

Eksploatacja oczyszczalni ścieków w warunkach przeciążenia ładunkiem azotu z odcieków pofermentacyjnych

Operation of wastewater treatment plant under nitrogen overload conditions from fermentation effluents

GRAŻYNA PĘCIAK-FORYŚ, KRZYSZTOF BARBUSIŃSKI, MACIEJ ŻOŁNIERCZYK

DOI 10.36119/15.2021.9.6

W ostatnich latach, zarówno w dużych jak i mniejszych aglomeracjach miejskich, ze względów ekonomicznych oraz z powodu przekształceń gospodarczo-przemysłowych zużycie wody jest znacznie mniejsze, niż pierwotnie zakładano w szacunkach i wytycznych do projektowania oczyszczalni ścieków. Równocześnie rozwój innowacyjnych technologii środowiskowych pozwala na modyfikację wybranych węzłów technologicznych w oczyszczalniach ścieków, szczególnie w zakresie usuwania azotu. Optymalizacja energochłonnej nitrifikacji/denitrifikacji oraz stosowanie procesów nowej generacji wykorzystujących skróconą ścieżkę przemiany azotu w bocznych ciągach technologicznych to nowe kierunki i strategie redukcji stężeń azotu w oczyszczalniach ścieków. W publikacji opisano wpływ dodatkowego ładunku azotu zwracanego do głównego ciągu technologicznego z odciekami z odwadniania przefermentowanych osadów na proces technologiczny w oczyszczalni ścieków „Śródmieście” w Zabrzu. Opisano krótko, jakie ten fakt generuje problemy eksploatacyjne oraz jakie są i mogą być zastosowane środki zaradcze pozwalające na dotrzymanie parametrów jakości ścieków oczyszczonych.

Słowa kluczowe: związki azotu w ściekach, odcieki pofermentacyjne, usuwanie azotu w bocznym ciągu, deamonifikacja, zewnętrzne źródło węgla

In recent years, both in large and smaller urban agglomerations, both for economic reasons and due to economy-industrial transformations, water consumption is significantly smaller than was originally assumed in estimates and design specifications for wastewater treatment plants. At the same time, the development of innovative environmental technologies has allowed the modification of selected technological units in wastewater treatment plants, especially in the field of nitrogen removal. The optimization of energy-consuming nitrification/denitrification and the application of new generation processes using shortened nitrogen transformation pathways in side-stream process lines are new directions and strategies for the reduction of nitrogen concentrations in wastewater treatment plants. The publication describes the influence of an additional load of nitrogen returned to the main technological line with effluents from the dewatering of fermented sludge on the technological process in the wastewater treatment plant “Śródmieście” in Zabrze city. It is briefly shown which problems it causes and what countermeasures are and can be applied to maintain the quality parameters of treated wastewater.

Keywords: nitrogen compounds in wastewater, fermentation effluent, nitrogen removal in a side-stream line, deammonification, external carbon source

Wstęp

Efektywne oczyszczanie ścieków komunalnych, a szczególnie usuwanie z nich związków azotu jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia ochrony ekosystemów wodnych przed eutrofizacją [1]. Optymalizacja procesu biologicznego usuwania azotu jest dziś koniecznością, szczególnie w większych oczyszczalniach, dla których wymagania ustawowe jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika

są bardziej rygorystyczne. Obowiązek dotrzymania warunków jakości ścieków oczyszczonych w zakresie stężenia azotu ogólnego staje się więc prawdziwym wyzwaniem technologicznym, szczególnie w sytuacji kiedy główny ciąg oczyszczania ścieków surowych zostaje dociążony dodatkowym ładunkiem azotu z bocznych procesów technologicznych. Głównie wymienić można tutaj odcieki z odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych oraz w mniejszym stopniu ścieki

dowożone zewnętrznym taborem asenizacyjnym.

