

NEREDA – innowacyjna technologia granulowanego osadu czynnego do oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych

Marek Jerzy Gromiec*)

Wstęp

Oczyszczanie ścieków przemysłowych i komunalnych metodą osadu czynnego liczy blisko sto lat i nadal zadziwia możliwościami dalszego rozwoju. Klasyczny osad czynny stanowi kłaczkowatą zawiesinę, złożoną głównie z bakterii, pierwotniaków i innych organizmów.

Jednym z głównych problemów eksploatacyjnych jest pęcznienie osadu, spowodowane nadmiernym rozwojem bakterii nitkowatych, które powodują, że osad ma niekorzystne właściwości sedymentacyjne. Przyczyny powstawania pęcznienia osadu czynnego są złożone, dlatego trwają obecnie intensywne poszukiwania skutecznych sposobów przeciwdziałania temu zjawisku. Podstawową sprawą oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego jest efektywny proces oddzielania osadu od oczyszczonej cieczy, który jest często utrudniony z uwagi na kłaczkowaty charakter osadu.

Problemowi powyższemu wychodzi naprzeciw technologia z granulowanym osadem czynnym. Istnieje bogata bibliografia zagraniczna dotycząca granulowanego osadu czynnego, przykładowo

[1-4], jak też piśmiennictwo polskie, przykładowo [5-7]. Większość opublikowanych prac ma jednak charakter badań podstawowych.

W niniejszym artykule zaprezentowano konkretne, innowacyjne rozwiązanie technologiczne z granulowanym osadem czynnym, oparte o reaktory sekwencyjne, które zostało zastosowane w praktyce.

Nazwa technologii

Nazwa technologii – Nereda pochodzi od greckich słów „Nerei, Nereides”. Nereidy w mitologii greckiej były nimfami morskimi, córkami Nereusza – greckiego boga morza. Jako nimfy wodne uosabiały siły żywotne przyrody i jej piękna, ale były też śmiertelne i ginęły ze swoim środowiskiem. Nereida, uosabiając uroki wody, w mitologii greckiej była związana z określeniem „czysta”, stąd prawdopodobnie nazwa technologii wskazująca na dobrą jakość oczyszczonych ścieków.

Historia powstania technologii

Idea technologii Nereda powstała w wyniku dyskusji, którą przeprowadzili prof. *Peter Wilderer* (Uniwersytet Monachium) i prof. *Mark van Loosdrecht* na jednym z festiwali piwa (Oktoberfest) w Monachium. Można tylko przypuszczać, że wpłynęła na to dobra atmosfera i kultura picia piwa.

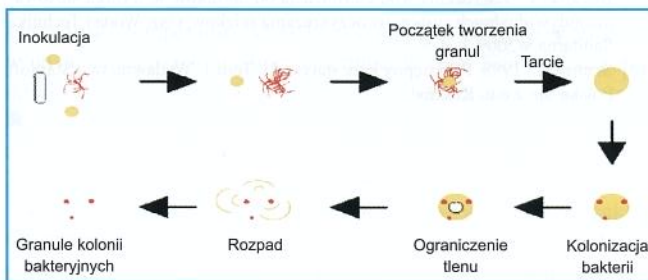
*) **Marek Jerzy Gromiec** – Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, 02-061 Warszawa, Wawelska 14

Technologia Nereda została opracowana w latach 90-tych XX wieku przez pracowników naukowych Uniwersytetu Technologicznego Delft. Rozwinęła się w wyniku realizacji: holenderskiego programu badawczego, powstałego jako *joint venture* pomiędzy Holenderską Fundacją Badań Wodnych, Uniwersytem Technologicznym Delft i firmą DHV oraz sześcioma urzędami wodnymi.

