

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/jonu 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 $0,45\ \mu\text{m}$. Jednak w rzeczywistości to filtrat z sączka o wielkości porów $0,1\ \mu\text{m}$ powinien być traktowany jako frakcja rozpuszczona, natomiast zawiesina na sączku $1,2\ \mu\text{m}$ – jako frakcja w zawieszynie. Cząstki koloidalne znajdują się zatem w zakresie $0,1 \div 1,2\ \mu\text{m}$. 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 zawracaniu 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

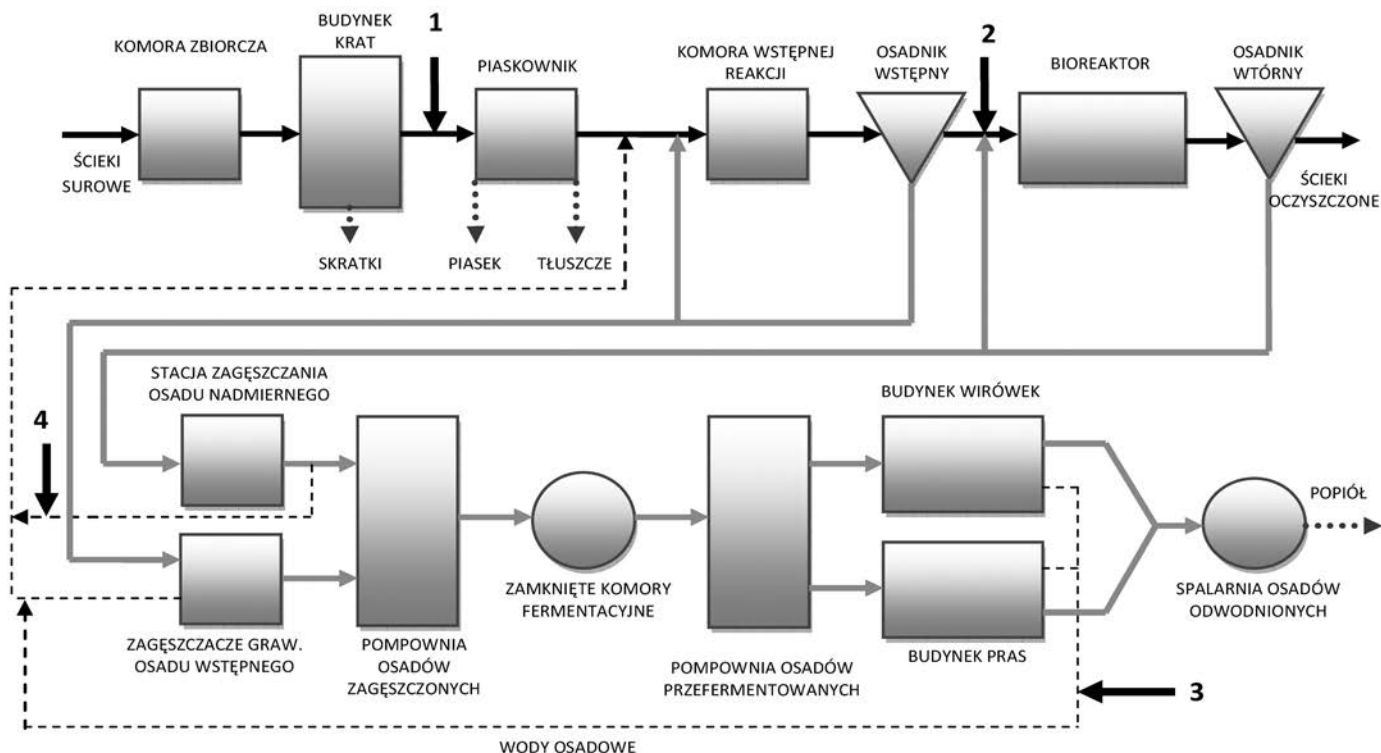
Badania prowadzono w Grupowej Oczyszczalni Ścieków „Dębogórze” koło Gdyni, która przyjmuje i oczyszcza ścieki z Gdyni, Rumi, Wejherowa, Redy i kilku innych, mniejszych miejscowości. Obciążenie oczyszczalni szacowane jest na 420 000 RLM, przy przepływie średnim dobowym około $55\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$. Mechaniczne oczyszczanie ścieków rozpoczyna się w budynku krat, gdzie zamontowano trzy kraty hakowe o prześwicie $6\ \text{mm}$. Następnie ścieki trafiają do piaskownika napowietrzanego z komorą odłuszczenia, 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 $104\ 000\ \text{m}^3$, które zaprojektowano w technologii JHB z dodatkową simultaniczną denitryfikacją w systemie Carrousel. Oczyszczalnia spełnia wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych ($\text{N}_{\text{og}} < 10\ \text{mg}/\text{dm}^3$, $\text{P}_{\text{og}} < 1,0\ \text{mg}/\text{dm}^3$). 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 $1,2\ \mu\text{m}$.



