

Bilans azotu organicznego w części mechanicznej oczyszczalni ścieków Dębogórze w Gdyni

Dr inż. Krzysztof Czerwionka, mgr inż. Magdalena Szyszko
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

W ściekach dopływających do oczyszczalni komunalnych azot występuje głównie w postaci amoniaku/ionu amonowego ($\text{NH}_4\text{-N}$) oraz w związkach organicznych. Proporcje pomiędzy tymi formami azotu są związane ze źródłem powstawania ścieków, choć dominującą formą w ściekach bytowych jest azot organiczny (głównie w postaci mocznika). Jednocześnie wykazano, że czas dopływu ścieków do oczyszczalni oraz warunki panujące w kanalizacji sanitarnej mają istotny wpływ na wartość tej proporcji, przyczyniając się do wzrostu udziału azotu amonowego kosztem azotu organicznego [7, 9]. Azot nieorganiczny występuje w ściekach w formie rozpuszczonej głównie w postaci azotu amonowego, natomiast większość ścieków bytowych nie zawiera utlenionych form azotu nieorganicznego ($\text{NO}_x\text{-N} = \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), chociaż te formy azotu mogą pojawiać się w ściekach przemysłowych [5].

Ze względu na stan fizyczny azot organiczny można podzielić na: frakcję zawiesinową (ang. *particulate organic nitrogen* – PON), koloidalną (ang. *colloidal organic nitrogen* – CON) i rozpuszczoną (ang. *dissolved organic nitrogen* – DON). Standardowo do rozdziału frakcji w zawieszynie i rozpuszczonej przyjmuje się powszechnie sączone o wielkości porów $0,45\text{ }\mu\text{m}$. Jednak w rzeczywistości to filtrat z sączone o wielkości porów $0,1\text{ }\mu\text{m}$ powinien być traktowany jako frakcja rozpuszczona, natomiast zawieszina na sączku $1,2\text{ }\mu\text{m}$ – jako frakcja w zawieszynie. Częstki koloidalne znajdują się zatem w zakresie $0,1 \div 1,2\text{ }\mu\text{m}$. Taki podział jest rekomendowany w raporcie *Water Environment Research Foundation* (WERF) z 2008 roku [11].

O przemianach, jakim podlega azot w trakcie oczyszczania biologicznego decyduje forma, w jakiej występuje on w ściekach kierowanych do bioreaktorów. Istotnym źródłem azotu mogą być odcieki z odwadniania osadów poddanych fermentacji mezofilowej. Beztlenowy charakter fermentacji metanowej wpływa na skład wód osadowych. Odcieki mogą zawierać wysokie stężenia związków organicznych, składników odżywczych (azot i fosfor), jak również hydrofobowych organicznych zanieczyszczeń zaadsorbowanych [1, 6]. W szczególności mogą występować w nich wysokie stężenia azotu amonowego, ponieważ w czasie fermentacji azot organiczny zawarty w osadach przechodzi w procesach hydrolizy i amonifikacji w $\text{NH}_4\text{-N}$. Obecnie najpopularniejszy sposób rozwiązania problemu wód poosadowych polega na zwracaniu ich na początek głównego ciągu oczyszczania ścieków (przed komory osadu czynnego). Skutkuje to niewielkim procentowo wzrostem natężenia przepływu ścieków w granicach $1 \div 2,5\%$, jednak wiąże się z wprowadzeniem do oczyszczanych ścieków dużego ładunku azotu, który może stanowić nawet $10 \div 30\%$ całości ładunku azotu wprowadzanego do części biologicznej oczyszczalni [2, 3, 4, 10].

Celem wykonanych analiz jest opracowanie bilansu azotu części mechanicznej komunalnej oczyszczalni ścieków, na przykładzie oczyszczalni „Dębogórze” w Gdyni. Szczególną uwagę zwrócono na udział poszczególnych frakcji azotu organicznego

w ściekach kierowanych do reaktorów prowadzących procesy biologicznego oczyszczania.