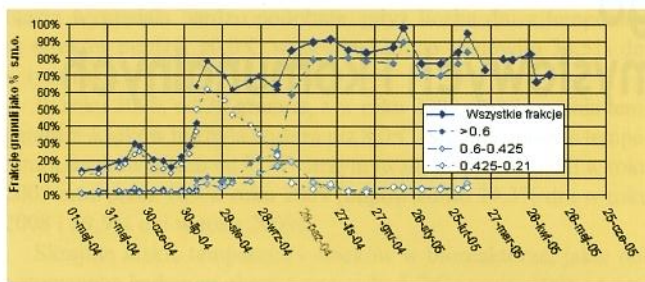
Technologię powyższą można zastosować zarówno przy budowie nowych oczyszczalni ścieków, jak i modyfikacji już istniejących. Za pomocą tej technologii można oczyszczać nie tylko ścieki przemysłowe, ale również ścieki komunalne.

Podstawy technologiczne

Tlenowy osad czynny o charakterze granulowanym przypomina beztlenowy osad granulowany i ma doskonałe zdolności sedymentacyjne. Prawdopodobny mechanizm powstawania tlenowych granul osadu czynnego przedstawiony jest na rys. 1. Granule selekcjonowane są z konwencjonalnego osadu czynnego (rys. 2).



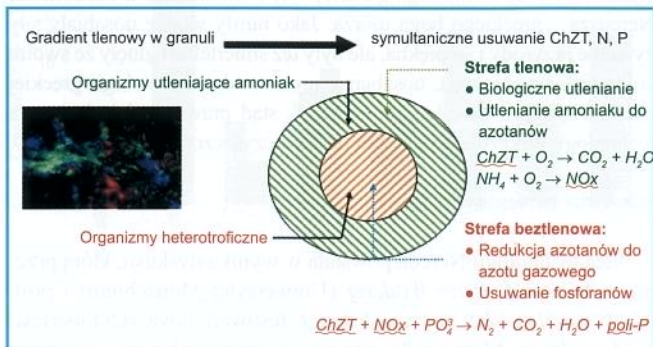
Rys. 1. Prawdopodobny mechanizm powstawania tlenowych granul osadu czynnego



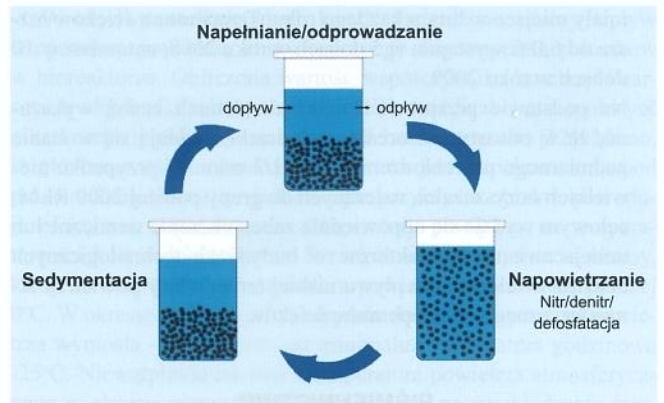
Rys. 2. Selekcjonowanie granul z konwencjonalnego osadu czynnego

W granulach osadu czynnego, symultaniczne usuwanie związków węglowych i biogenych zachodzi w dwóch strefach: tlenowej i beztlenowej.

W strefie tlenowej następuje biologiczne utlenianie związków węglowych i utlenianie amoniaku do azotanów. Natomiast w strefie beztlenowej następuje redukcja azotanów do azotu gazowego i usuwanie fosforanów. Schemat granul osadu czynnego i zachodzące procesy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat granul osadu czynnego



Rys. 4. Fazy w sekwencyjnym reaktorze z granulowanym osadem czynnym

Bardzo dobry czas sedymentacji osadu granulowanego powoduje, że korzystna jest realizacja tej technologii w reaktorze o działaniu sekwencyjnym (ang. *Seqencing Batch Reaktor* – SBR), który eliminuje potrzeby oddzielnych osadników. W reaktorach sekwencyjnych z konwencjonalnym osadem czynnym, w jednym reaktorze następuje kolejno po sobie następujący przebieg poszczególnych faz: etap postoju, napelnianie, mieszanie/natlenianie, sedymentacja, opróżnianie. W reaktorach sekwencyjnych z granulowanym osadem czynnym fazy ograniczone są do: napelniania, napowietrzania, sedymentacji i odprowadzania ścieków (rys. 4), a tym samym są w pewnym stopniu uproszczone.

