

Karol CUPIAŁ*
Adam DUŻYŃSKI
Janusz GRZELKA

Podsumowanie ośmioletniej eksploatacji biogazowego zespołu ciepło- i prądotwórczego w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

W pracy podsumowano dotychczasową ośmioletnią eksploatację przemysłową biogazowego zespołu ciepło- i prądotwórczego w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie. Jest to typowa instalacja energetyki skojarzonej CHP (Combined Heat and Power) wytwarzająca energię elektryczną i ciepło w źródle paliwa gazowego i w miejscu zapotrzebowania. Tworzą ją: gazowy silnik spalinowy napędzający generator asynchroniczny oraz zespół dwóch wymienników ciepła. Silnik spalinowy jest zasilany biogazem pozyskiwanym w oczyszczalni jako produkt uboczny podczas przeróbki osadów ściekowych.

Słowa kluczowe: silnik gazowy, eksploatacja

A summary of eight years of operation of the biogas heat and power-generating set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa

The paper presents a summary of the last eight years of industrial operation of the biogas heat and power-generating set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa. This is a typical installation of the CHP (Combined Heat and Power) coupled power engineering, which generates electrical power and heat at the source of gas fuel and at the place of demand. Its is composed of a gas combustion engine driving an asynchronous generator and a set of two heat exchangers. The combustion engine is supplied with biogas acquired from the Waste Treatment Plant, where it is generated as a byproduct during sewage sludge treatment.

Key words: gas engine, operation

1. Wstęp

Zespół ciepło- i prądotwórczy z silnikiem biogazowym 8A20G został zaprojektowany, wykonany i przebadany w ramach projektu celowego KBN zrealizowanego przez Instytut Maszyn Tłokowych i Techniki Sterownia Politechniki Częstochowskiej oraz Zakłady H.Cegielski-Poznań S.A. Po zakończeniu realizacji projektu oddano go w 1998 roku do przemysłowej eksploatacji w częstochowskiej oczyszczalni ścieków wytwarzającej biogaz jako produkt uboczny fermentacji osadów ściekowych. W pracy omówiono dotychczasowe doświadczenia uzyskane w czasie ośmioletniej eksploatacji zespołu CHP z silnikiem biogazowym 8A20G, którego genezę, opis i wcześniejsze doświadczenia przedstawiono m.in. w [1–3].

2. Zespół elektrociepłowniczy z silnikiem gazowym 8A20G

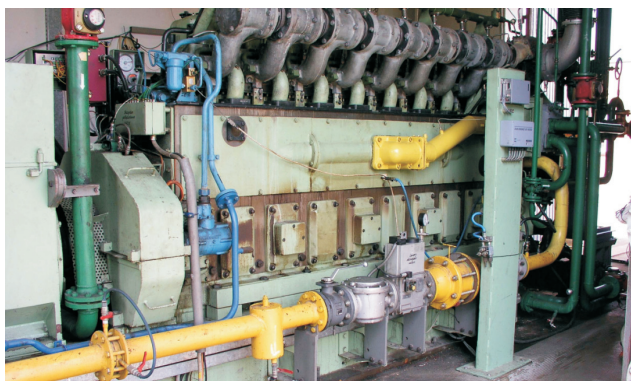
Silnik gazowy 8A20G [1–3] pokazany na rysunkach 1 i 2 jest doładowanym ośmiocyndrowym, rzędownym silnikiem czterosuwowym. Skok tłoka wynosi 240 mm, średnica cylindra 200 mm, prędkość obrotowa 1000 obr/min. Silnik jest zasilany biogazem o przeciętnym składzie: CH₄ 60÷65%; CO₂ 30÷34%; H₂ ok. 4%; N₂ ok. 2%. Ponadto w biogazie występują niewielkie ilości tlenu węgla, tlenu, węglowodorów, siarkowodoru, amoniaku i tlenu azotu. Dodatek CO₂ w znaczący sposób podnosi odporność przeciwstukową gazu, czyniąc go atrakcyjnym paliwem dla silników

1. Introduction

The 8A20G biogas engine heat and power-generating set has been designed, constructed and tested within a KBN (Scientific Research Committee) target project carried out by the Institute of Piston Machines and Control Technology of Częstochowa University of Technology and the H. Cegielski-Poznań S.A. After completion of the project, in 1998 it was put into industrial operation in the Częstochowa Waste Treatment Plant generating biogas as a byproduct of sewage sludge fermentation. The present paper discusses the hitherto experience gained during the eight-year operation of the 8A20G biogas engine CHP set, whose genesis, description and earlier experience are presented elsewhere, for example in [1–3].

2. Heat and Power generating set with the biogas engine 8A20G

The 8A20G gas engine [1–3] as shown in Figs. 1 and 2 is a four-stroke eight-cylinder in-line engine. The cylinder stroke is 240 mm, cylinder bore 200 mm, and engine speed 1,000 min⁻¹. The engine is supplied with biogas of the following average composition: CH₄ 60÷65%; CO₂ 30÷34%; H₂ approx. 4%; N₂ approx. 2%. In addition the biogas contains small amounts of carbon monoxide, oxygen, hydrocarbons, hydrogen sulfide, ammonia and nitrogen oxide. The CO₂ addition significantly enhances the antiknock resistance of the gas, thereby making it an attractive fuel for combus-



Rys. 1. Silnik biogazowy 8A20G

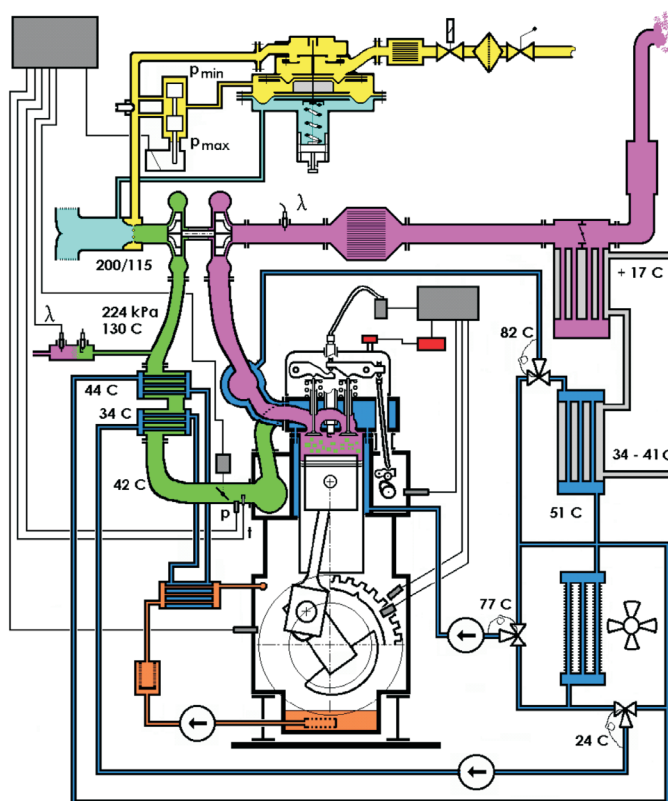
Fig. 1. The 8A20G biogas engine

spalinowych. Mieszanka paliwa gazowego z powietrzem wytwarzana jest w stałoprzelotowym, niskociśnieniowym, zeronadciśnieniowym mieszalniku umieszczonym na dolocie do nieregulowanej turbosprężarki i po sprężeniu jest schładzana w dwustopniowej chłodnicy wodnej, z której jest doprowadzana do kolektora dolotowego i do cylindrów.

