

## Silniki spalinowe zasilane biogazem jako perspektywa polskiej energetyki rozproszonej

### Biogas IC engines as a perspective of Polish decentralized power engineering

Maciej Ziółkowski, Andrzej Balcerski

Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Silników Spalinowych i Sprężarek  
80-952 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12, e-mail: mziolkow@mech.pg.gda.pl

**Słowa kluczowe:** siłownie spalinowe, silniki gazowe, biogaz, energetyka rozproszona

#### Abstrakt

W referacie zamieszczono charakterystykę wykorzystania biogazu, jako źródła energii odnawialnej, do zasilania agregatów kogeneracyjnych z silnikami spalinowymi. Wskazano na podobieństwa tego typu instalacji do konstrukcji stosowanych w okrętownictwie i zaproponowano wykorzystanie doświadczeń projektowych i eksploatacyjnych z obszaru okrętownictwa do rozwoju polskiej energetyki rozproszonej opartej na elektrociepłowniach zasilanych biogazem.

**Key words:** power plants, gas engines, biogas, decentralized power engineering

#### Abstract

The paper presents description of biogas utilization as a renewable energy source used for fueling cogeneration generating sets with IC engines. There are presented similarities of such systems to marine power plants and connected with this some propositions about utilization marine knowledge and experiences for developing polish decentralized engineering with biogas power plants.

#### Wstęp

Prezentowany artykuł ma na celu zwrócenie uwagi na tematykę lądowych siłowni spalinowych zasilanych biogazem, będącym jednym ze źródeł energii odnawialnej (OZE), budowanych i eksploatowanych w Polsce. Siłownie lądowe z tłokowymi silnikami spalinowymi konstrukcyjnie wywodzą się z siłowni bądź elektrowni okrętowych, które pod względem sprawności energetycznej stanowią obecnie najbardziej rozwinięte systemy energetyczne. Wieloletnie doświadczenia morskie w budowie i eksploatacji siłowni spalinowych zapoczątkowały również na lądzie w postaci modułowych elektrociepłowni zasilanych olejem napędowym lub gazem. W Polsce w ostatnich latach pojawiło się wiele bardziej lub mniej złożonych tego typu instalacji, zasilanych biogazem. Niniejszy artykuł pre-

zentuje możliwości wykorzystania wiedzy i doświadczenia osób związanych z projektowaniem i eksploatacją siłowni okrętowych do rozwijania problematyki projektowania i eksploataowania biogazowych siłowni lądowych w Polsce.

#### Wykorzystanie OZE w polskiej energetyce

Polska energetyka w wysokim stopniu oparta jest na nieodnawialnych źródłach energii pierwotnej. Około 70% produkowanej energii pochodzi z węgla kamiennego i brunatnego. Rozwój gospodarczy i wzrost stopy życiowej Polaków wiąże się z szybkim wzrostem zapotrzebowania głównie na energię elektryczną. Wymaga to dostosowania mocy polskich elektrowni, co oznacza budowę nowych konwencjonalnych elektrociepłowni, jak i systemów wykorzystujących odnawialne źródła energii pierwotnej.

Rząd Polski przyjął w 2000 roku szereg dokumentów istotnych dla rozwoju energetyki, wśród nich dokument „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej”. Określone w tym dokumencie cele to zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym kraju z 2,4% w 2001 roku do 7,5% w 2010 roku i do 14% w 2020 roku. Raport Ministerstwa Gospodarki [1] odnośnie aktualnej realizacji celów w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii wskazuje, że w 2007 roku udział OZE w bilansie wytworzonej energii elektrycznej wyniósł jedynie 3,5%. W tabeli 1 przedstawiono dane o łącznej mocy elektrowni zasilanych z odnawialnych źródeł energii, natomiast w tabeli 2 zamieszczono ilość wyprodukowanej energii elektrycznej z poszczególnych źródeł.

