



Karpacka Państwowa
Uczelnia w Krośnie

Co warto wiedzieć o deamonifikacji?

XIX Ogólnopolskie Forum Wymiany

Doświadczeń w Dziedzinie Eksploatacji

Oczyszczalni Ścieków

„EKSPLOATATORZY WIEZ
Dziękuję Karol Trojanowicz

EKSPLOATATORÓW”

20 - 22 września 2021 r., Toruń

karol.trojanowicz@kpu.krosno.pl

CROSNO

kpu.krosno.pl

21 - 09 - 2021

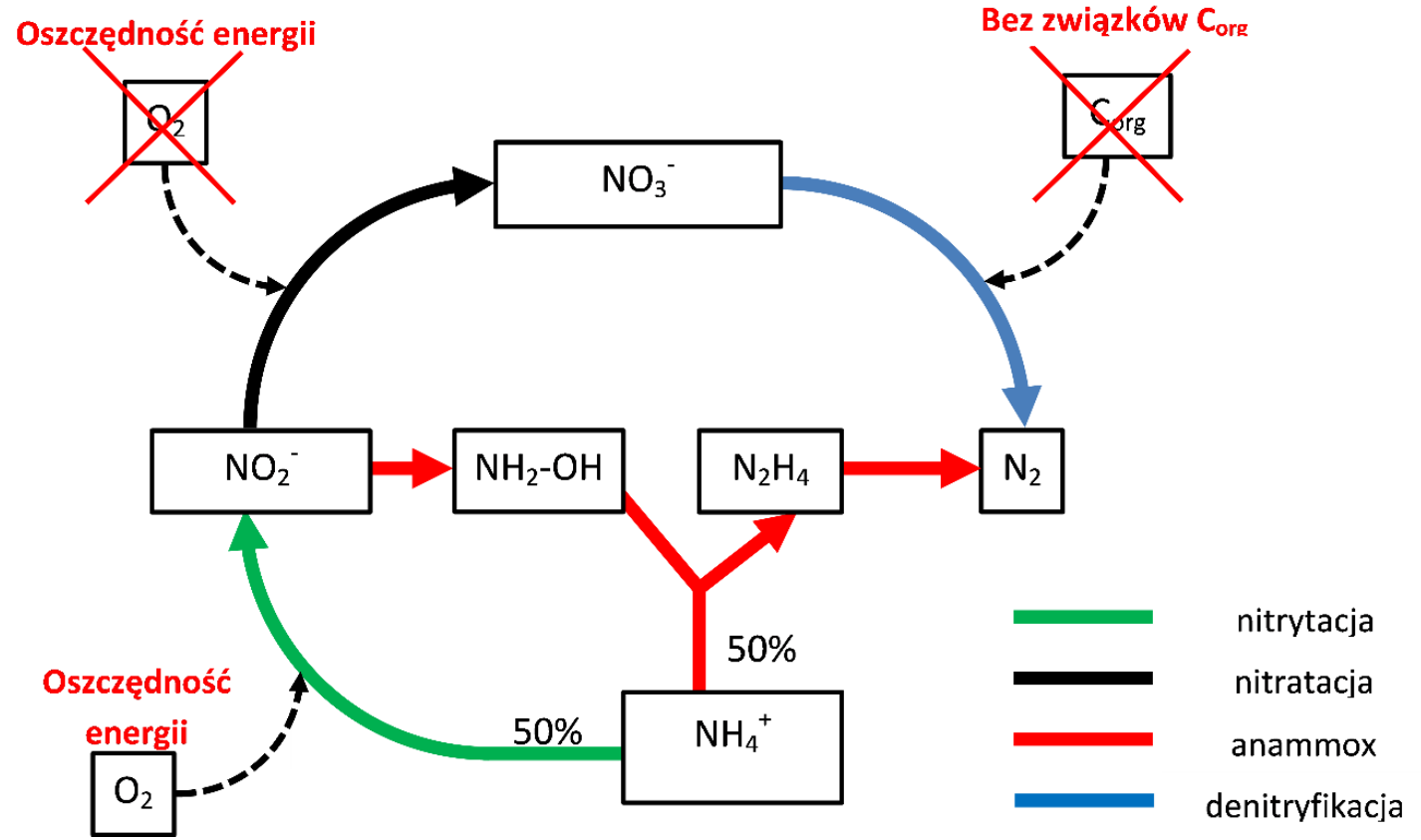
Jakie wyzwania stawiane są przed układami oczyszczania ścieków?

- Ochrona i odzysk zasobów wodnych,
- Produkcja energii i wzrost sprawności energetycznej,
- Minimalizacja wytwarzania odpadów, zwiększenie stopnia stabilizacji osadów ściekowych,
- Kontrola emisji gazów cieplarnianych,
- Usuwanie mikrozanieczyszczeń, dezynfekcja, usuwanie azotu i fosforu organicznego z odpływu (dodatkowa filtracja)?
- Produkcja biopolimerów, nawozów mineralnych (MAP),
- „Inteligentne” sterowanie procesem, „przemysł 4.0”, robotyzacja, IoT.



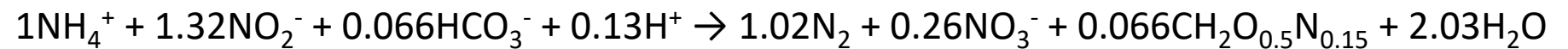
(opracowanie własne na podstawie materiałów IVL Sztokholm Szwecja)

Co to jest deamonifikacja:



Usuwanie azotu ze ścieków na drodze nitryfikacji i denitryfikacji, oraz poprzez proces anammox

(opracowanie własne)



Co to jest deamonifikacja?