Ilość mieszanki (i moc silnika) jest regulowana przepustnicą dławiącą przepływ sprężonej mieszanki, znajdującą się między chłodnicą mieszanki a kolektorem dolotowym, która jest sterowana elektronicznym regulatorem zapewniając regulację ilościową. Silnik wyposażono w elektroniczny układ regulacji składu mieszanki palnej zawierający sondę lambda, z której sygnał jest doprowadzany do regulatora i stąd, za pośrednictwem sprzężenia zwrotnego oddziałuje na aktualny skład mieszanki palnej zasilającej silnik zapewniając dodatkowo regulację jakościową. Oprogramowanie regulatora umożliwia zmianę jego charakterystyk oraz bieżący pełny monitoring na ekranie komputera przenośnego. Zapłon mieszanki palnej realizują dwuelektrodowe świece zapłonowe zasilane z indywidualnych cewek zapłonowych wysokoenergetycznej instalacji zapłonowej, której cyfrowy moduł sterujący umożliwia m.in. płynną zmianę kąta wyprzedzenia zapłonu, automatyczny dobór energii wyładowania iskrowego, zmianę czasu jego trwania oraz pełną, automatyczną diagnostykę układu zapłonowego. Moduł ten współpracuje z elektronicznym układem detekcji i kontroli spalania stukowego monitorującym wszystkie cylindry silnika. Automatyczny rozruch silnika sprężonym powietrzem doprowadzanym z zespołu butli do rozrusznika pneumatycznego jest poprzedzony wstępnym przepłukaniem układu dolotowego i wylotowego czystym powietrzem skutecznie obniżającym możliwość wystąpienia niepożądanego zapłonu niespalonej mieszanki palnej w układzie wylotowym zawierającym dodatkowo wymiennik ciepła spaliny-woda. Asynchroniczny generator elektryczny 6,3 kV sprzęgnięty z silnikiem gazowym współ-

tion engines. The gas and air mixture is produced in a fixed-passage low-pressure zero-overpressure mixer positioned at the unadjustable turbocompressor inlet and, upon being pressurized, it is cooled in a two-stage water cooler, from which it is delivered to the intake manifold and to the cylinders.

The amount of the mixture (and engine power) is regulated by a compressed mixture flow throttling valve that is situated between the mixture cooler and the intake manifold, and is controlled by an electronic controller providing quantitative regulation. The engine is equipped with an electronic air-fuel mixture regulation system with an oxygen sensor, from which the signal is supplied to the controller and hence, through the feedback, acts on the current composition of the air-fuel mixture supplying the engine, provid-



Rys. 2. Schemat silnika biogazowego 8A20G wraz z układem wymienników ciepła woda-woda i spaliny-woda

Fig. 2. Schematic diagram of the 8A20G biogas engine together with a system of warm water-water and combustion gas-water heat exchangers

ing thereby additional quantitative regulation. Controller software enables the engine characteristics to be changed and fully monitored on a portable computer screen. The ignition of the air-fuel mixture is effected by double-electrode spark plugs supplied from the individual ignition coils of a high-energy ignition circuit, whose digital control module enables, among other things, the infinitely variable adjustment of the ignition advance angle, automatic selection of spark discharge energy and duration, and the full automatic

pracuje równolegle z ogólną siecią energetyczną. Silnik osiąga moc 650 kW i maksymalną sprawność 36,1%, co odpowiada jednostkowej pracy efektywnej 1,26 MJ/m³ i jednostkowemu zużyciu biogazu ok. 0,4 m³/kWh. Czynna moc elektryczna zespołu wynosi 600 kW, wytworzona energia elektryczna jest odprowadzana do sieci elektrycznej 6,3 kV. Układ wymienników ciepła woda–woda i spaliny–woda pozwala odzyskać i przekazać do obiegu grzewczego oczyszczalni ok. 260 kW ciepła z układu chłodzenia silnika i ok. 320 kW ciepła z układu wylotowego, przy obciążeniu elektrycznym 600 kW. Praca biogazowego zespołu elektrociepłowniczego jest kontrolowana przez układy sterująco-pomiarowe oraz automatyczne układy bezpieczeństwa odcinające dopływ gazu i zatrzymujące silnik. Spaliny silnika spełniają wymogi przepisów TA-Luft.

3. Pozyskiwanie biogazu i jego utylizacja

Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie przyjmuje dobowo ok. 50 000 m³ ścieków, zatrzymuje ok. 400÷450 m³ osadu surowego oraz produkuje do 3500 m³ biogazu o wartości opałowej ok. 22 MJ/m³. Osad surowy zagęszczony w lejach osadników wstępnych do zawartości ok. 5% suchej masy i osad czynny nadmierny powstający w stopniu biologicznym po zagęszczeniu do około 5÷6% suchej masy na zagęszczaczu mechanicznym są kierowane do wydzielonych zamkniętych komór fermentacyjnych. Poddawane są fermentacji metanowej w temp. 35÷37°C, a wytworzony gaz fermentacyjny (biogaz) zostaje wykorzystany w istniejącej kotłowni gazowej do wyprodukowania ciepła dla podgrzewania komór fermentacyjnych lub do zasilania biogazowego zespołu ciepło- i prądotwórczego.

Głównymi składnikami biogazu są: metan (CH₄), dwutlenek węgla (CO₂) oraz śladowe ilości innych składników. Skład i ilość wydzielanego biogazu zależna jest od ilości substancji organicznych w osadzie i od uzyskanego stopnia ich przefermentowania [2]. Z osadów ze ścieków miejsko-przemysłowych uzyskuje się na ogół około 400÷500 dm³ gazu z 1 kg rozłożonej substancji organicznej, o średnim składzie 65÷70% CH₄ i 30÷35% CO₂. Okresowe nadwyżki gazu są gromadzone w zbiorniku gazu. Ponieważ metan CH₄, główny składnik biogazu, należy wraz z dwutlenkiem węgla CO₂ – także znaczącym składnikiem biogazu – ozonem O₃, podtlenkiem azotu N₂O i CFC do grupy gazów cieplarnianych, których koncentracja w atmosferze ziemskiej w ciągu kilkudziesięciu lat gwałtownie wzrosła, każde działanie sprowadzające się do likwidacji zanieczyszczeń u samego źródła jest działaniem proekologicznym zgodnym z podstawową strategią ekologicznego rozwoju.

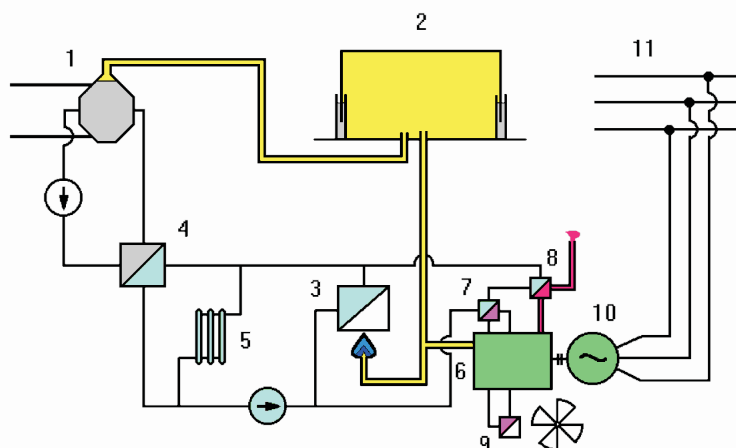
Od ośmiu lat w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie jest eksploatowane źródło kogeneracyjne wytwarzające energię elektryczną i ciepło. Źródło to tworzą: gazowy silnik spalinowy napędzający generator asynchroniczny oraz zespół dwóch wymienników ciepła. Silnik spalinowy jest zasilany biogazem pozyskiwanym w oczyszczalni jako produkt uboczny podczas przeróbki osadów ściekowych. Jest to typowa instalacja energetyki skojarzonej CHP wytwarzająca energię elektryczną i ciepło w źródle paliwa gazowego i w miejscu zapotrzebowania (rys. 3).

