

**Wiesław Krupnik, ZWiUK EKOWOD Sp. z o.o., Namysłów**  
**Tomasz Zieliński, Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice**

**PROJEKT DEMONSTRACYJNY PROGRAMU PEMP W ZWIUK  
 EKOWOD W NAMYSŁOWIE „MODERNIZACJA NAPĘDÓW  
 ELEKTRYCZNYCH W UKŁADZIE DOZOWANIA  
 I NAWIEWIANIA ŚCIEKÓW W OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW  
 ZAKŁADU WODOCIĄGÓW I USŁUG KOMUNALNYCH  
 EKOWOD SP. Z O.O. W NAMYSŁOWIE”  
 – PREZENTACJA PROJEKTU I PIERWSZE EFEKTY**

**PEMP DEMONSTRATION PROJECT: “ELECTRIC DRIVES MODERNIZATION  
 IN SEWAGE PUMPING AND AERATION SYSTEM ON EKOWOD LTD.  
 SEWAGE TREATMENT PLANT IN NAMYSŁÓW” – SCOPE OF PROJECT  
 AND PRESENTATION FIRST ENERGY EFFECTS**

**Abstract:** The paper presents the project “Electric drives modernization in sewage pumping and aeration system of the EKOWOD Ltd. Sewage Treatment Plant in Namyslow” within the framework of the PEMP Programme. The Project has been carried in the years 2006 – 2007 in cooperation with the Polish Foundation for Energy Efficiency. The following tasks have been carried on: installing assembled frequency converters for the sewage pump drive and for the Roots blower, replacing of three standard motors for blowers with energy efficient motors (two motors 30 kW and two-speed motors 95/115 kW), installing of control and visualization system for sewage purification process. The article presents the scope of project and the first energy effects that have been obtained as a result of reduction of electricity consumption.

## 1. Wprowadzenie

Zakład Wodociągów i Usług Komunalnych EKOWOD Sp. z o.o. w Namysłowie jest spółką gminną. Świadczy szeroki wachlarz usług komunalnych, z których najważniejsze to pobór, uzdatnianie i zaopatrzenie w wodę, gospodarka ściekami oraz wywóz i unieszkodliwianie odpadów.

W kwietniu 2006 roku Spółka podjęła współpracę z Centrum PEMP przy FEWE w ramach Polskiego Programu Efektywnego Wykorzystania Energii w Napędach Elektrycznych dotyczącą realizacji przedsięwzięć modernizacyjnych w układach napędowych oczyszczalni ścieków w Namysłowie należącej do ZWiUK EKOWOD. Centrum PEMP brało aktywny udział w pracach przygotowawczych i przy wyborze wykonawcy zadania. Faza przygotowawcza objęła następujące działania:

- szacunkową ocenę możliwych do osiągnięcia oszczędności energii elektrycznej; zebrano dane archiwalne dotyczące zużycia energii elektrycznej dla całej oczyszczalni, prowadzono również pomiary zużycia energii i rejestrację prądów pobieranych przez napędy stacji dmuchaw;

- zdefiniowanie zakresu rzeczowego zadania – kluczową kwestią okazał się dobór silnika dla dmuchawy o wydajności 80 m<sup>3</sup>/min, która napędzana była silnikiem dwubiegowym o mocy 95/115 kW – ostatecznie zdecydowano o zainstalowaniu silnika jednobiegowego o mocy 110 kW z płynnym sterowaniem prędkością obrotową;
- opracowanie koncepcji automatyzacji oczyszczalni;
- opracowanie specyfikacji technicznej przedmiotu zamówienia w zakresie dotyczącym napędów elektrycznych.

Umowę o dofinansowaniu projektu ze środków PEMP podpisano 5 lipca 2006, natomiast w maju 2007 zakończono realizację zakresu rzeczowego projektu demonstracyjnego.

