

## Efekty modernizacji oczyszczalni i współzależności między procesami na przykładzie krakowskich oczyszczalni ścieków

**Bartosz Łuszczek**

Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie

### Wielkie modernizacje

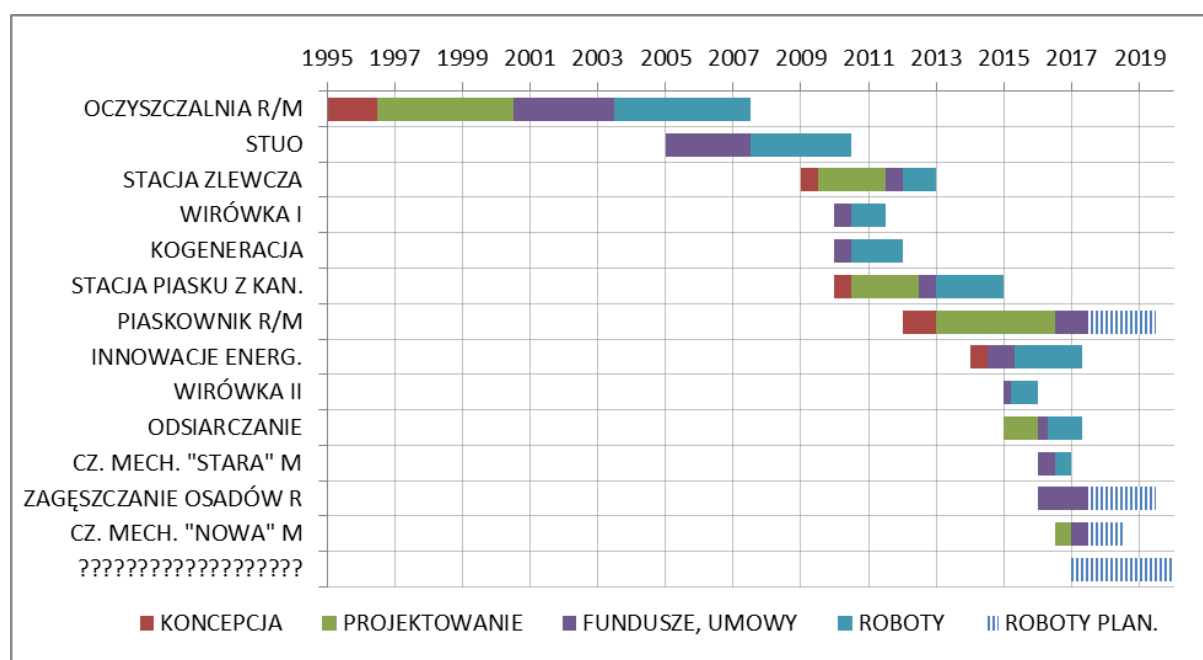
Oczyszczalnie ścieków obsługujące system kanalizacyjny miasta Krakowa etap wielkich, wielomilionowych modernizacji mają już za sobą.

Realizowana w latach 2003 – 2007 Modernizacja i Rozbudowa Oczyszczalni Ścieków Płaszów pozwoliła na wybudowanie praktycznie nowej oczyszczalni zapewniającej spełnienie wymogów krajowych i unijnych. Realizowana w latach 2013 – 2015 Modernizacja i Rozbudowa Oczyszczalni Kujawy umożliwiła dostosowanie aglomeracji do „nowego” sposobu wdrażania dyrektywy ściekowej skupiając się na głębokim usuwaniu azotu. Uzupełnieniem systemu w zakresie zagospodarowania osadów jest oddana do eksploatacji w 2010 r. Stacja Termicznej Utylizacji Osadów zapewniająca odbiór i unieszkodliwianie osadów ściekowych ze wszystkich krakowskich oczyszczalni. Kamienie milowe pozwalają zwykle osiągać cele narzucone zewnętrznymi czynnikami, takie jak spełnienie wymogów prawnych. Dalsze działania koncentrują się na optymalizacji technicznej i ekonomicznej procesów czy poprawie funkcjonalności rozwiązań.