Przedstawione w powyższych tabelach dane wskazują na systematyczny rozwój wykorzystania źródeł energii odnawialnej i rosnący ich udział

w krajowym bilansie produkcji energii elektrycznej. Najślabszy rozwój obserwowany jest w zakresie wykorzystywania energetyki wodnej. Natomiast wyraźny rozwój widoczny jest w zakresie instalacji na biomasę i elektrowni wiatrowych. Pomimo iż dynamika wzrostu liczby elektrowni wiatrowych jest większa niż w przypadku instalacji na biomasę, to należy pamiętać, iż możliwość wykorzystania potencjału zainstalowanej mocy jest w tym przypadku bardzo ograniczona ze względu na uzależnienie od aktualnej siły wiatru. Graficzną prezentację stopnia wykorzystania mocy zainstalowanej przedstawiono na rysunku 1. Wykorzystanie mocy znamionowej określono poprzez współczynnik określany jako stosunek ilości wyprodukowanej energii w danym roku do łącznej mocy zainstalowanej w danym rodzaju energetyki zasilanym z OZE.

Największe możliwości wykorzystania mocy zainstalowanej dają instalacje na biomasę i biogaz.

Tabela 1. Moc zainstalowana w elektrowniach wytwarzających energię elektryczną ze źródeł odnawialnych [1]

Table 1. The nominal power of power plants basing on renewable sources [1]

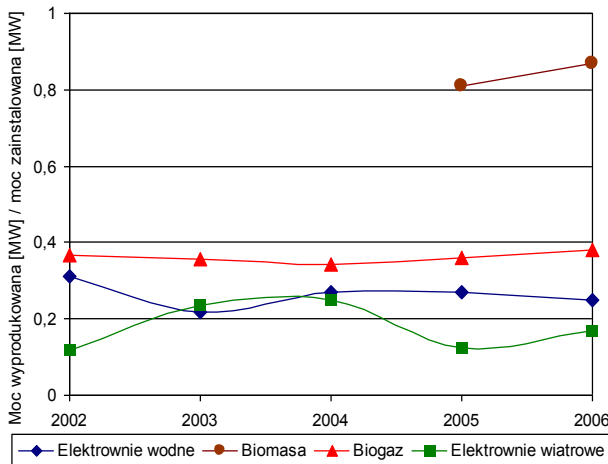
Źródło energii odnawialnej	Moc zainstalowana [MW]					
	2002	2003	2004	2005	2006	I poł. 2007
<b>Elektrownie wodne</b> (w tym)	<b>840</b>	<b>873</b>	<b>881</b>	<b>922</b>	<b>931</b>	<b>932</b>
Duże elektrownie wodne $\geq 10$ MW	630	637	638	664	666	670
Małe elektrownie wodne $\leq 10$ MW	210	236	243	258	265	262
<b>Biomasę – Elektrownie i elektrociepłownie na biomasę</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>52</b>	<b>190</b>	<b>239</b>	<b>265</b>
<b>Biogaz</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>43</b>
Gaz wysypiskowy	15	15	17	24	27	30
Gaz z oczyszczalni ścieków	–	2	3	7	7	13
Biogaz rolniczy	–	1	2	1	1	1
<b>Elektrownie wiatrowe</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>124</b>	<b>173</b>	<b>240</b>
<b>Ogółem</b>	<b>915</b>	<b>967</b>	<b>1020</b>	<b>1269</b>	<b>1378</b>	<b>1480</b>

Tabela 2. Ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w poszczególnych technologiach odnawialnych źródeł energii [1]

Table 2. Quantities of electrical energy produced from renewable sources [1]

Źródło energii odnawialnej	Ilość wyprodukowanej energii [GWh]					
	2002	2003	2004	2005	2006	I poł. 2007
<b>Elektrownie wodne</b> (w tym)	<b>2279</b>	<b>1672</b>	<b>2081</b>	<b>2176</b>	<b>2030</b>	<b>1214</b>
Duże elektrownie wodne $\geq 10$ MW	1432	998	1191	1330	1227	688
Małe elektrownie wodne $\leq 10$ MW	847	673	890	846	803	526
<b>Biomasę – Elektrownie i elektrociepłownie na biomasę</b>	<b>379</b>	<b>398</b>	<b>604</b>	<b>1345</b>	<b>1818</b>	<b>994</b>
<b>Biogaz</b>	<b>48</b>	<b>56</b>	<b>66</b>	<b>104</b>	<b>117</b>	<b>70</b>
Gaz wysypiskowy	48	45	50	74	80	46
Gaz z oczyszczalni ścieków	b.d.	8	12	30	35	23
Biogaz rolniczy	b.d.	3	4	1	2	1
<b>Elektrownie wiatrowe</b>	<b>61</b>	<b>124</b>	<b>142</b>	<b>135</b>	<b>257</b>	<b>136</b>
<b>Ogółem</b>	<b>2767</b>	<b>2250</b>	<b>2893</b>	<b>3760</b>	<b>4222</b>	<b>2514</b>

