

Tlenowy granulowany osad czynny

Proces oczyszczania ścieków w technologii osadu czynnego został opracowany sto lat temu i w tamtym czasie był przełomową technologią, zapewniającą znaczącą intensyfikację oczyszczania w bardziej zwartych i dających się kontrolować instalacjach. W ciągu dekad proces ten był udoskonalany i modyfikowany dla uzyskania, oprócz redukcji zanieczyszczeń organicznych, również usuwania substancji biogenych (BNR – azotu i fosforu). W ciągu ostatnich dziesięcioleci wiele badań było skoncentrowanych na zwiększeniu zdolności separacyjnych osadu czynnego poprzez zwiększenie jego właściwości sedymentacyjnych oraz poprzez rozwój technologii separacji na membranach (MBR). Badania dla zwiększenia zdolności sedymentacyjnych sprowadzają się do uzyskania osadu zwartego, gęstego i o dużych cząsteczkach. Było to podstawą badań i rozwoju tlenowych granul osadu czynnego przez Technologiczny Uniwersytet w Delft (DUT). Badania prowadził profesor *Mark van Loosdrecht*. Proces ten został następnie opracowany inżyniersko do formy użytkowej przez DHV (obecnie Royal HaskoningDHV) znanej pod nazwą handlową Technologii Nereda®.

Tlenowy osad granulowany ma udokumentowane przewagi w stosunku do konwencjonalnego osadu czynnego w postaci kłaczków. Obejmują one: dobre zdolności sedymentacyjne, które umożliwiają większą koncentrację osadu, warstwową budowę granul, umożliwiającą symultaniczną denitryfikację oraz odporność na duże wahania obciążenia. Prowadzi to do zwartej konstrukcji reaktorów, co redukuje zapotrzebowanie na teren oraz obniża znacząco koszty oczyszczalni.

Technologia Nereda®

Pierwsza w pełnej skali oczyszczalnia Nereda® została uruchomiona w 2005 r. jako przebudowa istniejącej oczyszczalni a następnie powtórzona przy unowocześnianiu kilku oczyszczalni przemysłowych i na terenach wiejskich.

W 2007 r. w technologii Nereda® wyposażono oczyszczalnię w Gansbaai (Południowa Afryka) i Frielas (Portugalia). Oczyszczalnia w Epe (Holandia) została zaprojektowana i zbudowana w latach 2010/2011 i jest już eksploatowana od ponad czterech lat. W następstwie sukcesu oczyszczalni w Epe, różnej wielkości oczyszczalnie Nereda® o łącznej zdolności oczyszczania ścieków od 530.000 RLM (równoważnej liczby mieszkańców) są aktualnie w realizacji, a liczba nowych instalacji cały czas rośnie. Jedną z ostatnich instalacji jest oczyszczalnia w Garmerwolde. W tej oczyszczalni technologia Nereda® została użyta do przyjęcia dodatkowego obciążenia od 150.000 RLM tylko w 2 reaktorach o pojemności 9500 m³, które pracują równolegle z istniejącą instalacją osadu czynnego. Wielkość tych reaktorów jest zbliżona do największych na świecie reaktorów SBR.

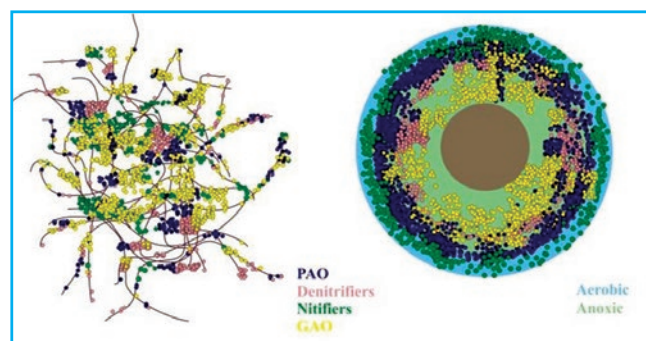
Tlenowy osad granulowany

Definicja tlenowego osadu granulowanego została określona na pierwszych warsztatach tlenowego osadu granulowanego w 2004 r. w Monachium, która określa: tlenowy osad granulowany jest rozumiany jako agregaty mikrobiologicznego pochodzenia, które nie koaguluja się przy zredukowaniu hydrodynamicznych sił ścinających i opadają znacząco szybciej niż kłaczkosy osadu czynnego. Główną cechą określającą osad granulowany jest minimalna średnica granul 0,2 mm. Indeks objętościowy osadu granulowanego SVI₁₅ jest porównywalny z SVI₃₀ osadu klasycznego (SVI określa, jaką objętość po określonym w minutach: 5, 15, 30 lub innym czasie opadania, zajmuje 1 gram suchej masy osadu).