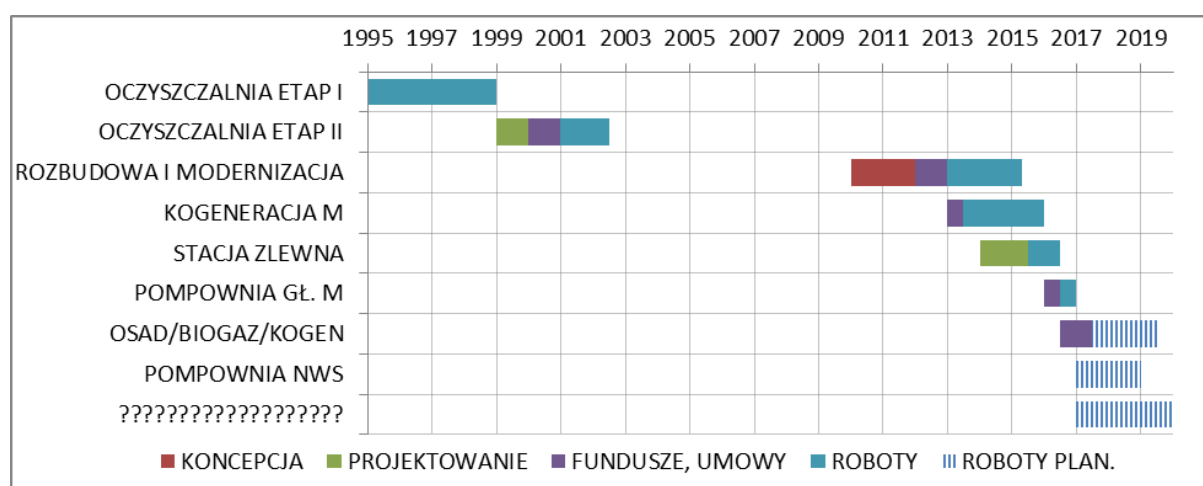


Rys. 1. Zlewnie krakowskich oczyszczalni ścieków.

Na realizację inwestycji wpływa wiele czynników. Wymagania zewnętrzne – stymulują, kwestie finansowe, formalno-prawne – zwykle ograniczają. Na Rys.1 i 2 wskazano (wraz z podziałem na etapy) najistotniejsze z punktu widzenia technologii inwestycje prowadzone na oczyszczalniach Płaszów i Kujawy w ostatnim dwudziestopięcioleciu. W obydwu przypadkach charakterystyczna jest, po wykonaniu „wielkich” inwestycji, realizacja „mniejszych” zadań pozwalających na optymalizację i uzupełnienie infrastruktury, które są wynikiem doświadczeń eksploatacyjnych.



Rys.2. Inwestycje w oczyszczalni ścieków Płaszów po 1995 r.



Rys.3. Inwestycje w oczyszczalni ścieków Kujawy po 1995 r.

## **Modernizacja i Rozbudowa Oczyszczalni Kujawy**

W ramach projektu „Gospodarka wodno-ściekowa w Krakowie – Etap II” zrealizowano modernizację i rozbudowę oczyszczalni, której głównym celem było zwiększenie efektywności usuwania ze ścieków substancji biogennej, a w konsekwencji uzyskanie zgodności z przepisami Dyrektywy 91/271/EWG (wg. „nowej” interpretacji tj. obowiązujący art. 5.2) oraz wymogami krajowymi. Oprócz zakresu dotyczącego rozbudowy i modernizacji poszczególnych obiektów części ściekowej i osadowej z uwagi na dużą zmienność ładunków w dopływie nacisk położono na działania ukierunkowane ściśle na poprawę efektywności usuwania azotu, obejmujące:

- budowę stacji usuwania azotu z odcieków z odwadniania osadów w ciągu bocznym, składającej się ze zbiornika wyrównawczego z pompownią oraz reaktora;
- budowę zbiornika retencyjnego do przyjmowania ścieków organicznych, służących jako dodatkowe źródło węgla organicznego dla procesów denitryfikacji;
- wykonanie i uruchomienie systemu nadrzędnego sterowania pracą części biologicznej oczyszczalni.

### **Proces deamonifikacji**

Proces zastosowano w ciągu bocznym na strumieniu odcieków z odwadniania osadów po wirówce. Zaprojektowany został do usuwania 250 kgN/dobę.

Zastosowane rozwiązanie polega na prowadzeniu procesu w jednym reaktorze okresowo napowietrzonym, w którym zachodzą procesy:

- częściowej nitryfikacji (nitritacji) – utleniania części azotu amonowego do azotynów przez tlenowy osad czynny (bakterie I fazy nitryfikacji),
- procesu anammox – beztlenowego utleniania pozostałego azotu amonowego z wykorzystaniem wytworzonego azotu azotynowego poprzez bakterie anammox w postaci osadu granulowanego.