Ponadto w odróżnieniu od elektrowni wiatrowych instalacje na biomasę mogą pracować w systemie ciągłym, co oznacza że mogą być jednym ze stałych elementów bilansu energetycznego kraju. Drugim ważnym aspektem tych instalacji jest to, że oprócz energii elektrycznej wytwarzane jest w nich ciepło (nieuwzględnione w prezentowanych tabelach).



Rys. 1. Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej w elektrowniach zasilanych z OZE w Polsce w latach 2002–2006

Fig. 1. Coefficient of nominal power utilisation of Polish renewable source power plants in 2002–2006

## Potencjał źródeł biogazu

Istotną część energetyki wykorzystującej biomasę jako źródło energii stanowią szeroko opisywane instalacje zasilane biogazem [2, 3, 4, 5]. Są to głównie kotły gazowe i agregaty kogeneracyjne z silnikami spalinowymi. Zasilane są one biogazem pochodzącym głównie z oczyszczalni ścieków i wysypisk śmieci. Innymi źródłami biogazu mogą być biogazownie rolnicze oraz miejskie, te pierwsze jednak, ze względu na silne rozdrobnienie rolnictwa i brak ukierunkowania produkcji rolnej na biomasę energetyczną, są w Polsce słabo rozwinięte. Natomiast biogazownie miejskie mają sens tylko w przypadku stosowania pełnej segregacji odpadów, która w Polsce niestety nie jest jeszcze realizowana.

Biogaz jest jednym z efektów naturalnych procesów zachodzących w substancji organicznej. Jest to gaz składający się w większości z metanu, samoczynnie uwalniany się ze wszelkich składowisk zawierających substancje organiczne. Polska, jako członek Uni Europejskiej, ma obowiązek stosować się do zaleceń Dyrektywy COM 97/105 z dnia 5 marca 1997 r.:

- akumulacja i migracja gazu wysypiskowego winna być kontrolowana;
- biogaz powinien być gromadzony, musi być poddany obróbce i zużyty, jeżeli zgromadzony gaz nie nadaje się do produkcji energii, musi być spalony, gromadzenie, obróbka i wykorzystanie gazu powinno być prowadzone w sposób minimalizujący szkody dla środowiska i zdrowia ludzkiego.

Ta sama dyrektywa zakłada, że do roku 2010 należy zredukować emisję gazu wysypiskowego do 25% całkowitej emisji z 1993 roku.

W Polsce zarejestrowanych jest 1049 zorganizowanych składowisk odpadów komunalnych [2]. Odzysk energii elektrycznej i cieplnej realizowany jest w bardzo małej liczbie obiektów (32 obiekty, co stanowi zaledwie 3,05%). W tabeli 3 zaprezentowano zestawienie polskich składowisk odpadów komunalnych w poszczególnych województwach, natomiast w tabeli 4 przedstawiono zestawienie wysypisk, na których prowadzone jest zorganizowane odgazowywanie złoza.

Dane w poniższych tabelach wskazują na to, że instalacje odgazowania są zainstalowane na ok. 1/3 składowisk, z czego utylizacja biogazu realizowana jest tylko w kilku procentach ogółu składowisk. Dane te jednoznacznie wskazują na możliwości zwiększenia ilości instalacji energetycznych zasilanych biogazem wysypiskowym zarówno tam, gdzie istnieje już infrastruktura do gromadzenia gazu, jak również tam, gdzie należy ją wybudować. Średni czas eksploatacji złoza z punktu widzenia pozyskiwania biogazu wynosi 20 lat.

