

Aspekty techniczne i ekonomiczne biologicznej i chemicznej defosfatacji ścieków.

mgr Tadeusz Rzepecki
inż. Barbara Szczepaniak

Tarnowska Grupowa Oczyszczalnia Ścieków Sp. z o. o.

1. Wprowadzenie

Zaostrzenie w ostatnich latach przepisów w zakresie warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód, jest wymuszone troską o stan środowiska naturalnego i standardami obowiązującymi w wysoko rozwiniętych krajach. Polskie przepisy obowiązujące wcześniej [1] i wprowadzone od roku 2003 [2] oparte o obowiązującą dyrektywę europejską [3] potwierdzają ten ciągły proces.

Spośród wielu zanieczyszczeń normowanych przepisami szczególną wagę przywiązuje się do zawartości związków organicznych określonych jako BZT_5 lub $ChZT$, zawiesiny, azotu ogólnego i fosforu ogólnego. W tym zakresie szczególnie widoczne jest sukcesywne zmniejszanie poziomów dopuszczalnych stężeń, w szczególności dla największych oczyszczalni (powyżej 100 000 RLM), co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Graniczne wartości zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych według różnych aktów prawnych

Parametr/ /akt prawny	$ChZT$ [mg O_2/l]	BZT_5 [mg O_2/l]	Zawiesina [mg/l]	Azot ogólny [mg N/l] [% redukcji]	Fosfor ogólny [mg P/l] [% redukcji]
Rozporządzenie MOŚNiL nr 116/91 z 5.11.1991 (obow. do 31.12.1999)	150	30	50	30	5
Rozporządzenie MOŚNiL nr 116/91 z 5.11.1991 (od 01.01.2000)	150	15	50	30	1,5
Rozporządzenie MOŚ nr 1799/2002 z 29.11.2002 (obow. od 01.01.2003)	125	15	35	10 lub 85% redukcji	1 lub 90% redukcji
Dyrektywa 91/271/EEC	125	25	35	10 i 70-80% redukcji	1 i 80% redukcji

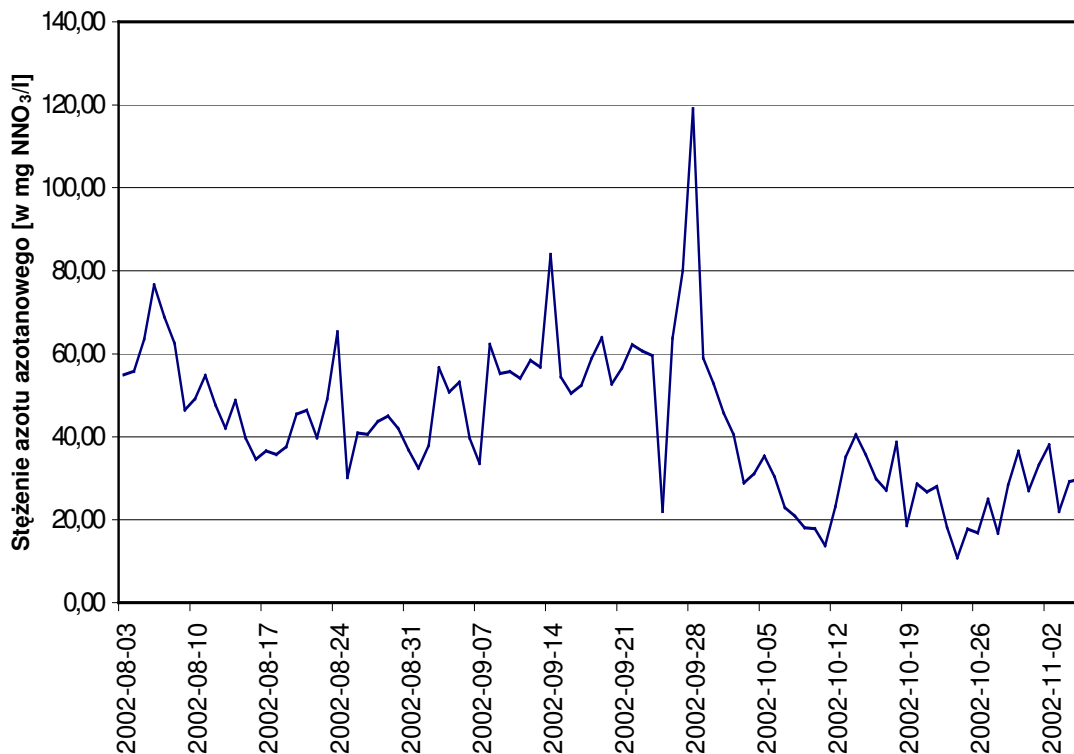
Przedstawione dane wskazują jednoznacznie na zaostrzenie wymagań w stosunku do największych oczyszczalni (powyżej 100 000 RLM) oraz w stosunku do substancji biogenych, ze szczególnym uwzględnieniem azotu ogólnego (trzykrotne zaostrzenie dopuszczalnych stężeń).