Zalety technologii

Konwencjonalne metody osadu czynnego są podatne na pęcznienie osadu czynnego, wymagają znacznych powierzchni i potrzebują duże ilości energii. Równocześnie, często wymagają skomplikowanych rozwiązań dla zintegrowanego usuwania zanieczyszczeń organicznych i substancji biogenych oraz doświadczają trudności eksploatacyjnych.

Zmiany w strukturze biomasy kłaczkowego osadu czynnego przekształcające go na tlenowe granule osadu czynnego powodują, że uzyskuje się wysokie stężenie biomasy (istniejącej bez wsparcia wypełnienia), posiadającej doskonałe właściwości sedymentacyjne. Prosty, jednokomorowy reaktor sekwencyjny ma małą powierzchnię, niskie zużycie energii oraz prostą i łatwą eksploatację. Równocześnie, w przypadku oczyszczania ścieków komunalnych, reaktor powyższy zapewnia jednocześnie usuwanie związków węgla, azotu i fosforu, przy niskich nakładach inwestycyjnych i kosztach eksploatacyjnych. Powyższe sprawia, że można uznać tą technologię za zrównoważoną.

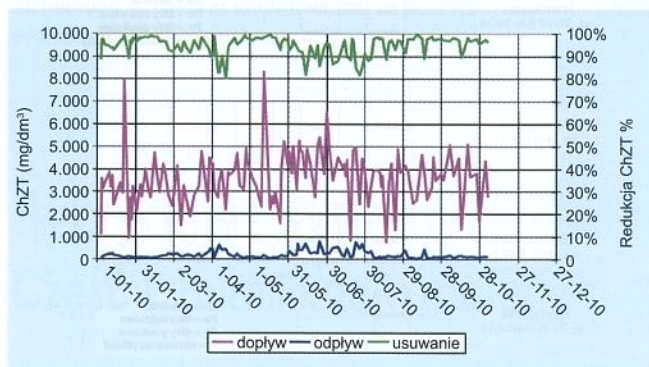
W warunkach holenderskich uzyskano: 75% mniejszą powierzchnię (z uwagi na wysoką koncentrację biomasy i reaktory bez selektora, zbiornika i osadnika) oraz 25–35% mniejsze zużycie energii (z uwagi na mniejszą ilość mieszadeł i efektywniejsze napowietrzanie), jak też znacznie niższe koszty budowy i eksploatacji w reaktorach sekwencyjnych z granulowanym osadem czynnym niż w reaktorach sekwencyjnych z kłaczkowym osadem czynnym.

Zastosowanie technologii do oczyszczania ścieków przemysłowych

Technologia Nereda została zastosowana w praktyce do oczyszczania różnych rodzajów ścieków przemysłowych w Holandii. Przykłady powyższych zastosowań obejmują: przemysł produkcji serów i przemysł olejów jadalnych.

W **przemśle produkcji serów** zastosowano sekwencyjny reaktor z granulowanym osadem czynnym do biologicznego podczyszczania ścieków, z przednim usuwaniem tłuszczów i skrutek.

Budowę oczyszczalni rozpoczęto i zakończono w 2005 r., modernizując istniejący zbiornik magazynujący na rektor sekwencyjny. Ścieki surowe miały następującą charakterystykę: ilość 50–250 m³/d, ChZT (chemiczne zapotrzebowanie tlenu) 2000–4000 mg/dm³, 1500–5000 RLM. Oczyszczalnia zaczęła działać w 2006 r., w oparciu o następujące dane: ilość max. 360 m³/d, ChZT 4500 mg/dm³, 5000 (projekt) – 10 000 RLM (rzeczywiste). W roku 2009, firma została przeniesiona do innego miejsca wraz z oczyszczalnią i podwoiła produkcję. Oczyszczalnię uruchomiono powtórnie pod koniec 2009 r. Redukcja ChZT wyniosła około 95% (rys. 5) i spowodowała znaczne zmniejszenie opłat za zrzut ścieków. Warto zauważyć, że granulowany osad czynny osiągnął stężenie do 15 g/dm³, a SVI – indeks objętościowy osadu (5 min i 30 min) wynosił około 20–40 ml/g. Eksploatacja oczyszczalni wymaga tylko uproszczonych działań.