Zasada technologii Nereda® polega na wykorzystaniu i kontrolowaniu warunków, w których biomasa formuje się bardziej w postaci granul niż kłaczków. Takie aglomeraty pozwalają na symultaniczne warunki beztlenowe, anoksyczne i tlenowe w obrębie granul i stąd redukują potrzebę wielokomorowych reaktorów oraz recyrkulacji. Na rys. 1 pokazano różnicę w rozlokowaniu różnych gatunków bak-



Fot. 1. Właściwości sedymentacyjne. Po 5 min osadzania, osad granulowany (z lewej), osad klasyczny (z prawej)



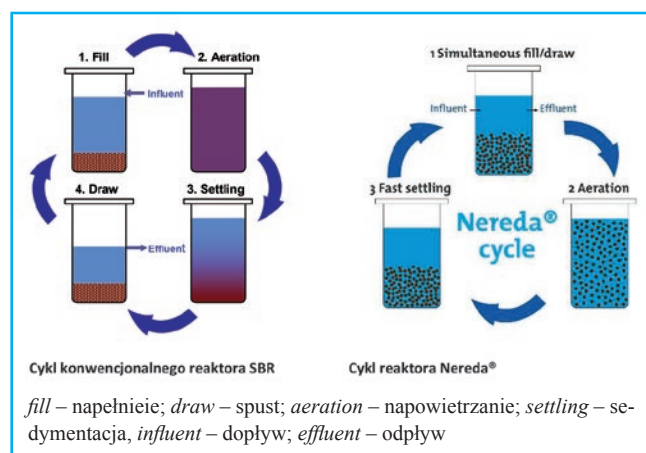
Rys. 1. Różnica w strukturze kłaczkosy osadu (z lewej) i granul osadu (z prawej)

terii w kłaczkosy osadu i granulach: PAO – organizmy akumulujące fosfor, GAO – organizmy akumulujące glikogen, Nitrifiers – nityfikanty i Denitrifiers – denitryfikanty.

Z powodu swoich unikalnych właściwości technologia Nereda® realizuje typowy 4 fazowy cykl SBR w 3 fazach.

1. **Symultaniczne napelnianie/odprowadzanie.** W tej fazie do reaktora są pompowane surowe ścieki i równocześnie odprowadzane ścieki oczyszczone. Następuje tu uwalnianie ortofosforanów z granul i pochłanianie lotnych kwasów tłuszczowych.

2. **Napowietrzanie.** W tej fazie następuje zasadnicze biologiczne oczyszczanie. W zewnętrznej warstwie panują warunki aerobowe i tutaj akumulują się bakterie nityfikujące. Powstające azotany są denitryfikowane w wewnętrznej anoksycznej warstwie zasiedlonej przez bakterie denitryfikujące. Organizmy PAO znajdujące się pomiędzy nimi pochłaniają rozpuszczone w ściekach ortofosforany i przekształcają je w polifosforany.



fill – napelnienie; draw – spust; aeration – napowietrzanie; settling – sedymentacja, influent – dopływ; effluent – odpływ

3. **Sedymentacja.** Po fazie napowietrzania jest wymagana faza sedymentacji dla oddzielenia klarownego odpływu od osadu. Czas sedymentacji jest krótki, dzięki świetnym właściwościom sedymentacyjnym osadu granulowanego. Po fazie sedymentacji reaktor jest gotowy do następnego cyklu.

Reaktory Nereda® nie wymagają ruchomych dekanterów. Oczyszczone ścieki są odprowadzane za pomocą stałych koryt.

Kluczowe zalety technologii Nereda®

Oszczędna kosztowo

- zwarta, niewielka kubatura reaktorów,
- brak ruchomego wyposażenia,
- brak osadników wtórnych,
- brak lub minimalna ilość chemikalii,
- niskie zużycie energii.

Łatwa w obsłudze

- stabilny i niezawodny proces,
- wbudowany sterownik procesu AquaSuite® Nereda®,
- w pełni automatyczne sterowanie procesem,
- możliwość zdalnego nadzoru spoza oczyszczalni lub z centralnej dyspozytorni,
- zdalne wsparcie przez specjalistę procesowego.

Zrównoważona

- wysoka jakość odpływu,
- brak lub minimalna ilość chemikalii,
- znacząco niższe zużycie energii,
- niższe zużycie materiałów konstrukcyjnych,
- wysokosprawne usuwanie substancji biogenych,
- niski „śląd węglowy”.

