

## GAZ GENERATOROWY – BIOPALIWO Z TRADYCJAMI

*Ireneusz Hetmańczyk, Waclaw Hepner*  
*Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, Politechnika Opolska*

**Streszczenie.** W dobie rosnącego zainteresowania odnawialnymi paliwami silnikowymi stonkowo najmniej mówi się o gazie generatorowym uzyskiwanym z surowca drzewnego. Tymczasem jest to paliwo, które jeszcze przed 70-ciu laty stanowiło podstawowy zamiennik benzyny silnikowej, umożliwiając eksploatację taboru w warunkach wojny. Obecnie w USA przyjmuje się, że jest to realne paliwo „kryzysowe” na wypadek niedoboru typowych paliw płynnych. W opracowaniu przedstawiono własności gazu generatorowego, schematy stosowanych instalacji silnikowych oraz historyczne przykłady rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w transporcie i w rolnictwie. Produkcja gazu generatorowego może być alternatywą dla biomasy „twardej”, która nie nadaje się do wytwarzania biogazu. Przy każdej biogazowni mógłby powstać punkt produkcji gazu generatorowego. Oba paliwa można swobodnie mieszać ze sobą i zasilać taką mieszanką silniki stacjonarne.

**Słowa kluczowe:** gaz generatorowy, biopaliwo, schematy generatorów, właściwości gazu generatorowego

### Wprowadzenie

Palny gaz z węgla i drewna produkowano w Europie już od końca XVII wieku. Był on używany do oświetlenia ulic oraz dostarczany rurociągami do gospodarstwach domowych dla celów grzewczych. W przemyśle stosowano gaz do opalania kotłów parowych, w rolnictwie do zasilania maszyn. Po odkryciu dużych złóż ropy naftowej w Pensylwanii (1859 rok), cały świat przestawił się na pochodne ropy – tańsze i wygodniejsze paliwa płynne. Do roku 1940 generatory gazu były znaną, lecz niezbyt często stosowaną technologią. Dopiero niedobór benzyny silnikowej podczas II Wojny Światowej doprowadził do rozpowszechnienia gazu drzewnego w transporcie. I tak w okupowanej Danii 95% zmechanizowanego sprzętu rolniczego, ciągników, ciężarówek, silników stacjonarnych oraz łodzi rybackich i promów zaopatrzonych było w generatory [LaFontaine, Zimmerman 1989].

W całej Europie, Azji, Australii, w latach 1940–46 w użyciu były miliony generatorów gazu. Produkowały je takie firmy jak General Motors, Ford czy Mercedes-Benz. Masowo wykonywano również „domowym sposobem” proste gazogeneratory z przygodnych elementów jak: bębny prałek, bojlerzy czy butle gazowe. Po przywróceniu zaopatrzenia w ropę

w roku 1945 większość tych urządzeń zdemontowano wobec stosunkowo niskiej sprawności, niewygodnej obsługi i zagrożenia dla zdrowia oparami. Najdłużej, bo do lat 70-tych użytkowano taksówki zasilane węglem. W latach 50-tych w Związku Radzieckim opracowano instalację CNIIME ograniczającą utratę mocy silnika i pozwalającą na wykorzystanie świeżo ściętego drewna [Tuszyński 1953]. Pod koniec lat 80-tych na zlecenie amerykańskiej Federal Emergency Management Agency opracowano prostą instalację gazogeneratorową „dla każdego” na wypadek, gdy źródła zaopatrzenia w paliwa płynne będą niedostępne przez dłuższy okres, czyli w sytuacjach nadzwyczajnych. W efekcie współpracy Solar Energy Research Institute w Kolorado, Uniwersytetu Kalifornijskiego w Davis, Open University w Londynie oraz Brick Rogers Company i Biomass Energy Foundation na Florydzie powstał projekt nowoczesnego współprądowego gazogeneratorsa warstwowego o znacznie ulepszonych własnościach eksploatacyjnych w stosunku do klasycznej wytworownicy Imberta. Aktualne zastosowanie gazu drzewnego sprowadza się głównie do celów ciepłowniczych - produkuje się generatorowe kotły CO do ogrzewania domów jednorodzinnych.