Usuwanie azotu w autotroficznym procesie anammox to:

- redukcja zużycia energii elektrycznej do napowietrzania o około 60%,

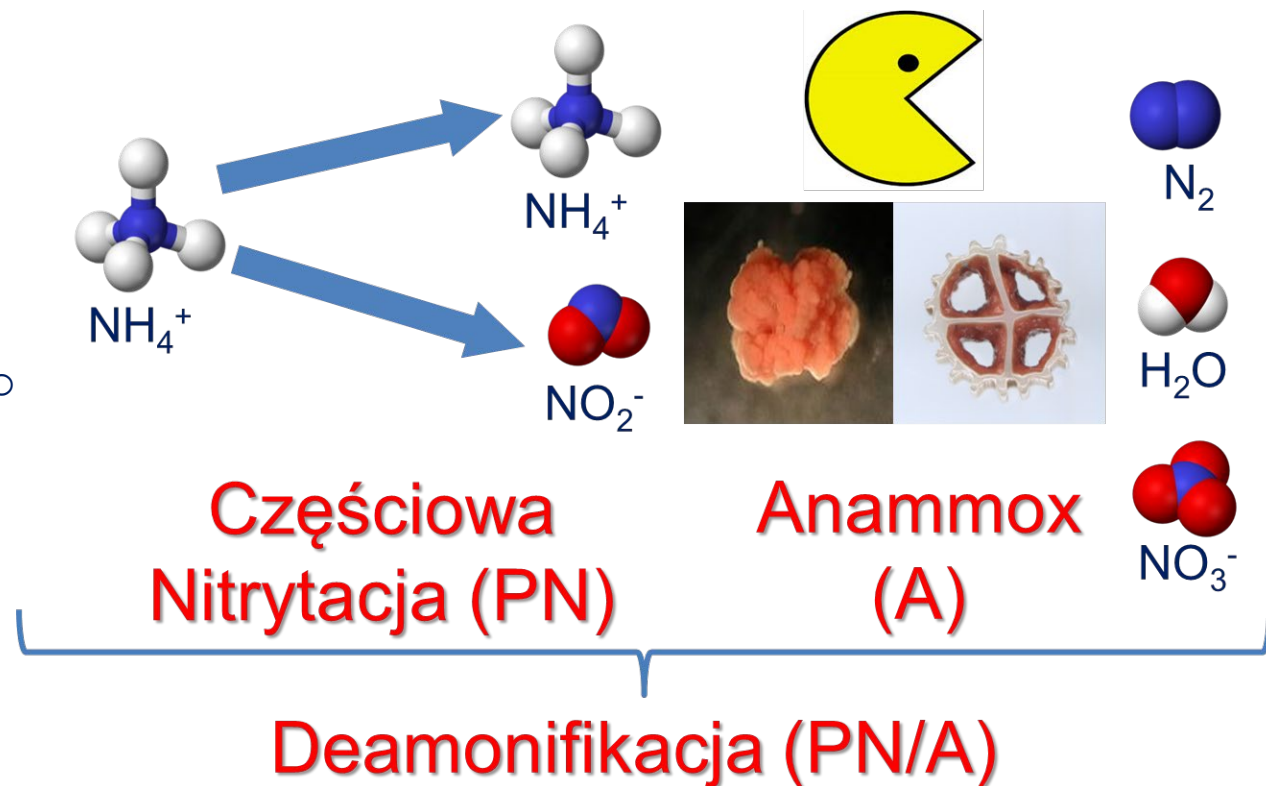
- redukcja produkcji nadmiernych osadów ściekowych o około 90%,

- redukcja zapotrzebowania na organiczne związki węgla (do denitryfikacji) o 100%,

- redukcja emisji CO₂ do atmosfery od około 90 do 104% (ze względu na asymilację wodorowęglanów przez mikroorganizmy autotroficzne),

- ograniczenie emisji N₂O

w jednostopniowych układach PN/A. $1\text{NH}_4^+ + 1,32\text{NO}_2^- + 0,066\text{HCO}_3^- + 0,13\text{H}^+ \rightarrow 1,02\text{N}_2 + 0,26\text{NO}_3^- + 0,066\text{CH}_2\text{O}_{0,5}\text{N}_{0,15} + 2,03\text{H}_2\text{O}$



Usuwanie azotu ze ścieków oparte na częściowej nitrytacji i anammox
(opracowanie własne)