METODYKA BADAŃ

Obiekt badań

Badania prowadzono w Grupowej Oczyszczalni Ścieków „Dębogórze” koło Gdyni, która przyjmuje i oczyszcza ścieki z Gdyni, Rumi, Wejherowa, Redy i kilku innych, mniejszych miejscowości. Obciążenie oczyszczalni szacowane jest na $420\text{ }000\text{ RLM}$, przy przepływie średnim dobowym około $55\text{ }000\text{ m}^3/\text{d}$. Mechaniczne oczyszczanie ścieków rozpoczyna się w budynku krat, gdzie zamontowano trzy kraty hakowe o prześwicie 6 mm . Następnie ścieki trafiają do piaskownika napowietrzanego z komorą odtłuszczania, w którym są pozbawione piasku i tłuszczów. Oba z wymienionych obiektów są zhermetyzowane.

Oczyszczalnia „Dębogórze” jest wyposażona w komorę wstępnej reakcji, do której dopływają: bogaty w kwasy tłuszczowe recyrkulat osadu wstępnego, odcieki z zagęszczania grawitacyjnego osadu wstępnego oraz pozostałe odcieki z procesów zagęszczania i odwadniania osadów. Wzbogacone w lotne kwasy tłuszczowe ścieki są doprowadzane do czterech osadników wstępnych. Kolejne obiekty oczyszczalni stanowią biologiczną część oczyszczania ścieków. Są to reaktory biologiczne o łącznej pojemności $104\text{ }000\text{ m}^3$, które zaprojektowano w technologii JHB z dodatkową symultaniczną denitryfikacją w systemie Carrousel. Oczyszczalnia spełnia wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych ($\text{N}_{\text{og}} < 10\text{ mg/dm}^3$, $\text{P}_{\text{og}} < 1,0\text{ mg/dm}^3$). Dysponuje dodatkowo kompleksową gospodarką osadową ze spalarnią odwodnionych osadów ściekowych i składowiskiem popiołu.

Materiał badawczy

W okresie od kwietnia do maja 2013 roku wykonano łącznie 3 serie pomiarowe do każdego ze strumieni ścieków i odcieków w badanej oczyszczalni. Do badań pobierano uśrednione dobowo próbki ścieków surowych (odpływ z krat) dopływających do bioreaktorów (obejmujących mieszaninę ścieków oczyszczonych mechanicznie i odcieków z gospodarki osadowej) oraz odcieków z gospodarki osadowej (za urządzeniami odwadniającymi). Schemat blokowy oczyszczalni Dębogórze z zaznaczoną lokalizacją punktów poboru prób pokazano na rys. 1.

W celu oznaczenia frakcji rozpuszczonej, koloidalnej i zawiesinowej azotu organicznego próby ścieków i odcieków z gospodarki osadowej były sączone przez filtry nitrocelulozowe firmy Millipore (Billerica MA, USA) o porach wielkości $0,1$ i $1,2\text{ }\mu\text{m}$.

wo rzadko są prezentowane natomiast stężenia azotu ogólnego (lub azotu ogólnego Kiejdahla) w wodach poosadowych. Na podstawie danych dostępnych w literaturze zmienność stężenia tego parametru wynosi od 450 do 1600 mgN/dm³. Uwzględniając prezentowane stężenia azotu amonowego, jest możliwe także oszacowanie stężenia N_{org}, które wynosiło od 70 do 250 mgN/dm³.

Stężenia azotu w odciekach z zagęszczania mechanicznego nadmiernego osadu czynnego są niskie, przy stosunkowo dużym udziale azotu organicznego (około 90%). Udział trzech badanych frakcji azotu organicznego w poszczególnych strumieniach ścieków i odcieków w części mechanicznej oczyszczalni „Dębogórze” w Gdyni przedstawiono w tabl. 2.

Prezentowane dane wskazują na wzrost udziału frakcji DON i CON w ściekach oczyszczonych mechanicznie w stosunku do ścieków surowych. Wynika to z przebiegającego także w części mechanicznej oczyszczalni procesu amonifikacji, jak i dopływu odcieków charakteryzujących się większymi stężeniami tych dwóch frakcji. W celu pełnej analizy zmian azotu w części mechanicznej oczyszczalni wykonano obliczenia bilansu masy, uwzględniające dobowe przepływy ścieków dopływających do oczyszczalni i dwóch strumieni odcieków z gospodarki osadowej. Wartości średnich ładunków azotu ogólnego i organicznego oraz frakcji N_{org}, przedstawiono na rys. 2.