Reaktor o pojemności 432 m<sup>3</sup> zasilany jest okresowo odciekami gromadzonymi w zbiorniku buforowym o pojemności 166 m<sup>3</sup>. Separacje dobrze sedymentujących granulek bakterii anammox oraz usuwanie osadu czynnego (bakterie I fazy nitryfikacji) zapewnia hydrocyklon (Rys.4).



Rys.4. Separacja bakterii anammox w hydrocyklonie.

Podczas rozruchu potwierdzono skuteczność w redukcji azotu amonowego na poziomie powyżej 80 % sukcesywnie obciążając reaktor odciekami.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, iż kluczowe dla prawidłowego procesu są:

- prowadzenie procesu przy stałym obciążeniu reaktora,
- stosowanie optymalnej dawki polielektrolitu do odwadniania osadu,
- regularna kontrola wskaźnika azotu azotynowego oraz wymaganej temperatury,
- utrzymanie odpowiedniej jakości odcieku – zwłaszcza pod kątem obecności zawiesiny,
- kontrola wytrącania struwitu.

Proces podlega ciągłej optymalizacji, tak aby utrzymać jego stabilność przy zmiennych warunkach w odprowadzanych odciekach.

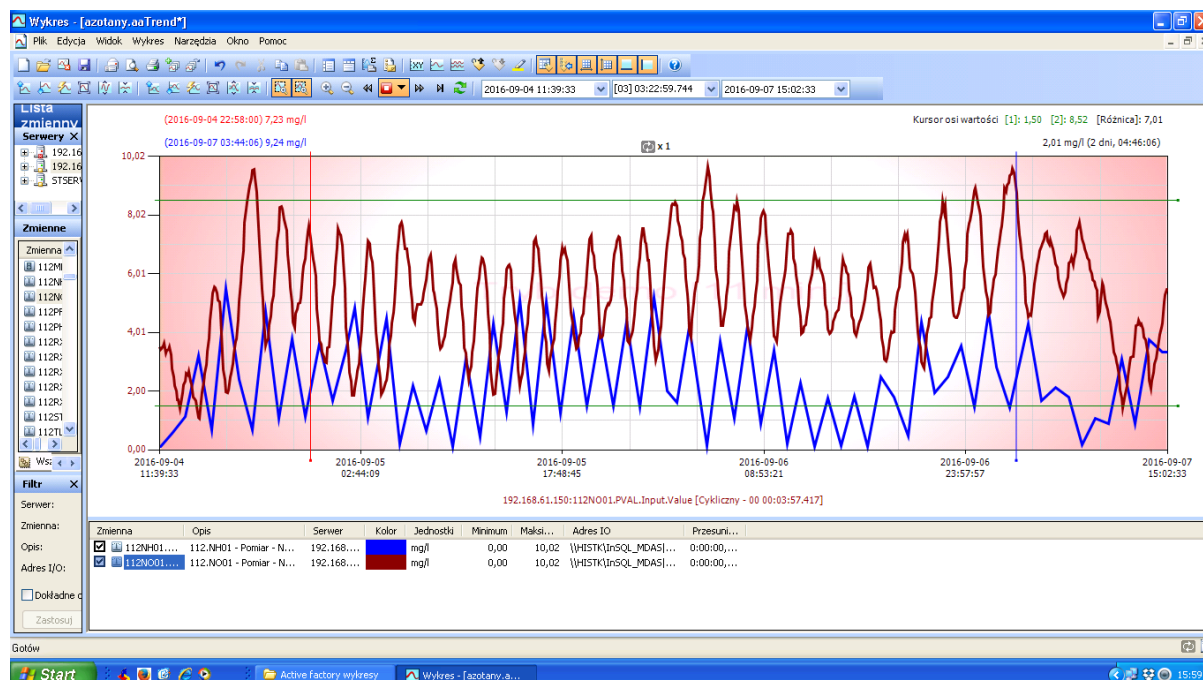
### **Zaawansowany system nadrzędnego sterowania**

Oprócz typowego systemu pomiarowego oraz monitoringu i sterowania SCADA zastosowano niezależny nadrzędny system sterowania procesami biologicznego oczyszczania ścieków oparty na zaawansowanych algorytmach przetwarzających wiele sygnałów z pomiarów procesowych i wyposażony w następujące funkcjonalności:

- sterowanie funkcjami komór nityfikacji / denityfikacji umożliwiające przerywanie napowietrzania reaktorów,
- dynamiczne sterowanie ciągłym napowietrzaniem,
- sterowanie dawką środka strącającego dopasowane do rzeczywistego ładunku fosforu,
- sterowanie recyrkulacją wewnętrzną i zewnętrzną,
- system kontroli jakości pomiarów umożliwiający zastosowanie alternatywnych strategii.