Powstające, jako produkt uboczny procesu odwadniania, odcieki pofermentacyjne obciążają komory biologiczne oczyszczalni dodatkowym ładunkiem azotu i w poważnym stopniu determinują sposób prowadzenia procesu technologicznego [2]. Złożoność problemu potwierdza fakt, iż parametry wyjściowe podczas pierwotnego projektowania reaktorów osadu czynnego, często nie

mgr inż. Grażyna Pęciak-Foryś – Zabrzeńskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o., Zabrze
prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński – Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, Gliwice
mgr inż. Maciej Żołnierczyk – Hidrofilt Sp. z o.o., Gliwice. Adres do korespondencji/Corresponding Author: gpeciak@wodociagi.zabrze.pl

uwzględniały zarówno ilości jak i stężenia zawracanego azotu, którego ładunek może stanowić od 20% do 30% azotu ogólnego doprowadzanego ze ściekami surowymi [3].

Analiza aktualnych trendów i rozwoju nowoczesnych technologii oczyszczania wskazuje, iż optymalne rozwiązanie to wcześniejsze usunięcie azotu z odcieków, co oprócz poprawy efektywności oczyszczania ścieków w reaktorach biologicznych, przyczynia się do korzyści zarówno ekologicznych jak i ekonomicznych [4]. Stosowane powszechnie energochłonne połączenie procesów nityfikacji i denityfikacji coraz częściej zostaje zastępowane nowoczesnymi rozwiązaniami usuwania azotu w tak zwanym bocznym ciągu technologicznym.

Proces Anammox (beztlenowe utlenianie amoniaku) oraz proces elektrodializy z zastosowaniem odpowiednio dobranych membran odpornych na działanie ścieków, są wskazywane w literaturze, jako przykładowe rozwiązania korzystne do implementacji w bocznych ciągu usuwania azotu [5]. Oprócz korzyści technologicznych, badania wykazały również możliwość optymalizacji ekonomicznej, ze względu na zmniejszenie energochłonności. Zużycie energii dla powszechnie stosowanego połączenia nityfikacji i denityfikacji wynosi około 3,54 kWh/kg N, natomiast w przypadku elektrodializy wartość ta wynosi 2,35 kWh/kg N, a procesu Anammox jedynie 1,44 kWh/kg N [6].

Aktualne oraz przewidywane przepisy i uwarunkowania prawne

W obszarze dopuszczalnych stężeń azotu w ściekach oczyszczonych obowiązuje Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych. Ponadto zgodnie z dyrektywą UE w sprawie oczyszczania ścieków komunalnych (91/271/EWG) wartość dopuszczalna stężenia azotu ogólnego to 15 lub 10 mg/dm³ (w zależności od wielkości oczyszczalni), albo procentowa redukcja rzędu 70-80% względem dopływu do oczyszczalni.

Z kolei dla maksymalnych stężeń azotu w ściekach przemysłowych wprowadzanych do kanalizacji odnosi się Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 28 września 2016 r. w sprawie

ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Budownictwa w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych.

W oczyszczalni ścieków w Zabrzu oprócz wymienionych powyżej nadrzędnych przepisów, w zakresie jakości ścieków obowiązuje także:

- Pozwolenie wodnoprawne na usługę wodną polegającą na wprowadzaniu wód do rzeki Bytomki z maja 2021 r.
- Rozliczanie należności za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych dokonywane na podstawie zasad określonych w obowiązującej w cyklu trzyletnim taryfie (wprowadzona w marcu 2021 r.).

W ostatnich latach można również zaobserwować sygnały z komisji ochrony środowiska wskazujące na konieczność zaostrożenia przepisów w zakresie wymogów dotyczących jakości ścieków oczyszczonych wprowadzanych do wód i ziemi. Jako, że jednym z największych zagrożeń powodujących między innymi zjawisko eutrofizacji jest azot, planuje się ograniczyć jego maksymalne stężenia w ściekach oczyszczonych z wartości 10 do 8 mg/dm³.

Krótką charakterystyka oczyszczalni ścieków w Zabrzu

Oczyszczalnia ścieków komunalnych znajduje się w skanalizowanej w 99,9% aglomeracji o RLM powyżej 100 000. Dopływające do oczyszczalni ścieki charakteryzują się bardzo wysokimi stężeniami związków organicznych i biogennych przy dopływie ścieków w ilości połowy wartości projektowanej, a dodatkowo do układu zawracane są odcieki własne z prowadzonych w obiekcie procesów technologicznych zagęszczania i odwadniania osadów. Wprowadzane w ten sposób do obiegu znaczne stężenia i ładunki azotu stanowią poważną barierę technologiczną dla uzyskania wysokiej efektywności usunięcia azotu ogólnego na drodze biologicznej w głównym ciągu oczyszczania [7].

