



Mniej azotu w ściekach z krakowskiej Nowej Huty

Instalacja deamonifikacji – zbiornik retencyjny i reaktor

tekst: **ANNA BIEDRZYCKA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne
zdjęcia i wykresy: **MPWiK SA w KRAKOWIE**

Kolejnym z dużych przedsięwzięć inwestycyjnych Wodociągów Krakowskich jest modernizacja oczyszczalni ścieków Kujawy, zakończona 30 listopada 2015 r. Głównym celem modernizacji było uzyskanie wymaganej przepisami efektywności w zakresie usuwania azotu. Po przeprowadzeniu inwestycji oczyszczalnia spełnia wymogi tzw. dyrektywy ściekowej (91/271/EWG).

Zgodnie z postanowieniami przywołanej dyrektywy, której pełne wdrożenie do prawa polskiego na mocy Traktatu Akcesyjnego przewidziano do końca 2015 r. i jest realizowane za pomocą *Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych*, stężenie azotu ogólnego (suma azotu organicznego, azotu amonowego, związków azotu III i V wartościowego – azotynowego i azotanowego) w ściekach oczyszczonych w aglomeracjach powyżej 100 tys. RLM wynosi 10 mg/l. Tymczasem w oczyszczalni Kujawy przed modernizacją wartość tego wskaźnika ponad dwukrotnie przekraczała nową normę, przy utrzymującej się tendencji wzrostowej, zachowując jednak zgodność z obowiązującym wówczas pozwoleniem wodnoprawnym.

Usuwanie związków azotu to jeden z głównych problemów oczyszczania ścieków. Azot, obok fosforu, jest podstawowym pierwiastkiem biogennym. Zawartość substancji biogennych ma duży wpływ na jakość odbiorników ścieków, m.in. prowadzi do nadmiernego rozrastania się glonów i sinic, czego skutkiem może być wymieranie życia w rzekach i stawach. Azot ze ścieków można usunąć tylko metodami biologicznymi.

Zaostrzenie norm dotyczących dopuszczalnego stężenia związków azotu w ściekach odprowadzanych do wód powierzchniowych i gruntu wymaga od zakładów oczyszczania optymalizacji rozwiązań technologicznych, tak aby zintensyfikować procesy usuwania azotu. „W oczyszczalni Kujawy zdecydowano się na wykorzystanie zaawansowanego systemu sterowania oraz procesu deamonifikacji – informuje Bartosz Łuszczek, główny technolog Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie. – Jest to system usuwania azotu z odcieków z odwadniania osadów pofermentacyjnych bez zewnętrznego źródła węgla. Proces opiera się na częściowej nitryfikacji i autotroficznej redukcji azotynów przy jednoczesnym utlenieniu amoniaku. Wydajność usuwania azotu ogólnego wynosi ponad 80%”.

Technologia została rozwinięta i opatentowana przez Uniwersytet w Innsbrucku, a stosuje ją obecnie kilkadziesiąt oczyszczalni w Europie. „W krakowskiej oczyszczalni Kujawy proces deamonifikacji – po raz pierwszy w Polsce – został zastosowany w pełnej skali technicznej w komunalnej oczyszczalni ścieków” – podkreśla Bartosz Łuszczek.

Modernizacja współfinansowana przez UE

Kujawy są drugą pod względem wielkości oczyszczalnią aglomeracji krakowskiej (po oczyszczalni Płaszów, obsługującej ok. 550 tys. mieszkańców). Zakład działa od 1999 r. i oczyszcza ścieki przemysłowe z kombinatu metalurgicznego oraz komunalno-bytowe od ok. 250 tys. mieszkańców Nowej Huty, a dodatkowo przez kolektor DTW przyjmuje ścieki z lewo-brzeżnego kolektora Białychy, tzw. III obwodnicy i Łęgu. Oczyszczanie prowadzi się w niej w sposób mechaniczno-biologiczny ze wspomaganiami chemicznymi. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest Wisła. Wydajność oczyszczalni wynosi 70 tys. m³/d, średni przepływ – 54,9 tys. m³/d (2015).