Zmiany regulacji prawnych w tym zakresie, szczególnie w zakresie dopuszczalnych stężeń azotu, wymagają najczęściej gruntownej przebudowy układu technologicznego wielu największych oczyszczalni, o ile nie były dotychczas odpowiednio przygotowane. Poniżej przedstawiono niektóre działania i ich efekty przeprowadzone w Tarnowskiej Grupowej Oczyszczalni Ścieków Sp. z o. o.

2. Zmiany technologiczne w TGOŚ w 2002 r.

Zmiany technologiczne w oczyszczalni w Tarnowie przedstawiono na kolejnych seminariach firmy Kemipol (Arlamów 2000 [4], Świnoujście – Kopenhaga 2002 [5]), a także w innych publikacjach [6]. Generalnie prowadziły one do uzyskania uniwersalnego układu technologicznego, w którym możliwa byłaby efektywna redukcja azotu ogólnego i fosforu ogólnego metodą biologiczną ze wspomaganie w okresach pogorszenia efektywności oczyszczania biologicznego defosfatacją chemiczną z zastosowaniem koagulantu PIX-113.

Specyfiką Tarnowskiej Grupowej Oczyszczalni Ścieków jest fakt oczyszczania ścieków przemysłowych z Zakładów Azotowych w Tarnowie – Mościcach S.A. z dużą i zmienną zawartością azotu ogólnego w postaci azotanowej. Przykładowy przebieg zmienności tego parametru w ściekach przemysłowych w okresie ostatnich 5-ciu miesięcy 2002 r. przedstawiono na rysunku 1 – widoczna jest zarówno długo-, jak i krótkoterminowa zmienność stężeń azotu. Ponieważ ścieki z ZAT S.A. stanowiły do niedawna ok. 15 – 20% ogólnej ilości ścieków oczyszczanych w oczyszczalni, ładunek azotu należało uznać za istotny, a obecność azotu azotanowego w ściekach surowych jako znaczący czynnik przeszkadzający w efektywnej defosfatacji biologicznej.



Rys. 1. Stężenia azotu azotanowego w ściekach przemysłowych z ZAT S.A. w okresie sierpień – grudzień 2002 r.

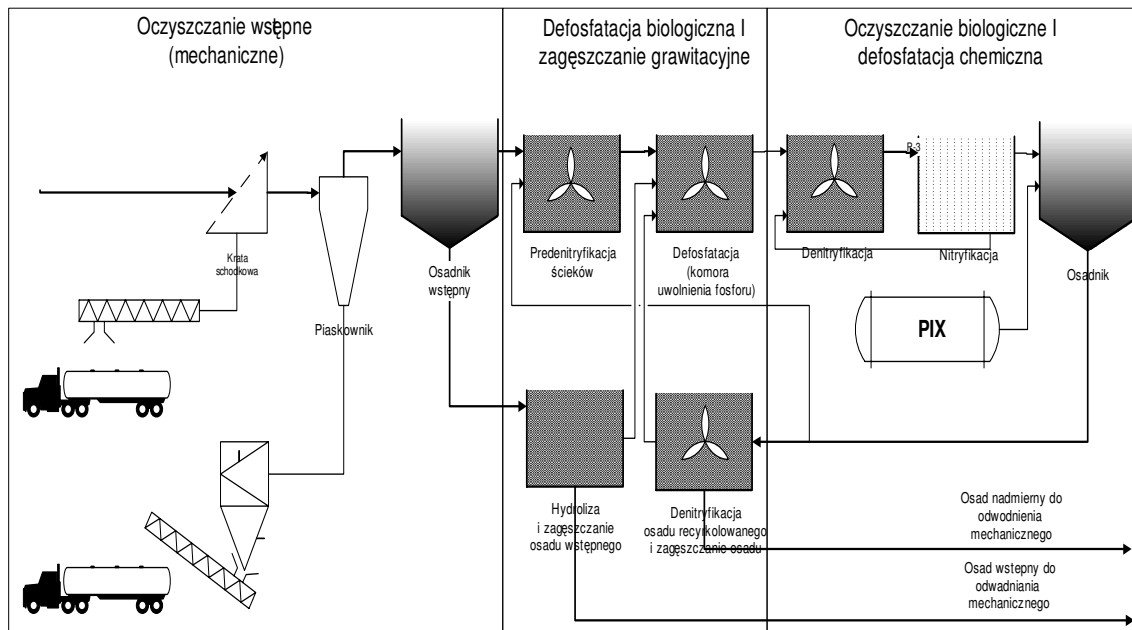
Prowadzone od kilku lat zmiany technologiczne polegały w szczególności na:

