

Adam DUŻYŃSKI

## **TECHNICZNE I EKONOMICZNE ASPEKTY EKSPLOATACJI BIOGAZOWEGO ZESPOŁU KOGENERACYJNEGO W OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW WARTA S.A. W CZĘSTOCHOWIE**

### *Streszczenie*

*W artykule omówiono dwuletnią eksploatację przemysłową biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER typu JMS 316 GS-B.LC pracującego od końca grudnia 2008 roku w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie. Analizowano czas pracy i postojów zespołu CHP, liczbę jego rozruchów i stopień wykorzystania, produkcję energii elektrycznej i ciepła, średnie godzinowe obciążenie elektryczne i cieplne, bilans energii elektrycznej oczyszczalni i stopień pokrycia zapotrzebowania oczyszczalni na energię elektryczną i ciepło produkcją własną, bilans biogazu w oczyszczalni, jednostkowe zużycie biogazu przez zespół kogeneracyjny, serwis zespołu kogeneracyjnego oraz uzyskane efekty ekonomiczne z eksploatacji tego zespołu*

### **WSTĘP**

Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie, a właściwie jej poprzedniczka Przemysłowa Spółka Wodna WARTA S.A. w Częstochowie, już w latach 70. XX w., z inicjatywy prof. Karola Cupiała z Instytutu Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania Politechniki Częstochowskiej (obecnie od 01.09.2011 r., po reorganizacji Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki – Instytutu Maszyn Ciepłych) podjęła pierwsze w Polsce próby utylizacji biogazu – produktu ubocznego beztlenowej fermentacji osadów ściekowych poprzez jego wykorzystanie do zasilania gazowych zespołów kogeneracyjnych z silnikami tłokowymi [1]. W latach 70. XX wieku wspólnie z Zakładami Mechanicznymi PZL-WOLA Warszawa uruchomiono produkcję rodziny silników gazowych WOLA HENSCHEL o mocy (100-300) kW, zaś w latach 90. wspólnie z H.CEGLIELSKI-Poznań S.A. skonstruowano i przebadano gruntownie największy i najnowocześniejszy krajowy zespół ciepło- i prądotwórczy z biogazowym silnikiem 8A20G (600 kW/1000 min<sup>-1</sup>) z odzyskiem ciepła chłodzenia silnika, oleju, mieszanki i ciepła spalin [1, 4, 5]. Zespół kogeneracyjny z tym silnikiem był eksploatowany przemysłowo w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie przez pracowników IMTiTS PCz do roku 2006 [2], a w 2008 roku został sprzedany i zastąpiono go zespołem kogeneracyjnym z silnikiem GE JENBACHER większej mocy.

### **1. ZESPÓŁ KOGENERACYJNY Z SILNIKIEM BIOGAZOWYM GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC**

W końcu 2008 roku Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. po przeprowadzonej w ostatnich latach gruntownej modernizacji części biologicznej, osadowej i gazowej, w wyniku której zwiększona została o ok. 40% produkcja biogazu (do ok. 2,2 mln m<sup>3</sup> rocznie) [19], zakupi-

ła i uruchomiła nowoczesny biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC o mocy elektrycznej 828 kW i mocy cieplnej 870 kW.

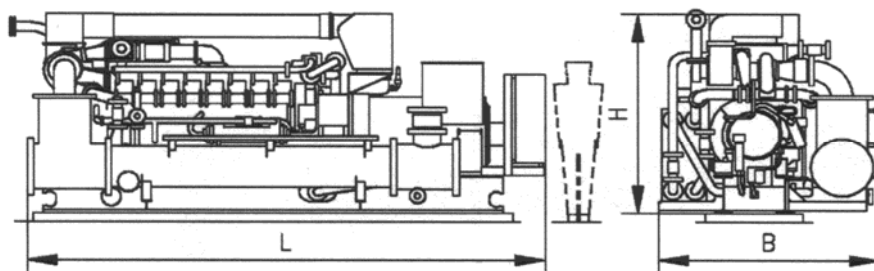
Dostawcą silnika była firma KWE-Technika Energetyczna Sp. z o.o. z Bielska-Białej – Autoryzowany Przedstawiciel w Polsce GE JENBACHER Gas Engines Division. Koszt całkowity tej inwestycji, zrealizowanej o okresie 7 miesięcy, zamknął się kwotą 3,7 mln zł [19]. Obszerny opis oczyszczalni ścieków oraz biogazowego zespołu kogeneracyjnego wraz jego podstawowymi danymi technicznymi zawarto w [3, 6, 7, 10, 12].

16-cylindrowy ( $V 70^\circ$ ), doładowany silnik ZI GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC [10] wyposażony w system regulacji składu mieszanki palnej LEANOX<sup>®</sup> z katalizatorem utleniającym CO, jest jednostką napędową gazowego zespołu kogeneracyjnego (rys. 1 i 2) wytwarzającego energię elektryczną oraz odzyskującego ciepło z układów: chłodzenia silnika, oleju smarującego, chłodzenia mieszanki palnej oraz ciepło spalin. Silnik ten napędza samowzbudny synchroniczny generator trójfazowy AvK DIG 110 i/4 (1090 kVA/864 kW<sub>e</sub>/6,3 kV/1500 min<sup>-1</sup>) firmy Cummins Generator Technologies Germany GmbH [10].



**Rys. 1.** Biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC eksploatowany w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Źródło: Opracowanie własne.



**Rys. 2.** Uproszczony schemat modułu kogeneracyjnego z silnikiem biogazowym GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC ( $L \approx 5300$  mm,  $B \approx 2300$  mm,  $H \approx 2300$  mm) [12].

Podstawowe dane techniczne zespołu CHP z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC zamieszczono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Podstawowe dane techniczne zespołu CHP z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC

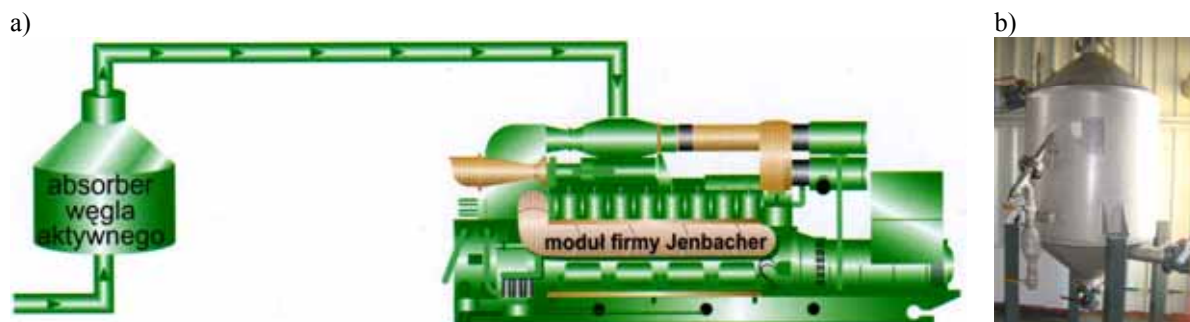
Wyszczególnienie	Wartość
Liczba cylindrów	16
Pojemność silnika [dm <sup>3</sup> ]	38,934
Średnica cylindra [mm]	135
Skok tłoka [mm]	170
Stopień sprężania	12,5
Prędkość obrotowa – znamionowa [mm <sup>-1</sup> ]	1500
Średnie ciśnienie efektywne [bar]	17,70
Średnia prędkość tłoka [m/s]	8,5
Moc wyjściowa mechaniczna [kW]	861
Moc wyjściowa elektryczna (przy cosφ = 1,00) [kW]	828
Moc wymiennika ciepła mieszanka/woda ±8% 1 stopień/2 stopień [kW]	131/38
Moc wymiennika ciepła olej/woda ±8%	95
Moc wymiennika ciepła woda chłodząca silnik-woda technologiczna 8% [kW]	253
Moc wymiennika ciepła spaliny-woda technologiczna ±8% [kW]	391
Całkowita użyteczna moc cieplna ±8% [kW]	870
Ciepło radiacji [kW]	68
Sprawność elektryczna zespołu [%]	39,6
Sprawność całkowita [%]	81,2
Strata sprawności silnika – na każde 100 m ponad 500 m n.p.m. [%]	0,7
Strata sprawności silnika – na każdy 1°C ponad 25°C [%]	0,5
Ciśnienie robocze oleju [bar]	4-5
Temp. wody chłodzącej na wyjściu z silnika przy pełnym obciążeniu [°C]	90
Masa silnika (suchy/mokry)/zespołu CHP [kg]	4000/4490/10 900
Długość silnika/zespołu CHP [mm]	2860/5882
Szerokość silnika/zespołu CHP [mm]	1340/1958
Wysokość silnika/zespołu CHP [mm]	1800/2240
Eksploatacyjne zużycie oleju/ofertowe [g/kWh]	0,2/0,3
Pojemność układu smarowania [dm <sup>3</sup> ]	300
Pojemność układu chłodzenia [dm <sup>3</sup> ]	120
Emisja NO <sub>x</sub> (spaliny suche przy 5% O <sub>2</sub> – przy 50% obciążenia) [mg/m <sup>3</sup> ]	500
Emisja CO (spaliny suche przy 5% O <sub>2</sub> – przy 50% obciążenia) [mg/m <sup>3</sup> ]	300

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [10].

Dzięki zastosowaniu systemu regulacji LEANOX<sup>®</sup> składu mieszanki palnej i systemu zarządzania silnikiem DIA.NE silnik gazowy spełnia aktualnie obowiązujące limity emisji spalin dla stacjonarnych biogazowych silników ZI zawarte w przepisach TA-Luft 2002 [8]. Aby możliwe było zastosowanie konwencjonalnego katalizatora utleniającego, konieczne jest odpowiednie przygotowanie biogazu – usunięcie szkodliwych składników. Dlatego też w celu spełnienia wymagań producenta silnika odnośnie jakości biogazu [11] – usunięcia zawartych w biogazie związków krzemu, siarki, aromatycznych związków węglowodorów – gwarantujących zmniejszenie zużycia silnika i obniżenie kosztów jego konserwacji – w instalacji przygotowania biogazu zastosowano, zgodnie z zaleceniem producenta silnika, absorber firmy GE JENBACHER [15] – rys. 3. Jest on wypełniony, okresowo wymienialnym, złożem węgla aktywnego typu BA11 (ok. 0,8 m<sup>3</sup> granulatu o średnicy 4 mm). Kryterium wymiany tego złoża jest wzrost oporów przepływu biogazu przez nie do poziomu 30 mbar.

Gazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC zasilany jest biogazem o wartości opałowej ok. 23 MJ/m<sup>3</sup> i przeciętnym składzie: CH<sub>4</sub> (60-65%), CO<sub>2</sub> (30-38%), H<sub>2</sub>S (< 20 ppm) [3, 6, 7]. Stosunkowo duża zawartość CO<sub>2</sub> w znaczący sposób podnosi odporność przeciwstukową gazu, czyniąc go atrakcyjnym paliwem dla silników

spalinowych. Monitoring on-line składu biogazu ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) prowadzony jest z wykorzystaniem analizatora airTOX Biogassystem firmy FRESINIUS.



**Rys. 3.** Absorber z węglem aktywnym: a) – schemat jego włączenia w trakt gazowy silnika GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC, b) widok

Źródło: a) [15], b) opracowanie własne.

**Tab. 2.** Warunki graniczne dla biogazu [11]

wilgotność względna [%]	< 50
temperatura maksymalna [°C]	55
zawartość $\text{H}_2\text{S}$ [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]	< 200
zawartość łączna halogenu (Cl+2F) [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]	< 100

Źródło: [11].

Sterowanie mocą elektryczną zespołu kogeneracyjnego odbywa się poprzez zadawanie wartości ręcznej z poziomu systemu nadrzędnego SCADA lub pracę automatyczną z uwzględnieniem taryfy B23 i stanu napełnienia zbiornika biogazu [6]. W trybie automatycznym system, co 10 minut, kontroluje stan napełnienia zbiornika biogazu, starając się zwiększyć zapas biogazu w czasie pracy poza taryfą szczytową, oraz pracując z możliwie wysoką mocą w czasie taryfy szczytowej. Informacje o tym, która jest aktualnie „aktywna” przesyłana jest z systemu nadrzędnego SCADA.

## 2. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA TECHNICZNO-EKSPLOATACYJNE

Zamieszczona poniżej analiza, wykonana w oparciu o dane zawarte w [9], dotyczy dotychczasowego dwuletniego okresu eksploatacji (23.12.2008 -31.12.2010) biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC, w którym przepracował on 16 863 godziny.

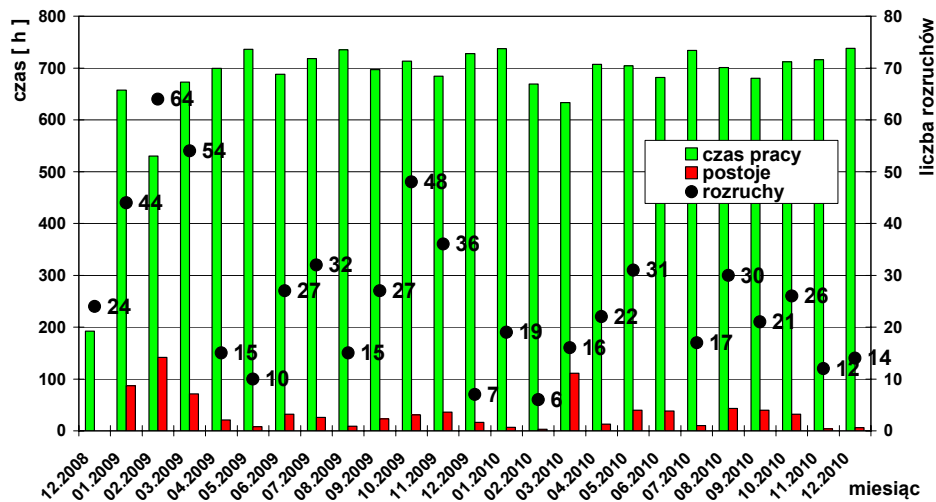
**Tab. 3.** Roczny czas pracy biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC

Rok	Czas pracy [h]	Postoje [h]	Stopień wykorzystania czasu pracy
2008	192	0	1,000
2009	8258	502	0,942
2010	8413	347	0,961
Razem/średnio	16 863	849	0,953

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

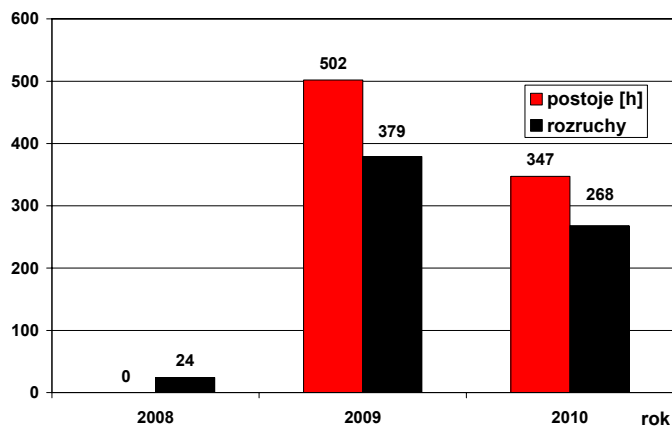
Dane dotyczące dotychczasowego czasu pracy biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC, liczby jego rozruchów oraz stopnia jego wykorzystania zilustrowano na rysunkach 4-6.





**Rys. 4.** Miesięczny czas pracy i postojów oraz liczba rozruchów biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

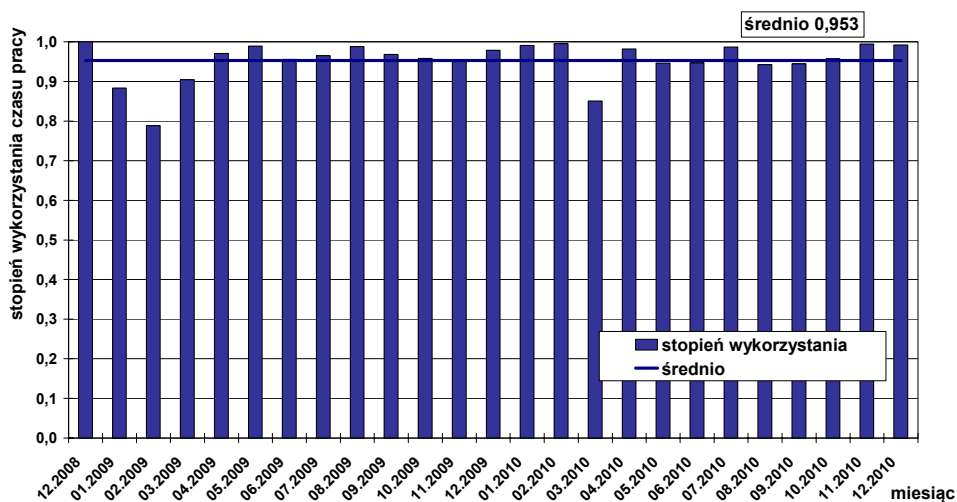
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].



**Rys. 5.** Czas postojów oraz liczba rozruchów biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w ujęciu rocznym

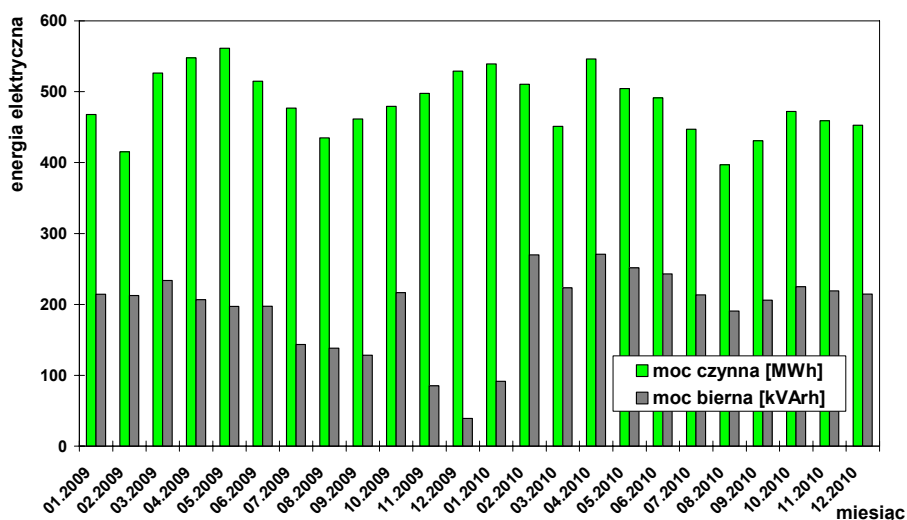
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Średni dotychczasowy miesięczny stopień wykorzystania czasu pracy biogazowego zespołu kogeneracyjnego wyniósł 0,953, osiągając w niektórych miesiącach wartość bliską 1,00. W lutym 2009 r. zanotowano łącznie 142 godziny postojów zespołu kogeneracyjnego oraz zwiększoną liczbę jego automatycznych wyłączeń (64) z powodu zakłóceń w zewnętrznej sieci elektrycznej (sygnalizacja asymetrii obciążeń faz). W końcu 2009 r. zanotowano ponownie, z podobnych przyczyn, niekontrolowany wzrost liczby automatycznych wyłączeń (październik – 48, listopad – 36). Zwiększona liczba zatrzymań w 2010 r. (maj – 31, czerwiec – 54 i sierpień – 30) była spowodowana przyczynami niezależnymi od eksploatatora, czyli postojami eksploatacyjnymi (przeglądy, wymiany oleju itp.) oraz pracami konserwacyjnymi sieci zasilających oczyszczalnię i związanymi z tym manewrami przełączeniowymi. Natomiast powodem 111 h postojów w marcu 2010 r. była konieczność wykonania planowego przeglądu po 10 000 h wraz ze zdemontowaniem i regeneracją turbosprężarki w autoryzowanym serwisie.



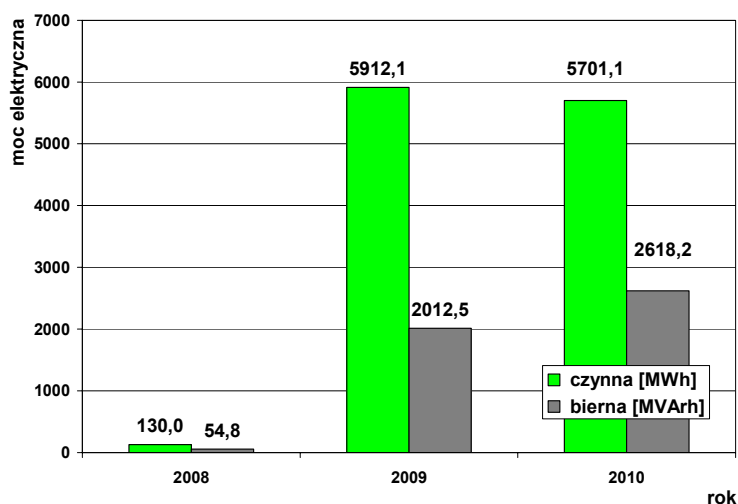
**Rys. 6.** Miesięczny stopień wykorzystania czasu pracy biogazowego kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Dane dotyczące produkcji energii elektrycznej i ciepła w biogazowym zespole kogeneracyjnym z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC przedstawiono na rysunkach 7-11.