Modernizacja zakładu, obejmująca unowocześnienie i rozbudowę części mechanicznej, biologicznej i osadowej, została ujęta w projekcie *Gospodarka wodno-ściekowa w Krakowie – Etap II*, współfinansowanym przez Unię Europejską ze środków Funduszu Spójności w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko i zakładającym ponadto budowę kanalizacji sanitarnej o długości 2,5 km. Generalnie, wykonane prace modernizacyjne miały na celu uruchomienie dotychczas nieużywanej czwartej linii technologicznej oraz renowację trzech pozostałych. Planując rozbudowę i modernizację oczyszczalni Kujawy, jako priorytet przyjęto intensyfikację usuwania azotu.

Kontrakt z wykonawcą modernizacji – konsorcjum firm WTE Wassertechnik (Polska) Sp. z o.o. i WTE Wassertechnik GmbH z Niemiec – podpisano 29 lipca 2013 r. Wartość kontraktu wyniosła prawie 40 mln zł netto. W jego zakres wchodziło wykonanie projektu, roboty budowlane, uruchomienie, szkolenie, rozruch próbny i przekazanie do eksploatacji zakładu oraz wykonanie wszelkich opracowań i uzyskanie wszystkich decyzji administracyjnych niezbędnych do zrealizowania zadania zgodnie z obowiązującymi przepisami. W kwietniu 2015 r. rozszerzono zakresu rzeczowy i finansowy (o ok. 10 mln zł netto) projektu, włączając weń modernizację osadników wstępnych i wtórnych, modernizację rurociągu osadu z budynku zagęszczania i odwadniania osadu do wydzielonych komór fermentacyjnych, doprowadzenie odcieków z odwadniania na prasach do stacji usuwania azotu, odprowadzanie piany z reaktorów do osadników wtórnych.

Rozbudowa początkowego odcinka ciągu technologicznego polegała na zbudowaniu nowego żwirownika, czyli przegłębionej komory do wyłapywania grubych frakcji, tj. żwiru i kamieni, usuwanych następnie za pomocą wciągnika. W budynku krat rzadkich zamontowano cztery nowe kraty rzadkie o prześwicie 20 mm (wcześniej 35 mm) wraz z nowym układem odbioru i transportu skratek. Budowa żwirownika i modernizacja krat rzadkich ograniczyła awaryjność dalszych urządzeń oczyszczalni, takich jak zgarniacze denne w piaskownikach i osadnikach wstępnych, pompy i separatory piasku.

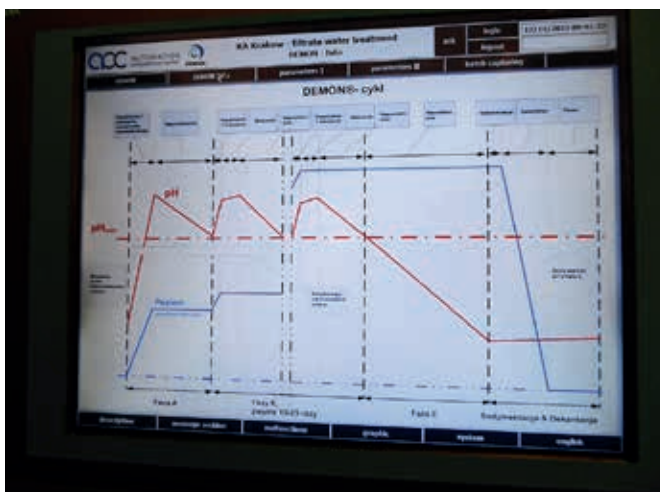
Istniejący (czwarty) osadnik wstępny o średnicy 42 m nie był do tej pory eksploatowany. Aby włączyć go do pracy, wykonano roboty naprawcze powierzchni ścian i dna osadnika wraz z zabezpieczeniem antykorozyjnym konstrukcji i urządzeń. Osadnik został wyposażony w nowy zgarniacz osadu, poruszający się po ogrzewanym torze jezdnym. Osady podawane są przez zmodernizowaną pompownię osadu wstępnego do zagęszczaczy grawitacyjnych. W komorach rozdziału wykonano prace polegające m.in. na wyburzeniu części ścian, montażu nowych zastawek i pomp zatapialnych, co umożliwiła



Instalacja deamonifikacji – recykulacja granulek osadu Anammox



Instalacja deamonifikacji – cyklon



Instalacja deamonifikacji – ekran sterowania

dowolne rozprowadzenie ścieków oczyszczonych mechanicznie do poszczególnych komór osadu czynnego.