Przedsięwzięcie dotyczyło kluczowych układów napędowych mechaniczno – biologicznej oczyszczalni odpowiedzialnych za proces dozowania i nawiewiania ścieków oraz wdrożenia systemu monitorowania i sterowania pracą całego obiektu. Modernizacja napędów pompowni ścieków, stacji dmuchaw wraz z in-

stalacją do napowietrzania stref nityfikacji reaktorów biologicznych miała na celu:

- poprawienie możliwości regulacyjnych i sprawności działania systemów dozowania i napowietrzania ścieków,
- zmniejszenie energochłonności procesu oczyszczania,
- minimalizację awaryjności urządzeń,
- zademonstrowanie możliwości uzyskania oszczędności energii elektrycznej, dzięki inwestycji w energooszczędne układy napędowe (silniki elektryczne o podwyższonej sprawności oraz przemienniki częstotliwości do płynnej regulacji prędkości obrotowej), system automatyzacji procesu dozowania i napowietrzania ścieków, przekładających się na wymierny efekt ekonomiczny;

## 2. Stan przed realizacją, zakładane do osiągnięcia oszczędności energii

Oczyszczalnia ZWiUK EKOWOD w Namysłowie uruchomiona została w pierwszej połowie lat 90-tych. Do oczyszczania ścieków zastosowano tu układ technologiczny z wstępnym oczyszczaniem mechanicznym i trójstopniowym oczyszczaniem biologicznym (układ A2O).

Ścieki surowe podczyszczone są mechanicznie na kracie i w piaskownikach, następnie płyną do pompowni głównej, która przetłacza je do części biologicznej. W części biologicznej pracują reaktory przystosowane do prowadzenia procesów nityfikacji, denityfikacji i defosfatacji biologicznej.

Składniki organiczne rozpuszczone i zawieszane ulegają biochemicznemu rozkładowi w komorze defosfatacji oraz 3 komorach denityfikacyjno – nityfikacyjnych. Defosfatacja ścieków prowadzona jest w warunkach beztlenowych. Procesy denityfikacji i nityfikacji zachodzą w dwóch strefach reaktorów biologicznych z osadem czynnym. Z reaktorów biologicznych ścieki odpływają grawitacyjnie przez osadnik wtórny do odbiornika. W osadniku wtórnym zachodzi oddzielenie ścieków i osadu czynnego. Część osadu jest recykulowana, a osad nadmierny, odwodniony wywożony jest do rolniczego wykorzystania.

Kluczowe węzły technologiczne oczyszczalni wraz z ich układami napędowymi zestawiono w tabeli 1. Modernizację napędów w ramach projektu demonstracyjnego PEMP przeprowadzono na pompowni ścieków oraz w stacji dmuchaw. Szczegółowe informacje na temat pracy pompowni ścieków oraz stacji dmuchaw przedstawiono w podpunktach 2.1 i 2.2.

Tabela 1.

Dane na temat układów napędowych Oczyszczalni Ścieków ZWiUK Ekowod w Namysłowie

Obiekt	Napęd	Typ silnika	Moc, kW	n, obr/min
Piaskowniki pionowe	pompa FA 105-208R	T 177	8,1	1450
	pompa FA 105-208R	T 178-4/16	4,5	1450
Pompownia ścieków	pompa 150 Z2K – 12	Sg 200 L4	30	1472
	pompa 150 Z2K – 12	Sg 200 L4	30	1472
	pompa ścieków FA 201-277	FK27.1-4/24	25	1450
	pompa ścieków FA 201-277	FK27.1-4/24	25	1450
	pompa ścieków FA 201-277	FK27.1-4/24	25	1450
Stacja dmuchaw	dmuchawa nr 1 GM 80 L	2 Sg 315 M4/2	95/115	1468/2970
	dmuchawa nr 2 GM 25 S	SGFC 2000 L2A	30	2955
	dmuchawa nr 3 GM 25 S z falownikiem	SGFC 2000 L2A	30	2955
	dmuchawa nr 4 GM 80 L	KA7315M-GC81S-Z	95/115	1485/2970
Pompownia ścieków recykulowanych i osadu	pompa ścieków FA 25.32-238D	T 202-4/27	15	1450
	pompa ścieków FA 25.32-238D	T 202-4/27	15	1450
	pompa ścieków FA 25.32-238D	T 202-4/27	15	1450
	pompa osadu FA 201-263	T 242-4/21	17,5	1450
	pompa osadu FA 201-263	T 242-4/21	17,5	1450