Rys. 1. Schemat blokowy oczyszczalni ścieków „Dębogórze” w Gdyni (strzałki wskazują miejsca poboru próbek do badań)

Zakres analiz laboratoryjnych

W próbach wyjściowych (niesączonech) oraz w filtratach (po sączeniu przez sączki o wielkości porów 0,1 i 1,2 μm) wykonywano oznaczenie azotu ogólnego N_{og} przy zastosowaniu analizatora TOC/TN (SHIMADZU Corporation, Japonia) oraz form nieorganicznych azotu N_{norg} ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$) metodą testów kuwetowych przy użyciu spektrofotometru DR2800 (HACH LANGE GmbH, Niemcy).

Stężenia frakcji azotu organicznego obliczano jako różnicę stężenia azotu ogólnego w próbach przed i po filtracji oraz stężenia azotu nieorganicznego:

$$\text{PON} = \text{TN}_{\text{nf}} - \text{TN}_{1,2\mu\text{m}}$$

$$\text{CON} = \text{TN}_{1,2\mu\text{m}} - \text{TN}_{0,1\mu\text{m}}$$

$$\text{DON} = \text{TN}_{0,1\mu\text{m}} - (\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N})$$

Zastosowane w pracach badawczych procedury analityczne opierały się na Zbiorze Polskich Norm [12].

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Szczegółową analizę zmian zawartości poszczególnych frakcji azotu organicznego (DON, CON i PON) wykonano na podstawie wyników badań przedstawionych w tabl. 1. Stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych odpowiadają wartościom typowym w dużych polskich oczyszczalniach komunalnych (około 90 mgN/dm^3). Średni udział azotu organicznego w tych ściekach wynosi tylko 35%, co świadczy o daleko posuniętym procesie amonifikacji, jakim podlega azot organiczny w rozbudowanej kanalizacji sanitarnej doprowadzającej ścieki do oczyszczalni. Zbliżone wnioski prezentowane są także w innych

Tabl. 1. Średnie stężenia (\pm odchylenie standardowe) związków azotu w poszczególnych strumieniach ścieków i odcieków w części mechanicznej oczyszczalni „Dębogórze” w Gdyni

| Próba | N_{og} mgN/dm^3 | N_{norg} mgN/dm^3 | $\text{NH}_4\text{-N}$ mgN/dm^3 | $\text{NO}_x\text{-N}$ mgN/dm^3 |
|--|--------------------------------------|--|---|---|
| Ścieki surowe (1) | 89,6 ($\pm 14,3$) | 31,0 ($\pm 3,5$) | 67,2 ($\pm 3,2$) | 0,09 ($\pm 0,04$) |
| Ścieki oczyszczone mechanicznie (2) | 88,9 ($\pm 9,8$) | 23,2 ($\pm 1,9$) | 71,3 ($\pm 3,3$) | 0,18 ($\pm 0,05$) |
| Odcieki z odwadniania osadu przefermentowanego (3) | 705,0 ($\pm 46,8$) | 95,7 ($\pm 10,0$) | 621,7 ($\pm 32,8$) | 1,55 ($\pm 0,23$) |
| Odcieki z zagęszczacza osadu nadmiernego (4) | 25,3 ($\pm 6,7$) | 22,2 ($\pm 8,6$) | 1,7 ($\pm 0,2$) | 1,56 ($\pm 0,48$) |

publikacjach [7, 9]. W wyniku procesu sedymentacji realizowanego w osadnikach wstępnych następuje spadek udziału azotu organicznego w ściekach oczyszczonych mechanicznie do 26%. Jednak w ściekach kierowanych do bioreaktorów stężenie azotu ogólnego jest nadal bardzo wysokie i zbliżone od wartości oznaczonych w ściekach surowych.