Najistotniejszym zadaniem w ramach całego przedsięwzięcia było pełne wyposażenie i uruchomienie czwartej komory osadu czynnego. Komora została wyposażona w ruszt napowietrzający i rurociągi powietrza, urządzenia technologiczne (mieszadła), okna służące do spustu kożucha i piany, krawędź przelewową, pomosty komunikacyjne.

W skład czwartego ciągu technologicznego oczyszczania biologicznego weszły dwa osadniki wtórne o średnicy 42 m. Podobnie jak w przypadku osadnika wstępnego, wykonano renowację i zabezpieczenie konstrukcji oraz montaż nowych zgarniaczy na ogrzewanych torach jezdnych. W pracujących dotąd komorach osadu czynnego wymieniono istniejące urządzenia i system napowietrzania. W zakres prac weszły demontaż urządzeń wyeksploatowanych, remont i zabezpieczenie powierzchni komór, zamontowanie nowego rusztu napowietrzającego i rurociągów powietrza, urządzeń dźwigniowych, urządzeń technologicznych (mieszadła), wykonanie nowej krawędzi przelewowej oraz okien służących do spustu kożucha i piany, wykonanie nowej krawędzi przelewowej. Istniejące pompownie recyrkulacji zewnętrznej zmodernizowano dla umożliwienia niezależnej pracy każdego z czterech ciągów technologicznych, co wiązało się m.in. z wykonaniem przegród wyposażonych w zastawki oraz uzupełnieniem wyposażenia w postaci pomp i rurociągów technologicznych wraz z niezbędną armaturą. Powietrze do natleniania komór osadu czynnego doprowadzane jest za pomocą nowo zbudowanej stacji dmuchaw, złożonej z sześciu dmuchaw odśrodkowych, promieniowych, wyposażonych w łożyska bezstykowe, każda o mocy ok. 300 kW. Powietrze jest tłoczone do komór osadu czynnego dwoma rurociągami o średnicy 800 mm. W budynku zlokalizowana została również nowa stacja transformatorowa do zasilania dmuchaw. W ramach przedsięwzięcia zamontowano nowy układ dozujący koagulanty do strącania fosforu.

Zbudowano stację magazynowania i dozowania zewnętrznego źródła węgla organicznego. W ramach modernizacji linii przeróbki osadów ściekowych istniejąca stacja pras i zagęszczarek została rozbudowana. Wprowadzono wirówki dekantacyjne do mechanicznego zagęszczania osadu nadmiernego oraz odwadniania osadu przefermentowanego. Stacja jest wyposażona w układ przygotowania i dozowania flokulantów oraz ich magazyn. Odwodnione osady są wywożone do Stacji Termicznej Utylizacji Osadów zlokalizowanej w oczyszczalni ścieków Płaszów.

Dla poprawy gospodarki wodą na terenie oczyszczalni wykonano sieć wody technologicznej doprowadzanej do wybranych obiektów i wykorzystywanej w procesach technologicznych zamiast wody wodociągowej. Woda technologiczna (ścieki oczyszczone) jest pobierana z koryt odpływowych i poddawana filtracji na filtrze samopłuczającym oraz dezynfekcji za pomocą promieni UV. Następnie przez hydrofornię jest tłoczona do wewnętrznej sieci i wykorzystywana w oczyszczalni m.in. do płukania krat rzadkich, krat gęstych, piasku w separatorach oraz do celów porządkowych.

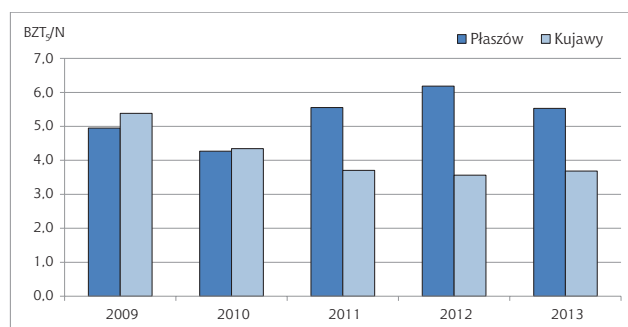
W związku z przewidywanym wzrostem produkcji biogazu przeprowadzono modernizację sieci biogazu polegającą na wymianie rurociągów, zabudowaniu nowej dmuchawy i po-

miarach przepływu biogazu. Ponadto wykonano wszystkie niezbędne sieci i rurociągi technologiczne wraz z armaturą oraz wyposażeniem, wymagane do właściwej realizacji całego zadania inwestycyjnego.