diagnostics of the ignition system. The module operates with an electronic knocking combustion detection and control system that monitors all engine cylinders. The automatic starting of the engine with compressed air supplied from a set of cylinders to the pneumatic starter is preceded by preliminary purging of the intake and the exhaust systems with clean air, which efficiently reduces the possibility of occurring an undesirable ignition of an un-burned air-fuel mixture in the exhaust system that includes additionally a combustion gas – water heat exchanger. A 6.3 kV asynchronous electric generator coupled with the gas engine operates in parallel with the general power grid. The engine attains a power of 650 kW and a maximum efficiency of 36.1%, which corresponds to a unit effective work of 1.26 MJ/m³ and a unit biogas consumption of approx. 0.4 m³/kWh. The active power of the set is 600 kW, and the generated electrical energy is carried to a 6.3 kV electrical network. A warm water–water and combustion gas–water heat exchanger system allows approx. 260 kW of heat from the engine cooling system and approx. 320 kW of heat from the exhaust system to be recovered and transferred to the Waste Treatment Plant's heating circuit, with an electric load of 600 kW. The operation of the biogas heat and power-generating set is controlled by control and measuring systems and by automatic safety systems cutting off the gas supply and stopping the engine. The engine combustion gas meets the requirements of the TA-Luft provisions.

3. The acquisition of biogas and its utilization

The Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa receives approx. 50,000 m³/day of sewage, retains approx. 400÷450 m³ crude sludge and produces up to 3,500 m³ of biogas of a calorific value of approx. 22 MJ/m³. The crude sludge thickened in the funnels of primary settling tanks to approx. 5 % of dry solids and excessive activated sludge forming at the biological stage after thickening to approx. 5÷6 % of dry solids on a mechanical thickener are directed to separated closed sludge digestion chambers. Here they undergo methane fermentation at a temperature of 35÷37°C, and the fermentation gas (biogas) produced thereby is utilized in the existing gas boiler room for the generation of heat used either for heating up the digestion chambers or for supplying the biogas heat and power-generating set.

The main biogas constituents are: methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and traces of other gases. The composition and amount of biogas released is dependent on the amount of organic matter contained in the sludge and on the attained degree of its fermentation [2]. Municipal sewage and industrial waste water sludge generally yields approximately 400÷500 dm³ of gas from 1 kg of decomposed organic matter of the following average composition: 65÷70% CH₄ and 30÷35% CO₂. Periodical gas surpluses are stored in a gasholder. Because methane, CH₄ – the main biogas component together with carbon dioxide, CO₂ – being also a major biogas component, ozone O₃, nitrous oxide N₂O, and CFC belongs to the group of greenhouse gases, whose concentration in the earth's atmosphere has dramatically increased over the last few decades, any activity that contrib-



Rys. 3. Uproszczony schemat włączenia zespołu ciepło-i prądotwórczego w instalację biogazową, ciepłą i elektryczną Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie: 1 – zamknięte komory fermentacyjne, 2 – izobaryczny zbiornik gazu, 3 – kotłownia gazowa, 4 – wymienniki ciepła, woda technologiczna – osad, 5 – centralne ogrzewanie budynków, 6 – silnik biogazowy zespołu prądotwórczego, 7 – wymiennik ciepła, płyn chłodzący – woda technologiczna, 8 – wymiennik ciepła, spaliny – woda technologiczna, 9 – rezerwowa chłodnica zewnętrzna, 10 – generator asynchroniczny 600 kW, 11 – sieć elektryczna 6,3 kV.

Fig. 3. Simplified schematic diagram of incorporating the heat and power-generating set into the biogas, heat and electric systems of the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa: 1 – closed digestion chambers, 2 – isobaric gasholder, 3 – gas boiler room, 4 – heat exchangers, process water-sludge, 5 – central heating of buildings, 6 – biogas engine of the power-generating set 7 – heat exchanger, cooling liquid – process water, 8 – heat exchanger, combustion gas – process water, 9 – external standby cooler, 10 – 600 kW asynchronous generator, 11 – 6.3 kV electric power network

Ciepło jest dostarczane do zakładowej sieci ciepłowniczej. Wyprodukowana energia elektryczna w znacznej mierze pokrywa zapotrzebowanie energetyczne zakładu. Instalacje CHP cechują się wysokim stopniem efektywności. W związku z tym, że znajdują się one w pobliżu użytkownika – najczęściej bezpośrednio u niego – straty przesyłowe są znacznie niższe niż w przypadku centralnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Zastosowana jednostka kogeneracyjna wraz z istniejącym układem trzech kotłów wodnych (dwupaliwowych) zabezpiecza potrzeby cieplne oczyszczalni ścieków w postaci gorącej wody technologicznej niezbędnej do podgrzewania osadu w trzech komorach fermentacyjnych oraz gorącej wody na cele c.o. (w sezonie grzewczym) i c.w.u. (przez cały rok). Zarówno układ kogeneracyjny jak i kotły wodne zasilane są biogazem pozyskiwanym w wydzielonych, zamkniętych komorach fermentacyjnych podczas fermentacji metanowej, która jest podstawowym procesem neutralizacji organicznych osadów ściekowych. Zaletą procesu fermentacji jest fakt, iż obok stabilizacji osadu generuje on palny gaz zawierający ok. 65% CH_4 i ok. 35% CO_2 , który może z powodzeniem być wykorzystany na miejscu jako paliwo do zasilania biogazowych zespołów elektrociepłowniczych. Fermentacja metanowa z pozyskiwaniem biogazu jest prowadzona w trzech zamkniętych komorach fermentacyjnych, skąd jest on przesyłany do stałociśnieniowego zbiornika gazu o pojemności zmieniającej się w granicach od ok. 1500÷3000 m^3 . Ze zbiornika biogaz jest doprowadzany do biogazowego zespołu elektrociep-

utes to the liquidation of the pollutants at their very source is a pro-ecological activity, being in line with the basic strategy of ecological development.

For eight years now, a co-generation source producing electrical energy and heat has been operated in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa. This source is made up of a gas combustion engine driving an asynchronous generator and a set of two heat exchangers. The combustion engine is supplied with biogas acquired from the Waste Treatment Plant, where it is generated as a byproduct in sewage sludge treatment. This is a typical CHP coupled power engineering installation that generates electrical energy and heat at the gas fuel source and at the place of demand (Fig. 3).

The heat is delivered to the plant's heat distribution network. The generated electrical energy meets a considerable part of the plant's energy demand. The CHP installations are characterized by a high degree of effectiveness. Because of the fact that they are in close proximity to the user – most often directly on his premises – the transmission losses are much lower than in the case of the central generation of electric power and heat. The co-generation unit employed together with the existing system of three (double-fuel) water boilers meets the Waste Treatment Plant's heat demand in the form of hot process water necessary for heating up the sludge in three digestion chambers, as

well as central heating hot water (during the heating season) and hot general-purpose water (all year round). Both the co-generation system and the water boilers are supplied with biogas acquired in the separated closed digestion chambers during methane fermentation which is the basic process of neutralization of organic sewage sludge. The advantage of the fermentation process is the fact that, besides sludge stabilization, it generates a combustible gas containing approx. 65% CH_4 and approx. 35% CO_2 , which can be successfully used on site as a fuel for supplying biogas heat and power-generating sets. Methane fermentation with biogas acquisition is conducted in three closed digestion chambers, from where the biogas is transferred to a constant-pressure gasholder of a capacity ranging from 1,500 to 3,000 m^3 . From the gasholder, the biogas is delivered to the heat and power-generating set or to the boiler room serving chiefly for heating the fermentation sludge in five spiral heat exchangers (process water – fermentation sludge) up to a temperature of 35÷37°C necessary for properly carrying out mesophilic fermentation.