Rys. 5. Usuwanie ChZT ze ścieków z produkcji serów

W przemyśle olejów jadalnych zmieniono konwencjonalny reaktor sekwencyjny, z poważnymi problemami pęcznienia kłaczkowatego osadu czynnego, na dwa reaktory sekwencyjne z granulowanym osadem czynnym. Ilość dopływających ścieków wynosi 400–450 m³/d, a ładunek zanieczyszczeń 2500–3000 kg ChZT/d. W wyniku zastosowania technologii Nereda nastąpiło stabilne działanie oczyszczalni ścieków i uzyskanie dobrej jakości odpływu ścieków, a występujący uprzednio problem pęcznienia osadu zniknął.

Badania nad zastosowaniem technologii do oczyszczania ścieków komunalnych

Holenderski program badawczy rozpoczął się w 2007 r. i objął badania pilotowe na oczyszczalniach w: Aalsmeer, Hoensbroek, Dinxperlo oraz Epe. Szczególnie intensywne badania pilotowe zostały przeprowadzone na oczyszczalni w Epe, na którą dopływają ścieki komunalne ze znacznym udziałem ścieków z rzeźni. Przykładowe wyniki tych badań przedstawiono w tab. 1. W wyniku tych badań podjęto decyzję o zamianie istniejącej technologii oczyszczalni ścieków w Epe na technologię Nereda. Nową oczyszczalnię, której rozpoczęcie budowy nastąpiło w 2000 r., zaprojektowano na 59 000 RLM (w tym 13 750 RLM z rzeźni). Planowana docelowa jakość odpływu ścieków w zakresie substancji biogennych jest następująca: azot całkowity poniżej 5,0 mg/dm³ (granica poniżej 8,0 mg/dm³) i fosfor poniżej 0,3 mg/dm³ (granica poniżej 0,5 mg/dm³). Oczyszczalnia ścieków w Epe zostanie ukończona i uruchomiona na wiosnę 2011 roku. Rozpoczęto również projektowanie komunalnej oczysz-

Tabela 1
Wyniki badań pilotowych z komunalnej oczyszczalni ścieków w Epe, Holandia

mg/dm ³	Reaktor 1			Reaktor 2		
	Data	NH ₄ -N	NOx-N	OrtoP	NH ₄ -N	NOx-N
1-01-09	1,12	4,93	0,56	1,14	3,14	1,73
1-02-09	0,25	4,39	0,27	0,45	1,51	0,31
1-03-09	0,87	3,76	0,26	0,67	2,22	0,36
1-04-09	0,48	4,77	0,05	0,18	4,29	0,35
1-05-09	0,19	5,80	0,08	0,35	5,98	0,49
1-06-09	0,73	3,49	0,24	0,44	4,65	0,23
1-07-09	0,08	2,76	0,18	0,18	1,56	0,39
1-08-09	0,11	3,84	1,04	0,48	3,18	0,67
1-09-09	0,19	2,98	0,06	0,15	3,76	0,06
1-10-09	1,99	1,64	0,03	1,21	4,86	1,39
1-11-09	0,10	2,85	0,03	0,13	3,28	1,08
1-12-09	1,23	7,27	0,11	1,21	5,07	0,09
1-01-10	0,67	7,77	0,52	0,32	5,01	0,87
średnie	0,62	4,33	0,26	0,53	3,73	0,62