Systemy usuwania azotu

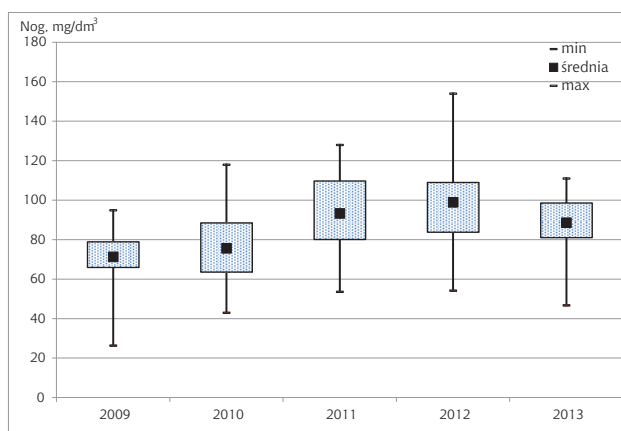
Jak wykazały badania, w ściekach dopływających do oczyszczalni Kujawy występował wyraźny deficyt węgla organicznego (BZT_5) w stosunku do azotu (N), por. wykres 1. W latach 2011–2013 stosunek BZT_5/N wynosił 3,6–3,7, co wskazywało na konieczność zastosowania zewnętrznego źródła węgla dla procesu denitryfikacji.

Wykres 1. Stosunek BZT_5/N w ściekach dopływających do oczyszczalni Płaszów oraz Kujawy (na podstawie średnich rocznych z prób średniodobowych)



Stężenie azotu ogólnego w ściekach kierowanych do części biologicznej (ścieki oczyszczone mechanicznie po doprowadzeniu odcieków z odwadniania) wykazywało znaczną zmienność, wynikającą z występowania w zlewni dużych zakładów przemysłowych oraz znacznego ładunku zawracanego z odciekami z odwadniania osadów. Średnioroczne stężenia azotu w dopływie do części biologicznej zmieniały się w zakresie 71,3–99,0 mg/l, a ekstremalne wartości (próby średniodobowe) sięgały nawet 154 mg/l (wykres 2).

Wykres 2. Stężenie azotu ogólnego w ściekach kierowanych do części biologicznej oczyszczalni ścieków Kujawy (słupki ograniczone przez 25. i 75. percentyl)



Tak duże wahania stężeń w dopływie do bioreaktorów przy niekorzystnym stosunku BZT_5/N wymusiły zastosowanie rozwiązań zmieniających tę niekorzystną sytuację i zapewniających osiągnięcie norm usuwania azotu. W związku z tym

w ramach modernizacji i rozbudowy oczyszczalni przewidziano:

- instalację dozowania zewnętrznego źródła węgla,
- zbiornik do przyjmowania ścieków o podwyższonej zawartości związków organicznych,
- zaawansowany system sterowania, oparty na pomiarach online związków azotu, umożliwiający pracę z przerywanym napowietrzaniem (denitryfikacja symultaniczna),
- budowę stacji usuwania azotu z odcieków z odwadniania osadów z wykorzystaniem procesu deamonifikacji.