In the Częstochowa Waste Treatment Plant's conditions, the biogas production in the winter season is only sufficient for heating the digestion chambers and meeting other plant's demands for heat. In the spring – summer – autumn period, a biogas surplus occurs, which can be successfully used as a fuel to supply the heat and power-generating set (Fig. 4).

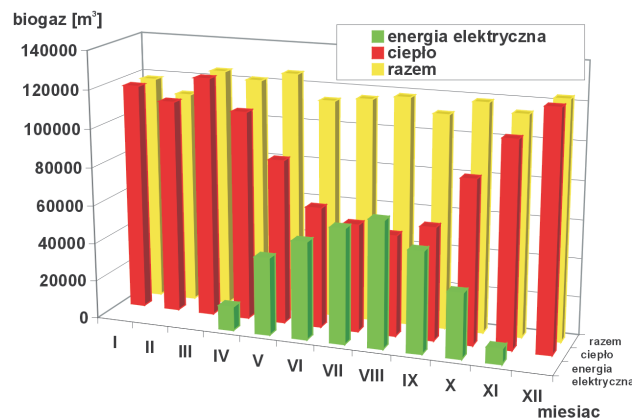
The structure of biogas utilization at the Waste Treatment Plant for the production of electrical energy and heat

plówniczego lub do kotłowni wykorzystywanej głównie do ogrzewania osadu fermentacyjnego w pięciu spiralnych wymiennikach ciepła (woda technologiczna – osad fermentacyjny) do temperatury $35\div 37^{\circ}\text{C}$ niezbędnej do prawidłowej realizacji fermentacji mezofilnej.

W warunkach częstochowskiej oczyszczalni ścieków, w okresie zimowym, produkcja biogazu wystarcza jedynie do ogrzewania komór fermentacyjnych i pokrycia innych potrzeb cieplnych oczyszczalni. W okresie wiosenno-letnio-jesiennym występuje nadwyżka biogazu, która może być z powodzeniem wykorzystywana jako paliwo do zasilania biogazowego zespołu ciepło- i prądotwórczego (rys. 4).

Strukturę wykorzystania biogazu w Oczyszczalni Ścieków do produkcji energii elektrycznej i ciepła w latach 2002-2005 zestawiono w tablicy 1 oraz na rysunku 5, a średnioroczne wykorzystanie biogazu do produkcji energii elektrycznej w tym okresie na rysunku 6.

W oparciu o przedstawione w tablicy 1 dane liczbowe można stwierdzić, iż w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie występuje duże zapotrzebowanie na ciepło technologiczne i do ogrzewania budynków oczyszczalni,



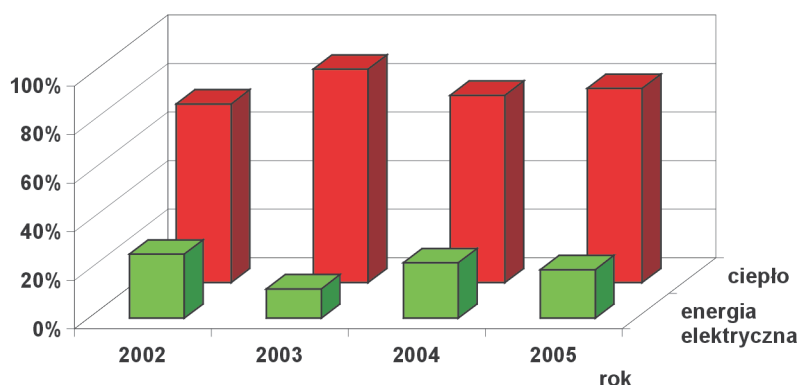
Rys. 4. Przykładowa struktura miesięcznego wykorzystania biogazu na potrzeby cieplne i do produkcji energii elektrycznej przez biogazowy zespół prądotwórczy w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w 2004 roku

Fig. 4. An example structure of monthly biogas use for thermal needs and for the production of electrical energy by the biogas power-generating set at the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in 2004

Tablica 1. Roczna struktura wykorzystania biogazu na potrzeby produkcji energii elektrycznej i ciepła w latach 2002-2005 w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

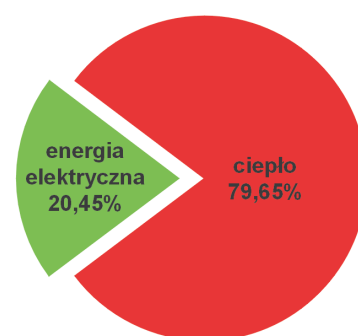
Table 1. Yearly structure of biogas utilization for the purposes of production of electrical energy and heat in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in the years 2002-2005

Rok / Year	Zużycie biogazu na potrzeby produkcji energii elektrycznej / <i>Biogas consumption for the purposes of electrical energy production</i> [m³]	Zużycie biogazu na potrzeby produkcji ciepła / <i>Biogas consumption for the purposes of heat generation</i> [m³]	Produkcja biogazu / <i>Biogas production</i> [m³]	Udział biogazu utylizowanego w zespole CHP / <i>Share of biogas utilized in the CHP set</i> [%]
2002	396 638	1 105 495	1 502 133	26,4
2003	168 994	1 225 460	1 394 454	12,1
2004	322 817	1 091 990	1 414 807	22,8
2005	313 678	1 253 820	1 567 498	20,0
Razem	1202 127	4 676 765	5 878 892	20,3



Rys. 5. Struktura wykorzystania biogazu do produkcji ciepła w kotłowni oraz energii elektrycznej przez biogazowy zespół prądotwórczy w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w latach 2002-2005

Fig. 5. Structure of biogas use for the generation of heat in the boiler house and the production of electrical energy by the biogas power-generating set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in the years 2002-2005



Rys. 6. Średnie wykorzystanie biogazu do produkcji energii elektrycznej w latach 2002-2005 w biogazowym zespole prądotwórczym w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Fig. 6. Average utilization of biogas for the production of electrical energy in the biogas power-generating set in the years 2002-2005 in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa



Rys. 7. Nowy zbiornik biogazu w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Fig. 7. A new gasholder in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa

i jedynie ok. 20% biogazu jest nadwyżką, którą można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej i ciepła w jednostce kogeneracyjnej z silnikiem biogazowym.

W oczyszczalniach o mniejszym zapotrzebowaniu ciepła nadwyżka biogazu może być większa, np. w Opolu na potrzeby technologiczne zużyto w 2001 roku ok. 1/3 ogólnej ilości wytworzonego tam biogazu [5].

Pożądane zmniejszenie zapotrzebowania oczyszczalni na ciepło technologiczne można osiągnąć głównie przez lepszą izolację komór fermentacyjnych, które zużywają obecnie dominującą część ogólnej ilości ciepła oraz przez wymianę tradycyjnego, metalowego zbiornika biogazu („dzwonowego” – uszczelnianego wodą) na nowoczesny, kulowy zbiornik gazu wykonany z tworzyw sztucznych. Obecnie trwa modernizacja części osadowej, gazowej i biologicznej Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w ramach Programu ISPA 2002 (m.in. budowana jest nowa, czwarta komora fermentacyjna, instalowany jest nowy zbiornik biogazu oraz układ odsiarczania biogazu).

4. Doświadczenia eksploatacyjne

Jak wspomniano wcześniej, w warunkach Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie biogazowy zespół prądotwórczy z silnikiem 8A20G jest eksploatowany tylko w okresach występowania nadwyżki biogazu w oczyszczalni ścieków tj. w okresie kwiecień–listopad. W ciągu tego okresu zespół może być eksploatowany w cyklu do 14 godzin pracy/dobę, łącznie przez około 2000 h/rok, ze średnią mocą elektryczną ok. 500 kW. Produkcję energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach lat 1998-2005 przedstawiono graficznie na rysunku 8, a czas pracy biogazowego zespołu ciepło- i prądotwórczego w rozbiciu na poszczególne lata podczas dotychczasowej jego eksploatacji w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie pokazano na rysunku 9.