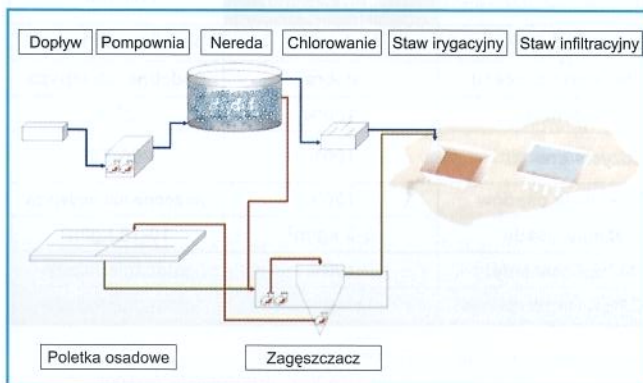
Uwaga 1: rozrzut wyników nie jest związany z niestabilnością procesu lecz odzwierciedla zmiany warunków osadzania

Uwaga 2: wyniki oparte na ciągłych pomiarach monitoringowych

czalni ścieków w Vroomshoop na 24 000 RLM oraz oczyszczalni ścieków w Dinxperlo na 15 000 RLM.

Portugalia – prowadzone są badania w skali półtechnicznej na komunalnej oczyszczalni ścieków (3000 m³/d), mające na celu jej modernizację i zastosowanie technologii Nereda.

Republika Południowej Afryki – przeprowadzono badania w skali pełnej technicznej na komunalnej oczyszczalni ścieków w Gansbaai, które rozpoczęto we wrześniu 2008 r. Ilość dopływających ścieków wynosiła 4000 m³/d, a część biologiczna oczyszczalni



Rys. 6. Schemat komunalnej oczyszczalni ścieków w Gansbaai, RPA

Tabela 2
Wyniki badań pilotowych z komunalnej oczyszczalni ścieków w Gansbaai, RPA

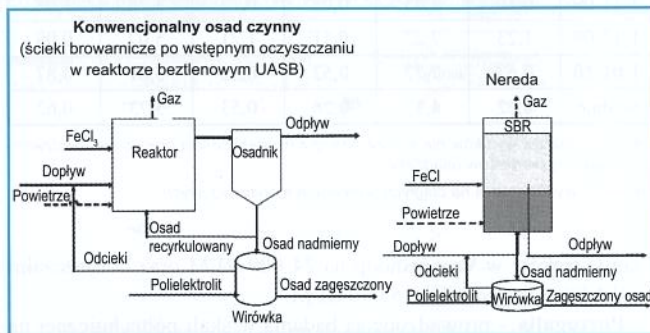
Parametr, mg/dm ³	Typowe wymogi oczyszczania			Wyniki działania			
	Dopływ	Wskaźniki wymagane	% Redukcji	Dopływ*	Odpływ*	Wymagania	Uzyskany % redukcji
ChZT	900	75	91,7%	2470	87,6	75	96,5%
N _{total}	70	2	97,1%	60	0,4	6	99,3%
Ortofosforany	15	1	93,3%	10	0,259	10	97,4%
NOx-N		10			8,2	15	
NH ₄ -N + NOx-N	70	12	82,9%	60	8,6	20	85,7%
Zawiesina	350	25	92,9%	1117	7,14	25	99,4%

* Średnia październik 2009

posiadała trzy sekwencyjne reaktory technologii Nereda, o objętości 1600 m³ każdy. Schemat oczyszczalni ścieków w Gansbaai przedstawiono na rys. 6, a przykładowe wyniki badań w tab. 2. Innym przykładem przyszłego zastosowania technologii Nereda jest komunalna oczyszczalnia ścieków w Wemmershoek (43 000 RLM), która znajduje się aktualnie w projektowaniu.

Porównanie technologii

W Holandii, wykonano porównanie technologii konwencjonalnego osadu czynnego oczyszczającego ścieki browarnicze, po ich uprzednim wstępnym oczyszczeniu w reaktorze beztlenowym UASB (ang. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), z technologią Nereda z reaktorem sekwencyjnym, dla podobnych warunków dopływu i odpływu ścieków. Schematy porównywanych technologii zaprezentowano na rys. 7. Wyniki porównania przedstawiono w tab. 3, które wskazują między innymi na bardzo dobrą jakość oczyszczonych ścieków.