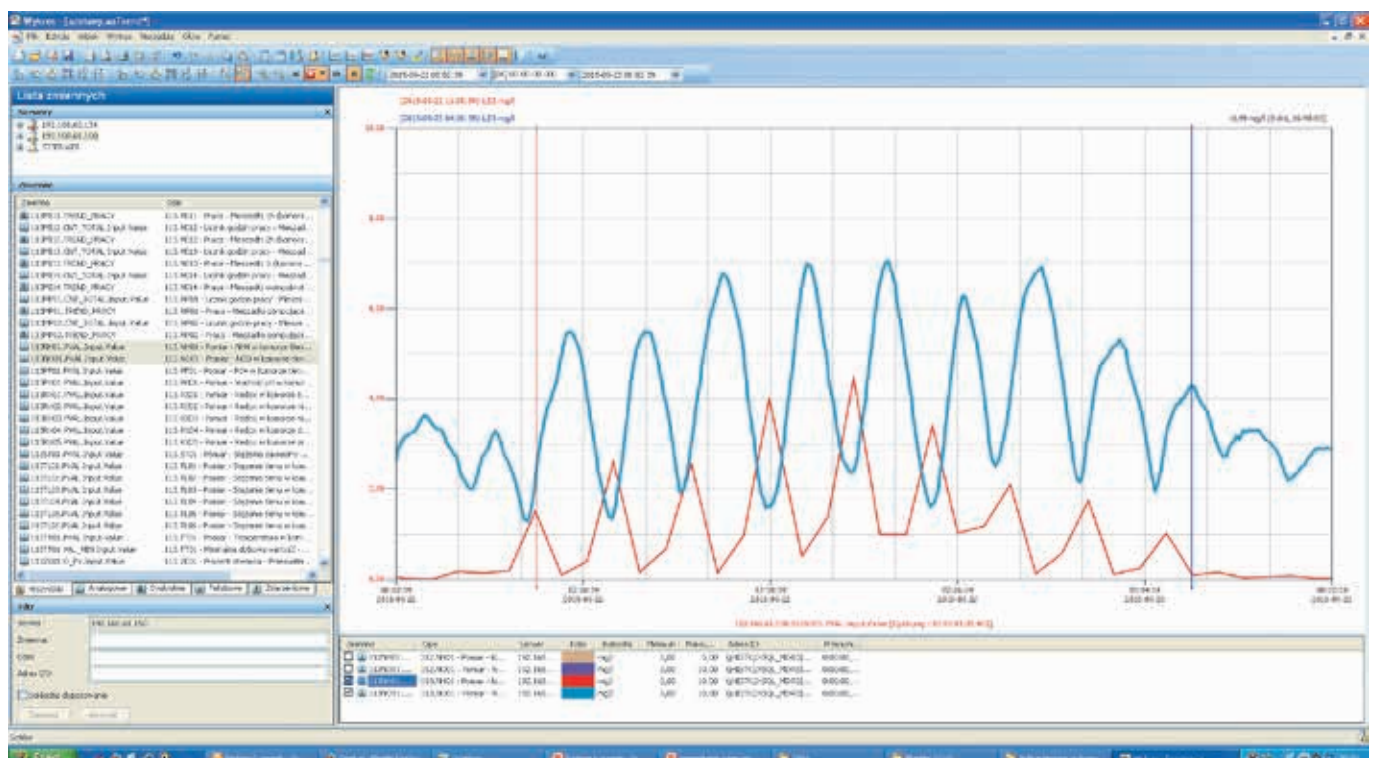
Zaawansowany nadrzędny system sterowania

Pracę zmodernizowanej oczyszczalni ścieków Kujawy wspomagają układy pomiarowe i automatyki, zapewniające optymalne warunki do kontroli przebiegu procesów i sterowania parametrami procesowymi (wykres 3).

System komunikacji został unowocześniony i rozbudowany o kolejne sterowniki PLC, zmodernizowano też istniejący system wizualizacji i sterowania (SCADA), wyposażając go w szyty na miarę nadrzędny system sterowania procesami biologicznego oczyszczania ścieków. Wykorzystuje on zaawansowane algorytmy przetwarzające wiele pomiarów procesowych i ma następujące funkcjonalności:

- sterowanie funkcjami komór nityfikacji / denitryfikacji umożliwiające przerywanie napowietrzania osadu czynnego – korzyści procesowe (denitryfikacja symultaniczna) oraz energetyczne,
- dynamiczne sterowanie ciągłym napowietrzaniem ze znacznym ograniczeniem zużycia powietrza (energii),
- sterowanie dawką środka strącającego pozwalające na ograniczenie zużycia i dopasowanie do rzeczywistego ładunku fosforu,

Wykres 3. Przebieg procesu z przerywanym napowietrzaniem: niebieskie – azot azotanowy, czerwone – azot amonowy. Wspólna skala do 10 mg/l – suma form azotu na poziomie 3–7 mg/l



- sterowanie recyrkulacją wewnętrzną i zewnętrzną osadu umożliwiające ograniczenie zużycia energii,
- system kontroli jakości pomiarów umożliwiający zastosowanie alternatywnych strategii sterowania w przypadku awarii urządzeń pomiarowych.

Korzyści z wdrożenia zaawansowanego systemu nadrzędnego sterowania są wielorakie. „Najistotniejsze dotyczą utrzymania stabilnego, głębokiego usuwania azotu przy ograniczonym zużyciu powietrza. Zmniejszenie ilości dostarczanego powietrza do rzeczywistego zapotrzebowania mikroorganizmów na tlen pozwala na maksymalne wykorzystanie denitryfikacji symultanicznej oraz ograniczenie zużycia energii na napowietrzanie o 20–30% w stosunku do typowych układów” – kontynuuje główny technolog MPWiK SA w Krakowie.