Eksploatacja w dwóch pierwszych latach 1998-1999 prowadzona była w bardzo ograniczonym czasie, gdyż w tych latach wykonywane były jeszcze prace badawcze. Praktycznie niczym niezakłócona eksploatacja odbywała się w latach 2000-2002. W 2003 r. z powodu awarii komory fermentacyjnej oraz chłodnicy sprężonej mieszanki zespół

w latach 2002-2005 jest podany w Tabeli 1 i na Fig. 5, natomiast średni roczny użytek biogazu do produkcji energii elektrycznej w tym samym okresie jest przedstawiony na Fig. 6.

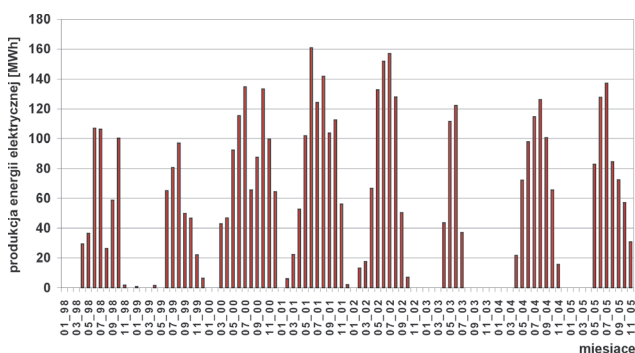
Można stwierdzić, na podstawie danych przedstawionych powyżej, że Oczyszczalnia Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie ma wysokie zapotrzebowanie na ciepło do wykorzystania w procesach i do ogrzewania obiektów, a jedynie 20% biogazu stanowi nadwyżkę, którą można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej i ciepła w jednostce kogeneracyjnej z silnikiem biogazowym.

W oczyszczalniach o mniejszym zapotrzebowaniu ciepła nadwyżka biogazu może być większa; na przykład, Oczyszczalnia Ścieków w Opolu w 2001 roku użyła ok. 1/3 całkowitego wytworzonego biogazu do celów technologicznych [5].

Żądane zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło może być osiągnięte przede wszystkim przez lepszą izolację komór fermentacyjnych, które zużywają obecnie dominującą część całkowitego ciepła oraz przez wymianę tradycyjnego, metalowego zbiornika biogazu („dzwonowego” – uszczelnianego wodą) na nowoczesny, kulowy zbiornik gazu wykonany z tworzyw sztucznych. Obecnie trwa modernizacja części osadowej, gazowej i biologicznej Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w ramach Programu ISPA 2002 (w tym budowana jest nowa, czwarta komora fermentacyjna, instalowany jest nowy zbiornik biogazu oraz układ odsiarczania biogazu).

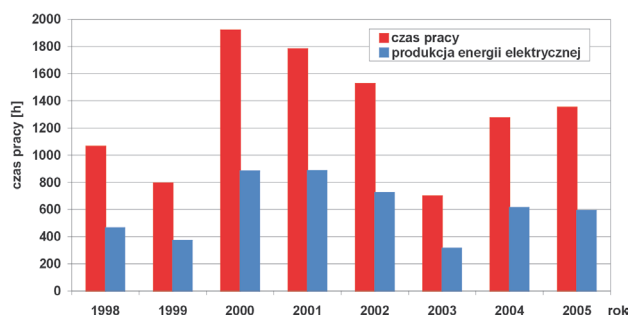
4. Operational experience

As has already been mentioned earlier, in the conditions of the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa the 8A20G engine heat and power-generating set is only operated in the period from April to November. During this period, the set can be operated in a cycle of up to 14 working hours/day, totaling approx. 2,000 hrs/year, with an average electric power of 500 kW. The production of electrical energy in particular months in the years 1998-2005 is depicted in Fig. 8, whereas the operation time of the heat and power-generating set, as broken down into particular years during its operation so far in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa is shown in Fig. 9.



Rys. 8. Miesięczna produkcja energii elektrycznej przez biogazowy zespół prądotwórczy w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w latach 1998-2005

Fig. 8. Monthly production of electrical energy by the biogas power-generating set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in the years 1998-2005



Rys. 9. Czas pracy biogazowego zespołu prądotwórczego i produkcja energii elektrycznej w latach 1998-2005 w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

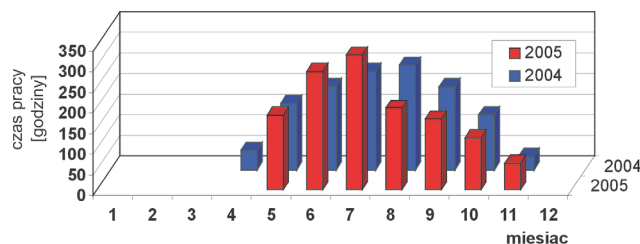
Fig. 9. Operation time of the biogas power-generating set and the production of electrical energy in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in the years 1998-2005

elektrociepłowniczy był eksploatowany w ograniczonym czasie i przepracował tylko ok. 700 h. Eksploatacja zespołu w latach 2004-2005 przebiegała bez zakłóceń, choć w oczyszczalni dało się zauważyć nieco mniejszą niż w poprzednich latach nadwyżkę biogazu, którą można w nim zużytkować.

Opierając się na doświadczeniach z lat 1998-2005 można stwierdzić, że dostępna obecnie w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie nadwyżka biogazu umożliwia eksploatację zespołu ciepło- i prądotwórczego przez około 2000 h rocznie. Przez zwiększenie wydajności procesów fermentacji osadów i zmniejszenie zużycia ciepła w oczyszczalni np. przez obniżenie minimalnej temperatury w komorach fermentacyjnych do 33°C oraz przez polepszenie ich izolacji cieplnej lub też poprzez zwiększenie sprawności wymienników ciepła woda technologiczna-osad fermentacyjny można ten czas wydawnie wydłużyć. Stosunkowo duża moc agregatu i możliwość gromadzenia biogazu w zbiorniku o dużej pojemności daje możliwość zagospodarowania całej nadwyżki biogazu w warunkach bardzo korzystnej cyklicznej eksploatacji zespołu prądotwórczego z dużym udziałem energii elektrycznej wytworzonej w godzinach szczytu energetycznego, co jest bardzo korzystne ekonomicznie. Ponadto cykliczna eksploatacja wydawnie zwiększa okres międzynaprawczy i trwałość zespołu prądotwórczego wyrażoną w latach kalendarzowych.

5. Aspekty ekonomiczne

Zastosowana w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie jednostka kogeneracyjna wytwarza energię elektryczną na pokrycie części potrzeb własnych oczyszczalni ścieków i zmniejsza ilość energii elektrycznej kupowanej przez oczyszczalnię od zewnętrznych dostawców. Ilość i wartość wyprodukowanej energii elektrycznej oraz korzyści ekonomiczne Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w latach 1998-2005 z tytułu eksploatacji zespołu prądotwórczego z silnikiem biogazowym zestawiono w tabeli 2 i na rysunku 11, a dane dotyczące udziału wyprodukowanej przez biogazowy zespół prądotwórczy energii elektrycznej do zakupionej od dostawców zewnętrznych w tabeli 3 i na rysunku 12.



Rys. 10. Porównanie miesięcznego czasu pracy biogazowego zespołu ciepło- o prądotwórczego w latach 2004 i 2005 w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Fig. 10. Comparison of the monthly operation time of the biogas heat and power-generating set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in 2004 and 2005

The operation in the first two years (1998-99) was conducted in a very limited time, since research work was still carried out in those years. Practically, an undisturbed operation took place in the years 2000-02. In 2003, due to a failure of the digestion chamber and the compressed mixture cooler the heat and power-generating set was operated in a limited time and only worked for approx. 700 hours. The operation of the set in 2004 proceeded undisturbed, though the plant generated a slightly smaller utilizable biogas surplus than in the previous years.