Szczególnie interesujące efekty uzyskiwane są przy zastosowaniu modułów do sterowania przerywanym napowietrzaniem (zmiany faz w komorach nityfikacji/denitryfikacji). Z uwagi na okresowe zatrzymanie dostawy powietrza w strefie nityfikacji występują korzystne warunki dla procesu denitryfikacji symultanicznej. Pozwala to na optymalne wykorzystanie respiracji endogennej przy jednoczesnym ograniczeniu zapotrzebowania na tlen oraz niekorzystnego zawracania tlenu wraz z recyrkulacją do strefy anoksycznej.

Przebieg procesu ilustrowany pomiarami azotu amonowego i azotanowego online przedstawiono na Rys.5.

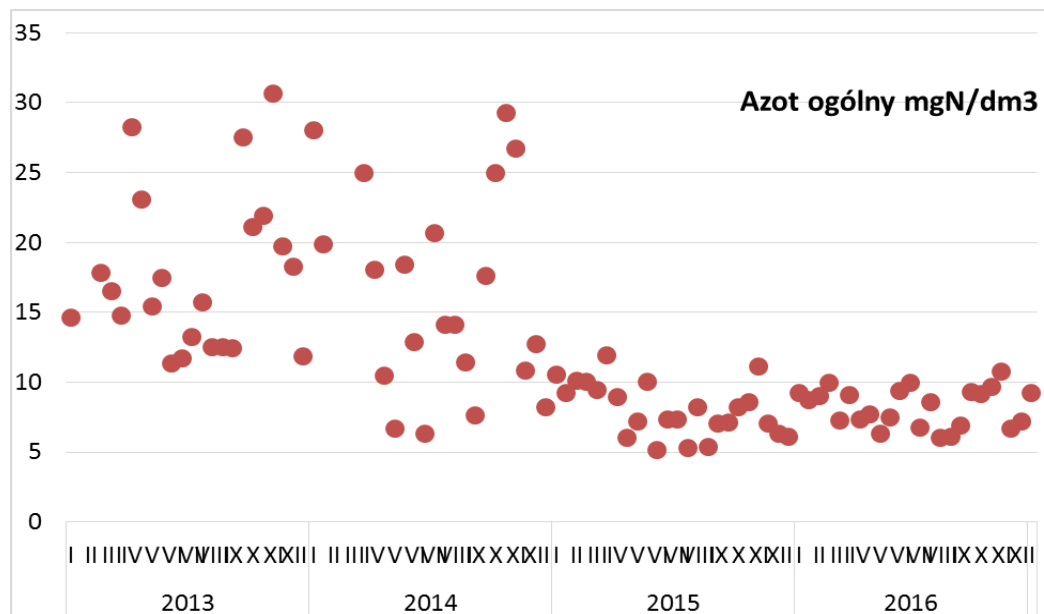


Rys.5. Przebieg procesu nityfikacji/denitryfikacji.

Taki sposób sterowania pozwala na uzyskanie niskich stężeń azotu ogólnego w odpływie przy stale zmieniających się proporcjach pomiędzy azotem amonowym a azotanowym. Jednocześnie okresowe zatrzymanie dostawy powietrza przynosi znaczne korzyści energetyczne, a ciągła zmienność warunków w reaktorze poprawia własności sedymentacyjne osadu.