- wymianie krat na schodkowe kraty gęste i wprowadzeniu prasowania skratek z zawrotem odsącza do strumienia ścieków,
- przebudowie piaskowników i wprowadzeniu płukania piasku z zawrotem organicznej zawartości piaskowników do strumienia ścieków,
- wprowadzeniu procesu symultanicznej defosfatacji chemicznej koagulantem PIX,
- przebudowie osadników wstępnych (komór wielofunkcyjnych) na klasyczne osadniki wstępne z niewielką redukcją związków organicznych (krótki czas zatrzymania) – osiągnięto zmniejszenie redukcji BZT₅ z 50% do 25%,
- zmianie sposobu odbioru osadu z osadników wtórnych – zmniejszenie czasu zatrzymania i zminimalizowanie procesu denitryfikacji w osadnikach,
- wprowadzeniu komory predenitryfikacji ścieków doprowadzanych po stopniu mechanicznym oczyszczalni – zapobiegło to przedostawaniu się azotanów do komory defosfatacji, jak również przeciwdziałało przedostawaniu się tlenu rozpuszczonego w ściekach w okresie deszczowym,

- wprowadzeniu komory zagęszczania osadu czynnego i hydrolizy (generacja Lotnych Kwasów Tłuszczowych - LKT),
- wprowadzeniu komory predenitryfikacji osadu recykulowanego – pozwalającego na eliminację azotanów zawartych w recykulowanym osadzie czynnym,
- wprowadzeniu komory defosfatacji, a właściwie komory uwolnienia fosforu z osadu czynnego.
- optymalizacji zawartości tlenu rozpuszczonego w komorach biologicznych na poziomie ok. 1,2 mg O₂/l celem zwiększenia efektywności denitryfikacji (komory tlenowa i beztlenowa nie są fizycznie rozdzielone).

Należy przy tym podkreślić, że wprowadzenie defosfatacji biologicznej, predenitryfikacji i hydrolizy osadów było w oczyszczalni w Tarnowie bardzo tanie inwestycyjnie ze względu na wykorzystanie istniejących kubatur i zbiorników. Ponadto oczyszczalnia stoi przed koniecznością rozwiązania problemu gospodarki osadami z docelowym spalaniem osadów ściekowych bez ich fermentacji – zatem istnieją łatwiejsze warunki do zastosowania defosfatacji biologicznej bez wód odciekowych niosących duże ładunki zanieczyszczeń – w tym fosforu.

Schemat technologiczny oczyszczalni po wszystkich dokonanych zmianach technologicznych przedstawiono na rysunku 2. Ostatnie zmiany miały doprowadzić do zintegrowanego oczyszczania biologicznego ścieków z zanieczyszczeń biogennych oraz optymalizacji chemicznego strącania fosforu w układzie symultanicznym, stosowanego w okresie styczeń 2000 – lipiec 2002 r. Rozruch instalacji wykonano w okresie rocznym, sierpień 2002 – lipiec 2003 celem sprawdzenia funkcjonowania w okresie zimowym i letnim, co w przypadku zimy 2002/2003 ze względu na jej uciążliwość było szczególnie cenne.