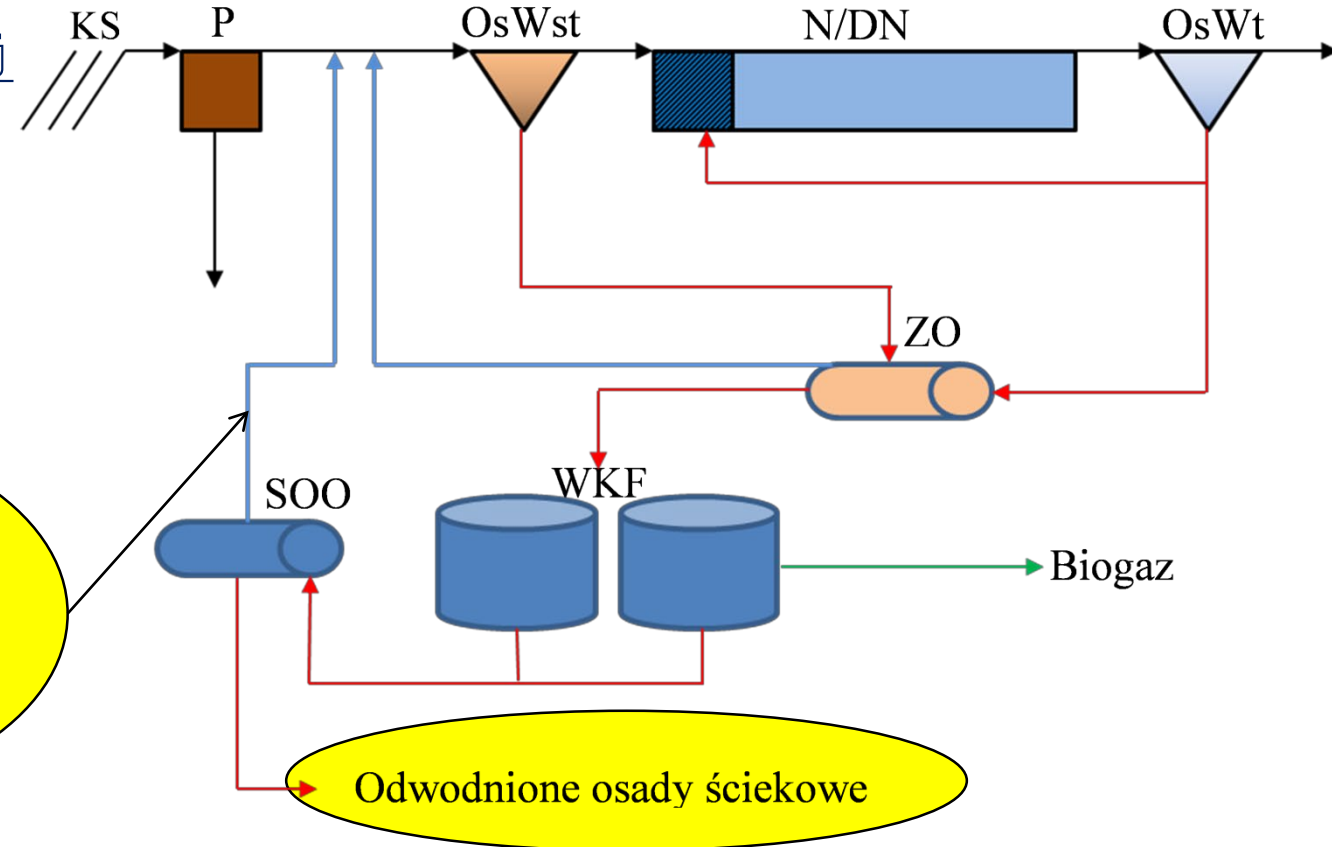
Do czego jest nam potrzebna deamonifikacja?

Produkty uboczne procesu beztlenowej stabilizacji osadów ściekowych:

- Biogaz (CH_4 , CO_2 , H_2O , H_2S , inne substancje gazowe),
- Zanieczyszczona faza wodna (N-NH_4 , P-PO_4 , materia organiczna, makro- i mikro-elementy),
- Odwodnione, ustabilizowane osady ściekowe.

Ścieki powstające podczas odwadniania osadów ściekowych „CIECZE OSADOWE”

Około $1,9 \text{ m}^3$ z 1 m^3 odwadnianych osadów*



Odwodnione osady ściekowe

W tym około 50 - 55% pozostałości suchej masy organicznej wprowadzonej do komór fermentacji*

*Wartości szacunkowe na podstawie danych z wybranej oczyszczalni ścieków w Polsce

Jakość cieczy osadowych.

- Wyższy stopień mineralizacji (hydroliza termiczna/tlenowa): wzrost produkcji biogazu, ale również wyższe stężenie nieorganicznych związków azotu i fosforu w fazie wodnej oraz materii organicznej.

CIECZ OSADOWA
USUNIĘTA W PROCESIE ODWADNIANIA OSADÓW
ŚCIEKOWYCH

Lp.	pH [-]	N-NH ₄ [mgN/l]	P-PO ₄ [mgP/l]	ChZT [mgO ₂ /l]	Zawiesiny ogólne [mgs.m./l]	Alkaliczność [mmolHCO ₃ ⁻ /l]	Proces stabilizacji
1.	8,0	554	68	604	283	55	MAD
2.	8,1	1781	-	4242	283	125	THP-MAD
3.	7,3-8,1	500-1000	do 130**	200-800	50-2000*	55 - 90	Typowe zakresy MAD

Źródła:

1. Dane pochodzące z wybranej oczyszczalni ścieków na terenie Polski.
2. Zhang, Q., De Clippeleir, H., Su, C., Al-Omari, A., Wett, B., Vlaeminck, S. E., & Murthy, S. (2016). Deammonification for digester supernatant pretreated with thermal hydrolysis: overcoming inhibition through process optimization. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(12), 5595-5606.
3. Trojanowicz K. (2021) „Usuwanie azotu z zastosowaniem procesu anammox: opis empiryczny i teoretyczny, praktyczne zastosowanie.” (w przygotowaniu do druku)

* Driessen W. (2021). Paques in Municipal Sector. Webinar Paques –SEEN “Revitalizing resources”

** Gebreeyessus, G. D., & Jenicek, P. (2016). Thermophilic versus mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge: a comparative review. *Bioengineering (Basel)* 3.