Sterowanie z napowietrzaniem naprzemiennym stwarza także korzystne warunki dla mikroorganizmów, powodując zmniejszenie przyrostów osadu oraz poprawę procesu sedymentacji osadu w osadnikach wtórnych.

Dynamiczne sterowanie dawką koagulantu pozwala na ponad dwukrotne zmniejszenie jego zużycia w stosunku do tradycyjnego sposobu dozowania.

Proces deamonifikacji

W oczyszczalni Kujawy proces deamonifikacji zastosowano w ciągu bocznym na strumieniu odcieków z odwadniania osadów na wirówce. Ten innowacyjny proces, polegający na skróconej denitryfikacji, umożliwia wysokosprawne usuwanie azotu przy znacznie mniejszych kubaturach reaktora niż w systemach konwencjonalnych (nityfikacja / denitryfikacja). Ponadto system nie wymaga zastosowania dodatkowych środków chemicznych (węgla organicznego). Zapotrzebowanie

procesu na tlen jest ok. trzykrotnie niższe niż w systemach konwencjonalnych o tej samej skali.

Rozwiązanie zastosowane w oczyszczalni Kujawy składa się ze zbiornika wyrównawczego do gromadzenia odcieków o objętości 166 m³ oraz z reaktora do deamonifikacji o objętości 432 m³. Reaktor, zaprojektowany do usuwania 250 kg azotu na dobę, wyposażony jest w system mieszania, napowietrzania oraz dekantacji, umożliwiającą odprowadzenie oczyszczonych odcieków do części biologicznej oczyszczalni.

Deamonifikacja prowadzona jest w jednym reaktorze okresowo napowietrzanym, w którym zachodzą dwa etapy procesu: częściowa nityfikacja (utlenianie części azotu amonowego do azotu azotynowego) oraz proces anammox (beztlenowe utlenianie azotu amonowego z wykorzystaniem wytworzonego azotu azotynowego). Pierwszy etap procesu realizowany jest z zastosowaniem kłaczek tlenowego osadu czynnego. Drugi etap prowadzą bakterie *Anammox*, o charakterystycznej czerwonej barwie, zawieszono w reaktorze w postaci niewielkich, dobrze sedymentujących granulek. Dla separacji i utrzymywania granulek w reaktorze zastosowano hydrocyklon.

Przeprowadzony rozruch procesu potwierdził skuteczność redukcji azotu amonowego na poziomie powyżej 80%. Z uwagi na brak krajowych doświadczeń w eksploatacji, tak skomplikowany proces wymaga szczególnego nadzoru. „Aktualnie proces jest optymalizowany, tak aby utrzymać jego stabilność przy zmiennych warunkach w odprowadzanych odciekach. Przy jego optymalnym przebiegu uzyskano redukcję azotu w ciągu bocznym umożliwiającą obniżenie stężenia azotu ogólnego o ok. 1,5 mgN/l w ściekach oczyszczonych” – informuje Bartosz Łuszczek.

Rezultaty modernizacji

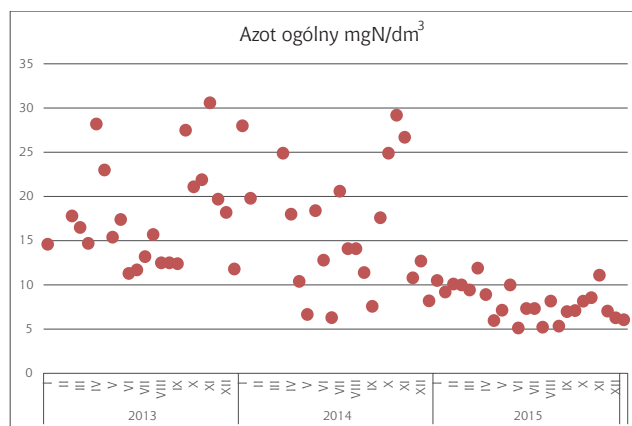
Modernizacja i rozbudowa oczyszczalni pozwoliły na uzyskanie stabilnych efektów w zakresie usuwania azotu umożliwiające spełnienie wymagań (wykres 4).

Jak już napisano, priorytetowym celem projektu była redukcja azotu do poziomu pozwalającego na spełnienie wymagań tzw. dyrektywy ściekowej i ten cel udało się osiągnąć (wykres 5).