Oczyszczalnię zaprojektowano na bazie wielofazowego procesu osadu czynnego, znanego jako Johannesburg (JHB) [8]. Przepustowość obiektu wynosi 33 400 m³/d. Dopływające do oczyszczalni ścieki po podczyszczeniu na kracie wstępnej, trzech równoległych kratkach gęstych schodkowych, dwukomorowych napowietrzanych piaskownikach i osadniku wstępnym doprowadzane są do reaktorów biologicznych, przepływając kolejno

przez komory defosfatacji, denityfikacji i nityfikacji. Ostatecznie sklarowane w osadnikach wtórnych ścieki kierowane są do odbiornika oraz częściowo wykorzystywane są jako woda technologiczna. Zatrzymany w osadnikach wtórnych osad zawracany jest do komór predenityfikacji, usytuowanych przed komorą defosfatacji, w celu dodatkowego usunięcia resztkowych ilości azotanów, co pozytywnie wpływa na efektywność procesu biologicznej defosfatacji, która w razie potrzeby może być wspomagana procesem chemicznego strącania za pomocą chlorku poliglinu.

Osad wstępny kierowany jest do fermenterów, gdzie generowane są lotne kwasy tłuszczowe, które jako bogate źródło węgla organicznego dozowane są następnie do komór denityfikacji. Pozostała część osadu zgromadzonego w fermenterach staje się częścią wsadu do wydzielonych komór fermentacyjnych (WKF), do których również kierowany jest osad nadmierny z osadników wtórnych. Po około 30 dniach przefermentowane osady odwadniane są na wirówkach dekantacyjnych i higienizowane wapnem. Powstały w WKF biogaz, zawierający minimum 62% metanu, wykorzystywany jest do produkcji ciepła i energii elektrycznej w agregatach kogeneracyjnych.

Źródła, formy i stężenia azotu występującego w oczyszczalni ścieków w Zabrzu

Azot w ściekach dopływających do oczyszczalni

Ścieki surowe dopływające do oczyszczalni ścieków „Śródmieście” w Zabrzu są typowymi ściekami komunalnymi, czyli wymieszanyymi ściekami bytowymi, przemysłowymi i wodami infiltracyjnymi. W omawianej zlewni funkcjonują głównie różne gałęzie przemysłu spożywczego oraz typowe dla dużych miast formy usługowo-handlowe. Praktycznie nie odnotowuje się udziału przemysłu ciężkiego. Obszar zlewni oczyszczalni jest skanalizowany w 99%, z czego większą część sieci stanowi kanalizacja rozdzielcza. Fakt rozdziału ścieków komunalnych i deszczowych sprawił, iż zmniejszyła się ilość dopływających do oczyszczalni ścieków surowych. Średniodobowy dopływ kształtuje się na poziomie poniżej 20 000 m³/d, a w okresach świątecznych oraz w weekendy około 13-16 tysięcy m³/d (czyli poniżej 50% wartości projektowej). Przewiedzone na bieżąco analizy jednoznacznie wykazują, że mniejsze dopływy nie są równoznaczne z mniejszymi ładunkami i stężeniami zanieczyszczeń w ściekach.

Ścieki surowe dopływające do oczyszczalni zawierają bardzo duże stężenia azotu ogólnego (głównie w postaci azotu amonowego), kształtujące się w zakresie 63,3-126,9 i 87,3-119,7 mgN/dm³ odpowiednio w 2018 i 2019 roku (tabela 1). Wartość średnia stężenia azotu ogólnego w roku 2019 (100,3 mg N/dm³) była wyraźnie większa od wartości średniej w roku 2018. Jednocześnie średnia wartość ładunku azotu dopływającego do oczyszczalni kształtowała się na podobnym poziomie. Jednak przy stosunkowo małym dopływie ścieków ładunki zanieczyszczeń w nich zawarte znacznie przewyższają wartości projektowe.