## Efekty modernizacji

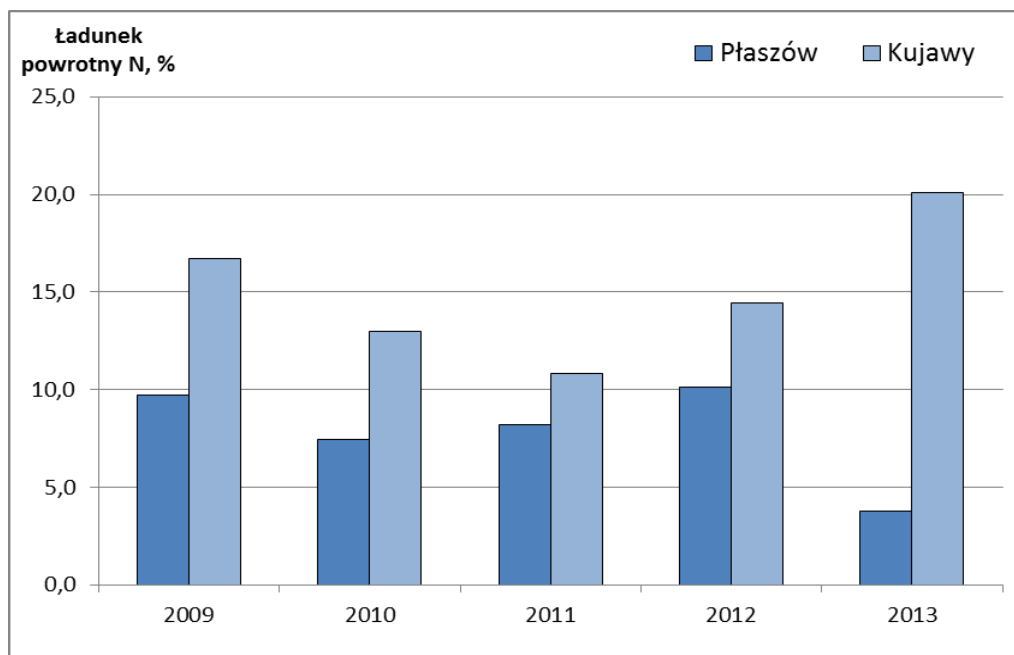
Przeprowadzona rozbudowa i modernizacja oczyszczalni Kujawy pozwoliła na dostosowanie obiektu do wszelkich obowiązujących wymogów w zakresie jakości ścieków oczyszczonych. Zastosowane rozwiązania pozwoliły na znaczne ograniczenia ładunku azotu odprowadzanego do wód (Rys.6). Zaawansowane sterowanie procesami biologicznymi oraz proces deamonifikacji przyczyniają się do efektywnego utrzymywania niskich stężeń azotu w odpływie z oczyszczalni ścieków poprawiając znacznie efektywność energetyczną.



Rys.6. Stężenia azotu ogólnego w odpływie z oczyszczalni Kujawy, mgN/l.

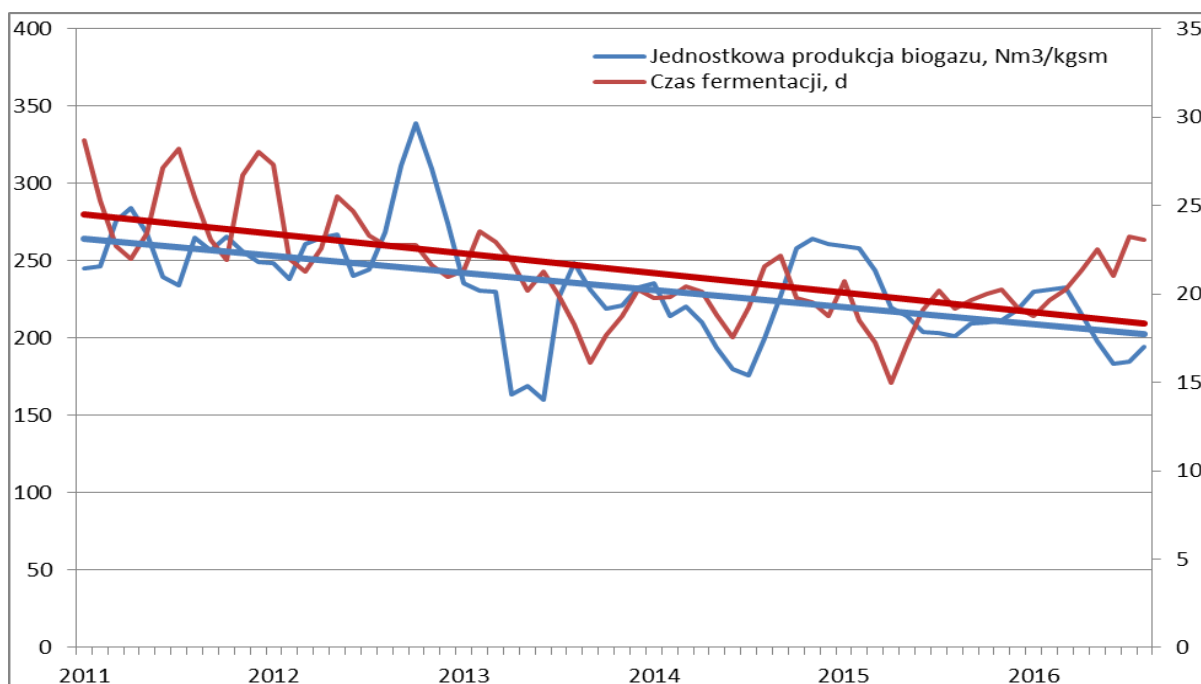
## Interakcje pomiędzy procesami

Bardzo ważnym zagadnieniem na wszystkich etapach inwestycji jest świadomość istnienia współzależności pomiędzy poszczególnymi procesami. Przykładowym problemem może być wpływ ładunków powrotnych z odwadniania osadów na efekty usuwania azotu (Rys.7).