Based on the experience from the years 2000-2003 it can be stated that the biogas surplus presently available in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa is sufficient for the operation of the heat and power-generating set for approx. 2,000 hours yearly. Through the reduction of heat consumption in the Plant, e.g. by lowering the minimum temperature in the digestion chambers to 33°C and by improving their thermal insulation or by enhancing the efficiency of the process water-fermentation sludge heat exchangers this time could be substantially increased. A relatively high power of the unit and a capability of storing biogas in a high-capacity gasholder provides a possibility of utilizing the whole biogas surplus in the conditions of a very advantageous cyclical operation of the power-generating set with a large share of electrical energy generated during the power demand peak hours, which is economically very advantageous. Furthermore, the cyclical operation markedly increases the time between repairs and the durability of the power-generating set, as expressed in calendar years.

5. Economic aspects

The co-generation unit implemented in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa generates electrical energy to cover part of plant's own needs and reduces the amount of electricity purchased by the plant from external suppliers. The amount and value of electrical energy generated by the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa and economic profits gained in the years 1998-2005 by virtue of the operation of the biogas engine heat and power-generating set are summarized in Table 2 and in Fig. 11, while the data concerning the ratio of the electrical energy produced by the biogas power-generating set to the electri-

Tablica 2. Wybrane dane dotyczące eksploatacji zespołu prądotwórczego eksploatowanego w latach 1998-2005 w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie

Table 2. Selected data related to the work of the power-generating set operated in the years 1998-2005 in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa

Rok / Year	Czas pracy zespołu prądotwórczego [h/rok] / Power-generating set working time [h/year]	Produkcja energii elektrycznej [MWh/rok] / Electrical energy output [MWh/year]	Wartość wyprodukowanej energii elektrycznej [zł/rok] / Value of generated electrical energy [zł/year]	Średnie obciążenie [MW] / Average load [MW]	Korzyści ekonomiczne [zł/rok] / Economic profits [zł/year]	Średnie zużycie biogazu [m ³ /kWh] / Average biogas consumption [m ³ /kWh]	Średnioroczny stopień obciążenia zespołu [%] / Annual average degree of power-generating set [%]
1998	1 065	464	71 229	0,44	46 299	Brak danych	12,2
1999	795	371	67 958	0,47	44 173	Brak danych	9,18
2000	1 922	883	185 447	0,46	120 540	Brak danych	21,9
2001	1 784	884	203 695	0,50	132 402	0,54	20,46
2002	1 527	724	183 864	0,47	110 318	0,55	17,4
2003	698	314	83 708	0,45	50 225	0,54	8,0
2004	1 274	614	168 511	0,48	101 107	0,53	14,5
2005	1 352	593	165 685	0,44	99 411	0,53	15,4
Razem	10 417	4 848	1 130 097	0,46	704 475	0,54	14,9

* Korzyści ekonomiczne Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie po odliczeniu kosztów materiałów eksploatacyjnych i obsługi zespołu prądotwórczego.

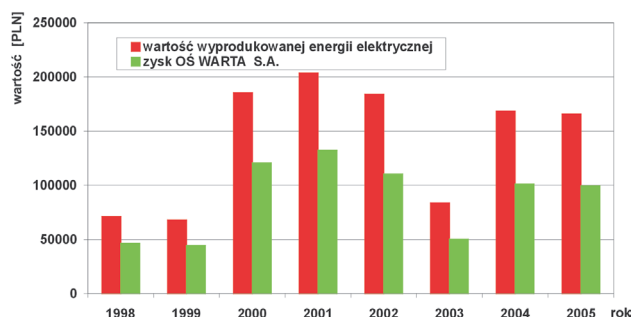
* Economic profits of the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa after deduction of the costs of consumables and power-generating set operation.

Jednostkowe, średnie w analizowanym okresie, zużycie biogazu na poziomie ok. 0,54 m³/kWh jest wyższe w stosunku do pomierzonego podczas badań jednostkowego zużycia biogazu zawierającego 65% CH₄ i wynoszącego 0,4 m³/kWh dla mocy znamionowej i wynika z pracy zespołu przy mniejszym obciążeniu podczas obciążania i odstawiania zespołu prądotwórczego charakteryzującym się zwiększonym zużyciem biogazu oraz okresowym zmniejszaniem się zawartości metanu w biogazie.

Z tablicy 3 oraz z rysunku 12 wynika, iż w warunkach Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie eks-

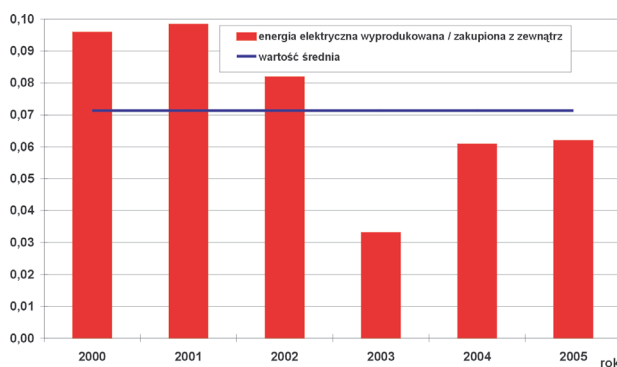
cal energy purchased from external suppliers is shown in Table 3 and in Fig. 12.

The unit biogas consumption at a level of approx. 0.54 m³/kWh, as the average in the period under analysis, is higher compared to that measured in the testing of the unit consumption of a biogas containing 65% CH₄ and amounting to 0.4 m³/kWh for the rated power, and results from the power-generating set operating at a lower load during being loaded and unloaded, which is characterized by an increased biogas consumption and a periodical decrease in the methane content of biogas.



Rys. 11. Wartość wyprodukowanej przez biogazowy zespół prądotwórczy energii elektrycznej oraz zysk z tego tytułu Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie za lata 1998-2005

Fig. 11. Value of electrical energy produced by the biogas power-generating set and the profit accrued from this in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa for the years 1998-2005



Rys. 12. Udział energii wyprodukowanej przez biogazowy zespół prądotwórczy w energii zakupionej przez Oczyszczalnię Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w latach 2000-2005

Fig. 12. Ratio of the electrical energy produced by the biogas power-generating set to the energy purchased by the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in the years 2000-2005

Tablica 3. Energia elektryczna wyprodukowana przez biogazowy zespół prądotwórczy i energia elektryczna zakupiona przez Oczyszczalnię Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w latach 2000-2005

Table 3. Electrical energy produced by the biogas power-generating set and electrical energy purchased by the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa in the years 2000-2005

Rok / Year	Energia elektryczna wyprodukowana przez biogazowy zespół prądotwórczy / <i>Electrical energy produced by the biogas power-generating set [MWh]</i>	Energia elektryczna zakupiona przez Oczyszczalnię Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie / <i>Electrical energy purchased by the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa [MW]</i>	Udział energii wyprodukowanej przez biogazowy zespół prądotwórczy w energii zakupionej przez Oczyszczalnię Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie / <i>Ratio of the energy produced by the biogas power-generating set to the electrical energy purchased by the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa [%]</i>
2000	883	9 208	9,6
2001	884	8 988	9,8
2002	724	8 848	8,2
2003	314	9 511	3,3
2004	614	10 111	6,1
2005	593	9 567	6,2
Razem	4 012	56 234	7,1

ploatacja biogazowego zespołu prądotwórczego, nawet przy ograniczonej czasowo niewielką nadwyżką biogazu do ok. 1500÷1800 h/rok, przyniosła znaczące efekty ekonomiczne wynikające z poprawy bilansu energetycznego zakładu. Średni udział energii wyprodukowanej przez biogazowy zespół prądotwórczy w energii zakupionej przez oczyszczalnię od dostawców zewnętrznych policzony dla lat 2000-2005 wyniósł ok. 7,1%, przy czym w miesiącach letnich przekraczał 20% (rys. 13).