Główny strumień*:

21 000 m³/d

1300 kgN/d

N-NH₄⁺ = 62 gN/m³

Ciecze osadowe*:

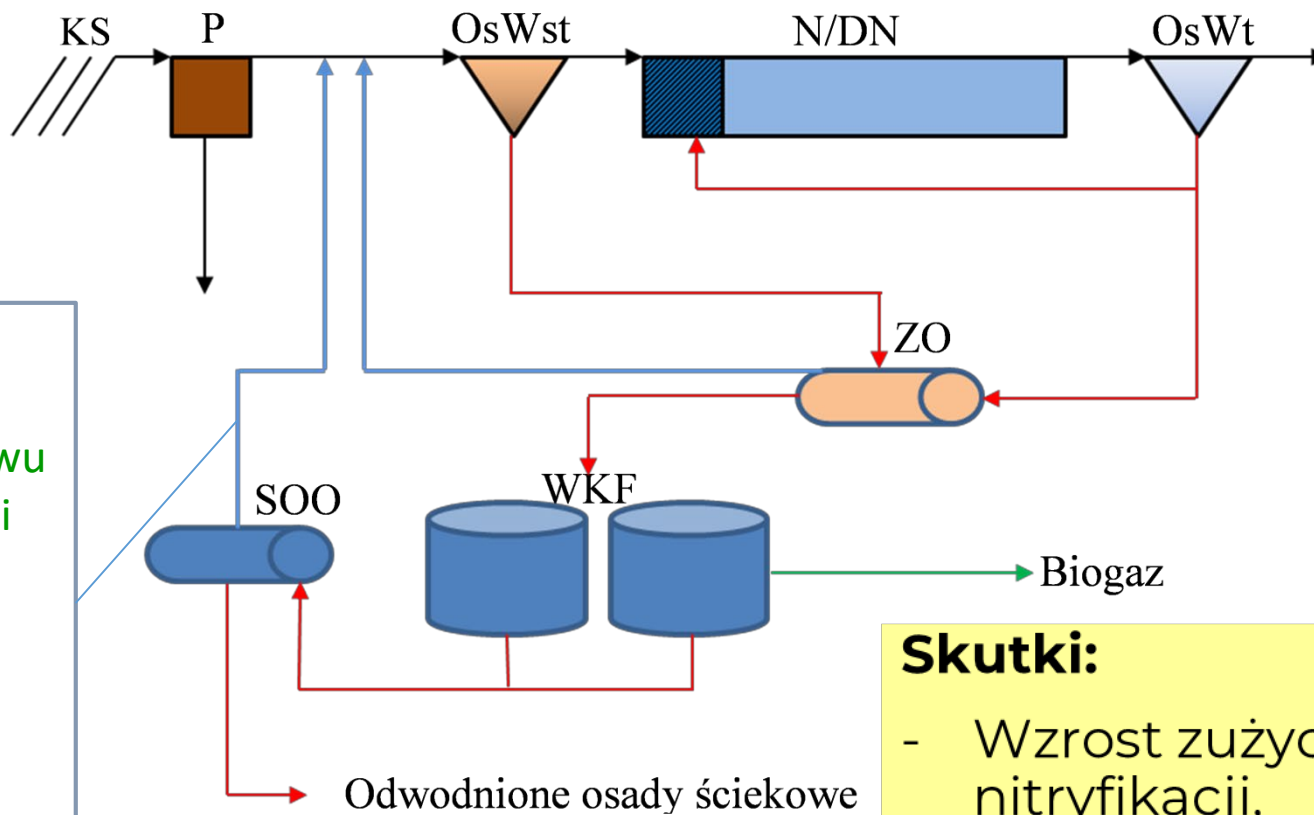
~ 700 m³/d

~ 3% dobowego dopływu
ścieków do oczyszczalni

~ 220 kgN/d

*N-NH₄⁺ = 313 gN/m³

17% ładunku azotu
dopływającego do
oczyszczalni



Ciecze osadowe
wprowadzane bez oczyszczania na
wlot głównego ciągu
technologicznego

Skutki:

- Wzrost zużycia energii na proces nitryfikacji,
- Wzrost zapotrzebowania na materię organiczną do procesu DN,
- Emisja gazów cieplarnianych,
- Zaburzenie pracy bioreaktorów BNR głównego ciągu technologicznego.

* Wartości szacunkowe na podstawie danych z wybranej oczyszczalni ścieków w Polsce

** Po rozcieńczeniu na skutek wymieszania z wodą płuczącą taśmy prasy do odwadniania osadów

Główny strumień*:

21 000 m³/d

1300 kgN/d

N-NH₄⁺ = 62 gN/m³

Ciecze osadowe*:

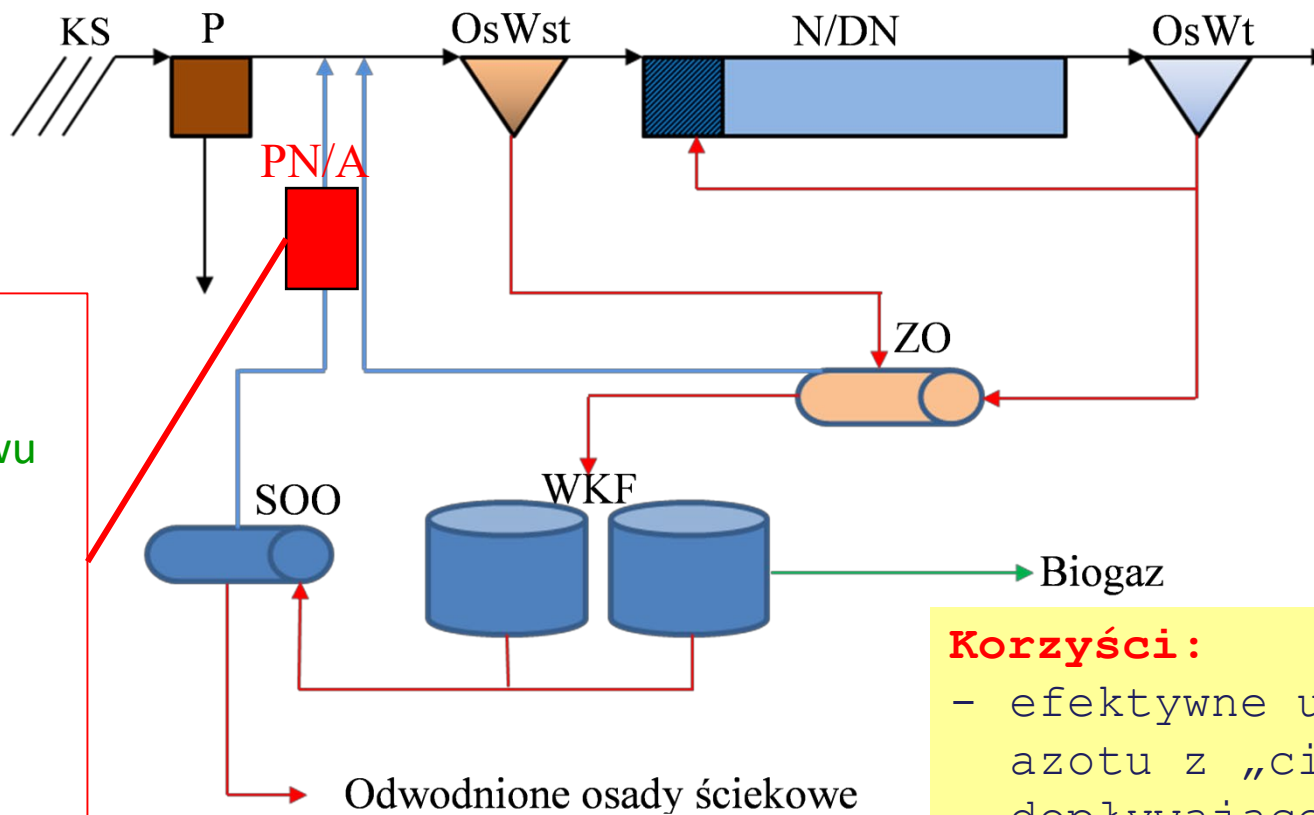
~ 700 m³/d

~ 3% dobowego dopływu ścieków do oczyszczalni

33 kgN/d

N-NH₄⁺ = 47 gN/m³

2,5% ładunku azotu dopływającego do oczyszczalni



Ciecze osadowe wprowadzane bez oczyszczania na wlot głównego ciągu technologicznego

Korzyści:

- efektywne usuwanie do 85% ładunku azotu z „cieczy osadowych”, dopływającego na wlot oczyszczalni ścieków z stacji odwadniania osadów ściekowych,
- stabilna praca głównego ciągu technologicznego,
- niskie zużycie energii, brak potrzeby dodatku organicznych związków węgla.

* Wartości szacunkowe na podstawie danych z wybranej oczyszczalni ścieków w Polsce

** Po rozcięczeniu na skutek wymieszania z wodą płuczącą taśmy prasy do odwadniania osadów

„Czy **TO** działa?”

Technologia wykorzystywana w pełnej skali technicznej od 20 lat!

175 układów deamonifikacji pracuje w warunkach dopływu:

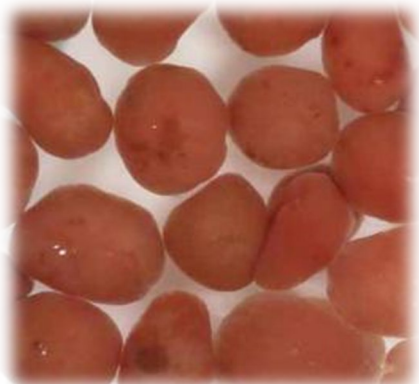
- Cieczy osadowych z odwadniania osadów ściekowych po ich procesie mezofilowej fermentacji,
- Cieczy osadowych z odwadniania osadów z kofermentacji osadów ściekowych i odpadów przemysłowych,
- Cieczy osadowych z odwadniania osadów ściekowych poddanych procesom hydrolizy termicznej,
- Ścieki przemysłowe o wysokich stężeniach azotu-amonowego.

Różnice pomiędzy głównymi typami bioreaktorów eksploatowanych w pełnej skali technicznej

- Biomasa anammox wymaga długiego czasu zatrzymania w reaktorze – umożliwia to jej wzrost w formie błony biologicznej lub granulowanego osadu czynnego,

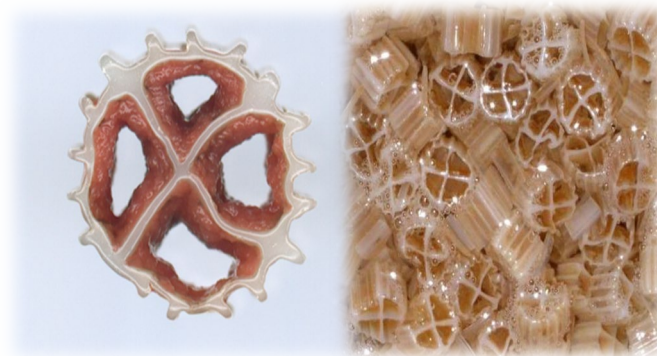
Lp.	Parametr	Jednostka	Anammox (AnAOB)	AOB
1	Wsp. wydajności przemian substratu (Y)	g/gN	0,014 – 0,16	0,04 – 0,13
2	Czas podwojenia (t)	d	7 - 11	0,32 – 2,31
3	Temperatura (T)	°C	20 - 45	4 - 42
4	pH	-	6,5 - 9	4,5 – 8,5