Wybrane referencje



Fot. 2. Oczyszczalnia w Epe w Holandii

Przepływ dobowy: średni – 8000 m³/d; maksymalny 36.000 m³/d

Dane wyjściowe

Parametr	Dopływ (kg/d)	Wartości dopuszczalne na odpływie (mg/l)	Uwagi
ChZT	5,420		
BZT ₅	2,230	7	Średnia. Max. wartość 15 mg/l
Kj-N	570		
TN	570	5	Średnia w lecie. Średnia w zimie 8 mg/l
TP	61	0.3	Średnia w lecie. Średnia w zimie 0.5 mg/l
Zawiesiny	2,120	30	Max. wartość
pH	5–10	6–9	

Z powodu dopływu ścieków przemysłowych na oczyszczalni występują duże wahania parametrów ścieków surowych, szczególnie w odniesieniu do pH, gdzie odnotowano piki do około pH 10. W czasie badań pilotowych, podczas których stacja pilotowa pracowała równoległe do istniejącej oczyszczalni, zaobserwowano, że gdy wzrost pH spowodował zahamowanie nityfikacji w istniejącej oczyszczalni, której przywrócenie wymagało kilku tygodni, to in-

Wyniki uzyskane w czasie prób końcowych w maju 2012

Parametr	Dopływ (mg/l)	Odpływ(średnie) (mg/l)	Odpływ (percentyl95%) (mg/l)
ChZT	879	27	32
BZT ₅	333	< 2.0	< 2.0
NKj	77	1.4	1.8
NH ₄ -N	54	0.1	0.1
N-total		< 4.0	5.1
P-total	9.3	0.3	0.34
Zawiesina og.*	341	< 5.0	< 6.0

* W Epe po osadnikach są filtry piaskowe z uwagi na wysokie wymagania holenderskie w zakresie jakości ścieków.

stacja Nereda® w tym samym czasie zanotowała chwilowe obniżenie parametrów jedynie w czasie 2 dni od zdarzenia.

W Epe dotychczasowa oczyszczalnia zużywała ok. 3500 kWh/d. Po wybudowaniu i przejściu całości obciążenia oczyszczalnia Nereda® zużywa 2000–2500 kWh/d. Oznacza to ok. 40% redukcję.

Oczyszczalnia w Garmerwolde w Holandii

Ponieważ od 2005 r. pracująca w systemie AB oczyszczalnia nie była w stanie spełnić wymagań odnośnie azotu, konsorcjum wykonawców GMB/Imtech z konsultantem Witteveen + Bos wybrało technologię Nereda®, jako najbardziej obiecującą. Instalacja Nereda® obejmuje dwa reaktory każdy po 9500 m³, pracujące równoległe do istniejącej oczyszczalni. Przepustowość instalacji Nereda® wynosi 30.000 m³/d oraz maksymalnie 4200 m³/h. Oczyszczalnię uruchomiono w lecie 2013 r. Badania porównawcze dwóch pracujących technologii wykazują, że instalacja Nereda® potrzebuje 50–60% mniej energii na oczyszczenie tego samego ładunku. Doświadczenie zdobyte przy budowie i uruchomieniu tej oczyszczalni zaowocowało zakupem przez firmę Imtech licencji technologii Nereda®, w celu wykorzystania jej przy realizowaniu kolejnych oczyszczalni teraz na terenie Wielkiej Brytanii.

Oczyszczalnia w Vroomshoop w Holandii

Oczyszczalnia zaprojektowana na 25 000 RLM i maksymalny przepływ w czasie deszczu 1.265 m³/h dziesięciokrotnie większy od przepływu w czasie suchej pogody. Jest to pierwsza hybrydowa oczyszczalnia składająca się z dwóch równoległych ciągów: ciągu z klasycznym osadem czynnym i z ciągu Nereda®. Reaktor Nereda® ma 2400 m³ objętości. Dla poprawienia właściwości klasycznego osadu czynnego, osad nadmierny z reaktora Nereda® jest zrzucany do reaktora klasycznego. Dzięki temu udało się zmniejszyć indeks osadu do 80 ml/g w klasycznym ciągu, co pozwala na pracę z większymi stężeniami osadu. Indeks osadu w reaktorze Nereda® wynosi 40 ml/g. Pomiary zużycia energii wykazały 35% mniejsze zużycie energii w ciągu Nereda®, na oczyszczenie tego samego ładunku.