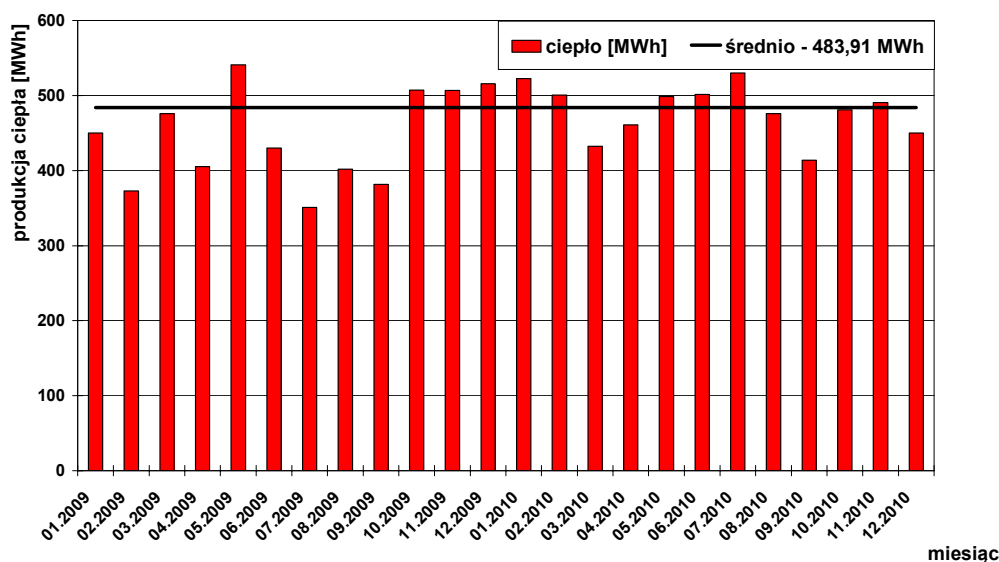
**Rys. 7.** Energia elektryczna wyprodukowana przez biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Porównując lata 2009 i 2010 pod kątem wyprodukowanej mocy czynnej i biernej można zauważyć, iż stosunek ich w poszczególnych latach jest różny. Różnice spowodowane są parametryzacją układu – optymalizacją nastaw regulatora cosφ w początkowej fazie pracy zespołu kogeneracyjnego w 2009 roku.



**Rys. 8.** Energia elektryczna czynna i bierna wyprodukowane przez biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w ujęciu rocznym

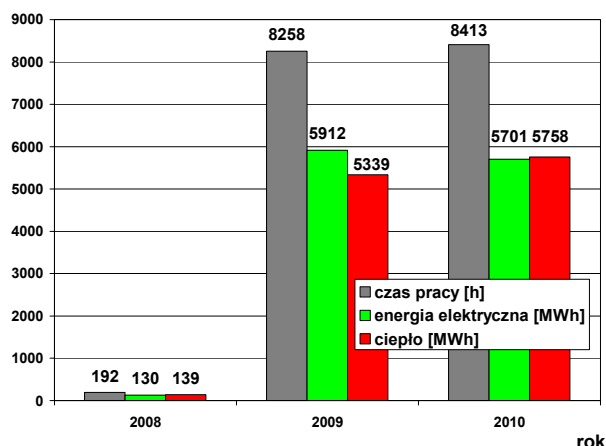
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].



**Rys. 9.** Ciepło wyprodukowane przez biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

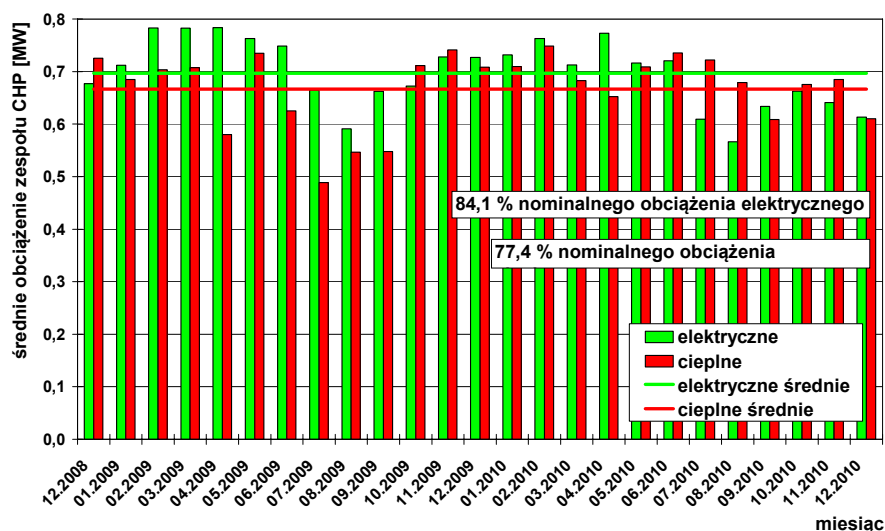
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Od 05.03.2009 r. uruchomiono w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie system rozliczania energii elektrycznej wyprodukowanej w biogazowym zespole kogeneracyjnym i wykorzystywanej w całości na potrzeby własne oczyszczalni ścieków przy pomocy przemysłowych liczników energii elektrycznej standardu ZMD405CT firmy LANDIS+GYR DIALOG. Specyfiką tego systemu rozliczeń jest to, iż wyprodukowana energia elektryczna nie jest sprzedawana odbiorcy zewnętrznemu po cenie niższej od tej, po której oczyszczalnia musiałaby taką energię zakupić do pokrycia potrzeb własnych – uniknięto m.in. znaczących opłat za przesył energii elektrycznej. W układzie rozliczeń zainstalowane są także liczniki jednokierunkowe, których zadaniem jest rejestracja ewentualnej energii przekazywanej z oczyszczalni do zewnętrznej sieci elektrycznej i jej rozliczanie zgodnie z zawartą umową z ZE.



**Rys. 10.** Produkcja energii elektrycznej i ciepła przez biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie oraz czas jego pracy – ujęciu rocznym

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].