### Gaz generatorowy jako paliwo silnikowe

Wśród surowców, z których możliwe jest wytworzenie gazu generatorowego są zarówno węgiel jak i drewno czy wreszcie biomasa [Mukunda i in. 1994; LaFontaine, Zimmerman 1989; Oehler 2006; Quaak i in. 1999; McKendry 2002]. Podczas procesu jego powstawania następuje zgazowanie surowca o stałym stanie skupienia dzięki zachodzeniu szeregu reakcji termo-chemicznych. W rezultacie uzyskuje się gaz palny, którego skład chemiczny zależy od szeregu czynników, poczynając od rodzaju surowca, a kończąc na rodzaju instalacji i parametrach procesu zgazowania. Po wstępnym suszeniu surowca (temperatury do 200°C) następuje proces pirolizy zachodzący w temperaturze ok. 200-600°C i wyodrębnienie substancji lotnych, zaś wyższe temperatury powodują reakcje utleniania frakcji lotnych. W wyniku tego powstaje CO, CO<sub>2</sub> i para wodna. Procesy redukcji zachodzą dzięki przejściu uzyskanych frakcji lotnych przez warstwę rozżarzonego surowca, powodując powstanie takich substancji jak CO, H<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>. Objętościowy udział poszczególnych składników gazu generatorowego podano w tabeli 1.

Tabela 1. Udziały objętościowe gazu generatorowego  
Table 1. Volume fraction of generator gas

Wyszczególnienie		Drewno	Węgiel drzewny	
Lp.	Składnik	Udział objętościowy [%]		
1	Składniki palne	CO	17–22	28–32
2		H <sub>2</sub>	12–20	4–10
3		CH <sub>4</sub>	2–3	0–2
4	Balast	CO <sub>2</sub>	9–15	1–3
5		H <sub>2</sub> O	2–4	2–4
6		N <sub>2</sub>	50–54	55–65

Źródło: wykonano na podstawie McKendry 2002

Gaz przygotowany w instalacji w momencie opuszczania generatora ma wysoką temperaturę 200–700°C i zawiera cząstki stałe takie jak pył oraz substancje smoliste. W celu przystosowania go do zasilania silnika powinien zostać przefiltrowany i schłodzony.

W zasadzie palne składniki gazu generatorowego to tlenek węgla, wodór i metan. Pozostałe substancje powodują rozcieńczenie i zmniejszenie wynikowej wartości opałowej całej mieszaniny stanowiącej gaz generatorowy. Obniżenie zawartości pary wodnej jest możliwe dzięki jej skraplaniu w chłodnicy gazu, zaś podniesienie temperatury procesu zgazowania powoduje podniesienie udziału tlenku węgla kosztem dwutlenku węgla. Podstawowe własności palnych składników gazu generatorowego przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Podstawowe własności palnych składników gazu generatorowego  
Table 2. Basic properties of combustion components of generator gas

Składnik gazu	Wartość opałowa [MJ·mol <sup>-1</sup> ]	Wartość opałowa [MJ·m <sup>-3</sup> ]	Względne zapotrzebowanie powietrza (mieszanka stechiometryczna)	Wartość opałowa mieszanki stechiometrycznej [MJ·m <sup>-3</sup> ]
Tlenek węgla	284	12,68	2,38	3,75
Wodór	242	10,80	2,38	3,19
Metan	804	35,90	9,52	3,41

Źródło: opracowanie własne na podstawie McKendry 2002

Wynikowa wartość opałowa gazu generatorowego zależy od udziałów objętościowych poszczególnych składników, co można zapisać zależnością uwzględniającą podane w tabeli 2 wartości:

$$W_d = \frac{12,68 V_{CO} + 10,80 V_{H_2} + 35,90 V_{CH_4}}{1 + 2,38 V_{CO} + 2,38 V_{H_2} + 9,52 V_{CH_4}}, \quad [\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (1)$$

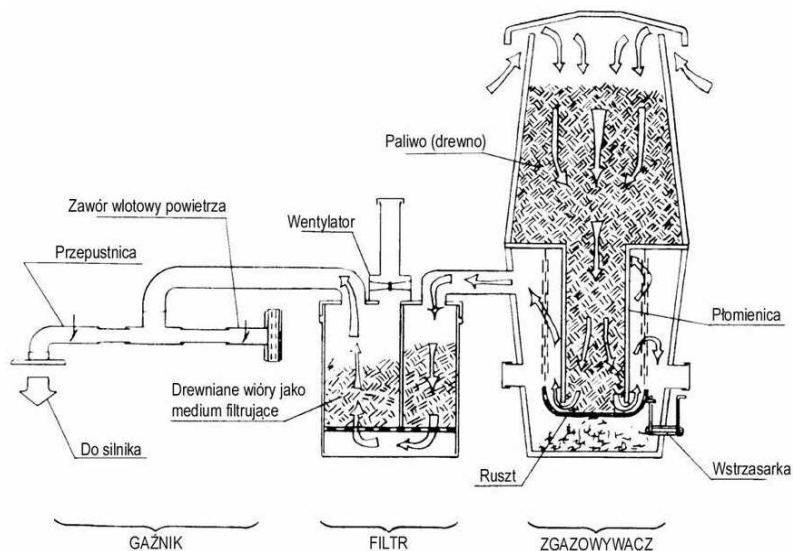
gdzie:

$V_{CO}, V_{H_2}, V_{CH_4}$  – udział objętościowy odpowiednio CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (w gazie generatorowym)

Wartość opałowa mieszanki paliwowo-powietrznej gazu generatorowego wynosi ok. 2,43 MJ·m<sup>-3</sup>, w porównaniu z ok. 3,60 MJ·m<sup>-3</sup> dla mieszaniny powietrza i benzyny. Można więc oczekiwać ok. 35% spadku mocy silnika zasilanego gazem generatorowym spowodowaną niższą wartością opałową jego mieszaniny paliwowo-powietrznej.