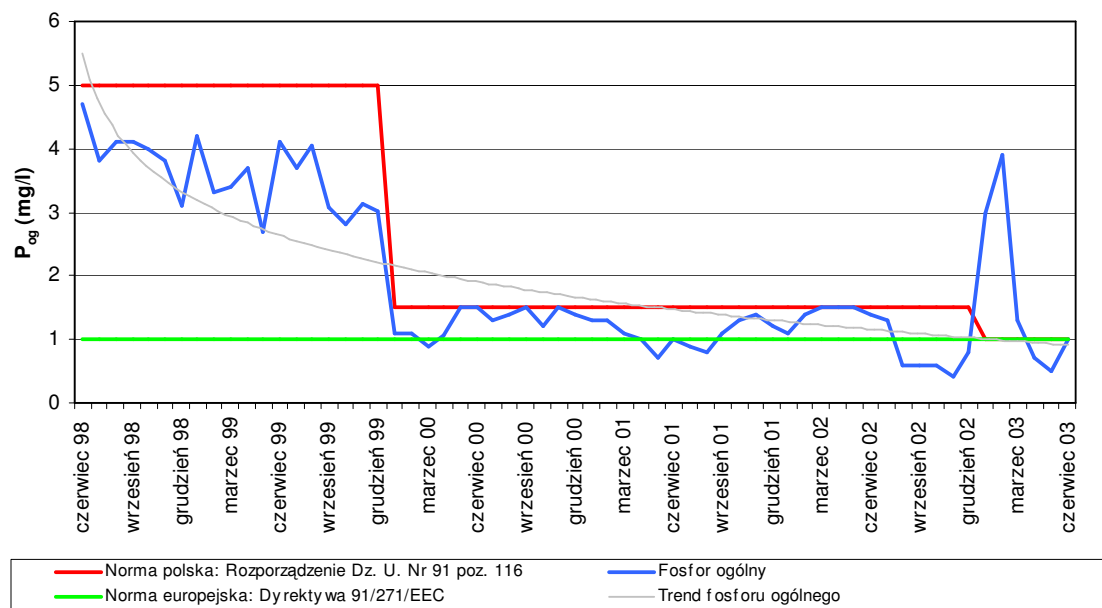


Rys. 2. Schemat technologiczny TGOS po sierpniu 2002

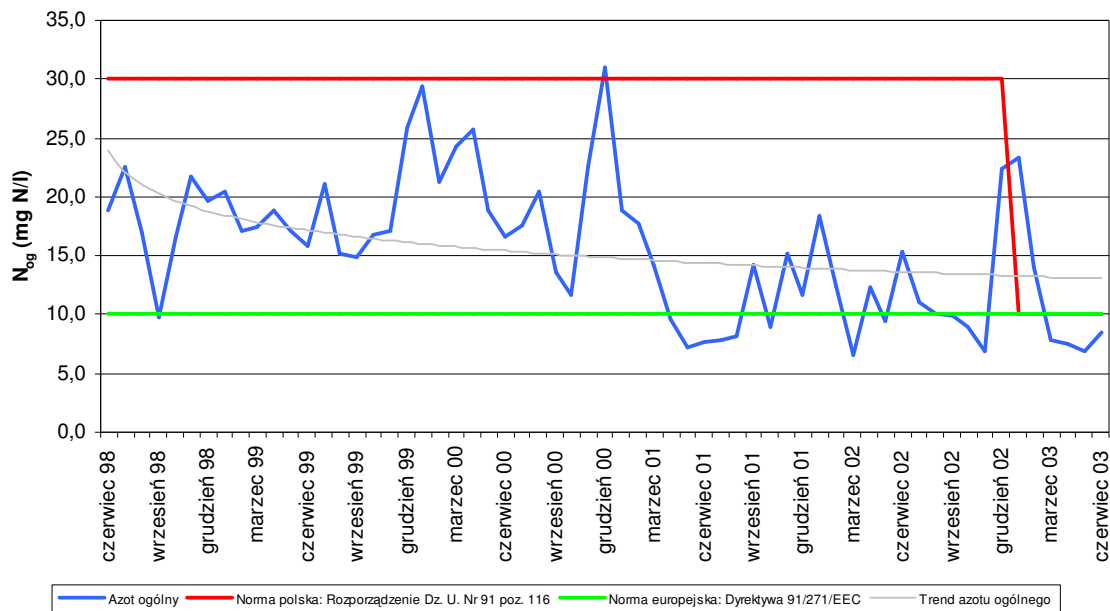
Wyniki badań i wnioski z funkcjonowania oczyszczalni w tym okresie przedstawiono poniżej.