**Rys. 11.** Średnie godzinowe obciążenie elektryczne i ciepłne biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

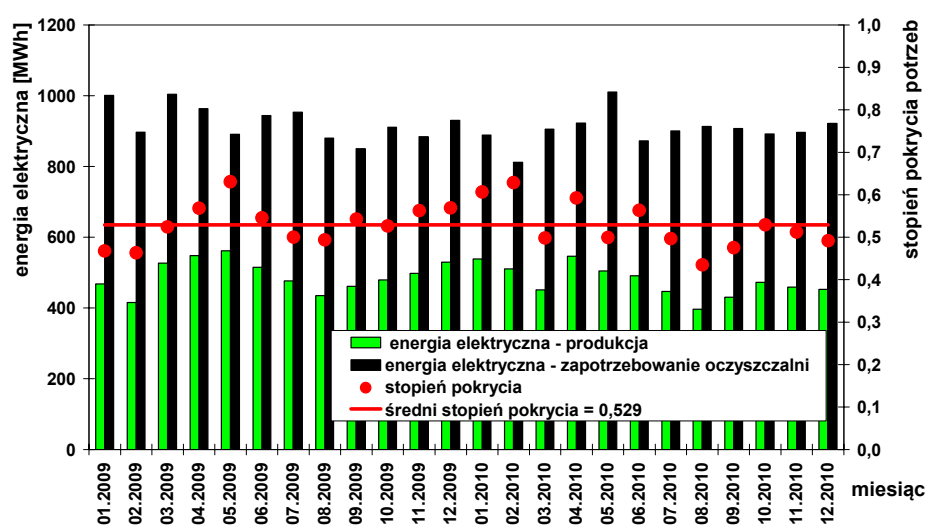
Od marca 2009 r. wdrożono także w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie procedurę potwierdzania wyprodukowanej „energii zielonej” i uzyskiwania w Urzędzie Regulacji Energetyki „Świadectw pochodzenia” za energię elektryczną wyprodukowaną w OZE, które mogą być korzystnie sprzedawane przez oczyszczalnię na Towarowej Giełdzie Energii S.A. [16, 17] w ramach działającego w Polsce od grudnia 2005 r. Rynku Praw Majątkowych [16], przedsiębiorstwom, które muszą wypełnić narzucony im „Prawem energetycznym” obowiązek uzyskania i przedstawienia do umorzenia Prezesowi URE „Świadectw pochodzenia” z kogeneracji. Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w okresie od 5.03.2009 r. do 31.12.2010 r. uzyskała 22 świadectwa pochodzenia, na łączną sumę 10 615,568 MWh wytworzonej ilości energii elektrycznej, co stanowiło 100% energii elektrycznej wyprodukowanej w tym okresie. Część uzyskanych świadectw pochodzenia została odsprzedana przez oczyszczalnię na Towarowej Giełdzie Energii S.A., jednak ich liczba oraz zysk są informacjami poufnymi i stanowią tajemnicę handlową firmy.



Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie zamawia z dwóch niezależnych źródeł moc elektryczną na poziomie 1,5 MW i dodatkowo z trzeciego źródła 0,4 MW, tzw. mocy bezpieczeństwa (na wypadek konieczności ewentualnej ewakuacji załogi i wyłączenia technologii).

Dane dotyczące bilansu energii elektrycznej Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie zobrazowano na rysunku 12. Niewielkie różnice w ilości energii wyprodukowanej i oddanej na potrzeby własne (03.2009 r.) wynikały z błędów jej przeliczeń na nietypowych przekładnikach prądowych podczas uruchamiania systemu pomiaru i rozliczania energii elektrycznej oraz z faktu uruchomienia tego systemu dopiero od 05.03.2009 r.

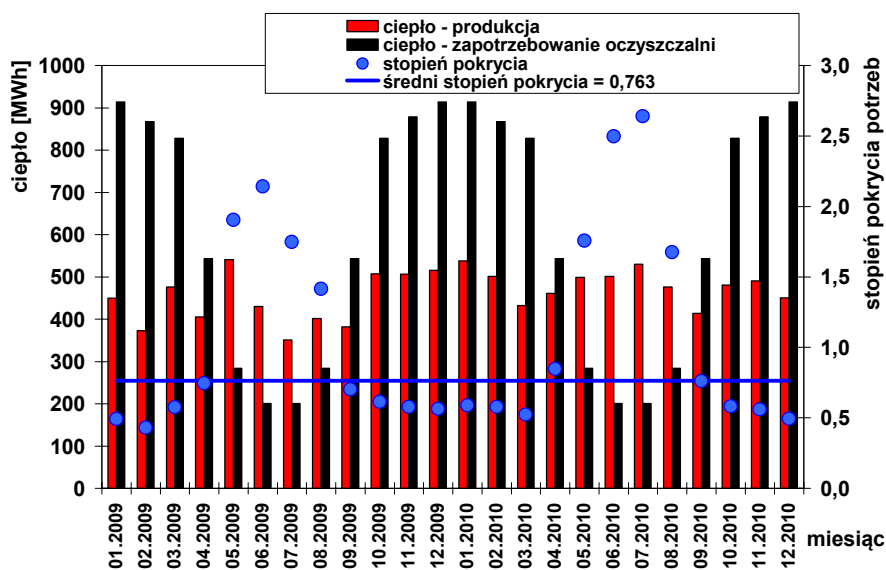
W okresie 05.03.2009-31.12.2010 przekazano na potrzeby własne oczyszczalni ścieków 10606,09 MWh energii elektrycznej wyprodukowanej w bigazowym zespole kogeneracyjnym, co stanowiło 98,84% jego produkcji. Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie pokryła w latach 2009-2010 własną produkcją energii elektrycznej średnio 52,9% (maks. w maju 2009 r. – 63%, zaś min. w lutym – 46,3%) swojego zapotrzebowania w tym zakresie.



Rys. 12. Bilans energii elektrycznej Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

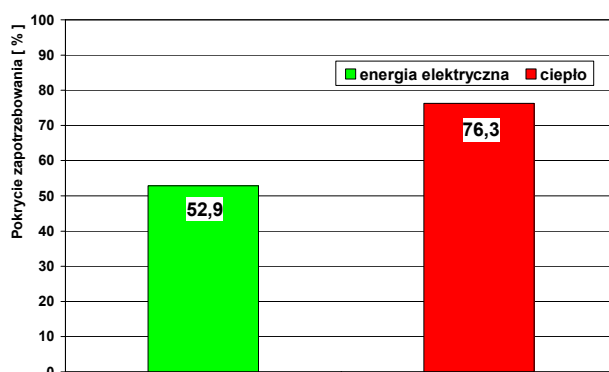
Ciepło potrzebne dla niezakłóconej pracy Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie może być pozyskiwane z trzech źródeł tj.: kotłowni, suszarni oraz biogazowego zespołu kogeneracyjnego. Ilość ciepła odzyskanego w biogazowym zespole kogeneracyjnym w rozpatrywanym okresie pozwoliła na średnie pokrycie 76,3% zapotrzebowania OŚ WARTA S.A. w tym zakresie (rys. 13). Corocznie w okresie letnim (16.04-15.10) występuje znacząca nadwyżka wyprodukowanego ciepła w zespole w stosunku do zapotrzebowania oczyszczalni i jest ona w całości rozproszana w stołowej chłodnicy wentylatorowej posadowionej na dachu budynku elektrociepłowni. W okresie zimowym (16.10-15.04) ciepło wyprodukowane w biogazowym zespole kogeneracyjnym jest w całości wykorzystywane na potrzeby własne oczyszczalni, a brakująca część ciepła niezbędna do pokrycia potrzeb własnych oczyszczalni odzyskiwana jest z procesu termicznego suszenia osadu ściekowego.