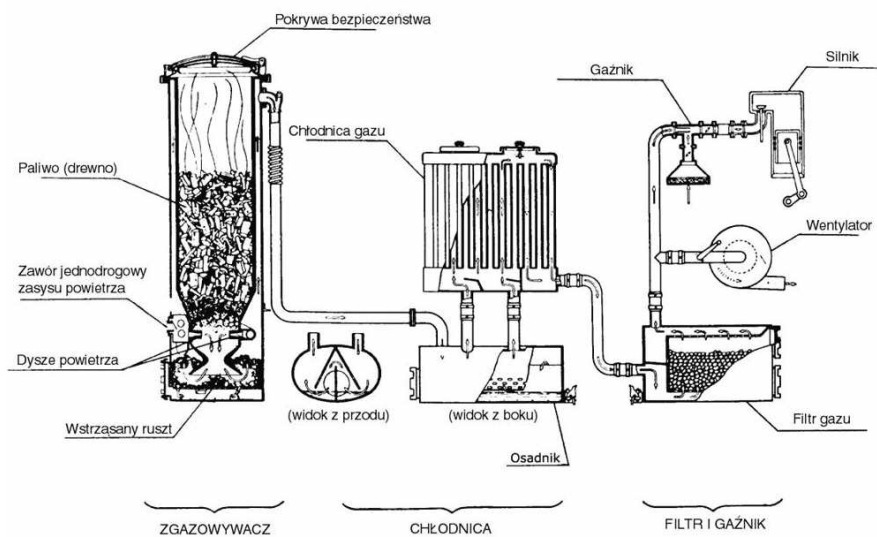
### Rozwiązania konstrukcyjne instalacji gazu generatorowego

Wytworzenie gazu generatorowego wymaga zastosowania stosownej instalacji. Gaz może być wytwarzany w instalacjach z generatorem współprądowym (rys.1) lub przeciwprądowym (rys. 2, 3).



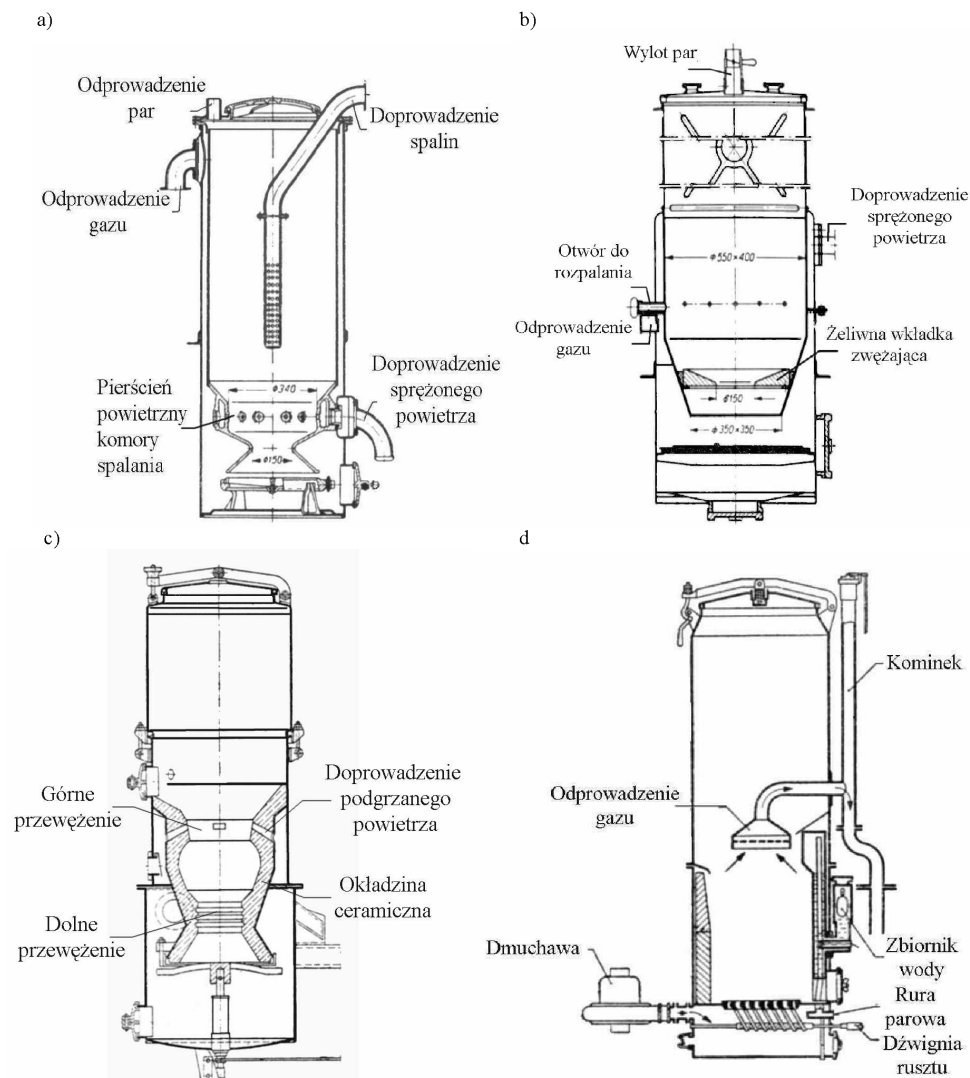
Źródło: opracowanie własne na podstawie LaFontaine, Zimmerman 1989