### 2.1 Układ dozowania ścieków

Łączna moc zainstalowana napędów pompowni ścieków wynosi 135 kW. Dwa napędy o mocy 30 kW każdy są odstawione z eksploatacji. Ścieki surowe, po przejściu przez oczyszczanie mechaniczne (krata i piaskowniki) spływają do zbiornika, z którego pompami (pompy EMU WILO) podawane są do komór oczyszczania biologicznego (3 pompy, każda o wydajności 400 m<sup>3</sup>/h napędzana silnikiem elektrycznym o mocy 25 kW). Pompy uruchamiane są sygnałem z czujników hydrostatycznych i pracują bez regulacji (praca start-stop). Zazwyczaj pracuje 1 pompa, przy dużych dopływach ścieków załączane są kolejne.

### 2.2 Napowietrzanie ścieków

Stacja dmuchaw wyposażona jest w 4 dmuchawy typu Roots'a produkcji AERZEN (łączna moc zainstalowana 290 kW). Dmuchawy pracują na wspólny kolektor, z którego powietrze poprzez ręcznie sterowane zasuwy kierowane jest do rurociągów napowietrzających komory oczyszczania. Tylko jedna z dmuchaw o wydajności 20 m<sup>3</sup>/min (30 kW) była regulowana przemiennikiem częstotliwości, drugą o tej samej wydajności sterowano ręcznie bez możliwości regulacji wydajności (praca start-stop), natomiast obie większe jednostki były również sterowane ręcznie, a regulację wydajności umożliwiały dwubiegowe silniki elektryczne (praca start-stop i przełączanie biegu).

Wydajność dmuchawy na biegu I (1468 obr/min, połączenie w trójkąt) wynosi 40 m<sup>3</sup>/min, a na II (2970 obr/min, połączenie w podwójną gwiazdę) 80 m<sup>3</sup>/min. Na podstawie charakterystyki dmuchaw o większej mocy wyznaczono ich obciążenie. Uwzględniając sprawność dmuchawy, przekładni pasowej, moc silnika przy wydajności 40 m<sup>3</sup>/min jest to około 60 % mocy nominalnej ( $P_n = 95$  kW), przy wydajności 80 m<sup>3</sup>/min około 95 % mocy nominalnej ( $P_n = 115$  kW). Ponadto na podstawie informacji z książki remontowej napędów dmuchaw i pomiarów prowadzonych na silnikach dmuchaw w okresie od czerwca do października 2006 udało się zidentyfikować następujące dane eksploatacyjne.

Dla dmuchaw z silnikami dwubiegowymi praca przy mniejszym obciążeniu obejmowała około 58% całkowitego czasu pracy. Sterowanie realizowane było po subiektywnej ocenie przez pracowników wskazań czujników natlenienia w poszczególnych komorach osadu czynnego. Możliwe było regulowanie wydajnością wszystkich dmuchaw w przeskokach co 20 m<sup>3</sup>/min. z płynną regulacją pracy mniejszej dmuchawy przez przemiennik częstotliwości z zastrzeżeniem, iż jednocześnie może pracować tylko jedna z dmuchaw o większej wydajności.