3. Efekty pracy instalacji w warunkach zimowych

Wyjątkowo uciążliwa zima 2002/2003 pozwoliła na zweryfikowanie wielu technologii oczyszczania ścieków pod kątem możliwości uzyskania parametrów wymaganych prawem w okresie istnienia niskich temperatur ścieków. Na skutek znacznego zmniejszenia ilości ścieków z Zakładów Azotowych oraz obniżenia ich temperatury oczyszczalnia w Tarnowie po raz pierwszy w zimie pracowała w warunkach bardzo niskich temperatur w komorach biologicznych sięgających w ekstremalnych momentach 7 - 8°C. Spowodowało to wyraźne zmiany w funkcjonowaniu stopnia biologicznego oczyszczalni ujawniającego się obniżeniem redukcji azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych, w szczególności pogorszeniem denitryfikacji i pojawieniu się w znacznie większych niż w okresie letnim stężeń azotanów w ściekach na wylocie oczyszczalni, w recyrkulacie, a przez to także w komorze biologicznej defosfatacji. Wtórny efekt stało się zatem pogorszenie efektywności defosfatacji biologicznej graniczące z jej zanikiem (pozostało jedynie naturalne wbudowywanie fosforu w biomasę osadu czynnego). Wyniki średniomiesięcznych stężeń fosforu ogólnego i azotu ogólnego przedstawiają rysunki 3 i 4.



Rys. 3. Średniomiesięczne stężenie fosforu ogólnego na wylocie oczyszczalni w latach 1998 – 2003.

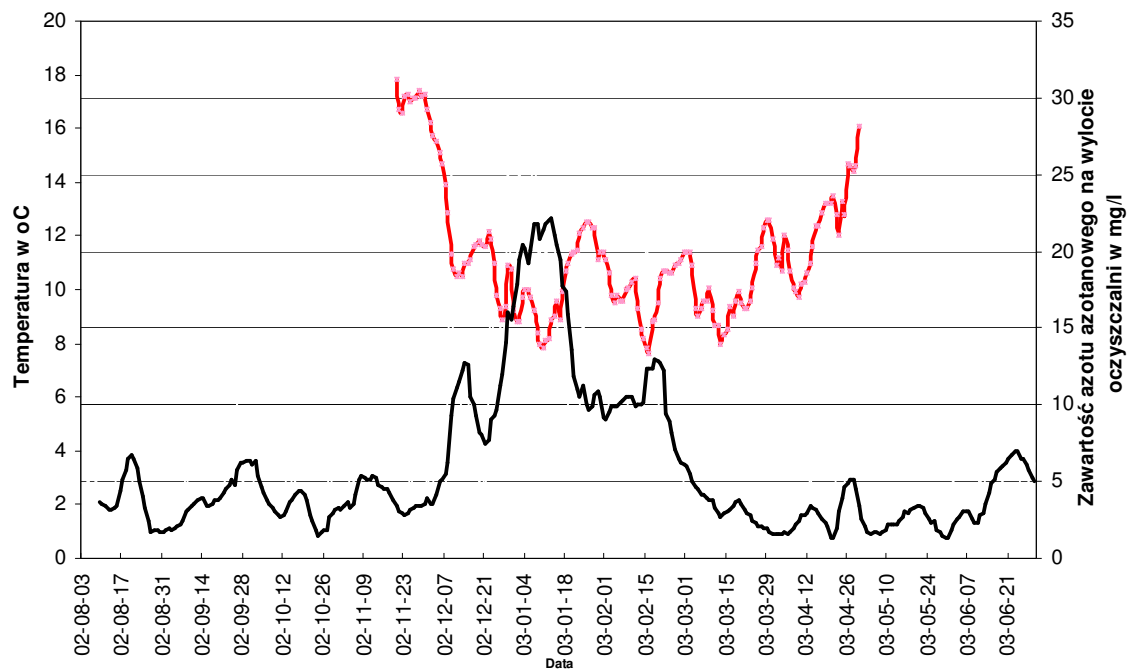


Rys. 4. Średniomiesięczne stężenie azotu ogólnego na wylocie oczyszczalni w latach 1998 – 2003.