Pewną trudnością w zastosowaniu pełnej kogeneracji podczas spalania biogazu wysypiskowego jest ograniczone zapotrzebowanie na energię cieplną najczęściej związane z ogrzewaniem i ciepłą wodą w budynku administracji wysypiska. Ze względu na usytuowanie wysypisk z dala od osiedli mieszkaniowych transport ciepła jest nieopłacalny. Istnieją jednak rozwiązania techniczne umożliwiające zagospodarowanie ciepła odpadowego z agregatów kogeneracyjnych. Są to m.in.:

- wykorzystanie turbosprężarek doładowujących, dodatkowo napędzających prądnice;
- zastosowanie dodatkowych niewielkich turbozespołów prądotwórczych napędzanych spalinami pobieranymi za turbosprężarką;
- wykorzystanie układów turbinowych z czynnikiem niskowrzącym w obiegu cieplnym, w którym ciepło odpadowe z silnika spalinowego byłoby wykorzystywane jako górne źródło ciepła.

Innym rozwiązaniem, stosowanym tam, gdzie z różnych względów nie można zastosować agregatów kogeneracyjnych, jest technologia rozwijana obecnie w Szwecji, polegająca na produkcji biogazu, usuwaniu z niego dwutlenku węgla i dodawaniu

niemalże czystego metanu do miejskiej instalacji gazowej.

Drugim głównym źródłem biogazu w Polsce, które ze względu na wymogi ochrony środowiska należy zagospodarować, są oczyszczalnie ścieków.

Tabela 3. Składowiska odpadów komunalnych według województw w 2004 roku [2]

Table 3. Municipal waste dumps in polish provinces in 2004 [2]

Województwa	Składowiska zorganizowane			
	Czynne		O zakończonej eksploatacji	
	Liczba	Powierzchnia [ha]	Liczba	Powierzchnia [ha]
Dolnośląskie	122	359,1	6	16,6
Kujawsko-pomorskie	70	227,3	1	1,3
Lubelskie	125	222,4	7	13,1
Lubuskie	33	123,1	2	3,8
Łódzkie	44	185,7	7	26,5
Małopolskie	37	90,8	6	7,3
Mazowieckie	90	282,4	8	10,1
Opolskie	45	259,4	2	5,5
Podkarpackie	49	123,7	7	5,9
Podlaskie	83	146,9	2	6,2
Pomorskie	47	244,0	15	10,6
Śląskie	41	158,9	5	26,9
Świętokrzyskie	30	80,1	1	0,6
Warmińsko-mazurskie	66	322,1	9	18,3
Wielkopolskie	112	345,4	4	7,8
Zachodniopomorskie	55	213,8	6	11,9
<b>Polska</b>	<b>1049</b>	<b>3385,1</b>	<b>88</b>	<b>172,4</b>

Tabela 4. Odgazowanie składowisk odpadów komunalnych według województw w 2004 roku [2]

Table 4. Generation of biogas in municipal waste dumps in Polish provinces in 2004 [2]

Województwa	Liczba składowisk z instalacją odgazowania				
	Ogółem	W tym z gazem uchodzącym do atmosfery			
		Razem	W tym utylizowanym przez spalanie		
			Bez odzysku energii	Z odzyskiem energii cieplnej	Z odzyskiem energii elektrycznej
Dolnośląskie	22	21	–	–	1
Kujawsko-pomorskie	14	11	–	1	2
Lubelskie	0	0	–	–	–
Lubuskie	10	9	–	–	1
Łódzkie	7	3	1	–	3
Małopolskie	8	6	1	–	1
Mazowieckie	6	3	–	1	3
Opolskie	17	16	1	–	–
Podkarpackie	19	16	2	–	1
Podlaskie	3	3	–	–	–
Pomorskie	10	7	–	1	2
Śląskie	20	13	3	1	4
Świętokrzyskie	2	1	–	–	1
Warmińsko-mazurskie	9	7	1	1	1
Wielkopolskie	39	35	1	–	3
Zachodniopomorskie	21	17	–	–	4
<b>Polska</b>	<b>207</b>	<b>168</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>27</b>





Odwodnione osady z komór fermentacyjnych wykorzystywane są do nawożenia upraw wierzby energetycznej, zakładanych na obszarze wokół oczyszczalni. Wierzba ta będzie spalana w planowanym dodatkowym bloku energetycznym wyposażonym w kotły na biomasę.

Przykładem dużej instalacji biogazowej współpracującej z produkcją przemysłową jest biogazownia na terenie Gorzelnicy Liszkowo. Schemat uruchomionej w tym roku instalacji przedstawiono na rysunku 3.