Rys. 7. Schematy technologii konwencjonalnego osadu czynnego oraz technologii Nereda z reaktorem sekwencyjnym

Tabela 3
Ogólne porównanie dwóch technologii

parameter	BNR osad czynny	Technologia Nereda
Jakość odpływu	dobra	podobna lub lepsza
Stabilność procesu	dobra	podobna lub lepsza
Powierzchnia	100%	25%
Zużycie energii	100%	< 65-75%
Produkcja osadów	100%	podobna lub mniejsza
Stężenie osadu	3-5 kg/m ³	10-15 kg/m ³
CAPEX (nakłady)	100%	znacznie niższe
OPEX (eksploatacja)	100%	znacznie niższe

BNR – reaktor z biologicznym usuwaniem azotu
CAPEX – wydatki inwestycyjne na rozwój lub wdrożenie technologii
OPEX – koszty utrzymania technologii

W Polsce, w Hydroprojekcie Sp.z o.o. – Grupa DHV, wykonano analizę porównawczą dla technologii konwencjonalnej i technologii Nereda na wybranych przykładach krajowych, która została zaprezentowana przez Wojciecha Jacyno na seminarium pt. „Nereda – nowatorska; przyjazna dla środowiska technologia oczyszczania ścieków”, które odbyło się podczas Międzynarodowych Targów Ochrony Środowiska POLEKO w Poznaniu w dniu 24 listopada 2010 r. Analiza potwierdziła możliwości uzyskania zmniejszenia powierzchni oraz oszczędności energetyczne, które jednak należy oceniać osobno dla danych warunków.

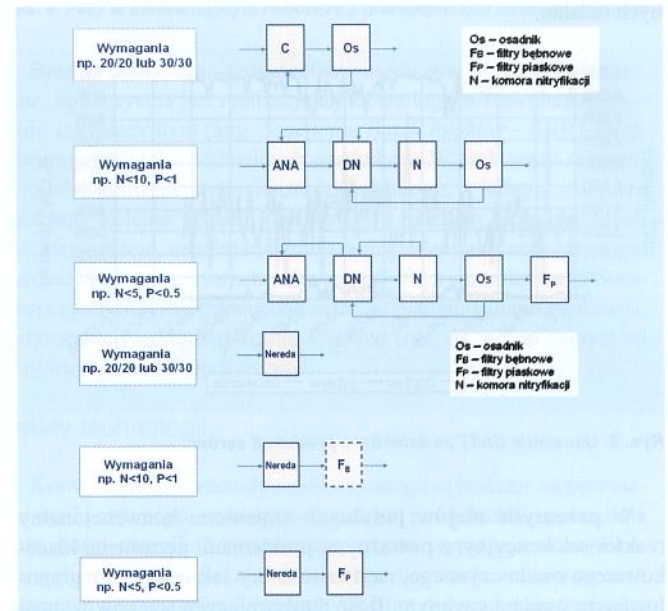
Schematy możliwości zastosowania technologii

Poniżej przedstawiono możliwości zastosowania technologii Nereda w zależności od wymagań w stosunku do oczyszczania

ścieków. Możliwości powyższe zaprezentowano na schematach dla trzech przypadków, a mianowicie:

- ▲ wymagania dla zawiesiny ogólnej oraz 5-dobowego biochemicznego zapotrzebowania tlenu, przykładowo: zawiesiny – 20 mg/dm³ i BZT₅ – 20 mg/dm³ lub zawiesiny – 30 mg/dm³ i BZT₅ – 30 mg/dm³,
- ▲ wymagania dla substancji biogenych: azot – poniżej 10 mg/dm³, fosfor – poniżej 1 mg/dm³,
- ▲ wymagania dla substancji biogenych: azot – poniżej 5 mg/dm³, fosfor – poniżej 0,5 mg/dm³.

Powyższe schematy, przedstawione na rys. 8, dotyczą: usuwania głównie związków węglowych, usuwania związków węglowych i substancji biogenych, zaostrego usuwania związków węglowych i substancji biogenych.