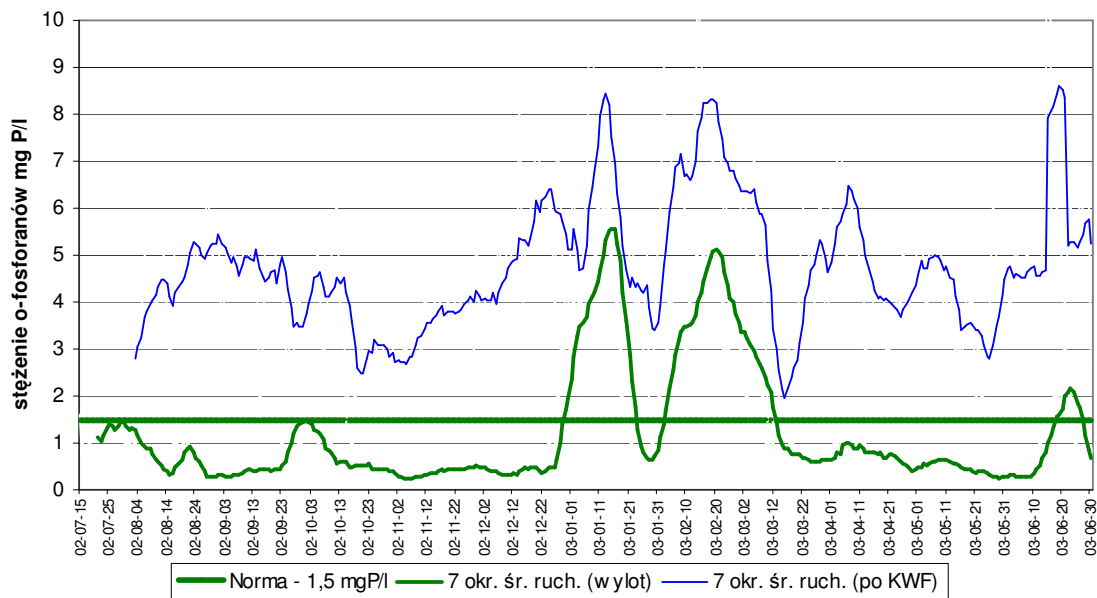
O ile fakt pogorszenia denitryfikacji został dostrzeżony i uwzględniony w przepisach dyrektywy europejskiej i nowego polskiego rozporządzenia (dopuszczenie przekroczeń poziomu azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych w warunkach, gdy temperatura ścieków w komorach biologicznych jest niższa niż 12°C), o tyle nie ma zwolnienia w zakresie parametru fosfor ogólny. Oznacza to, iż poziom fosforu 1 mg P/l jest obowiązujący w każdej temperaturze oczyszczanych ścieków. W praktyce oznacza to, iż w okresie zimowym w warunkach pogarszającej się efektywności defosfatacji biologicznej niezbędne staje się wspomaganie procesów biologicznych metodami chemicznymi, w oczyszczalni w Tarnowie oznacza to konieczność stosowania PIX-u.

Obserwowane w okresie sierpień 2002 – czerwiec 2003 stężenia azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego w pełni skorelowane ze zmianami temperatury zostały zamieszczone na rysunkach 5 i 6. Należy zaznaczyć, iż dla pełnego poznania zachowania się procesu defosfatacji biologicznej w warunkach niskich temperatur nie stosowano strącania chemicznego nawet w okresie, gdy występowały stężenia fosforu przekraczające dopuszczalne. Stwierdzone w tarnowskiej oczyszczalni pogorszenie warunków defosfatacji biologicznej i denitryfikacji występowało w praktyce przy temperaturach ścieków w

komorach biologicznych na poziomie 9-10°C, co pozwala na przetrwanie krótszych lub mniej intensywnych okresów niskich temperatur w zimie. W skrajnych warunkach, przy temperaturach poniżej -10°C w okresie ponad 2 tygodni oraz w okresach braku ładunku węgla w okresie letnim konieczne będzie wspomaganie procesu metodą chemiczną.



Rys 5. Zmiany stężenia azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych w korelacji z temperaturą ścieków w komorach biologicznych.



Rys. 6. Przebieg zmian stężenia ortofosforanów w mg P/l (uśrednionych w okresie jednego tygodnia) po oczyszczaniu mechanicznym i na wylocie oczyszczalni.

4. Analiza techniczno – ekonomiczna zastosowanych rozwiązań.

Zastosowanie biologicznego oczyszczania zanieczyszczeń biogenych ze wspomaganie redukcji fosforu strącaniem chemicznym z zastosowaniem PIX-u w TGOŚ Sp. z o. o. umożliwi spełnienie wymagań dyrektywy 91/271/EEC i najnowszego Rozporządzenia Ministra Środowiska.

Nie zanotowano znaczącego zmniejszenia ani zwiększenia zanieczyszczeń emitowanych do wód w kontekście opłat za szczególne korzystanie z wód – średnie stężenie ChZT w ściekach oczyszczonych w okresie roku stosowania defosfatacji chemicznej wynosiło 40,9 mg O₂/l, w roku stosowania defosfatacji biologicznej – 39,3 mg O₂/l odpowiednio BZT₅ na poziomie 7,9 mg O₂/l w okresie defosfatacji chemicznej do 6,3 mg O₂/l w okresie defosfatacji biologicznej.