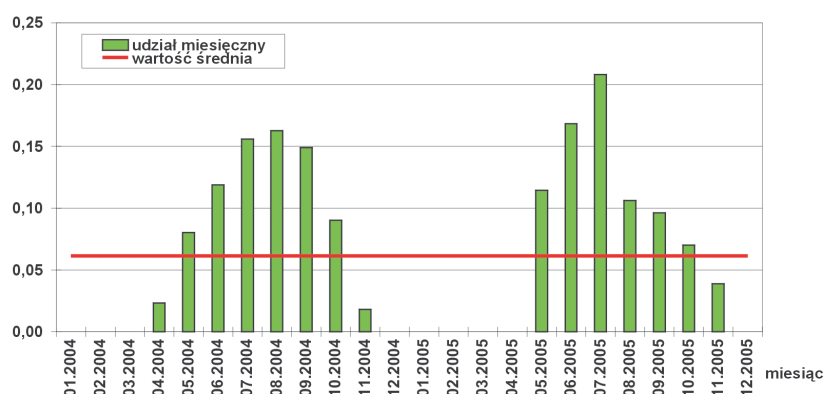
Zakup – na warunkach preferencyjnego kredytu – biogazowego zespołu prądotwórczego i jego eksploatacja w oczyszczalni ścieków, dysponującej tylko okresowo nadwyżką biogazu pozyskiwanego jako produkt uboczny fermentacji ścieków w zamkniętych komorach fermentacyjnych, jest przedsięwzięciem opłacalnym i znaczącym w bilansie energetycznym zakładu [1–3]. Efekty te są szczególnie znaczące po upływie 5-letniego okresu spłaty kredytu, a to wskazuje, że szczególnie atrakcyjne ekonomicznie są zespoły o dużej trwałości.

Dla eksploatowanego w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie biogazowego zespołu elektrociepłowniczego z silnikiem 8A20G, po okresie spłaty kredytu i odsetek, jednostkowe koszty wytworzenia 1 kWh energii elektrycznej stanowią wg aktualnych cen jedynie ok. 10% kosztu zakupu energii elektrycznej do celów przemysłowych. Przyjmując aktualny poziom cen można stwierdzić, że już po okresie ok. 6 lat eksploatacji zespołu oszczędności uzyskane jedynie z tytułu wytworzonej energii elektrycznej są porównywalne z kosztem zakupu nowego zespołu prądotwórczego. Każdorazowy wzrost cen zakupu energii

It follows from Table 3 and Fig. 12 that the operation of the biogas power-generating set under the conditions of the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa, though limited to approx. 1,500÷1,800 hrs/year due to a small biogas surplus, brought about significant economic effects to the company. The average ratio of the electrical energy produced by the biogas power-generating set to the electrical energy purchased by the plant from the external suppliers, as calculated for the years 2000-2005, amounts to approx. 7.1%, while exceeding 20% in summer months (Fig. 13).

The purchase – on the conditions of a preferential credit – of a biogas power-generating set and its operation in a waste treatment plant that only has a periodical surplus of biogas at its disposal, which is acquired as a byproduct of sludge fermentation in closed digestion chambers, is an undertaking that is profitable and significant in the plant's energy balance

energia wytworzona / energia zakupiona



Rys. 13. Przykładowe miesięczne udziały energii elektrycznej wyprodukowanej przez biogazowy zespół prądotwórczy w energii elektrycznej zakupionej u dostawców zewnętrznych przez Oczyszczalnię Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie w latach 2004-2005

Fig 13. Examples of monthly ratios of the electrical energy produced by the biogas power-generating set to the electrical energy purchased by the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa from external suppliers in the years 2004-2005

elektrycznej będzie wpływać w sposób istotny na zwiększenie efektywności ekonomicznej eksploatacji biogazowego zespołu prądowłórczego. Analiza efektów ekonomicznych wykazuje jednoznacznie, że wyposażenie oczyszczalni ścieków w gazowy zespół ciepło- i prądowłórczy (i innych zakładów dysponujących biogazem oraz innymi odpadowymi paliwami gazowymi np. gazem generatorowym otrzymywanym w wyniku zgazowania odpadów organicznych) jest przedsięwzięciem w pełni uzasadnionym ekonomicznie.

Ciepło odpadowe odzyskiwane w wymiennikach spaliny–woda i woda–woda przyczynia się także w sposób znaczący do zwiększenia osiąganych efektów ekonomicznych z tytułu eksploatacji biogazowego zespołu CHP, gdyż ciepło to pozwala na częściowe zastąpienie pracy kotłowni biogazowej, a tym samym poprzez zwiększenie nadwyżki biogazu – do zwiększenia ilości wytworzonej energii elektrycznej.

Od chwili uruchomienia do końca 2005 roku zespół ciepło- i prądowłórczy przepracował w okresach występowania nadwyżki biogazu 10417 godzin, wytwarzając 4848 MWh energii elektrycznej (średnia moc elektryczna – 0,46 MW) oraz ponad 4100 MWh ciepła, zużywając średnio 0,54 m³ biogazu na wytworzenie 1 kWh energii elektrycznej. Wartość wytworzonej energii elektrycznej od chwili zainstalowania zespołu prądowłórczego wyniosła ponad 1130000 zł, co już znacznie przekroczyło koszt zakupu nowego zespołu. Do wytworzenia takiej ilości energii w tradycyjnym zespole prądowłórczym napędzanym silnikiem wysokoprężnym niezbędny byłby zakup i zużycie ok. 975 ton oleju napędowego.

Jednostkowe eksploatacyjne zużycie oleju smarującego MOBIL Pegasus 710 (poprzednio Estor PX40) obliczone dla całego dotychczasowego okresu eksploatacji (bez uwzględnia wymiany oleju) kształtuje się na poziomie 0,25 g/kWh (0,14 dm³/h).

Koszt naprawy głównej silnika oszacowany przez producenta i zaplanowany przez niego po przepracowaniu przez silnik ok. 40000 h wynosi ok. 150000 zł [2]. Zakres naprawy głównej silnika gazowego przewiduje m.in.: wymianę tulei cylindrowych, wymianę tłoków wraz z pierścieniami, wymianę zaworów, wymianę wszystkich łożysk, wymianę kompletu uszczelnień, szlifowanie czopów wału korbowego na podwymiar, wymianę wszystkich wkładów filtrów (gaz, powietrze, olej), mycie turbosprężarki i chłodnicy mieszanki palnej, wymianę oleju, wymianę świec zapłonowych.

Dotychczasowe pozytywne wyniki eksploatacji silnika biogazowego 8A20G napędzającego zespół prądowłórczy dowodzą, iż silnik ten jest niezawodny, tani w eksploatacji, nie sprawia istotnych trudności eksploatacyjnych. Pozwala to zmniejszyć o ok. 10% ilość energii kupowanej w ciągu roku przez oczyszczalnię od zewnętrznych dostawców. Duża efektywność ekonomiczna zespołu CHP zastosowanego w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie jest konsekwencją faktu, że analizy efektów ekonomicznych zrealizowanego projektu nie obciąża się kosztami zakupu paliwa (biogazu), który w oczyszczalni jest ubocznym produktem procesu fermentacji osadów ściekowych.

[1–3]. These effects are particularly significant after the expiry of the credit repayment period, which points out to the fact that high-durability sets are of particular economic interest.