Rys. 13. Bilans ciepła Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Stopień pokrycia zapotrzebowania Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w latach 2009-2010 na energię elektryczną i ciepło produkcją własną w biogazowym zespole kogeneracyjnym z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC zobrazowano na rys. 14.

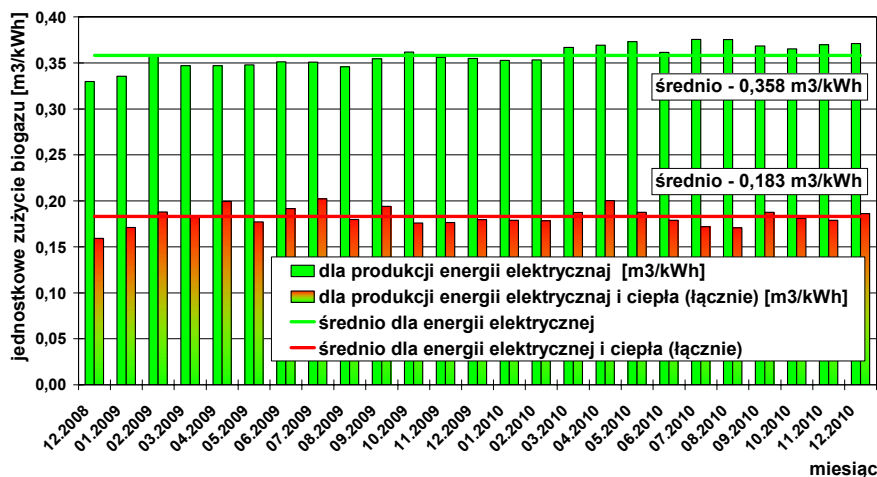


Rys. 14. Stopień pokrycia zapotrzebowania Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. na energię elektryczną i ciepło produkcją własną w biogazowym zespole kogeneracyjnym z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w latach 2009-2010

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Jednostkowe zużycie biogazu przez silnik GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC zespołu kogeneracyjnego, tak w odniesieniu do wyprodukowania 1 kWh energii elektrycznej jak i 1 kWh energii elektrycznej i ciepła (łącznie), pokazano na rysunku 15.

Podczas dotychczasowej eksploatacji, aż 98% biogazu wyprodukowanego w oczyszczalni ścieków WARTA S.A. w Częstochowie zutilizowano, zasilając nim biogazowy zespół kogeneracyjny. Spalanie biogazu w pochodni występuje incydentalnie, jedynie ma to miejsce podczas planowanych postojów zespołu kogeneracyjnego.



**Rys. 15.** Jednostkowe zużycie biogazu w zespole kogeneracyjnym z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Producent silników biogazowych firma GE JENBACHER w „Instrukcji technicznej – Ogólne warunki – eksploatacja i konserwacja” [10], wyraźnie stwierdza, że przyręczone przez producenta właściwości produktu są gwarantowane tylko pod warunkiem przestrzegania warunków brzegowych dla silników gazowych GE JENBACHER, określonych w instrukcji TA nr 1100-0011 [10] i wykonywania wszystkich zalecanych działań wg książki eksploatacyjnej, której prowadzenie jest obowiązkowe. Dokumentacja techniczna silnika JMS 316 GS-B.LC [10] zawiera szczegółowy ich zakres i harmonogram aż do 60 000 h pracy silnika, czyli do naprawy głównej, po której wszystkie czynności konserwacyjne powtarzają się od początku. Wszystkie wymagane przez producenta prace serwisowe instalacji biogazowego układu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 212 GS-B.LC muszą być wykonywane terminowo i tylko przez odpowiednio przeszkolone osoby, a praca silnika powinna przebiegać bezstukowo. Przedziały czasowe prac serwisowych [10] stanowią wartości maksymalne, osiągnęte przy należytym prowadzeniu eksploatacji i należytym wykonywaniu konserwacji. Niedopuszczalne jest wydłużanie cykli serwisowych np. w celu uniknięcia postojów biogazowych zespołów kogeneracyjnych podczas sezonu grzewczego.

Przeszkoleni przez KWE – Technika Energetyczna pracownicy Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. (14 osób) są w stanie samodzielnie prowadzić eksploatację urządzenia (w tym „małe” przeglądy) mając na uwadze wytyczne zawarte w dokumentacji GE JENBACHER [10].

Podczas dotychczasowej (dwuletniej) eksploatacji biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC eksploatacja wykonywała terminowo wszystkie wymagane w [10] czynności serwisowe. Wykonano konserwację po pierwszym uruchomieniu oraz wg harmonogramu konserwacji, tj. co 2000 h. Ostatni wykonany przegląd miał miejsce po 16 000 h pracy zespołu CHP. Przegląd po 2000 h pracy wykonany był wspólnie z firmą KWE – Technika Energetyczna Autoryzowany Przedstawiciel w Polsce GE JENBACHER Gas Engines Division z Bielsku-Białej.

Zakres wszystkich dotychczasowych wykonywanych przeglądów, co 2000 h pracy obejmował: sprawdzenie i regulację luzów zaworowych, sprawdzenie instalacji zapłonowej, kontrolę: ścieżki gazowej (regulacji ciśnienia biogazu), mechanizmu dźwigniowego regulacji mieszalnika, zewnętrznej chłodnicy stołowej, generatora elektrycznego i odpowietrzenie skrzyni korbowej silnika gazowego. Przegląd po 10 000 h rozszerzony został dodatkowo

o regenerację turbosprężarki, wymianę pompy wody chłodzącej silnik, sprawdzenie rozrusznika oraz konserwację mieszacza gazu.

Dotychczas eksploatacja biogazowego zespołu kogeneracyjnego zetknął się zasadniczo z dwoma poważniejszymi problemami. Pierwszy wynikał z zakłóceń w zewnętrznej sieci elektrycznej (sygnalizacja asymetrii obciążeń faz). Problem drugi związany był bezpośrednio z uszkodzeniem regulatora  $\cos\phi$ . Usterka ta była ciężką do zdiagnozowania, przeprowadzona przez serwis firmy KWE – Technika Energetyczna kilkakrotna zmiana nastaw regulatora nic nie pomogła; układ po przeregulowaniu zachowywał się kilka godzin poprawnie, po czym awaria się powtarzała i dopiero wymiana uszkodzonego regulatora (przez serwis KWE – Technika Energetyczna przywróciła bezawaryjną pracę zespołu. Biogazowy zespół kogeneracyjny oprócz wspomnianych powyżej usterek nie sprawiał użytkownikowi żadnych problemów technologiczno-eksploatacyjnych.

Silnik biogazowy GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC eksploatowany jest na oleju klasy SAE 40-MOBIL PEGASUS 610 i wyposażony w układ automatycznej kontroli jego poziomu i uzupełniania [14]. Wysoki poziom popiołu siarczanowego (1% wagowo) [18] w tym oleju powoduje absorpcję halogenków i siarkowodoru mogących w występować w biogazie, pomaga utrzymać w czystości komorę spalania oraz chroni zawory przed wpływem agresywnego biogazu. Lepsza stabilność i odporność na utlenianie oleju PEGASUS 610 jest wynikiem zastosowania wysoko rafinowanych parafinowych olejów bazowych. Zawiera on także dodatki przeciwzużyciowe oraz dodatki myjące (detergenty) i dyspergujące.