Rozruch technologiczny potwierdził wszystkie znane z doświadczeń innych oczyszczalni i z literatury wady i zalety defosfatacji biologicznej i chemicznej. W okresie pierwszego roku po wprowadzeniu defosfatacji biologicznej świadomie nie stosowano metody mieszanej mimo konieczności jej stosowania – badania zmierzały w kierunku oceny skutków ekonomicznych stosowania obu metod i stopnia ich współdziałania niezbędnego w

dalszej eksploatacji oczyszczalni. Z pewnością celem oczyszczalni będzie optymalizacja stosowania defosfatacji chemicznej ze względu na konieczność utrzymania wysokiego ładunku węgla potrzebnego dla efektywnej denitryfikacji w osadzie recyrkulowanym. Stosowanie chemicznej defosfatacji będzie konieczne w okresie niskich temperatur i okresów obniżenia ładunków lub stężeń węgla w ściekach dopływających do oczyszczalni w okresach poza zimowych (długotrwałe deszcze, długie weekendy z zanikiem ładunku zanieczyszczeń pochodzących ze ścieków przemysłowych) oraz we wszystkich przypadkach nieprzewidywalnych, kiedy nagle poziom fosforu lub innych parametrów określających właściwości ścieków na wyjściu osiąga niepożądany poziom. Dozowanie koagulantu może zmniejszyć przyczyny lub skutki zaburzeń. Zaobserwowane wady obu systemów defosfatacji przedstawiono poniżej w tabeli nr 2.

Zastosowanie mieszanego układu defosfatacji biologicznej wspomaganej chemicznie w okresie utraty ładunku umożliwiającego pracę biologii lub w okresie niskich temperatur pozwala na optymalizację kosztów prowadzenia defosfatacji w oczyszczalniach. Oszacowana w Tarnowie skala zmian kosztów oczyszczania ścieków przedstawia się następująco:

- wprowadzenie biologicznej defosfatacji wspomaganej chemicznie spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania na PIX z ok. 900 ton PIX-u na rok (wartość ok. 270 000 zł) do ok. 190 ton/rok (wartości szacowane na podstawie wcześniejszych doświadczeń eksploatacyjnych) co daje oszczędności ok. 210 000 zł rocznie,
- niewątpliwym skutkiem zastosowania w miejsce czystego chemicznego strącania fosforu biologicznej defosfatacji wspomaganej chemicznie jest spadek ilości osadów ściekowych (w Tarnowie ok. 15 - 20%); powoduje to niższe koszty ich utylizacji (złożenia na składowisku) o ok. 250 000 zł rocznie (wysoki koszt składowania na poziomie ok. 500 zł/Mg s.m.o.),
- obniżeniu ulegnie także ilość flokulantów niezbędnych do odwadniania zmniejszonej ilości osadów, skorygowana poprzez fakt lepszego odwadniania osadów po defosfatacji chemicznej – efekt oszacowany na ok. 40 000 zł rocznie,
- zaobserwowano znaczne zwiększenie zużycia energii elektrycznej w okresie stosowania defosfatacji biologicznej, szacowane wraz z wydatkiem energetycznym niezbędnym na mieszanie ścieków w komorach defosfatacji biologicznej na ok. 150 000 zł rocznie,

- większa ilość obiektów i urządzeń mechanicznych wymagających remontów w warunkach defosfatacji biologicznej powoduje zwiększenie kosztów w tej pozycji, szacowanych na ok. 20 000 zł rocznie,
- koszt amortyzacji obiektów kubaturowych przyjęty do kalkulacji oczyszczanych ścieków oszacowano w Tarnowie na ok. 20 000 zł rocznie (jest to koszt wynikający jedynie z modernizacji istniejących komór biologicznych, przy nowej inwestycji koszt wynikający z amortyzacji obiektów służących defosfatacji biologicznej byłby wielokrotnie wyższy) - koszt amortyzacji urządzeń służących defosfatacji chemicznej jest pomijalnie mały w skali przedstawianych powyżej składników kosztowych.