Tabela 1. Stężenia i ładunki azotu ogólnego w ściekach surowych w latach 2018 i 2019
Table 1. Concentrations and loads of total nitrogen in raw wastewater in 2018 and 2019

	Rok 2018		Rok 2019	
	mg/dm ³	kg/d	mg/dm ³	kg/d
Styczeń	91,8	1555,9	90,5	1813,9
Luty	75,7	1481,6	87,3	1562,4
Marzec	73,8	1661,1	102,5	1826,6
Kwiecień	63,3	1604,6	108,8	2006,1
Maj	75,2	1722,0	102,3	1982,9
Czerwiec	90,9	1783,5	90,7	1619,5
Lipiec	86,8	1613,8	93,2	1825,4
Sierpień	98,1	1777,2	119,7	1997,2
Wrzesień	85,4	2245,6	93,4	1786,3
Październik	76,6	1850,0	97,1	1727,3
Listopad	126,9	2877,8	109,0	1885,0
Grudzień	78,9	1829,0	107,0	2206,4
Średnia	85,3	1833,5	100,3	1853,3
Min.	63,3	1481,6	87,3	1562,4
Max	126,9	2877,8	119,7	2206,4

Azot w ściekach dowożonych wozami asenizacyjnymi

Ścieki dowożone wozami asenizacyjnymi z obszarów nieskanalizowanych są zagnite i na ogół znacznie różnią się od typowych ścieków bytowo-gospodarczych[9].Charakteryzują się również dużą nierównomiernością i dużymi stężeniami zanieczyszczeń. Na podstawie dostępnych danych przyjmuje się, że stężenie azotu w takich ściekach waha się od 140 do 15 000 mg N/dm³. Oczyszczalnia ścieków w Zabrze obsługuje miasto, o RLM około 170 000. Ujmowane z terenów zlewni ścieki komunalne doprowadzane są do oczyszczalni w pełni rozdzielczą sanitarną kanalizacją grawitacyjną i tłoczną (liczącą w sumie około 350 km), z którą współpracują 52 pompownie sieciowe. W związku z powyższym, ilość ścieków dowożonych wozami asenizacyjnymi do oczyszczalni „Śródmieście” stanowi minimalny udział w ogólnym ich bilansie (0,035%). Pojedyncze zrzuty z punktu zlewnego odprowadzane są bezpośrednio do kanału dopływowego do oczyszczalni i wszystkie ładunki zanieczyszczeń,

w tym azotu, ujmowane są w ogólnym strumieniu ścieków surowych.

Azot w ściekach przemysłowych

Oczyszczalnia ścieków w Zabrze przyjmuje ścieki od około 95 różnych zakładów, z którymi firma ma podpisaną umowę i które objęte są nadzorem jakości wprowadzanych ścieków do urządzeń kanalizacyjnych. Zgodnie z obowiązującym dokumentem taryfowym maksymalne dopuszczalne stężenie azotu ogólnego w ściekach przemysłowych wynosi 200 mg N/dm³. Regularnie prowadzona kontrola nie wykazuje przekroczeń tego parametru. Według danych z lat 2018-2019 stężenie azotu ogólnego w kontrolowanych próbach nie przekraczało 30 mg/dm³.

Azot w ściekach technologicznych

W bioreaktorach każdej oczyszczalni ścieków oczyszczane są nie tylko ścieki dopływające systemem kanalizacyjnym, ale również własne ścieki technologiczne generowane w oczyszczalni. W oczyszczalni ścieków „Śródmieście” w Zabrze istnieją dwa główne źródła takich ścieków. Są to odcieki po procesach zagęszczania osadu nadmiernego oraz z odwadniania na wirówkach dekantacyjnych osadu przefermentowanego. W pierwszym z tych procesów stężenie azotu ogólnego jest na tyle niskie (maksymalnie 2-5 mgN/dm³), że nie ma to wpływu na prowadzenie procesu technologicznego w głównym ciągu technologicznym oczyszczalni. Odmienna sytuacja ma miejsce w przypadku odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych (wstępnego i nadmiernego) na wirówkach dekantacyjnych. W latach 2018-2019 średnia ilość odwadnianego osadu wynosiła od 100 do 350 m³/d. Jak wynika z danych zawartych w tabeli 2 stężenie azotu ogólnego w odciekach

Tabela 2. Stężenia i ładunki azotu ogólnego w odciekach pofermentacyjnych w latach 2018 i 2019

Table 2. Concentrations and loads of total nitrogen in fermentation effluent in 2018 and 2019