Przepływ odcieków z odwadniania osadów przefermentowanych wynosił tylko 1,3 ÷ 1,6% przepływu ścieków surowych, ale zawierał 10 ÷ 12% ładunku N_{org} w ściekach kierowanych do bioreaktorów. Zbliżone wartości przedstawiono w [4], wskazując, że odcieki przy przepływie na poziomie 0,5 ÷ 2,0% wnoszą aż 10 ÷ 30% ładunku azotu w stosunku do wartości ścieków dopływających do oczyszczalni.

Przepływy odcieków z zagęszczania nadmiernego osadu czynnego były prawie 2-krotnie wyższe (2,3 ÷ 2,9% przepływu ścieków), jednak zawierały one znacznie niższy ładunek azotu, wynoszący średnio tylko 0,7% azotu kierowanego do bioreaktorów. Wykonany bilans ładunku azotu wykazał także, że średnio na dobę około 500 kg N było kierowane jako osad wstępny do komór fermentacyjnych. Stanowiło to około 30% N_{org} zawartego w ściekach surowych. Azot organiczny w tym osadzie składał się głównie z frakcji PON (68%) i CON (24%).

Dobowy ładunek N_{org} w ściekach kierowanych do bioreaktorów wynosił 1 322 kgN/d i obejmował głównie frakcję PON

Tabl. 2. Średni udział (± odchylenie standardowe) frakcji azotu organicznego w poszczególnych strumieniach ścieków i odcieków w części mechanicznej oczyszczalni „Dębogórze” w Gdyni

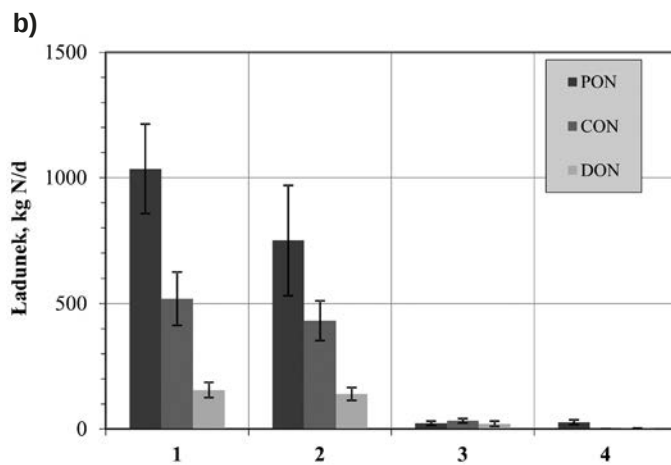
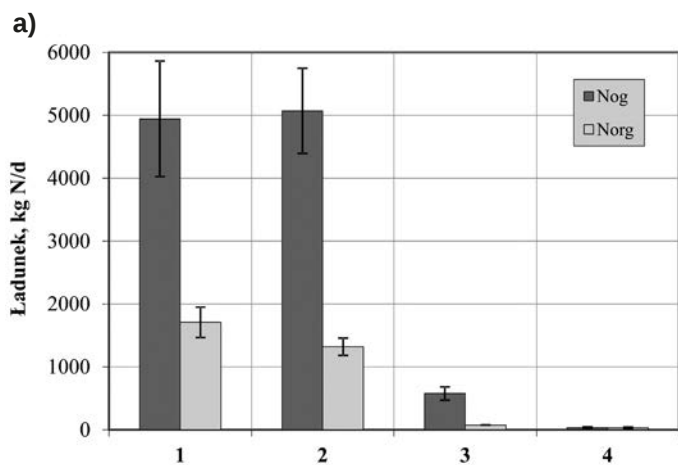
Próba	DON % N _{org}	CON % N _{org}	PON % N _{org}
Ścieki surowe (1)	9,3 (±2,4)	30,3 (±3,4)	60,5 (±4,6)
Ścieki oczyszczone mechanicznie (2)	10,6 (±2,5)	33,4 (±9,2)	56,0 (±10,7)
Odcieki z odwadniania osadu przefermentowanego (3)	27,5 (±14,1)	42,3 (±9,8)	30,2 (±10,5)
Odcieki z zagęszczacza osadu nadmiernego (4)	85,3 (±4,3)	4,3 (±1,1)	10,4 (±3,2)

