zagadnienia te będą realizowane w ramach współpracy naukowo technicznej z Wydziałem Budownictwa i Nauk o Środowisku Politechniki Białostockiej.

LITERATURA

- Amuda, O. S., Amoo, I. A. 2007. „Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment”. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3): 778-783.
- BIER. 2019. “2018 Benchmarking Study Trends & Observations”. www.bieroundtable.com.
- Chiu-Yue Lin, Chyi-How Lay, Kit Wayne Chew, Saifuddin Nomanbhay, Rui-Lin Gu, Shen-Ho Chang, Gopalakrishnan Kumar, Pau Loke Show. 2021. “Biogas production from beverage factory wastewater in a mobile bioenergy station”. *Chemosphere*, 264(2): 128564.
- Dane wewnętrzne firmy Krynica Vitamin SA.
- Dąbrowski W., Karolinczak B., Gajewska M., Wojciechowska E. 2016. „Application of subsurface vertical flow constructed wetlands to reject water treatment in dairy wastewater treatment plant”. *Environmental Technology*, 38(2):1-15.
- Dąbrowski W., Karolinczak B., Malinowski P., 2018. “Application of SS-VF Bed for the Treatment of High Concentrated Reject Water from Autothermal Thermophilic Aerobic Sewage Sludge Digestion”. *Journal of Ecological Engineering*, 19(4): 103-110.
- Fei Xu, Ruipeng Sun, Hao Wang, Yuting Wang, Yongming Liu, Xing Jin, Zheng Zhao, Yujia Zhang, Wenjun Cai, Chunxiao Wang, Qiang Kong. 2021. “Improving the outcomes from electroactive constructed wetlands by mixing wastewaters from different beverage-processing industries”. *Chemosphere*, 283: 131203.
- Główny Urząd Statystyczny, 2015. *Rocznik statystyczny przemysłu 2015*.
- Główny Urząd Statystyczny, 2020. *Rocznik statystyczny przemysłu 2020*.
- Karolinczak B., Dąbrowski W., Żyłka R., 2021. “Evaluation of Dairy Wastewater Treatment Systems Using Carbon Footprint Analysis”. *Energies*, 14(17): 5366.
- Matošić M. 2009. “Treatment of beverage production wastewater by membrane bioreactor”. *Desalination*, 246(1-3): 285-293.
- Muhamad Ng., Sabrina N., Syazwani Idrus, Amimul Ahsan, Tuan N. Tuan Mohd Marzuki, Siti B. Mahat. 2021. “Treatment of Wastewater from a Food and Beverage Industry Using Conventional Wastewater Treatment Integrated with Membrane Bioreactor System: A Pilot-Scale Case Study”. *Membranes*, 11(6): 456.
- Sheldon Marshall Sheerene, Erdogan Innocentia Gugulethu. 2016. “Multi-stage EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater”. *Chemical Engineering Journal*, 285: 368-377.
- Żyłka R., Dąbrowski W., Karolinczak B., 2021. “Structure and indicators of electric energy consumption in dairy wastewater treatment plant”. *Science of The Total Environment*, 782(3):146599.
- Żyłka R. 2019. „Modelowanie i optymalizacja zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków mleczarskich” Rozprawa doktorska promowana przez dr hab. inż. Wojciecha Dąbrowskiego, prof. PB. Politechnika Białostocka.
- Żyłka R., 2021. „Ultrafiltracja – koło ratunkowe dla wymagających ścieków”. *Kierunek Spożywczy*, 3/2021: 36-40.