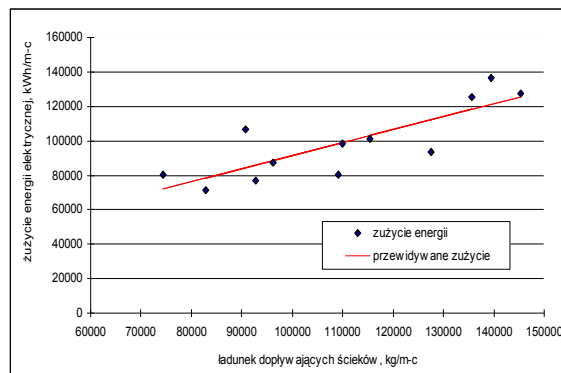
Silnik dwubiegowy jednej z dmuchaw w 2006 roku uległ awarii. Podjęto decyzję o zastąpieniu go silnikiem 2-biegunowym o mocy 110 kW ze sterowaniem wydajności przemiennikiem częstotliwości. Założono, że nowy napęd będzie pracował około 7800 h/rok, a drugi napęd z silnikiem dwubiegowym będzie pełnił funkcję napędu rezerwowego.

Tabela 2 Dane eksploatacyjne napędów stacji dmuchaw

Obiekt	Napęd	Czas pracy, h/rok	Średnie obciążenie lub zakres, %
Stacja dmuchaw	dmuchawa nr 1 GM 80 L	2400	60 i 95
	dmuchawa nr 2 GM 25 S	2800	70
	dmuchawa nr 3 GM 25 S z falownikiem	2100	50 do 97 (najczęściej 70 do 80)
	dmuchawa nr 4 GM 80 L	5400	60 i 95

### 2.3 Zakładany efekt energetyczny

Minimalny do uzyskania w wyniku wdrożenia przedsięwzięć zapisanych w projekcie demonstracyjnym efekt energetyczny polegający na zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej określono na poziomie 65000 kWh/rok. Oszczędności te wynikać będą z modernizacji układów napędowych pompowni ścieków i stacji dmuchaw oraz wprowadzenia systemu sterowania procesem oczyszczania ścieków. Korzystając z zebranych danych eksploatacyjnych określono efekt energetyczny dla wymiany napędów stacji dmuchaw na poziomie 7100 kWh/rok. Dalsze oszczędności wynikać będą z odpowiedniego sterowania procesem oczyszczania ścieków i wydajnością napędów. Ze względu na trudności w dokładnym określeniu oszczędności energii elektrycznej z tytułu wprowadzenia sterowania procesem oczyszczania ścieków (brak szczegółowych danych archiwalnych opisujących pracę pompowni ścieków i stacji dmuchaw), zaproponowano przybliżoną analizę w oparciu o dane miesięczne z roku 2005 dotyczące zużycia energii elektrycznej dla całego obiektu i ładunku ścieków dopływających do oczyszczalni. Ze względu na przyjęte we wcześniejszych latach praktyki eksploatacyjne (ręczne sterowanie procesem natleniania ścieków) przyjęte do analizy dane cechuje pewna przypadkowość. Sprawdzone zależności zużycia energii od ładunku zanieczyszczeń otrzymując współczynnik korelacji na poziomie 0,83. Następnie dane poddano analizie regresyjnej otrzymując przewidywany przebieg zależności zużycia energii od ilości zanieczyszczeń w dopływających ściekach (rysunek 1). Przy założeniu, że energochłonność procesu oczyszczania przebiegałaby według wyznaczonej funkcji oszacowane w stosunku do danych rzeczywistych oszczędności energii kształtują się na poziomie 60 000 kWh/rok.



Rysunek 1. Zależność zużycia energii elektrycznej od ilości zanieczyszczeń w dopływających ściekach.