Podsumowując przedstawione powyżej koszty należy uznać, iż wprowadzenie biologicznej defosfatacji ze wspomaganie chemicznym w oczyszczalni w Tarnowie spowodowało obniżenie kosztów oczyszczania ścieków o ok. 310 000 zł rocznie ($210\ 000\ \text{zł} + 250\ 000\ \text{zł} + 40\ 000\ \text{zł} = 500\ 000\ \text{zł}$ zmniejszenia kosztów, $150\ 000\ \text{zł} + 20\ 000\ \text{zł} + 20\ 000\ \text{zł} = 190\ 000\ \text{zł}$ kosztów dodatkowych), co w przełożeniu na cenę jednostkową powoduje ograniczenie o ok. 3% corocznego wzrostu cen w wyniku powszechnie znanych czynników cenotwórczych w oczyszczalniach.

Należy zauważyć, iż przedstawiona powyżej analiza odnosi się do szczególnego przypadku oczyszczalni w Tarnowie, gdzie koszty inwestycyjne wprowadzenia defosfatacji biologicznej ze wspomaganie chemicznym były małe także ze względu na użycie własnej myśli technicznej. Pokazuje to konieczność indywidualnego traktowania każdego obiektu i dostosowania rozwiązania jako optymalnego w zależności od możliwości, które mamy do dyspozycji.

Tabela 2. Stwierdzone wady obu systemów defosfatacji.

Wady defosfatacji biologicznej	Wady symultanicznej defosfatacji chemicznej
Sterowanie procesem zależne od wielu czynników, w szczególności od ładunku zanieczyszczeń	Koszty związane z zakupem PIX-u
Znaczna zależność efektywności od pory roku	Utrata ładunku węgla na drodze chemicznej w strumieniu recyrkulatu poddanego denitryfikacji

Duża bezwładność w reakcji na zmiany zawartości fosforu	Pogorszenie warunków denitryfikacji biologicznej recyrkulatu
Pogorszenie sedymentacji na osadnikach wtórnych	Potencjalne zagrożenie oddziaływaniem PIX-u na obsługę
Zwiększenie zużycia energii elektrycznej w procesie napowietrzania komór biologicznych i mieszania w komorach defosfatacji	Niewielkie zwiększenie zawartości siarczanów w oczyszczanych ściekach
Wysoki koszt inwestycyjny	Zwiększenie ilości osadów ściekowych

5. Wnioski

Użycie systemu mieszanej defosfatacji biologiczno – chemicznej w oczyszczalni w Tarnowie spowodowało:

- możliwość spełnienia najsurowszych norm w zakresie jakości ścieków oczyszczonych określonych w nowych polskich przepisach i w dyrektywie UE, w szczególności w zakresie azotu ogólnego w warunkach znacznego dopływu azotanów z przemysłowego źródła ścieków,
- optymalizację zużycia PIX-u poprzez jego wykorzystanie prawie wyłącznie w okresie zimowym przy zwolnieniu od obowiązku utrzymania stężenia azotu ogólnego na poziomie 10 mg N/l,
- możliwość szybkiej reakcji obsługi na pogorszenie biologicznej redukcji fosforu poprzez wprowadzenie defosfatacji chemicznej PIX-em,
- zwiększenie zużycia energii elektrycznej w procesie biologicznym,
- zmniejszenie produkcji osadów ściekowych,
- możliwości elastycznego dopasowania stopnia chemicznego defosfatacji do zapotrzebowania oczyszczalni w przypadku rozbudowy oczyszczalni o gospodarkę osadową.

6. Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r., w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi. (Dz. U. Nr 116, poz. 503).
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. Nr 212, poz. 1799).
- [3] The Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment 91/227/EEC.
- [4] T. Rzepecki, Doświadczenia w stosowaniu koagulantów w Tarnowskiej Grupowej Oczyszczalni Ścieków Sp. z o. o. w Tarnowie, Materiały z konferencji na temat chemicznych metod oczyszczania wody i ścieków, Kemipol, Arłamów, wrzesień 2000.
- [5] T. Rzepecki, B. Szczepaniak, Rola koagulanta żelazowego PIX w warunkach oczyszczania ścieków przemysłowych o znacznej zawartości arsenu. Nowe rozwiązania problemów technologicznych na oczyszczalniach ścieków - materiały na konferencję naukowo - techniczną w Świnoujściu i Kopenhadze. Kemipol Sp. z o. o., Kemira Dania, Avedore Wastewater Services Company, Świnoujście i Kopenhaga, 2002.
- [6] T. Rzepecki, M. Jodko, Z. Wzorek, K. Gorazda, Implementation of the method of the chemical precipitation of phosphorus compounds in Tarnów sewage plant, Materiały konferencyjne: 6th Conference on Enviromental and Mineral Processing, VSBTU Ostrava, Czech Republic, 27 - 29.06.2002, s. 589-595.