For the biogas heat and power-generating set with the 8A20G engine, operated at the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa – after the credit and interest repayment period the units costs of generation of 1 kWh of electrical energy account for only approx. 10% of the purchasing cost of electrical energy for industrial purposes. Assuming the current prices level it can be stated that as early as after about 6 years of operation of the power-generating set the savings gained from the generated electrical energy alone will be comparable with the cost of purchasing a new power-generating set. Each increase in the purchasing prices of electrical energy will substantially contribute to an increase in the economic effectiveness of the operation of the biogas power-generating set. The analysis of the economic effects clearly shows that fitting a waste treatment plant (and other plants having biogas or other waste fuel gases, such as generator gas obtained from organic waste gasification, available) with a gas heat and power-generating set is an undertaking that is fully economically justifiable.

Also, the waste heat recovered in the combustion gas-water and water-water heat exchangers contribute significantly to increasing the economic effects achieved from the operation of the biogas CHP set, as this heat can be partially substituted for biogas boiler-room operation; thus, by increasing the biogas surplus, it increases the amount of electrical energy generated.

Since its startup until the end of 2005, the heat and power-generating set worked in total 10,417 hours in the periods of a biogas surplus to generate 4,848 MWh of electrical energy (with an average electric power of 0.46 MW) and more than 4,100 MWh of heat, while consuming on average 0.54 m³ of biogas per 1 kWh of electrical energy. The value of electrical energy generated since the time of power-generating set installation has amounted to over PLN 1,130,000, which has already exceeded by far the purchasing cost of a new set. For the generation of this amount of energy in a traditional generating set driven by a diesel engine the purchase and consumption of approx. 975 tons of diesel oil would have been necessary.

The unit operational consumption of MOBIL Pegasus 710 (previously Estor PX40) lubricating oil, as calculated for the whole period of operation to date (without allowing for oil exchange) is around the level of 0.25 g/kWh (0.14 dm³/h).

The cost of a major repair of the engine, as estimated by the manufacturer and planned by him after about 40,000 hours of engine operation, is approx. 150,000 zł [2]. The scope of the major repair of the gas engine includes: the replacement of the cylinder sleeves, replacement of the pistons with the rings, replacements of the valves, replacement of all bearings, replacement of the set of seals, undersize grinding of crankshaft pins, replacement of all filter elements (for gas, air and oil), washing of the turbocompressor and the air-fuel mixture cooler, oil change, and the replacement of spark plugs.

6. Wnioski z dotychczasowej eksploatacji

- Biogaz pozyskiwany w oczyszczalni ścieków jako produkt uboczny podczas fermentacji osadów ściekowych jest cennym paliwem, które może być efektywnie wykorzystane w miejscu jego pozyskania do zasilania generatorów ciepła i prądotwórczych napędzanych silnikami gazowymi.
- Stosowanie biogazowych zespołów ciepło- i prądotwórczych w oczyszczalniach ścieków jest godnym polecenia działaniem proekologicznym, gdyż pozwala wyeliminować emisję metanu do atmosfery i pozwala osiągnąć znaczące korzyści ekonomiczne.
- Szczególnie efektywnym ekonomicznie sposobem wykorzystania biogazu jest skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła, jak to ma miejsce od wielu lat w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie.
- Eksploatowany w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie biogazowy zespół ciepło- i prądotwórczy z silnikiem 8A20G nie sprawia trudności eksploatacyjnych i jest dotychczas silnikiem niezawodnym.
- Dotychczasowa ośmioletnia eksploatacja przemysłowa biogazowego zespołu CHP z silnikiem 8A20G, nawet ograniczona czasowo dostępną nadwyżką biogazu do ok. 1500÷1800 h/rok, jak to ma miejsce w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie, przyniosła znaczące efekty ekonomiczne z jego eksploatacji przewyższające znacznie koszt zakupu takiego zespołu.

Literatura/Bibliography

- [1] Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J.: Techniczne i ekonomiczne aspekty eksploatacji biogazowego zespołu CHP w oczyszczalni ścieków w Częstochowie. Materiały VI. Międzynarodowej Konferencji Naukowej SILNIKI GAZOWE'2003 – konstrukcja, badania, eksploatacja – paliwa odnawialne. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 155, Mechanika 25, Politechnika Częstochowska 2003.
- [2] Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J., Krzyżanowski K.: Utylizacja biogazu w Oczyszczalni Ścieków WARTA S.A. w Częstochowie. Ciepłotechnika. TURBOMACHINE-RY 26/2004. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej 944. IV Krajowa Konferencja Naukowa REGOS'2004, Racjonalne Wykorzystanie Energii w Gospodarcie Wodno-Ściekowej. Łódź 2004.
- [3] Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J.: Energetyczne wykorzystanie biogazu w oczyszczalni ścieków WARTA S.A. w Częstochowie. INSTAL (249) 3/2005. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Techniki Instalacyjnej INSTAL. Ośrodek Informacji Technika instalacyjna w budownictwie. Warszawa, 2005.
- [4] Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J.: A Summary of the Seven Years of Operation of the Biogas Heat and Power-Generating Set in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa. Congress Proceedings (CD-PTNSS P05-C126). s. 6, rys. 9, tabl. 1, poz. bibl. 4 and Book of Abstracts s. 97-98. International Congress on Combustion Engines. PTNSS KONGRES – 2005. The Development of Combustion Engines. Szczyrk, 25-28.09.2005.
- [5] Skorek J., Tańczuk M., Chyliński S.: Analiza techniczno-ekonomiczna eksploatacji układu kogeneracyjnego na bazie silnika zasilanego biogazem w Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Opolu. Materiały II Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej ENERGETYKA GAZOWA, Prace naukowe, Monografie, Konferencja, Z.9, T.2, Politechnika Śląska 2002.

The positive results of operation of the 8A20G power-generating set driving engine obtained so far have proved that this engine is reliable, economical in operation and poses no significant operational problems. This makes it possible to reduce the amount of electrical energy purchased by the plant from external suppliers by approx. 10%. The high effectiveness of the CHP set implemented in the Water Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa is a consequence of the fact that the analysis of the economic effects of the project carried out are not burdened with the costs of purchasing fuel (biogas), which is a byproduct of the sludge digestion process in the plant.

6. Conclusions drawn from the operation hitherto

- Biogaz acquired in a waste treatment plant as a byproduct during sewage sludge fermentation is a valuable fuel that can be effectively utilized at the place of its acquisition for supplying heat and power generators driven by gas engines.
- The use of biogas heat and power-generating sets in waste treatment plants is an advisable pro-ecological activity, as it makes it possible to eliminate the methane emission to the atmosphere and gain significant economic profits.
- A particularly economically effective method of biogas utilization is the co-generation of electrical energy and heat, as it has been for many years in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa.
- The 8A20G engine biogas heat and power-generating set operated in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa does not cause any operational difficulties and has so far proved to be a reliable engine.
- The eight-year industrial operation of the biogas CHP set with the 8A20G engine so far, though limited in time by the available biogas surplus to approx. 1,500÷1,800 hrs/years (as has been in the Waste Treatment Plant of WARTA S.A. in Częstochowa) has brought about substantial economic effects, considerably exceeding the cost of purchasing of such a set.

Artykuł recenzowany

* Prof. zw. dr hab. inż. Karol Cupiał – profesor na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej.

Prof. Karol Cupiał, DSc. MEng. – professor at the Faculty of Mechanical Engineering and Information Technology of the Częstochowa University of Technology.



Dr inż. Adam Dużyński – adiunkt, zastępca dyrektora Instytutu Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania Politechniki Częstochowskiej.

Mr. Adam Dużyński, PhD. MEng. – Vice-director of the Institute of Internal Combustion Engines and Control Engineering at the Częstochowa University of Technology.



Dr inż. Janusz Grzelka – adiunkt, kierownik Zakładu Pomiarów i Sterowania w Instytucie Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania Politechniki Częstochowskiej.

Mr. Janusz Grzelka, PhD. MEng. – Head of Division of Machines Measurements and Control at the Częstochowa University of Technology.