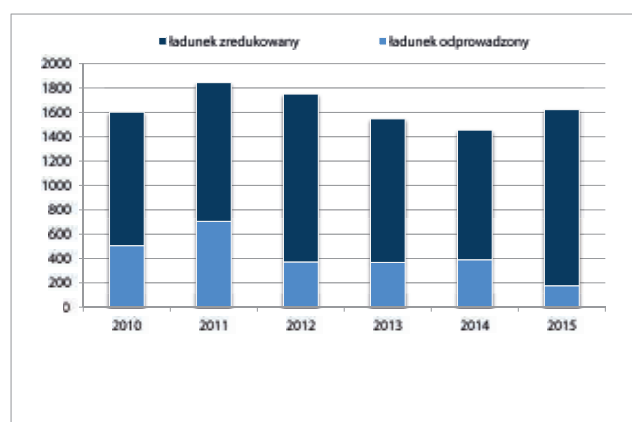
Rozwiązania polegające na zastosowaniu systemu zaawansowanego nadrzędnego sterowania oraz procesu deamonifikacji w ciągu bocznym umożliwiły obniżenie stężeń azotu znacznie poniżej wymaganych wartości, co zabezpiecza skuteczną pracę oczyszczalni przy zmieniających się warunkach w dopływie wynikających z rozbudowy sieci kanalizacyjnej oraz dopływu ścieków przemysłowych. Istotnym efektem, jaki uzyskano w wyniku modernizacji, jest znaczące obniżenie zużycia energii elektrycznej (wykres 6) wynoszące ok. 33%, co po uwzględnieniu produkcji energii własnej przyniosło korzyści w postaci ograniczenia zakupu energii o połowę.

„Dalsza optymalizacja procesów koncentruje się na dopracowaniu stabilnej pracy systemu deamonifikacji oraz pogłębieniu wiedzy o tym innowacyjnym procesie. Dopracowywane są również parametry systemu nadrzędnego sterowania. Całość tych działań ma na celu dalsze obniżanie zapotrzebowania na energię oraz stwarzanie jak najlepszych warunków dla stabilnego prowadzenia procesów przy jak najniższym wykorzystaniu środków chemicznych i optymalnej gospodarce osadowej” – podkreśla na zakończenie Bartosz Łuszczek.

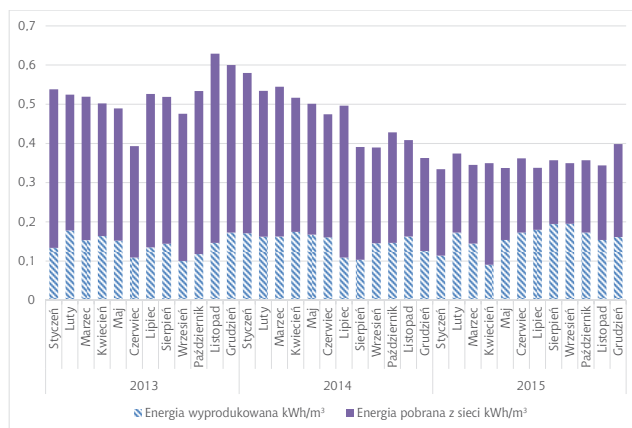
Wykres 4. Azot ogólny w odpływie z oczyszczalni ścieków Kujawy – widoczne efekty modernizacji i wprowadzenia systemu nadrzędnego sterowania



Wykres 5. Oczyszczalnia Kujawy – roczne ładunki azotu ogólnego, t/rok



Wykres 6. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej, kWh/m³



Praca instalacji deamonifikacji w oczyszczalni Kujawy wzbudza duże zainteresowanie środowiska branżowego w Polsce. Jeszcze tylko w kilku oczyszczalniach pracują instalacje deamonifikacji, ale jedynie w skali laboratoryjnej lub pilotażowej. Doświadczenia uzyskane w wyniku zastosowania tego procesu na pełną skalę mogą być cennym źródłem wiedzy dla innych krajowych oczyszczalni, które również muszą podejmować działania służące obniżeniu zawartości azotu w ściekach. Rozwiązanie krakowskie jest szczególne i zostało dobrze przemyślane, bowiem deamonifikację połączono z systemem nadrzędnego sterowania, przez co wdrożenie procesu stało się jeszcze skuteczniejsze.