Rys.7. Średni roczny ładunek powrotny azotu ogólnego w odciekach z odwadniania osadów wyrażony w % w stosunku do ładunku na dopływie do oczyszczalni.

Powyższy problem jest dobrze rozpoznany, zwykle uwzględniany na etapie projektowania. Znacznie trudniejsza jest ocena efektów procesu fermentacji i czynników, które je ograniczają. Trudności w bilansowaniu procesów przeróbki osadu, zmienność sezonowa i złożoność czynników powoduje, że często z analiz wyciągane są błędne wnioski, a skuteczne rozpoznanie możliwe jest dopiero po przeanalizowaniu danych z wielolecia i odniesieniu ich do danych wskaźnikowych (Rys.8).



Rys.8. Zmiany czasu fermentacji i jednostkowej produkcji biogazu – OŚ Płaszów.

Umożliwiło to wskazanie przyczyn ograniczenia efektów fermentacji w oczyszczalni Płaszów, którymi są:

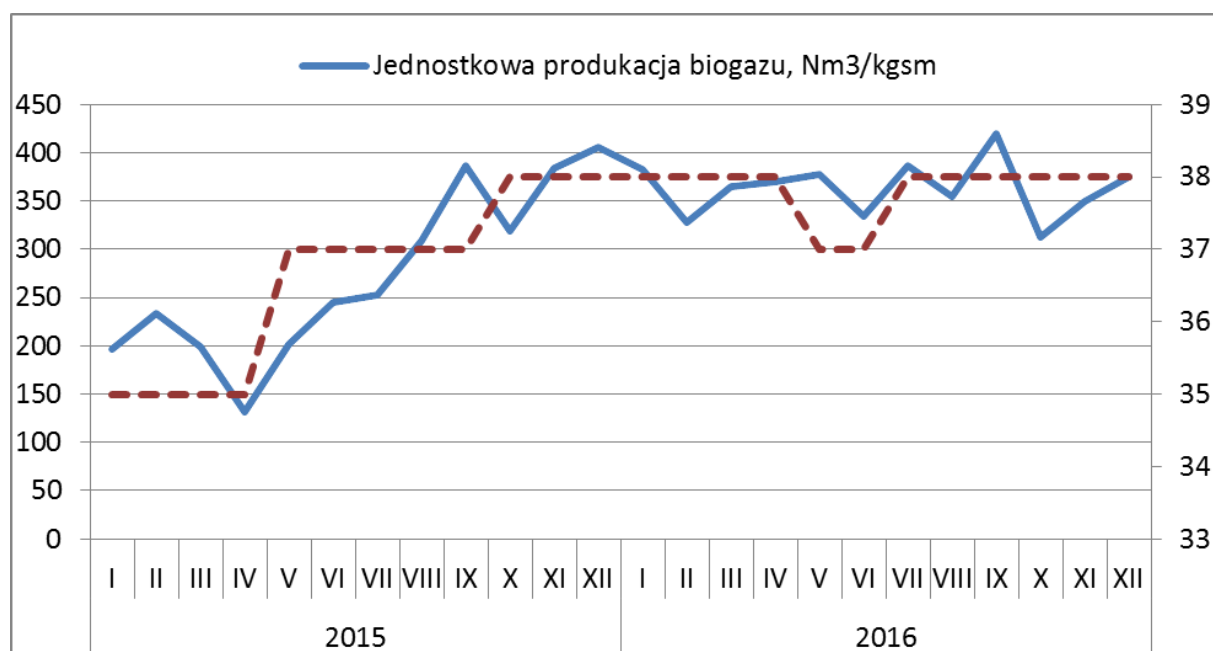
- ograniczone możliwości pracy osadników wstępnych,
- ograniczone możliwości zagęszczania osadu nadmiernego.

Na tej podstawie wskazano niezbędne działania inwestycyjne, które zapewnią poprawę efektów fermentacji.