Granulowany osad czynny



Fot: <http://www.hydrotech.cz/pl/>

Błona biologiczna



Fot. Józef Trela – KTH Stockholm

Osad czynny z granulami anammox o małych średnicach

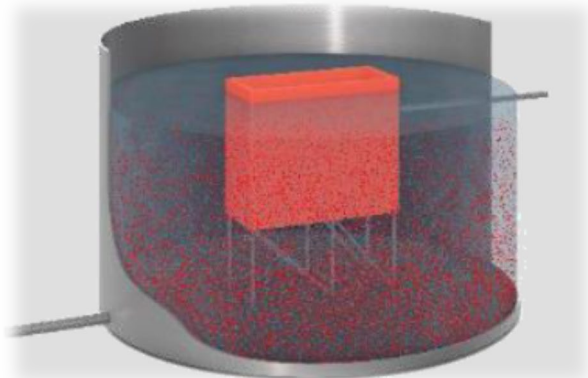


<http://www.essdemon.com/en>

Forma wzrostu biomasy wpływa na wyposażenie bioreaktorów deamonifikacji

Bioreaktory z granulowaną biomasą anammox

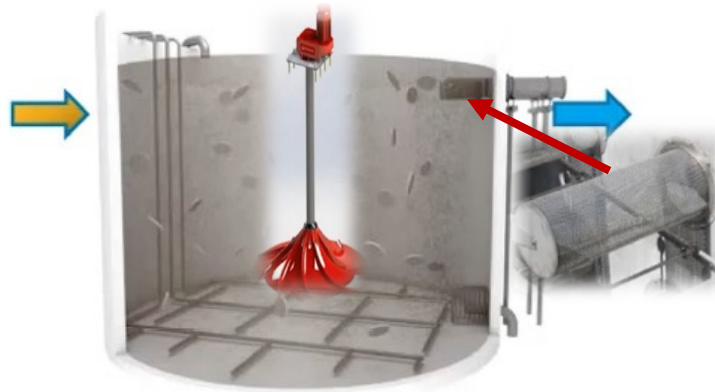
- System napowietrzania,
- Zintegrowane lamellowe separatory biomasy (osadniki wielostrumieniowe),
- System AKP oparty o pomiary: **N-NH₄**, **N-NO₂**, **DO**, T, pH.



Rys.: W.Driessen, 2021

Reaktory przepływowe ze złożem ruchomym MBBR

- System napowietrzania,
- Mieszadła mechaniczne,
- „Kosze filtracyjne/sita” instalowane przy przewodach odpływowych,
- System AKP oparty o pomiary: **N-NH₄**, **N-NO₃**, **DO**, T, pH.



Rys.: Christensson, 2021

Sekwencyjne reaktory porcjowe SBR

- System napowietrzania,
- Hydrocyklon do separacji/selekcji biomasy anammox (granule o wyższej gęstości i małej średnicy),
- System AKP oparty o pomiary: **pH**, **DO**, T, N-NH₄, N-NO₂, C, ORP.



Rys.: Wett, 2010

Osiągi układów deamonifikacji

Lp.	Parametr	Jednostka	Osad granulowany Anammox® Paques	MBBR AnitaMox®	SBR Demon®
1	Wydajność	kgN/m ³ d	1,0-2,3	1,0-1,2	0,11-0,65
2	Efektywność	%	>80%	>70%	>80%
3	Zużycie energii	kWh/kgN	1,0	1,5	1,0-1,3
4	Liczba reaktorów	-	66	34	75

Bioreaktory z granulowaną biomasą anammox



Fot: <http://www.hydrotech.cz/pl/>
W.Driessen, 2021

Reaktory przepływowe ze złożem ruchomym MBBR
(ang. *moving bed biofilm reactor*)



Fot. Józef Trela – KTH Stockholm

Sekwencyjne reaktory porcjowe SBR
(ang. *sequencing batch reactors*)



<http://www.essdemon.com/en>

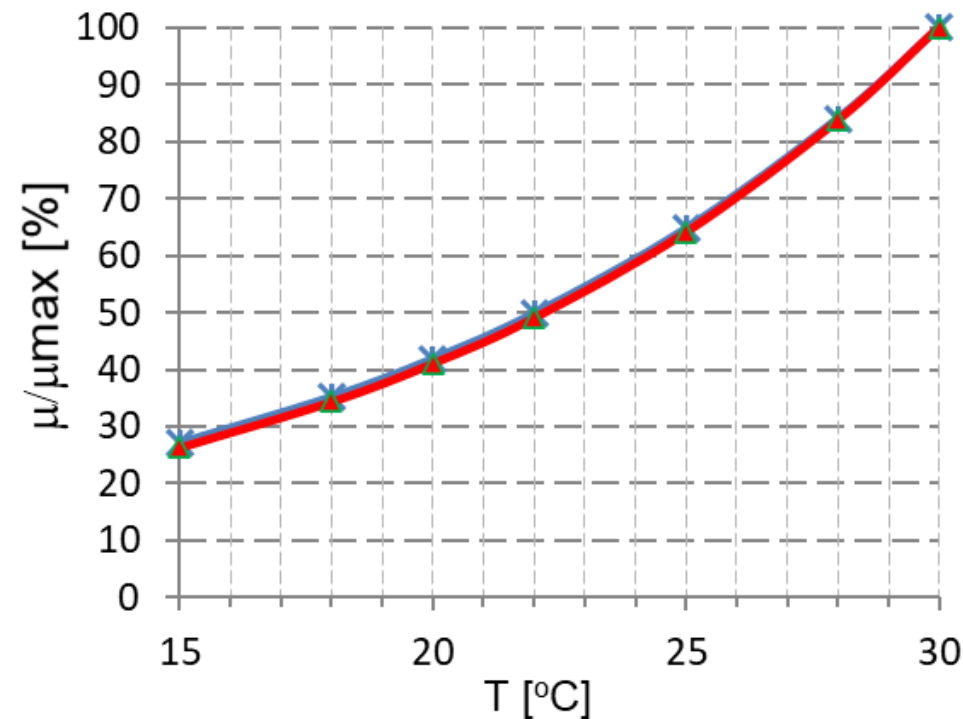
Osiągi układów deamonifikacji:

- Ilość biomasy w układzie ma znaczenie,
- Rozmiar bioreaktora ma znaczenie.

$$r_i = X_i \cdot \frac{1}{Y_i} \cdot \mu_{\max,i} \cdot \prod \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot \prod \frac{K_I}{K_I + S_I} \cdot e^{\theta(T-30)}$$

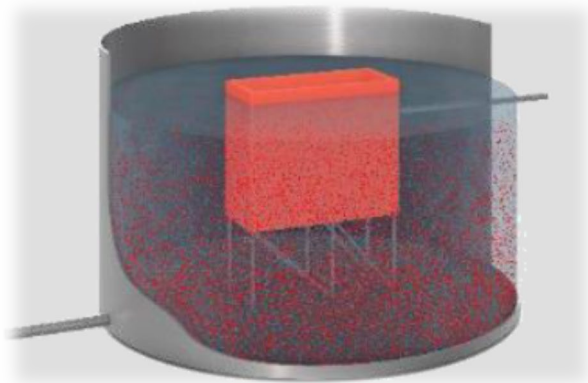
Parametry technologiczne, których nie można pominąć:

- **T** ,
- **pH** (zakres optymalny, wolny amoniak, wolny kwas azotawy),
- **DO** (niezbędny dla bakterii (AOB) utleniających N-NH₄ i toksyczny dla anammox)
- **Zasadowość**/węgiel nieorganiczny.

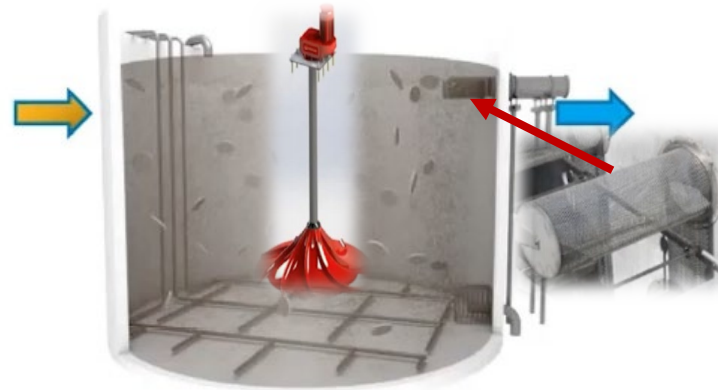


Bioreaktory deamonifikacji cieczy osadowych – podstawowe parametry pracy

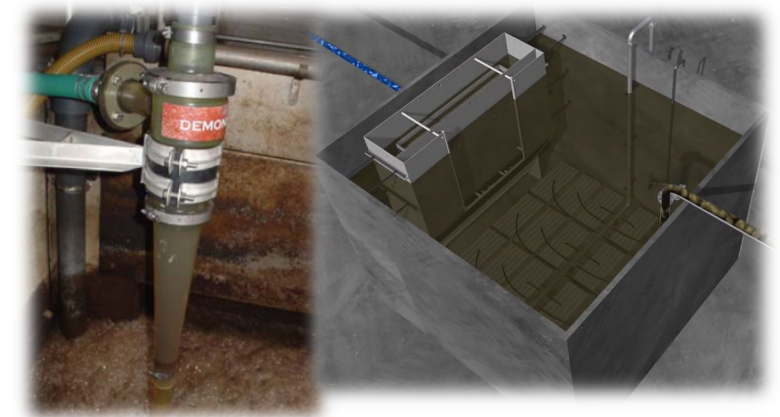
Lp.	Parametr	Jednostka	Osad granulowany Anammox® Paques	MBBR AnitaMox®	SBR Demon®
1	Temperatura	°C	~30	~30	~30-39
2	DO	mgO ₂ /l	0,5-1,0	0,5-1,5	<0,35
3	Napowietrzanie	-	Ciągłe	ciągłe	przerywane
4	pH	-	7,5-8,0	6,9-8,2**	6,9-7,1
5	HRT	h	5-8	~24	26-114



Rys.: W.Driessen, 2021



Rys.: Christensson, 2021



Rys.: Wett, 2010

Prowadzenie rozruchów bioreaktorów deamonifikacji i czas?

Uruchomienia pierwszych reaktorów na świecie w pełnej skali technicznej trwały od 12 miesięcy (MBBR), 2,5 roku system oparty o reaktor SBR i osad czynny z drobnymi granulami anammox, 3 lata (granulowany osad czynny)

Dodanie aktywnej biomasy, dostosowanie obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń do aktualnej aktywności biomasy oraz wykorzystanie automatycznego systemu sterowania w celu uniknięcia inhibicji biomasy AOB i AnAOB (dostępnej przy 175 pracujących układach PN/A):

3 miesiące (MBBR, 5-15% nośników błony biologicznej z aktywną biomasą),
poniżej 2 miesięcy (granulowany osad czynny), reaktory SBR.