Instalacja jest przykładem rozbudowanego systemu przemysłowego, w którym produkcja biogazu podnosi rentowność produkcji poprzez wykorzystanie własnego źródła energii elektrycznej i ciepłej oraz poprzez eliminację kosztów związanych z utylizacją wywaru (redukcja odoru i 50% suchej masy) i emisją wiążącą się z produkcją ciepła technologicznego. W elektrociepłowni zasilanej biogazem zainstalowano dwa agregaty kogeneracyjne o mocy elektrycznej 1063 kW i 599 kW ciepłej każdy. Są to obecnie największe w Polsce tłokowe silniki spalinowe zasilane biogazem. Należy zwrócić uwagę na zastosowany w tym przypadku rozwinięty układ utylizacji ciepła odpadowego silników spalinowych wykorzystywanego do produkcji pary i podgrzewania wody kotłowej i komór fermentacyjnych. Ciepło spalin wylotowych wykorzystywane jest w utylizacyjnym kotle parowym zapewniającym pokrycie 60% zapotrzebowania na parę technologiczną w gorzelnicy. Natomiast do utylizacji ciepła chłodzenia silników i oleju smarującego wykorzystywane są płytowe wymienniki ciepła.

## Podsumowanie

Zgodnie z opisywanym we wstępie programem rozwoju polskiej energetyki zasilanej z OZE, osiągnięcie wymaganego udziału tego sektora energetyki będzie związane z rozwijaniem technologii wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Ocenia się, że największy potencjał leży w energetyce biomasowej, w tym również w wykorzystaniu biogazowni na wysypiskach śmieci i w oczyszczalniach ścieków, gdzie utylizacja biogazu jest wymagana ze względu na ochronę środowiska naturalnego.

Zaprezentowane przykłady pokazują, iż rozwój polskiej energetyki biogazowej spowodował nie tylko zwiększenie liczby instalacji, ale również

wielkości montowanych agregatów kogeneracyjnych. Elektrociepłownie biogazowe o mocy elektrycznej rzędu kilku MW umożliwiają wejście w „zakres mocy” lądowych elektrowni gazowych, które technologicznie wywodzą się z instalacji okrętowych. Są to całościowe konstrukcje z rozbudowanymi systemami utylizacji ciepła odpadowego neutralizacji szkodliwych składników gazów spalinowych, których opłacalność (głównie inwestycyjna) ogranicza ich zastosowanie do instalacji o dużej mocy.

Realizacja polskiej polityki rozwoju energetyki opartej na odnawialnych źródłach energii może stanowić obszar zainteresowania szeroko rozumianego środowiska naukowego, związanego ze spalinowymi siłowniami okrętowymi. Wiąże się to z zagadnieniami dotyczącymi np. doboru źródeł energii elektrycznej czy głębokiej utylizacji ciepła odpadowego. Ponadto daje to możliwość zwiększenia uniwersalności kształcenia przyszłej kadry projektantów i operatorów tego typu obiektów. Dodatkowo rozwój energetyki rozproszonej opartej na lądowych siłowniach biogazowych może stanowić atrakcyjne miejsce zatrudnienia dla ludzi z doświadczeniem zdobytym na morzu.

## Bibliografia

1. Raport zawierający analizę realizacji celów ilościowych i osiągniętych wyników w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii. Załącznik do obwieszczenia Ministra Gospodarki z dnia 21.04.2008. Monitor Polski nr 51 poz. 457.
2. Rocznik ochrony środowiska. GUS, Warszawa 2005.
3. MIKIELEWICZ J., CIEŚLIŃSKI J. T.: Niekonwencjonalne urządzenia i systemy konwersji energii. Wyd. PAN Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Warszawa 1999.
4. GRONOWICZ J.: Niekonwencjonalne źródła energii. Wyd. Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2008.
5. ZIÓŁKOWSKI M., BALCERSKI A.: Wybrane zagadnienia wykorzystania biogazu jako paliwa silników spalinowych w skojarzonych układach energetycznych. Wyd. Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2007.
6. Grupa Oczyszczalnia Ścieków w Łodzi, [www.gos.lodz.pl](http://www.gos.lodz.pl).
7. SZYMANDERA Z.: Projekt biogazowni. Biogaz jako paliwo do produkcji energii w skojarzeniu. [www.aufwind.pl](http://www.aufwind.pl).

*Recenzent:  
prof. dr hab. inż. Stefan Żmudzi  
Akademia Morska w Szczecinie*