Fot. 3. Vroomshoop: z lewej klasyczny reaktor, z prawej reaktor Nereda®

Oczyszczalnia w Rykach w Polsce

Istniejąca oczyszczalnia ścieków eksploatowana przez Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Rykach, pracująca w technologii zbliżonej do reaktorów SBR, była okresowo przeciążana oraz nie zapewniała wystarczającej redukcji azotu i fosforu. Równoległe do istniejącego ciągu biologicznego został wykonany ciąg w technologii Nereda®. Ścieki są podczyszczane mechanicznie na dotychczasowych urządzeniach, tj. kratce schodkowej 6mm i piaskowniku poziomym. W skład ciągu Nereda® wchodzi zbiornik retencyjny z pompownią, dwa reaktory po 2500 m³ każdy, zbiornik buforowy na odpływie, zbiornik buforowy osadu nadmiernego i zagęszczacz grawitacyjny. Dodatkowo powstała stacja odwadnia osadu z higienizacją osadu wapnem i z płacem składowym.

Dane wyjściowe do projektu były następujące:

L.p.	Wskaźnik	Ładunek całkowity
1.	BZT ₅ – kg/d	2 316
2.	ChZT – kg/d	4 564
3.	Zawiesina ogólna – kg/d	1 744
4.	N _{og} – kg/d	326
5.	P _{całk.} – kg/d	80

Przepływ dobowy maksymalny – 5320 m³/d

Przepływ maksymalny godzinowy – 430 m³/h

Już w trakcie rozruchu oczyszczalnia Nereda® osiągnęła pełną zdolność oczyszczania ścieków, dzięki czemu została wcześniej wyłączona istniejąca część biologiczna oczyszczalni. Oczyszczalnia jest po zakończeniu rozruchu w trakcie normalnej eksploatacji. Osad granulowany został wyhodowany w czasie rozruchu trwającego od lutego do maja 2015 r. zaczynając od początkowej temperatury ścieków w reaktorach 4°C. Obecne (08.2015) stężenie osadu wynosi 6 kg/m³ i systematycznie rośnie. Parametry ścieków oczyszczonych osiągnęły już w połowie kwietnia wartości lepsze niż wynikające z obowiązujących przepisów. Aktualnie parametry ścieków oczyszczonych na odpływie uzyskują stabilnie niższe wartości:

ChZT ≤ 50 mg/l (średnio 42,5)

BZT ≤ 10 mg/l (średnio 5)

Nog ≤ 5 mg/l (średnio 3,4)

Pog ≤ 0,6 mg/l (średnio 0,53)

Zawiesina ogólna ≤ 7 mg/l (średnio 3,7)

Jednostkowe zużycie energii na oczyszczanie ścieków zależy od ładunku dopływającego do oczyszczalni i w lipcu 2015 wahało się w granicach 0,29–0,71 kWh/kg ChZT. Wartość niższa dla ładunku 3050 kg ChZT/d, wartość wyższa dla ładunku 1350 kgChZT/d.

Indeks osadu SVI130 wynosi poniżej 50 ml/g

Poniżej zdjęcia oczyszczalni w Rykach



Fot. 4. Widok na reaktory Nereda®



Fot. 5. Widok na zagęszczacz osadu i budynek odwadniania i higienizacji osadu



Fot. 6. Reaktor Nereda®



Fot. 7. Wylot ścieków oczyszczonych

Podsumowanie

W ciągu ostatnich 20 lat technologia tlenowego osadu granulowanego została rozwinięta od skali laboratoryjnej do pełnej wielkości oczyszczalni. Została sprawdzona i udoskonalona. Dane uzyskane z pracujących instalacji potwierdzają, że jest możliwe usuwanie związków biogenych w połączeniu z wysoką sprawnością energetyczną i niewysokimi kosztami inwestycyjnymi. Eksploatacja oczyszczalni w Rykach wykazała doskonałe właściwości adaptacyjne osadu granulowanego i jego odporność na szokowe zmiany obciążenia wynikające z dostarczania samochodami asenizacyjnymi znaczących ilości stężonych ścieków wprowadzanych bezpośrednio do ciągu oczyszczania.

Technologia Nereda® staje się jedną z najbardziej pożądanych technologii oczyszczania ścieków w XXI wieku.

Opracował: **Janusz W. Stawiński** z wykorzystaniem artykułu: *AEROBIC GRANULAR BIOMASS: SETTING THE NEW STANDARD FOR COST-EFFECTIVE, ENERGY EFFICIENT AND SUSTAINABLE WASTEWATER TREATMENT* – Giesen A. and Thompson A. www.hydroprojekt.com.pl