	Rok 2018		Rok 2019	
	mg/dm ³	kg/d	mg/dm ³	kg/d
Styczeń	1 107,0	227,5	1 404,5	272,3
Luty	1 192,8	241,4	1 445,0	258,8
Marzec	1 278,5	235,3	1 678,0	296,1
Kwiecień	1 399,5	223,7	1 706,0	373,6
Maj	1 327,0	227,3	1 109,0	207,6
Czerwiec	1 294,5	152,9	1 061,5	162,9
Lipiec	1 208,5	250,8	988,0	172,4
Sierpień	1 138,5	259,0	998,5	195,3
Wrzesień	1 096,5	245,4	1 021,5	176,2
Październik	1 138,5	251,2	1 317,0	250,4
Listopad	1 198,0	210,3	1 023,0	196,4
Grudzień	1 334,5	231,4	740,0	119,5
Średnia	1226,2	231,4	1207,7	223,4
Min.	1096,5	152,9	740,0	119,5
Max	1399,5	259,0	1706,0	373,6

powstałych podczas tego procesu wynosiło od 740 do 1706 gN/m³, natomiast ładunek azotu od 120 do 373 kgN/d, co stanowi średnio 20% udziału azotu w ściekach surowych. Tak duża wartość, zarówno stężenia, jak i ładunku azotu powoduje dodatkowe obciążenie bioreaktorów i generuje poważne problemy eksploatacyjne.

Problemy technologiczne usuwania azotu w oczyszczalni ścieków w Zabrze

Z bieżącej analizy pracy oczyszczalni wynika, iż mniejsza ilość dopływających ścieków oznacza równocześnie większe stężenia poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń, a w szczególności azotu. Konsekwencją takiego zjawiska jest konieczność dostosowania się do pracy w nowych warunkach. W celu osiągnięcia podstawowego założenia jakim jest usunięcie azotu ogólnego na drodze biologicznej, jedynym rozwiązaniem staje się wydłużenie hydraulicznego czasu zatrzymania w reaktorach ciągu technologicznego, następstwem czego jest zjawisko niskiego obciążenia hydraulicznego reaktorów i okresowo występujące podwyższone obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń. Aby zapewnić wymaganą efektywność usunięcia azotu ogólnego utrzymywany jest bardzo duży wiek osadu (około 30 dob) oraz stężenie osadu czynnego na poziomie 7-8 g/m³ w okresie zimowym oraz 4-5 g/m³ w okresie letnim. Konieczność utrzymania tak dużego stężenia biomasy osadu czynnego w zawieszeniu oraz zapewnienie odpowiedniej ilości tlenu dla mikroorganizmów, generuje wysoką energochłonność prowadzonego procesu nityfikacji i degradacji zanieczyszczeń organicznych.

Drugim problemem w tych warunkach jest uzyskanie efektywnego procesu denitryfikacji. W tym procesie wymagana jest bowiem dostępność dla bakterii denitryfikacyjnych odpowiedniej ilości łatwo przyswajalnego węgla organicznego, który w związku z długimi czasami zatrzymania ścieków w reaktorze biologicznym (zwłaszcza w komorze nityfikacji), zostaje w większości usunięty w procesie biodegradacji. Niedobór łatwo przyswajalnego węgla organicznego skutkuje poważnymi problemami w uzyskaniu usunięcia azotu ogólnego na oczekiwany poziom.

Zabiegi technologiczne

Dzięki możliwej dużej elastyczności w eksploatacji układu technologicznego oczyszczalni „Śródmieście” w Zabrze,

a także dzięki wypracowanemu doświadczeniu obsługi, w celu osiągnięcia wymaganych efektów ekologicznych istnieje możliwość wprowadzania różnych zabiegów i środków zaradczych usprawniających proces oczyszczania ścieków. Należy do nich:

- **cykliczne gromadzenie odcieków z wirówek w zbiorniku retencyjnym:** dzięki takiemu zabiegowi można kontrolować lub chwilowo nawet wstrzymać zrzut odcieków – opróżnianie zbiornika można wtedy wykonać np. w weekendy, kiedy nie jest prowadzony proces odwadniania osadów;
korzyści i zagrożenia: działanie takie pozwala na ustabilizowanie i chwilowe odciążenie układu technologicznego; problemem jest natomiast ograniczona objętość zbiornika retencyjnego, która wystarcza maksymalnie na jedną dobę gromadzenia odcieków;
- **różne sposoby dozowania odcieków:** w zależności od sprawności technicznej poszczególnych urządzeń oczyszczalni oraz kondycji osadu czynnego istnieje możliwość kierowania odcieków bezpośrednio na biologiczne bloki technologiczne lub poprzez sieć własnych przepompowni do dopływu ścieków surowych (szczególnie korzystne w przypadku zwiększonych dopływów spowodowanych aurą, których strumień główny rozcieńcza odcieki);
korzyści i zagrożenia: wybór sposobu dozowania odcieków zależy często od pory roku i musi być poprzedzony szczegółową analizą fizykochemiczną ścieków oraz mikroskopową osadu czynnego (długotrwałe wprowadzanie odcieków do reaktorów biologicznych powoduje uaktywnienie i wzrost bakterii nitkowatych);
- **wprowadzanie dodatkowego źródła węgla organicznego:** generowane lotne kwasy tłuszczowe (LKT) dozowane są średnio 4-5 razy na dobę do komory denitryfikacji, jednak w sytuacji głębokiego deficytu węgla organicznego przekierowuje się część ścieków surowych (przez około 8 godzin na dobę) zawierających duże ilości zanieczyszczeń organicznych bezpośrednio do reaktorów biologicznych z pominięciem osadnika wstępnego. Dla osiągnięciażądanego efektu, powyższe zabiegi stosuje się średnio raz w miesiącu przez około tydzień. Dzięki temu bakterie denitryfikacyjne mają dostęp do wystarczającej ilości przyswajalnego węgla organicznego

niezbędnego do uzyskania efektywnej denitryfikacji;

korzyści i zagrożenia: skutkiem ubocznym takiego zabiegu jest znaczny przyrost osadu czynnego oraz pogorszenie kondycji osadu poddawanego fermentacji. Wynika to z faktu, iż pominięcie osadnika wstępnego prowadzi do odprowadzania około 50% mniej osadu wstępnego do fermentera (a więc i niższa produkcja LKT), co w konsekwencji sprawia, że zostają zachwiane proporcje wsadu do komór fermentacji. Większa, w stosunku do ilości osadu wstępnego, porcja trudno fermentującego zagęszczonego nadmiernego osadu czynnego powoduje zmianę struktury osadu będącego wsadem do komór fermentacji [2]. Proces zachodzi mniej efektywnie (mniejsza produkcja biogazu), a przefermentowany osad wymaga zmiany rodzaju polielektrolitu wspomagającego proces odwadniania.

Zewnętrzne źródło węgla

Proces denitryfikacji może być ograniczony dostępnością łatwo przyswajalnych związków organicznych w ściekach. W przypadku niewystarczającej efektywności procesu denitryfikacji w oczyszczalniach ścieków, możliwym rozwiązaniem problemu jest dodawanie zewnętrznego źródła węgla do komory anoksydacyjnej.

Lotne kwasy tłuszczowe

W oczyszczalni ścieków w Zabrzu w fermenterach generowane są lotne kwasy tłuszczowe (LKT) jako dodatkowe źródło łatwo przyswajalnego węgla. Na te bardzo deficytowe związki istnieje zapotrzebowanie zarówno w strefie defosfatacji do usuwania fosforu jak i w strefie denitryfikacji do końcowej fazy redukcji azotu. W praktyce funkcjonują różne schematy i rozwiązania technologiczne dozowania LKT. W oczyszczalni ścieków w Zabrzu, bogate w LKT wody nadosadowe z fermenterów, kierowane są do komór denitryfikacji bioreaktora. Czas trwania faz pracy fermentera jest ustalany i korygowany na bieżąco w zależności od ilości osadu wstępnego oraz realizowanej strategii węzła osadowego związanego ze wstępnym podczyszczaniem ścieków (generowanie LKT w celu usuwania azotu lub produkcji biogazu w okresie, gdy azot nie jest czynnikiem limitującym). LKT zawierające łatwo przyswajalny węgiel organiczny odprowadzane są cyklicznie z fermenterów średnio 4-5 razy na dobę wraz z wodami nadosadowymi. Wspomaganie procesu denitryfikacji takimi

działaniami jest skuteczne i można w ten sposób utrzymywać wymagane stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych na poziomie 10 mg/dm³ i poniżej, do około 6 mg/dm³, ale tylko w przypadku, kiedy układ oczyszczania nie jest dotciążony ładunkiem azotu z odcieków pofermentacyjnych.