### 3. Finansowanie projektu, osiągnięty efekt rzeczowy

Na realizację projektu łącznie poniesiono nakłady w wysokości 589 000 zł z finansowaniem w ramach Programu PEMP na poziomie przekraczającym 25% całkowitych kosztów przedsięwzięcia w postaci nieoprocentowanej pożyczki. W fazie przygotowania projektu Centrum PEMP miało swój wydatny wkład w konstruowaniu specyfikacji technicznej oraz przy procedurze wyboru wykonawcy zadania. Przy specyfikowaniu położono szczególny nacisk na zastosowanie najlepszych dostępnych technik odnośnie stosowanych urządzeń, ponadto uwzględniono wprowadzenie monitorowania zużycia energii modernizowanych obiektów wraz z możliwością obserwacji bieżących wskaźników energochłonności procesu oczyszczania.

Sytuację przed wdrożeniem przedsięwzięć modernizacyjnych i po zakończeniu inwestycji pokazano w tabeli 3.

Ponadto oprócz podjętych działań w ramach projektu demonstracyjnego sukcesywnie prowadzona jest modernizacja w zakresie układu recyrkulacji ścieków z osadem czynnym. Spowoduje to całkowite odstawienie napędów pompowni ścieków recyrkulowanych, a recyrkulacja będzie się odbywać w obrębie danej komory za pomocą mieszadeł o mocy nie przekraczającej 2 kW każde.

*Tabela 3.*

*Sytuacja przed wdrożeniem i osiągnięty w ramach projektu demonstracyjnego zakres rzeczowy*

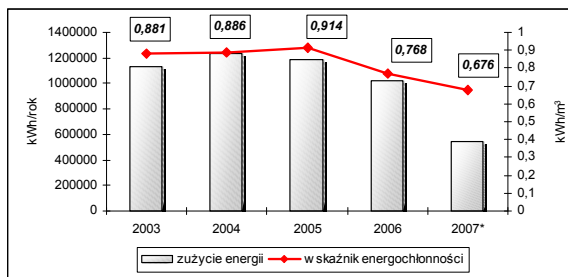
<i>Sytuacja przed modernizacją</i>	<i>Sytuacja po modernizacji</i>
------------------------------------	---------------------------------