Modernizacja i rozbudowa oczyszczalni ścieków Kujawy koncentrowała się na poprawie usuwania związków azotu. Podczas prac modernizacyjnych na bieżąco wprowadzano też szereg działań optymalizacyjnych dotyczących gospodarki osadowej w tym m.in:

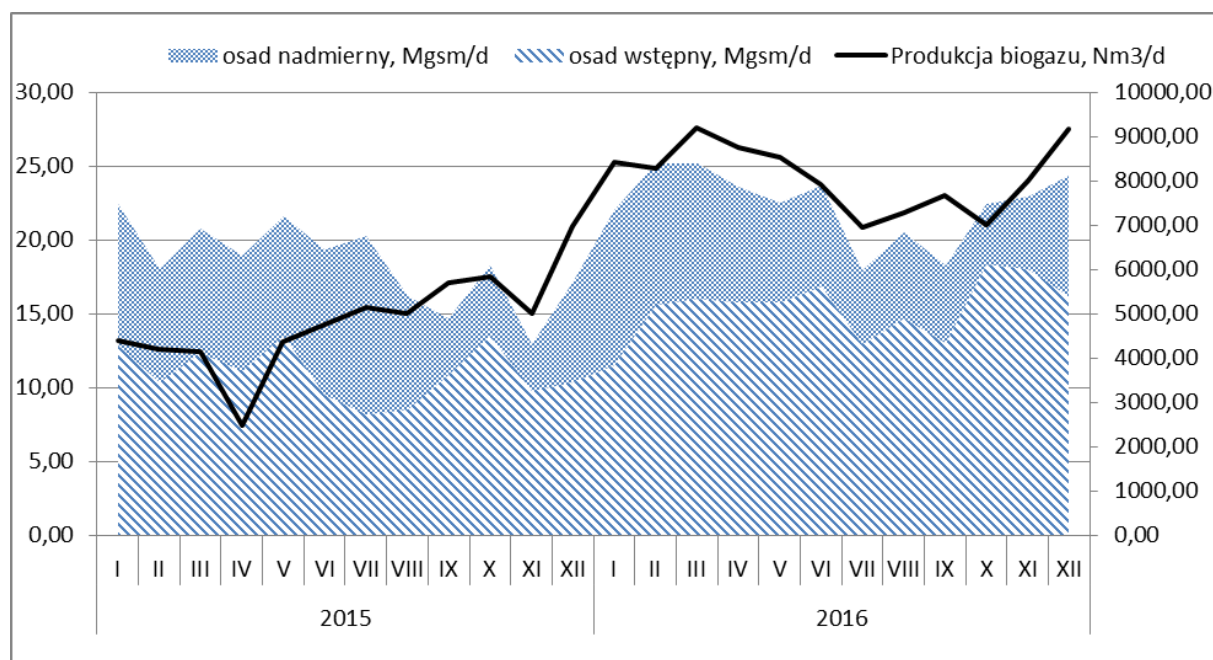
- ograniczenie zalegania skroplin w rurociągach,
- zwiększenie temperatury w procesie fermentacji,
- zwiększenie stopnia zagęszczenia osadu nadmiernego (wirówka),
- zwiększenie udziału osadu wstępnego – na skutek wprowadzonego sterowania z przerywanym napowietrzaniem zmniejszyło się zapotrzebowanie na źródło węgla w procesie denitryfikacji.

Uzyskano bardzo korzystne efekty polegające na znacznym wzroście zarówno jednostkowej produkcji biogazu (Rys.9), jak i sumarycznej produkcji (Rys.10).