Produkty organiczno-chemiczne

Poprawę efektywności procesu denitryfikacji można osiągnąć również poprzez dozowanie zewnętrznych źródeł węgla organicznego w postaci tak zwanych produktów konwencjonalnych (np. metanol, etanol oraz kwas octowy), produktów komercyjnych (np. Kem-Carbo, Brentaplus, Caramel MS) oraz alternatywnie przemysłowe produkty uboczne lub odpadowe, głównie z przemysłu spożywczego, np. oleje fuzlowe z procesu destylacji frakcyjnej surowego alkoholu etylowego [10]. W oczyszczalni ścieków w Zabrzu stosuje się zewnętrzne źródła węgla z produktów komercyjnych. W strefie denitryfikacji bioreaktora znajdują się 4 punkty dozowania substancji, które mogą funkcjonować cyklicznie w zależności od potrzeb technologicznych i być uruchamiane w różnych konfiguracjach.

Sonda pomiarowa pracująca w trybie online, zainstalowana na odpływie ścieków oczyszczonych, na bieżąco monitoruje stężenie azotu ogólnego i każde wskazanie powyżej wartości 9,0 mg/dm³ jest sygnałem o konieczności uruchomienia dozowania zewnętrznego źródła węgla. Możliwość dozowania produktów komercyjnych jako uzupełnienia deficytu węgla, którego ilość w strumieniu wód nadosadowych z LKT jest niewystarczająca, pozwala na elastyczne prowadzenie procesu technologicznego oczyszczalni ścieków. Obarczone jest jednak kosztami zakupu substancji wspomagającej.

Dlatego w celu zapewnienia stabilnego i efektywnego usuwania azotu ogólnego ze ścieków konieczne jest wdrażanie innowacyjnych technologii usuwania azotu w bocznym ciągu technologicznym. Idea usuwania azotu w takich procesach polega na usuwaniu związków azotu z odcieków i wód nadosadowych zanim trafią one do głównego ciągu oczyszczania [11]. Stosuje się tutaj innowacyjne technologie, takie jak np.: DEMON[®], ANITA[™] Mox [12], BABE[®], SHARON-Anammox[®] [13],[14]. Zaletą takich rozwiązań jest nie tylko stabilna i efektywna eliminacja związków azotu w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika, ale też możliwość zmniejszenia zapotrzebowania na tlen w komorach nitrifikacji

i tym samym obniżenie zużycia energii elektrycznej, a także wyeliminowanie konieczności stosowania zewnętrznego źródła węgla organicznego. Przykładowo w Polsce system DEMON[®] został już wdrożony w oczyszczalni „Kujawy” w Krakowie, a także w Słupsku [15], Białsku Białej i Oświęcimiu.

Podsumowanie

Radykalna redukcja ilości azotu odprowadzanego w ściekach oczyszczonych do środowiska jest jednym z najważniejszych zadań komunalnych oczyszczalni ścieków. Dlatego też, optymalizacja procesu biologicznego usuwania azotu jest dziś koniecznością, szczególnie w większych oczyszczalniach, gdzie wymagania ustawowe jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika już są, a mogą być jeszcze bardziej rygorystyczne. Usuwanie związków azotu ze ścieków stanowi duże wyzwanie technologiczne dla tych oczyszczalni, w których odcieki pochodzące z wewnętrznych procesów technologicznych, głównie z odwadniania osadów, stanowią dodatkowy ładunek azotu wprowadzany do głównego ciągu technologicznego. Przedstawione w publikacji zabiegi usprawniające proces oczyszczania, zapewniające efektywne usuwanie azotu ogólnego ze ścieków w warunkach przeciążenia bioreaktorów dodatkowym ładunkiem azotu, należy traktować jako rozwiązania tymczasowe. Długofalową i stabilną poprawę skuteczności usuwania azotu ogólnego ze ścieków można uzyskać poprzez wdrożenie nowoczesnych technologii usuwania

azotu z odcieków pofermentacyjnych i wód nadosadowych w bocznym ciągu technologicznym, zanim zostaną zawrócone do głównego ciągu oczyszczania. Dotychczasowe, nieliczne wdrożenia takich innowacyjnych technologii w polskich oczyszczalniach dowodzą, że rozwiązania te stanowią przyszłościowy kierunek modernizacji oczyszczalni ścieków.