Producent silnika biogazowego nie ustalił cyklu konserwacyjnego dla oleju smarującego. Za podejmowanie wszelkich działań niezbędnych dla ochrony i bezpieczeństwa eksploatacyjnego instalacji CHP i jej dyspozycyjności odpowiada jej eksploatacja [10]. W związku z powyższym eksploatacja regularnie pobiera zgodnie z zaleceniami GE JENBACHER [10] próbki oleju smarującego (co 500 h pracy silnika) i zleca badanie ich jakości w certyfikowanym laboratorium firmy EXXON MOBIL – Signum Laboratory przez niego rekomendowanym. Podczas dotychczasowej eksploatacji obejmującej 16 862 h (stan 31.12.2010 r.) pracy silnika, olej smarujący (w ilości po 300 dm<sup>3</sup>) wymieniono dziewięciokrotnie (tabela 4).

**Tab. 4.** Dane odnośnie wymiany oleju smarującego w silniku GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC

Lp	Data wymiany oleju	Stan licznika czasu pracy [h]	Czas pracy od ostatniej wymiany [h]
1.	12.03.2009	1603	1603
2.	22.05.2009	3274	1671
3.	05.08.2009	5010	1736
4.	29.10.2009	6992	1982
5.	21.01.2010	8950	1958
6.	21.04.2010	10958	2008
7.	30.06.2010	12582	1624
8.	24.09.2010	14588	2006
9.	23.12.2010	16671	2083
Średni czas między wymianami oleju [h]			1852,33

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9].

Rzeczywiste, eksploatacyjne, jednostkowe zużycie oleju smarującego przez silnik GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC (wynikające z różnicy zakupu i zużycia oleju smarującego w ciągu roku) wynosiło 0,175 g/kWh i było niższe od zadeklarowanego w przez dostawcę w ofercie – 0,3 g/kWh (do pierwszej naprawy głównej).

Silnik biogazowy GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC eksploatowany jest na świecach zapłonowych JENBACHER P7.1V6 (odstęp międzyelektrodowy – 0,35 mm [10]), których żywotność producent określa na ok. 8 000 godzin pracy. Dostępna w układzie zapłonowym opcja zmniejszenia energii wyładowania iskrowego i pracy silnika przy mniejszych jej wartościach, umożliwia zwiększenie żywotności stosunkowo drogich świec zapłonowych,

których cena jednostkowa kształtuje się w okolicach 1,5 tys. zł [5]. Zgodnie z zaleceniami producenta silnika gazowego eksploatator wykonuje z wykorzystaniem skopometru FLUKE 123 regularną kontrolę (raz w tygodniu) napięcia wyładowania iskrowego na poszczególnych świecach zapłonowych i ewidencjonuje uzyskane wyniki. Jeżeli pomierzone napięcia są wyższe niż 25 kV (producent dopuszcza 32 kV), następuje okresowa wymiana całego kompletu (16 szt.) świec zapłonowych (czyszczenie, regulacja), gdyż eksploatator posiada dwa komplety świec zapłonowych. Jest to bardzo praktyczne rozwiązanie pod względem eksploatacyjnym, ponieważ znacząco skraca to postoję biogazowego zespołu kogeneracyjnego do minimum niezbędnego, jedynie do ponownej wymiany świec zapłonowych. Okres między wymianami świec zapłonowych (do ich czyszczenia i regulacji) nie przekracza 21 dni. Użytkownik podczas eksploatacji w rozpatrywanym okresie czasu wymienił dwa komplety świec zapłonowych. Każdy z kompletów przepracował po 8500 h.

Wyniki szczegółowej analizy wybranych, chwilowych, rzeczywistych parametrów pracy (takich jak: moc, godzinowe zużycie biogazu, ciśnienie doładowania, położenie przepustnicy, pozycja mieszacza gazu, położenie obejściowe turbosprężarki, temperatury i ciśnienia oleju i płynu chłodzącego, temperatura schłodzonej mieszanki, temperatury spalin na wyjściu z poszczególnych cylindrów, temperatury spalin przed i za wymiennikiem ciepła spaliny-woda, temperatura wody technologicznej za wymiennikiem ciepła spaliny-woda, temperatura powietrza w maszynowni, temperatura otoczenia,  $\cos\phi$ , parametry pracy generatora elektrycznego – średnie napięcie, prąd, temperatury łożysk) biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER z obciążeniem zbliżonym do nominalnego za okres 12-miesiący eksploatacji zawarto w [6], zaś za okres 24-miesiący [7].

## PODSUMOWANIE

Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. wraz z IMTiTS PCz zapoczątkowała już w latach 70. XX. wieku krajowe prace dotyczące utylizacji biogazu będącego ubocznym produktem beztlenowej fermentacji osadów poprzez wykorzystanie go do zasilania zespołów kogeneracyjnych z silnikami tłokowymi produkujących w skojarzeniu energię elektryczną i ciepło. Nowy biogazowy zespół kogeneracyjny z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC uruchomiono w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie 24.12.2008 roku. Inwestycja o koszcie 3,7 mln zł, została zrealizowana w bardzo krótkim czasie – siedmiu miesiący.

Gazowy zespół CHP eksploatowany jest od chwili jego uruchomienia bardzo intensywnie, osiągając wysoki średni wskaźnik wykorzystania miesięcznego czasu pracy na poziomie 95,3%. Zespół kogeneracyjny przepracował do 31.12.2010 r. 16 863 godziny, produkując w tym czasie 11 743,8 MWh energii elektrycznej i 11 236,857 MWh ciepła, a pokrycie zapotrzebowania oczyszczalni na energię elektryczną i ciepło zostało pokryte własną produkcją odpowiednio w ok. 52,9% i 76,3%. Średnie obciążenie elektryczne zespołu kogeneracyjnego podczas dotychczasowej eksploatacji wyniosło 0,696 MW, co stanowiło 84,1% jego obciążenia nominalnego, zaś średnie obciążenie cieplne – odpowiednio: 0,666 MW i 77,4% jego obciążenia nominalnego. Średnia produkcja biogazu w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w analizowanym okresie kształtowała się na poziomie 265,7 m<sup>3</sup>/h, zaś zużycie biogazu przez zespół kogeneracyjny - 249,4 m<sup>3</sup>/h. Średnie jednostkowe zużycie biogazu w analizowanym okresie eksploatacji wyniosło 0,358 m<sup>3</sup>/kWh energii elektrycznej i 0,183 m<sup>3</sup>/kWh energii elektrycznej i ciepła (łącznie).

Dotychczasowe eksploatacyjne jednostkowe zużycie oleju smarującego przez silnik biogazowy GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC (uzupełnienia oleju bez wymian – podczas 16 863 h pracy silnika zużyto 2368,7 dm<sup>3</sup> oleju) kształtuje się na poziomie 0,175 g/kWh (0,140 dm<sup>3</sup>/h), zaś deklarowane przez dostawcę w ofercie – 0,3 g/kWh (do pierwszej naprawy głównej). Eksploatacja biogazowego zespołu kogeneracyjnego z tym silnikiem przynosi



Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. wymierne korzyści energetyczne, ekonomiczne i ekologiczne, redukując praktycznie do zera (u źródła jego wytwarzania) emisję do atmosfery biogazu zawierającego w swym składzie metan. Poprawiła ona gospodarkę energetyczną Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie, tak w zakresie energii elektrycznej jak i ciepła, a także bezpieczeństwo energetyczne oczyszczalni, ponieważ biogazowy zespół kogeneracyjny może pracować wyspowo, jako rezerwowe źródło zasilania oczyszczalni z zachowaniem parametrów technologii.