Może to wynikać z dopływu odcieków z gospodarki osadowej, w tym w szczególności z odwadniania osadu poddanego fermentacji mezofilowej w zamkniętych komorach fermentacyjnych. Średnie stężenia azotu ogólnego w tych odciekach wynosiły 705 mgN/dm^3 , przy około 90% udziale azotu amonowego. Na podstawie danych prezentowanych w literaturze można stwierdzić, że stężenia azotu amonowego w tego rodzaju odciekach wahają się w stosunkowo szerokim zakresie od 353 $\text{mg NH}_4\text{-N/dm}^3$ w jednej z polskich oczyszczalni [8] do 1710 $\text{mg NH}_4\text{-N/dm}^3$ w oczyszczalni Brisbane w Australii [4]. Stosunkowo

w 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 prefermentowanych 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

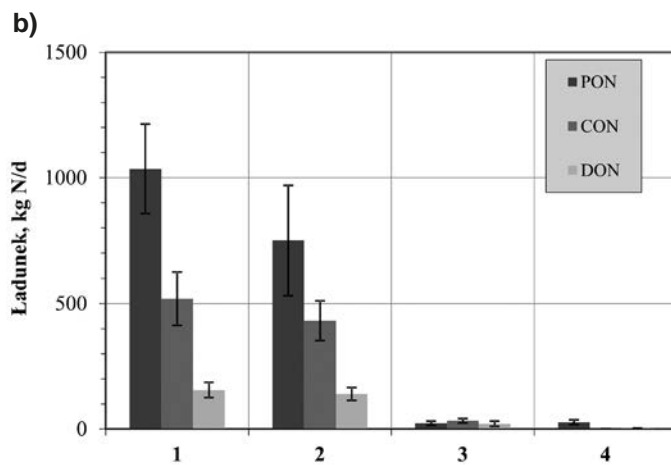
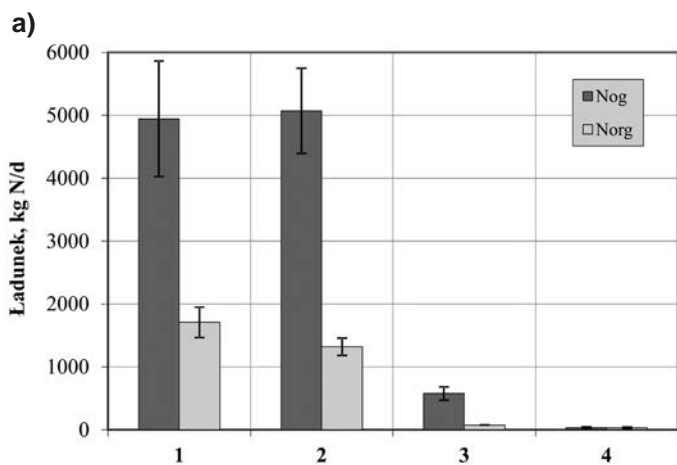
| Próba | DON % N _{org} | CON % N _{org} | PON % N _{org} |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Ścieki surowe (1) | 9,3 (±2,4) | 30,3 (±3,4) | 60,5 (±4,6) |
| Ścieki oczyszczone mechanicznie (2) | 10,6 (±2,5) | 33,4 (±9,2) | 56,0 (±10,7) |
| Odcieki z odwadniania osadu prefermentowanego (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 prefermentowanego wnoszą 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:

- 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%.
- Odcieki z odwadniania osadu prefermentowanego stanowiły tylko 1,3 ÷ 1,6% przepływu ścieków oczyszczonych biologicznie, ale wnoszą aż 10 ÷ 12% ładunku azotu zawartego w tych ściekach.
- 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 zawieszinowej i koloidalnej, których łączny udział stanowił około 90% N_{org} .
5. Odcieki 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).