Biorąc pod uwagę coraz większe problemy z zapewnieniem efektywnego usuwania azotu ogólnego oraz potencjalne korzyści ekonomiczne, kadra zarządzająca analizuje możliwości wdrożenia jednej z innowacyjnych technologii usuwania azotu w bocznym ciągu technologicznym w oczyszczalni „Śródmieście” w Zabrze.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Eugeniusz Klaczyński, Envirotech Sp. z o.o.* „Biologiczne usuwanie azotu ze ścieków komunalnych” Forum eksploatatora, Wydawnictwo Seidel Przywecki 1/2019
- [2] *Majtacz, J., Sobotka, D., Mąkinia, J.* „Metody oczyszczania odcieków z procesów przeróbki osadów w komorach fermentacji”, Instal 6/2013 str. 66-68.
- [3] *Grażyna Pećiak-Foryś, Krzysztof Barbusiński, Krzysztof Filipek* „Analysis of the possible application of deammonification technology in the municipal wastewater treatment plant in Zabrze” Architecture Civil Engineering Environment No. 4/2019
- [4] *Dominka Sobotka, Katarzyna Hryniewicz, Marcin Marcinkowski, Joanna Majtacz, Dominika Grubba, Jacek Mąkinia* „Nowe kierunki usuwania azotu w oczyszczalniach ścieków” Forum eksploatatora, Wydawnictwo Seidel Przywecki 2/2021
- [5] *Winkler, M. K., & Straka L.* „New directions in biological nitrogen removal and recovery from wastewater” Current opinion in biotechnology, 57, 50-55. (2019)
- [6] *Y Vineyard, D., Hicks, A., Karthikeyan, K. G., & Barak, P. L.* „Economic analysis of electro-dialysis, denitrification, and anammox for nitrogen removal in municipal wastewater treatment” Journal of Cleaner Production, 262, 121145. (2020)
- [7] *LEMTECH Konsulting Sp. z o.o.* „Analiza działalności zmodernizowanej oczyszczalni ścieków” Wydawnictwo Kraków, listopad 2011
- [8] *Barnard, J.L.* „Biological Nutrient Removal: Where We Have Been, Where We Are Going In Proceedings of the Water Environment Federation” WEFTEC2006
- [9] *Praca Zbiorowa pod redakcją Zbysława Dymaczewskiego* „Poradnik Eksploatatora Oczyszczalni Ścieków” Poznań, Polska 2011/2014
- [10] *Krzysztof Czerwionka* „Celowość zastosowania zewnętrznego źródła węgla dla wspomaganie procesu denitryfikacji na przykładzie oczyszczalni w Wielkim Klinczu” Forum eksploatatora, Wydawnictwo Seidel Przywecki 5/2015
- [11] *Monika Żubrowska-Sudoł* „Nowoczesne polskie rozwiązania w gospodarce wodno-ściekowej” Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Poznań, 16 października 2017 r
- [12] <https://www.veoliawatertechnologies.pl/technologie/anita-mox> „Proces ANITA™ Mox opracowany do obróbki strumieni o dużym obciążeniu amoniakiem”
- [13] *Kestin Zacherl-John, Wojciech Przywecki* „Dwustopniowa deamonifikacja TERRAMOX realizowana w celu utrzymania właściwego stężenia azotu w odpływie na przykładzie wybranych oczyszczalni” Forum eksploatatora, Wydawnictwo Seidel Przywecki 3/2018
- [14] https://www.researchgate.net/figure/Sharon-Anammox-process-ASM-News-2001_fig3_280419594 Strona internetowa producenta
- [15] *Paweł Kuźma, Jacek Stanisław, Norbert Weisenbacher, Jakub Drożdż* „Technologia DEMON[®] Anammox” Forum eksploatatora, Wydawnictwo Seidel Przywecki 4/2021 (115)