<i>Sytuacja przed modernizacją</i>	<i>Sytuacja po modernizacji</i>
<p><b>Dozowanie ścieków</b></p> <p>Ścieki surowe, po oczyszczeniu mechanicznym spływają do zbiornika, z którego pompami podawane są do komór oczyszczania biologicznego (3 pompy o wydajności 400 m<sup>3</sup>/h każda napędzane silnikami o mocy 25 kW). Pompy uruchamiane są sygnałem z czujników hydrostatycznych i pracują bez regulacji (praca start-stop). Brak możliwości płynnej regulacji wydajności pompowni i niedostateczne wykorzystanie możliwości retencji dopływających ścieków powodowało nierównomierne obciążenie obiektów biologicznego oczyszczania ścieków.</p> <p><b>Napowietrzanie ścieków</b></p> <p>Stacja dmuchaw wyposażona jest w 4 dmuchawy produkcji AERZEN, 2 o wydajności 20 m<sup>3</sup>/min napędzane silnikami o mocy 30 kW, 2 o wydajności 80 m<sup>3</sup>/min napędzane silnikami dwubiegowymi o mocy 95/115 kW. Dmuchawy pracują na wspólny kolektor, z którego powietrze poprzez ręcznie sterowane zasuw kierowane było do rurociągów napowietrzających komory nityfikacji. Tylko jedna z dmuchaw o wydajności 20 m<sup>3</sup>/min była regulowana przemiennikiem częstotliwości, druga o tej samej wydajności sterowana jest ręcznie bez możliwości regulacji wydajności (praca start-stop), natomiast obie większe jednostki są również sterowane ręcznie, a regulacja wydajności jest możliwa dzięki dwubiegowym silnikom elektrycznym (praca start-stop i przełączanie obrotów 1500/3000 – prędkości synchroniczne). Sterowanie realizowano po subiektywnej ocenie przez pracowników wskazań czujników natlenienia w poszczególnych komorach osadu czynnego. Jeden z napędów dwubiegowych był odstawiony ze względu na awarię silnika.</p>	<p><b>Dozowanie ścieków</b></p> <p>Zainstalowano przemiennik częstotliwości umożliwiający płynną regulację obrotów wraz z układem przełączającym, który umożliwi wybór jednej z trzech pomp do regulacji.</p> <p><b>Napowietrzanie ścieków</b></p> <p>Wymiana na energooszczędne trzech silników napędzających dmuchawy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ jednego o mocy 110 kW w zamian za uszkodzony silnik dwubiegowy o mocy 95/115 kW;</li> <li>✓ dwóch o mocy 30 kW;</li> </ul> <p>Zastosowanie płynnej regulacji obrotów:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ zainstalowanie przemiennika częstotliwości do płynnej regulacji obrotów napędu o mocy 110 kW;</li> <li>✓ wymiana na nowoczesny przemiennika częstotliwości do płynnej regulacji obrotów napędu o mocy 30 kW z możliwością przełączania pomiędzy napędami;</li> </ul> <p>Ponadto zainstalowano przepustnice wyposażone w napęd elektryczny z liniową charakterystyką regulacji na rurociągach doprowadzających powietrze do komór denitryfikacyjno – nityfikacyjnych</p> <p><b>System monitorowania i sterowania pracą oczyszczalni</b></p> <p>System działa w oparciu o sterownik swobodnie programowalny realizujący funkcje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ utrzymanie stałego poziomu ścieków w komorach osadu czynnego poprzez płynną regulację wydajności pomp dozujących za pomocą przemiennika częstotliwości;</li> <li>✓ utrzymanie stałego ciśnienia powietrza w kolektorze tłocznym dmuchaw poprzez płynną regulację wydajności dmuchaw za pomocą przemienników częstotliwości;</li> <li>✓ utrzymanie stałego, właściwego poziomu natlenienia ścieków w komorach poprzez regulację stopnia otwarcia przepustnic/zasuw na rurociągach doprowadzających powietrze;</li> <li>✓ kontrolę wskaźnika redoks dla ścieków w komorach osadu czynnego;</li> <li>✓ kontrolę gęstości dla ścieków w komorach osadu czynnego</li> </ul> <p>Ponadto założono, że system ma spełniać warunki bezobsługowej pracy wszystkich urządzeń technologicznych. Dodatkowo wprowadzono monitoring zużycia energii elektrycznej dla całego obiektu, pompowni ścieków, stacji dmuchaw. W systemie będą na bieżąco gromadzone i wizualizowane dane procesu technologicznego i systemu energetycznego. Wykonano system wizualizacji WINCC/DATA@MONITOR - do podglądu poprzez sieć Internet</p> <p>Zastosowane główne urządzenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ silniki serii SEE produkcji CELMA zakupione w ramach programu rabatowego PEMP;</li> <li>✓ przemienniki częstotliwości firmy Danfoss serii VLT 8000 AQUA;</li> <li>✓ sterowniki SIMATIC firmy Siemens.</li> </ul>

#### 4. Ocena pierwszych efektów

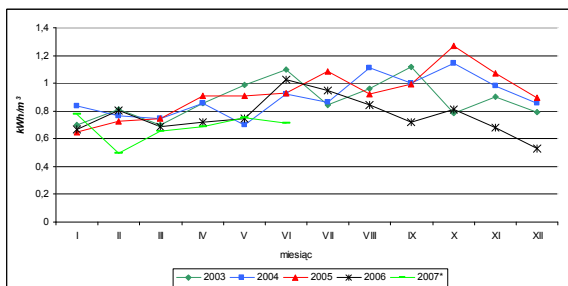
Silniki energooszczędne w stacji dmuchaw oraz przemienniki częstotliwości zainstalowane w przepompowni ścieków i stacji dmuchaw uruchomiono już w październiku 2006 roku. System sterowania oparty o sterownik swobodnie programowalny pracuje od maja 2007. W tym czasie silniki sterowano zadając odpowiednią częstotliwość ręcznie.