(55%) i CON (33%), przy znacznie niższym udziale DON (10,6%). Zasadniczym ich źródłem były ścieki surowe, jednak około 8% N_{org} zawartego w tych ściekach pochodziło z gospodarki osadowej realizowanej w badanej oczyszczalni. Odcieki z odwadniania osadu przefermentowanego wnosły istotny ładunek DON i CON, wynoszący odpowiednio 15,1 i 7,6%. Natomiast odcieki z odwadniania nadmiernego osadu czynnego miały zauważalny wpływ tylko na ładunek PON w ściekach oczyszczonych mechanicznie. Średni ich udział wynosił 3,6%.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Średnie stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych i w ściekach kierowanych do bioreaktorów były zbliżone (około 90 mgN/dm³), przy jednoczesnym spadku udziału azotu organicznego z 35% do 26%.
2. Odcieki z odwadniania osadu przefermentowanego stanowiły tylko 1,3 ÷ 1,6% przepływu ścieków oczyszczonych biologicznie, ale wnosły aż 10 ÷ 12% ładunku azotu zawartego w tych ściekach.
3. Do komór fermentacyjnych kierowano około 30% N_{org} zawartego w ściekach surowych, głównie w postaci PON (68%) i CON (24%).



Rys. 2. Średnie wartości ładunków N_{og} i N_{org} (a) oraz frakcji N_{org} (b) w części mechanicznej oczyszczalni „Dębogórze” w Gdyni

4. Azot organiczny zawarty w ściekach oczyszczonych mechanicznie składał się głównie z frakcji zawiesinowej i koloidalnej, których łączny udział stanowił około 90% N_{org} .
5. Ocieki z gospodarki osadowej wynosiły około 8% ładunku N_{org} zawartego w ściekach kierowanych do bioreaktorów.
6. Marttinen S. K., Kettunen R. H., Rintala J. A.: Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. *The Science of the Total Environment*, 301/2003, 1-12.
7. Myszograj S.: Zmiany składu ścieków w czasie transportu siecią kanalizacyjną. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 7-8/2006, 10-14.
8. Obarska-Pemkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E.: Koncepcja oczyszczania odcieków o wysokich stężeniach zanieczyszczeń metodą hydrofi-tową. [W:] III Ogólnopolski Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin 2009, Tom 4, 9-18.
9. Sadecka Z.: Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” 2010.
10. Thornton A., Pearce P., Parsons S. A.: Ammonium removal from digested sludge liquors using ion exchange. *Water Res.*, 41/2007, 433-439.
11. WERF (2008). Dissolved organic nitrogen (DON) in biological nutrient removal wastewater treatment processes. Ed. H. David Stensel, Water Environment Research Foundation. <http://www.werf.org/nutrients/LOTDissolvedOrganicNitrogen> (accessed 29 April 2009).
12. Zbiór Polskich Norm. 1998. Woda i Ścieki. Wydawnictwo Normalizacyjne ALFA-WERO sp. z o.o., tom II.

LITERATURA

1. Arnold E., Böhm B., Wilderer P. A: Application of activated sludge and biofilm sequencing batch reactor technology to treat reject water from sludge dewatering systems: a comparison. *Water. Sci. Technol.*, 41(1/2000), 115–122.
2. Borkowski S.: Jakość cieczy osadowych powstających w procesach przeróbki osadów ściekowych. *Forum Eksploatatora*, 3-4/2004, 10-12.
3. Dosta J, Gali' A., Benabdallah T., Mata-Álvarez J.: Operation of the SHARON Denitrification Process to Treat Sludge Reject Water Using Hydrolyzed Primary Sludge to Denitrify. *Water Environment Research*, 80 (3/2008), 197-204.
4. Fux C., Velten S., Carozz V., Solley D., Keller J.: Efficient and stable nitritation and denitritation of ammonium-rich sludge dewatering liquor using an SBR with continuous loading, *Water Res.*, 40/2006, 2765-2775.
5. Grady C. P. L. Jr, Daigger G. T., Lim H. C.: *Biological Wastewater Treatment*. Second Edition, Revised and Expanded. Marcel Dekker, New York, 1999.

PODZIĘKOWANIE: Badania wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (projekt nr NN 523 621439).