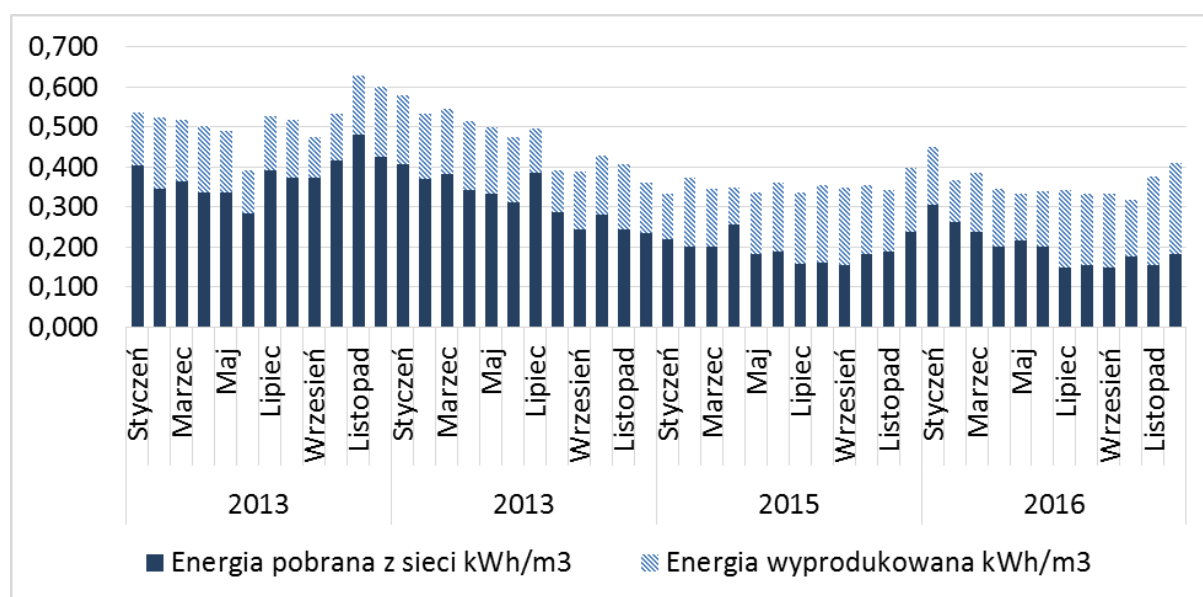
Rys.9. Zmiany temperatury fermentacji i jednostkowej produkcji biogazu – OŚ Kujawy.





Rys.10. Ładunki osadu podawanego do fermentacji i produkcja biogazu – OŚ Kujawy.

W wyniku zastosowanych podczas modernizacji rozwiązań oraz optymalizacji gospodarki osadowej uzyskano też znaczną poprawę efektywności energetycznej oczyszczalni uzyskując dwukrotne zmniejszenie ilości energii pobieranej z sieci energetyki zawodowej (Rys.11).



Rys.11. Jednostkowa produkcja i zużycie energii – OŚ Kujawy.

## Podsumowanie

Duże przedsięwzięcia inwestycyjne mają wielkie znaczenie z uwagi na zakres rzeczowy i finansowy i zwykle poświęcana im jest szczególna uwaga związana z wieloletnim przygotowaniem, ubieganiem się o środki, a wreszcie niejednokrotnie trudnym okresem realizacji robót. Na uwagę zasługuje tu etap projektowania, który często staje się najdłuższym z etapów realizowanej inwestycji przy relatywnie niskiej odpowiedzialności projektanta zarówno za efekty techniczne jak i ekonomiczne przedsięwzięcia.

Codzienna obsługa wybudowanych czy zmodernizowanych obiektów to czas na dopracowanie efektów, ocenę wprowadzonych rozwiązań ale przede wszystkim na naukę zarówno dla pracowników eksploatacji jak i kadry zarządzającej. Pokusa przedwczesnej oceny wprowadzonych rozwiązań wynikająca zarówno z zewnętrznych czynników jak i braku wiedzy i zaangażowania; często prowadzi do błędnych wniosków, które mają wpływ na decyzje inwestycyjne nie tylko na eksploatowanym obiekcie. Bardzo istotne jest zatem zaangażowanie zarówno w krótkoterminową analizę zastosowanych rozwiązań jak i obserwację trendów wieloletnich i utrwalanie świadomości potencjału eksploatowanych obiektów i urządzeń, co pozwala na wskazanie przyszłych kierunków zarówno dla inwestycji jak i optymalizacji. Nieodzowna jest przy tym świadomość współzależności pomiędzy procesami.

Cykl inwestycyjny w oczyszczalni ścieków - od koncepcji poprzez projektowanie, realizację, eksploatację do kolejnej koncepcji powinien mieć charakter ciągły, a kluczowa w nim jest rola eksploatatora. Często zastosowanie typowego podejścia do zagadnienia sprowadza jego rolę do obsługi obiektów zaprojektowanych i budowanych bez jego udziału, podczas gdy w praktyce to eksploatator jest często jedynym uczestnikiem cyklu inwestycyjnego, który czerpie korzyści z efektywnych technicznie i ekonomicznie rozwiązań. Zasadne, a wręcz konieczne jest zatem jego uczestnictwo na wszystkich etapach inwestycji, a także ich inicjowanie niezależnie od przyjętej struktury organizacyjnej, a bezwzględny obowiązek eksploatatora jest poszerzanie wiedzy umożliwiającej jego odpowiedzialne zaangażowanie w proces.