Jakie problemy pojawiają się w trakcie eksploatacji układu deamonifikacji?

- Napływ uderzeniowego ładunku $N-NH_4$,
- Awaria systemu napowietrzania,
- Dopływ uderzeniowego ładunku zawieszin oraz polimeru (w przypadku zaburzenia, nieprawidłowej eksploatacji urządzeń odwadniających osady ściekowe),
- Pienienie,
- Strącanie kamienia,
- W przypadku stosowania poprzedzającej deamonifikację instalacji hydrolizy termicznej (THP) lub tlenowej osadów, strumień cieczy osadowych może zostać zubożony w mikroelementy,
- Zbyt niska wartość zasadowości (efekt dozowania do WKF $FeCl_3$ lub strącania struwitu z użyciem $MgCl_2$),
- Wzrost aktywności biomasy utleniającej azotyny (NOB).

Doświadczenia eksploatacyjne wykazały zdolność układów PN/A do szybkiego powrotu do stanu równowagi po usunięciu przyczyn zaburzeń procesu. Biomasa anammox w granulach i błonie biologicznej jest chroniona przed działaniem inhibitorów.

Jakie elementy powinien zawierać układ deamonifikacji?

- Bioreaktor PN/A,
- Zbiornik buforowy,
- Instalacja wymiany ciepła do podgrzewu cieczy osadowych,

Opcjonalnie:

- Sito bębnowe/separator zawiesiny (jeżeli stężenie zawiesiny w cieczach osadowych jest wysokie a wybrany bioreaktor jest podatny na negatywny wpływ podwyższonego stężenia zawiesin w „odciekach”),
- Instalacja korekty pH/zasadowości,
- Jeżeli mogą wystąpić problemy z strącaniem struwitu (fosforanu magnezowo amonowego – MAP) – poprzedzająca proces deamonifikacji instalacja strącania struwitu,
- Instalacja zraszaczowa – dozowania środka antypiennego,
- Instalacja dozowania roztworu mikroelementów (przy stosowaniu hydrolizy termicznej/tlenowej przed fermentacją).

Od czego rozpocząć pracę nad wdrożeniem deamonifikacji?

- Sprawdź czy oznaczasz parametry jakości odcieków/cieczy osadowych odpływających z stacji odwadniania osadów ściekowych:
pH, T, alkaliczność, N-NH₄, ChZT, zawiesiny ogólne, P-PO₄,
(jeżeli nie zaplanuj i rozpocznij analitykę cieczy osadowych).
- Sprawdź miejsce poboru prób cieczy osadowych (czy są rozcieńczone wodą technologiczną do płukania taśm/wirówek?).
- Oszacuj lub wykonaj pomiar dobowego dopływu cieczy osadowych z stacji odwadniania osadów na wlot głównego ciągu technologicznego.
- Oszacuj dobowy ładunek azotu doprowadzany wraz z cieciami osadowymi do głównego strumienia ścieków.
- Oszacuj zużycie energii elektrycznej (kWh) w węźle biologicznego oczyszczania ścieków, niezbędnej do usunięcia 1 kgN. Porównaj z wartością tego parametru dla procesu deamonifikacji.
- Skontaktuj się z konsultantem, dostawcą technologii.

Źródła danych i rysunków/fotografii:

- Lackner, S., Gilbert, E. M., Vlaeminck, S. E., Joss, A., Horn, H., & van Loosdrecht, M. C. (2014). Full-scale partial nitrification/anammox experiences—an application survey. *Water research*, 55, 292-303.
- Christensson M. (2021). A Decade with AnitaTMMOX, what have we learned. In proceedings from IWA World Water Congress Digital, 24 May – 4 June 2021
- Driessen, W., Hendrickx, T. (2021a). Two Decades of Experience with the Granular Sludge-Based ANAMMOX® Process Treating Municipal and Industrial Effluents. *Processes*, 9(7), 1207.
- Willie Driessen (2021b). Paques in Municipal Sector. Webinar Paques –SEEN “revitalizing resources”
- Driessen, W.J.B.M., Veldhoven, J.T.A., Janssen, M.P.M., Went, C., Hobbs, E. Van Loosdrecht, M.C.M. (2020b). Operational experience and lessons learned on treatment of dewatering reject liquors from thermally hydrolysed and anaerobically digested (THP-MAD) biosolids – Two case studies. IWA Nutrient Removal and Recovery Conference 1 - 3 September 2020, Helsinki, Finland
- Wett, B., Hell, M., Nyhuis, G., Puempel, T., Takacs, I., & Murthy, S. (2010). Syntrophy of aerobic and anaerobic ammonia oxidisers. *Water science and technology*, 61(8), 1915-1922.
- Wett, B., Murthy, S., Takács, I., Hell, M., Bowden, G., Deur, A., & O'Shaughnessy, M. (2007). Key parameters for control of DEMON deammonification process. *Water Practice*, 1(5), 1-11.
- Gustavsson, D. J. I., Syd, V. A., & Malmö, S. (2010). Biological sludge liquor treatment at municipal wastewater treatment plants—a review. *Vatten*, 66(3), 179-192.
- Szatkowska, B., Cema, G., Plaza, E., Trela, J., & Hultman, B. (2007). A one-stage system with partial nitrification and Anammox processes in the moving-bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, 55(8-9), 19-26.

Dziękuję za uwagę

KONTAKT

ADRES

ul. Dmochowskiego 12
38-400 Krosno

STRONA INTERNETOWA

kpu.krosno.pl

TELEFON

+013-43-755-90

E-MAIL

karol.trojanowicz@kpu.krosno.pl

karol.trojanowicz@gmail.com