W wyniku eksploatacji biogazowego zespołu kogeneracyjnego zmniejszono znacząco bieżące koszty eksploatacji Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie dzięki: ograniczeniu o ponad 50% zakupu energii elektrycznej od dostawców zewnętrznych, całkowitemu uniezależnieniu się od zewnętrznych dostawców ciepła zagospodarowaniu na potrzeby własne całego ciepła wyprodukowanego w kogeneracji (w okresach zimowych brakująca część ciepła odzyskiwana jest z procesu termicznego suszenia osadu ściekowego), zrezygnowaniu z zakupu oleju opałowego do kotłowni w ilości ok. 40 t/rok, uzyskaniu wpisu na listę producentów „zielonej energii” i regularnemu pozyskiwaniu w URE „Świadectw pochodzenia” energii elektrycznej wyprodukowanej w OZE (szacowanej rocznie przez eksploatatora na ponad 5 000 MWh), mające wartość materialną na TGE S.A. Uzyskiwane korzyści znajdują wymierne odzwierciedlenie w końcowej cenie oczyszczenia 1 m<sup>3</sup> ścieków [13]. Dotychczasowa eksploatacja biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC nie stwarza trudności technicznych, zespół pracuje bezawaryjnie a jego stan techniczny jest dobry. Eksploatator zgodnie z zaleceniami producenta i harmonogramem przeprowadza planowo wymagane okresowe przeglądy biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC.

## **TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF OPERATION OF THE BIOGAS COGENERATION SET AT THE WARTA S.A. WASTE TREATMENT PLANT IN CZESTOCHOWA**

### **Abstract**

*The paper discusses two years' commercial operation of the biogas cogeneration set with a GE JENBACHER engine type JMS 316 GS-B.LC, which was installed at the end of December 2008 at the WARTA S.A. Waste Treatment Plant in Czestochowa. The analysis covered the time of operation and shutdowns, the number of the start-ups of the CHP set, its operation time utilization rate, the generation of electric power and heat, the average hourly electric and thermal load of the CHP set, the electrical energy balance of the WARTA S.A. Waste Treatment Plant in Czestochowa along with the degree of coverage of the Waste Treatment Plant's electrical energy and heat demand by their own production, the Waste Treatment Plant's biogas balance, unit biogas consumption by the CHP set, the servicing of the CHP set, and the economic effects achieved from the operation of the Cogeneration Set.*

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Cupiał K., Dużyński A.: *Dorobek Instytutu Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania Politechniki Częstochowskiej w dziedzinie konstrukcji, badań i eksploatacji silników gazowych*, [w:] Dużyński A. (red.): *Silniki Gazowe – wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo PCz., Częstochowa, 2010.
2. Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J.: *A summary of the eight years of operation of the biogas heat and power-generating set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in*



3. Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J., Bawor W.: *Podsumowanie sześciomiesięcznej eksploatacji nowego biogazowego zespołu kogeneracyjnego w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie*, [w:] Kalina J., Kotowicz J., Skorka J., Walewski A. (red.): *Współczesne problemy energetyki gazowej i gazownictwa*. Wyd. Instytutu Techniki Ciepłej, Gliwice, 2009.
4. Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J., Mendera K.: *Biogazowy zespół prądotwórczy o mocy elektrycznej 600 kW z utylizacją ciepła*. Materiały Międzynarodowej Konferencji Silnikowej KONES'99. Journal of KONES – INTERNAL COMBUSTION ENGINES – Warszawa-Zakopane 1999, vol. 6, nr 3-4, Kraków, 1999.
5. Dużyński A.: *Analiza rzeczywistych parametrów techniczno-eksploatacyjnych gazowych zespołów kogeneracyjnych*. Politechnika Częstochowska, seria Monografie nr 142, Częstochowa, 2008.
6. Dużyński A., Bawor W.: *A Summary of the twelve month's operation of the new biogas cogeneration set in the WARTA S.A. Waste Treatment Plant in Częstochowa*. COMBUSTION ENGINES, 2010, No. 2(141).
7. Dużyński A., Bawor W.: *Experience from two years' operation of the Biogas Cogeneration Set at the WARTA S.A. Waste Treatment Plant in Częstochowa*. COMBUSTION ENGINES, 2011, 3(146).
8. Kalmbach S., Schmölling J.: *Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft*. Schmidt Erich Verlag 2004, No. 9.
9. *Dziennik eksploatacyjny biogazowego zespołu kogeneracyjnego z silnikiem GE JENBACHER JMS 316 GS-B.LC za okres 12.2008-31.12.2010*. Materiały wewnętrzne Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie.
10. *GE JENBACHER Documentation JMS 316 GS-B/LC – wersja 2004.01*.
11. *Instrukcja techniczna nr 1000-0300. Jakość gazu pędnego*. GE JENBACHER Documentation, 08.2005.
12. *Jenbacher gas engines. Technical Specification. JMS 316 GS-B.L*. GE Jenbacher GmbH & Co. OHG, [www.cogeneration.com.ua/img/zstored/J316V21\\_en.pdf](http://www.cogeneration.com.ua/img/zstored/J316V21_en.pdf) - 09.2011.
13. *Jurajski Produkt Roku*. Regionalna Izba Przemysłowo-Handlowa w Częstochowie. Częstochowa 2010. [www.blachownia.pl/2011/207-jurajski/jpr2010.pdf](http://www.blachownia.pl/2011/207-jurajski/jpr2010.pdf) - 09.2011.
14. *Modernizacja gospodarki energetycznej i ciepłej z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii na centralnej oczyszczalni ścieków eksploatowanej przez Oczyszczalnię Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie*. Zespół prądotwórczy. Projekt wykonawczy II, część technologiczna, BIPROWOD sp. z o.o., Warszawa luty 2008.
15. *Oczyszczanie gazu absorberami węgla aktywnego – JENBACHER Energie*.
16. *Rynek Praw Majątkowych*, [www.tge.pl](http://www.tge.pl); [www.polpx.pl](http://www.polpx.pl) , 01.2011.
17. [www.cire.pl/GE/](http://www.cire.pl/GE/), 06.2009.
18. [www.ekonafit.com.pl/mobil\\_last/przemyslowe-mobil/n06\\_do\\_silnikow\\_gazowych/full-mobil-pega-sus610.htm](http://www.ekonafit.com.pl/mobil_last/przemyslowe-mobil/n06_do_silnikow_gazowych/full-mobil-pega-sus610.htm), 06.2009.
19. [www.wartasa.eu](http://www.wartasa.eu), 01.2011.

**Autor:** dr inż. Adam Dużyński – Politechnika Częstochowska