Rys. 8. Schematy możliwości zastosowania technologii Nereda

Podsumowanie i wnioski

Pod koniec ubiegłego roku odbyłem wizytę studyjną do Holandii dla zapoznania się z praktycznym zastosowaniem innowacyjnej technologii opartej o reaktory sekwencyjne z granulowanym osadem czynnym. Na podstawie zebranych informacji i wizji lokalnych można stwierdzić, że technologia Nereda charakteryzuje się następującymi cechami: jest to rozwiązanie stosunkowo proste, kompaktowe, o niskich nakładach inwestycyjnych i kosztach eksploatacyjnych.

Z powyższych informacji wynika, że technologia pozwala na równoczesne usuwanie substancji organicznych, azotu i fosforu, jak też umożliwia uzyskanie dobrej jakości odpływu. Technologię można stosować zarówno do oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych. Z podanych przykładów wynika, że jest to technologia gotowa do stosowania, szczególnie do oczyszczania ścieków przemysłowych. W stosunku do ścieków komunalnych pierwsze wdrożenia następują i można przypuszczać, że następne pojawią się wkrótce. Istnieją również możliwości zastosowania tej technologii do modernizacji istniejących oczyszczalni ścieków.

Powyższe rozwiązanie oczyszczania ścieków ma patent Nr PCT/NL 2003/000642 pt. „Metoda oczyszczania ścieków z granulowanym osadem”, autorstwo: M. C. M. van Loosdrecht i M.K. De Kreuk, z dnia 24 marca 2004 roku, którego właścicielem jest aktualnie firma DHV. Rozwiązanie to uzyskało szereg nagród, w tym było holenderskim zwycięzcą nagrody „Energy Globe 2010”.

Technologia Nereda ma znamiona rozwiązania zrównoważonego, łączy bowiem efektywność ekonomiczną oczyszczania z korzyściami środowiskowymi. Rozwiązanie o charakterze zrównoważonym związane jest między innymi z ograniczeniem zużywanej energii, dobrą jakością oczyszczonych ścieków, kompaktowym układem, znacznie mniejszą powierzchnią i zminimalizowaniem ilości odpadów chemicznych. Ekonomiczność rozwiązania związana jest z mniejszymi nakładami inwestycyjnymi oraz niskimi kosztami eksploatacyjnymi. Prostota i łatwość eksploatacyjna zawiązana jest z zautomatyzowanym działaniem oraz istnieniem zintegrowanego układu sterującego i unikalnego kontrolera procesu, jak również z możliwością automatycznego lub zdalnego sterowania.

Z informacji wynika również, że konieczne jest prowadzenie dalszych badań nad powyższą technologią, szczególnie w zakresie oczyszczania ścieków komunalnych. W przypadku zastosowania tej technologii w naszym kraju uważam za niezbędne uprzednie przeprowadzenie badań pilotowych.

- [1] Beun J.J. i in.: Aerobic granulation in a sequencing batch reaktor. *Water Research* 33, 10, 2283-2290, 1999.
- [2] Beun J.J. i in.: Aerobic granulation in a sequencing batch airlift reaktor. *Water Research* 36, 702-712, 2002.
- [3] De Kreuk M.K. i in.: Formation of aerobic granules and conversion process in an aerobic granular sludge reactor at moderate and low temperatures. *Water Research* 39, 4476-4484, 2005.
- [4] De Kreuk M.K., van Loosdrecht M.C.M.: Formation of aerobic granules with domestic sewage. *Journal Environmental Engineering* 6, 694-697, 227, 2006.
- [5] Cydzik-Kwiatkowska A., Wojnowska-Baryła I.: Technologia granulowanego osadu czynnego w oczyszczaniu ścieków w warunkach tlenowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 23-26, 2008.
- [6] Cydzik-Kwiatkowska A.: Usuwanie azotu ze ścieków przez tlenowy osad granulowany. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 23-25, 2010.
- [7] Wojnowska-Baryła I., Cydzik-Kwiatkowska A., Szatkowski M., Gutowski Ł.: Granulacja osadu czynnego w reaktorze SBR. *Biotechnologia* 88, 1, 161-169, 2010.