Praca urządzeń energooszczędnych znajduje odzwierciedlenie w osiąganych wskaźnikach energochłonności procesu oczyszczania w tym okresie, co pokazano na rysunkach 2 i 3. Przedstawione dane odnoszą się do zużycia energii dla całego obiektu. Dane o zużyciu energii elektrycznej i wskaźnik energochłonności dla 2007 roku dotyczą I półrocza.



Rysunek 2. Zużycie energii elektrycznej oraz jednostkowy wskaźnik energochłonności dla 1 m<sup>3</sup> oczyszczonych ścieków.

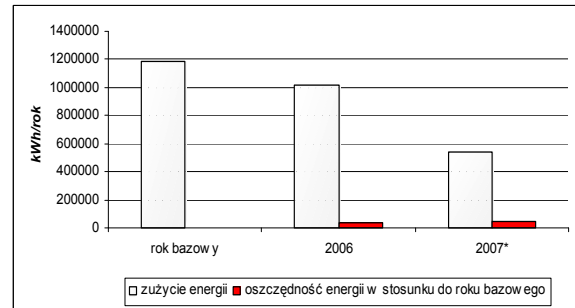
\* dane dotyczą I półrocza



Rysunek 3. Jednostkowy wskaźnik energochłonności dla danego miesiąca w latach 2003 do 2007

Osiągnięte w danym okresie oszczędności będą rozliczane na zasadach przyjętych w umowie pożyczki w stosunku do roku bazowego. W celu zmniejszenia wpływu czynników zewnętrznych przyjęto, że współczynnikiem do przeliczania wielkości oszczędności energii elektrycznej z poszczególnych lat będzie ładunek zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni w danym roku w stosunku do roku bazowego. Jako rok bazowy przyjęto uśrednione

dane z lat 2003 do 2005. Zużycie energii bazowe i w latach 2006, 2007 oraz wyznaczone wg przyjętej metodyki oszczędności energii pokazano na rysunku 4.



Rysunek 4. Zużycie energii elektrycznej oraz wyznaczone oszczędności energii dla oczyszczalni ścieków w Namysłowie.

• dane dotyczą I półrocza

Wyznaczone oszczędności dla I półrocza 2007 wynoszą 42 380 kWh w stosunku do analogicznego okresu dla roku bazowego.

#### 5. Podsumowanie

W maju i czerwcu na terenie oczyszczalni prowadzone były próby związane z doborem optymalnych nastaw dla systemu sterowania procesem oczyszczania ścieków.

W projektach demonstracyjnych dużą uwagę przywiązuje się do monitorowania efektów energetycznych po wdrożeniu przedsięwzięcia, stąd wyposażenie instalacji zasilającej obiektu oczyszczalni w pomiar zużycia energii:

- dla każdej z dmuchaw
- dla pompowni ścieków
- zbiorczy dla całej oczyszczalni

wraz z oprogramowaniem i wizualizacją układu monitorowania parametrów energetycznych. Możliwe jest również wprowadzanie nastaw wymuszających pracę w zadanym zakresie energochłonności. System pozwala na generowanie raportów dotyczących zużycia energii, wskaźników energochłonności dla monitorowanych obiektów, czasu pracy napędów, pozostałego czasu do wymaganego przeglądu napędów. Szczegółowe dane eksploatacyjne dotyczące obiektów pompowni ścieków, stacji dmuchaw i całej oczyszczalni są na bieżąco zapisywane w systemie, co pozwoli na dokładną ocenę osiągniętych oszczędności na koniec roku. Na podstawie danych z I półrocza 2007, można wnioskować, że przekroczą one 80 tys. kWh/rok.