Rys. 1. Schemat instalacji współprądowego gazogeneratora warstwowego  
 Fig. 1. Schematic representation of a concurrent layered gasifier



Źródło: opracowanie własne na podstawie LaFontaine, Zimmerman 1989

Rys. 2. Schemat przeciwpądowej instalacji gazogeneratora Imberta  
 Fig. 2. Schematic representation of cocurrent installation of Imbert gasifier



Rys. 3. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych gazogeneratorów przeciwprądowych: a) KT-12, b) CNIIME, c) Evers-Union, d) Wisco

Fig. 3. Gas generator assembly scheme: a) KT-12, b) CNIIME, c) Evers-Union, d) Wisco

Porównanie działania różnych rodzajów gazogeneratorów pokazuje tabela 3.

Zastąpienie 1 litra benzyny wymaga zgazowania ok. 2–2,5 kg drewna, z kolei energia zawarta w 1 l oleju napędowego odpowiada energii zgromadzonej w ok. 2,5–3 kg drewna. Zastosowanie jako surowca węgla drzewnego pozwala na zastąpienie 5–7 l benzyny 10 kg paliwa stałego.

Tabela 3. Porównanie parametrów pracy gazogeneratora współprądowego i przeciwprądowego  
 Table 3 Comparison of parameters of downdraft and updraft gasifier

Cecha	Współprądowy	Przeciwprądowy
Temperatura gazu na wylocie, [°C]	700	200–400
Zawartość substancji smolistych, [mg·m <sup>-3</sup> ]	0,015–0,5	30–150
Sprawność zgazowania, odniesiona do schłodzonego gazu [%]	65–75	40–60
Wartość opałowa gazu, [kJ·m <sup>-3</sup> ]	4500–5000	5000–6000

Źródło: wykonano na podstawie Food and Agriculture Organization of the United Nations 1986

### Zagadnienia eksploatacyjne zasilania gazem generatorowym silników spalinowych

Zastosowanie gazu generatorowego jako paliwa silnikowego jest możliwe zarówno w silnikach ZI jak i ZS. W drugim przypadku wymagane jest jednak wyposażenie takiego silnika w instalację zapłonową, bądź zastosowanie zasilania dwupaliwowego. W takim rozwiązaniu olej napędowy wtryskiwany jest w minimalnych dawkach umożliwiających zainicjowanie procesu spalania, natomiast przyrost ciśnienia efektywnego jest wynikiem spalania gazu generatorowego stanowiącego zasadniczy ładunek cylindra.

Zasilanie silnika gazem generatorowym powoduje powstanie spalin, które zawierają głównie oprócz azotu znajdującego się w powietrzu dwutlenek węgla, jednak w przypadku jego wytwarzania z surowców odnawialnych cykl emisji dwutlenku węgla można uznać za zamknięty. Emisja cząstek stałych jest na niższym poziomie w porównaniu z silnikiem ZS zasilanym olejem napędowym, po pierwsze ze względu na filtrację gazu drzewnego w instalacji a po drugie ze względu na wielkość cząstek, które emitowane unoszą się jedynie na ograniczoną wysokość i szybko opadają na podłoże. Ze względu na własności gazu generatorowego powodujące obniżenie prędkości jego spalania oraz szczytowej temperatury procesu spalania w cylindrach emisja tlenków azotu kształtuje się na niższym poziomie w porównaniu z silnikami ZI jak i ZS zasilanymi paliwami konwencjonalnymi. Problemem jest jednak emisja tlenku węgla, który stanowi nawet 20–30% objętości samego paliwa gazowego, więc jego udział w spalinach musi być wyższy w stosunku do paliw konwencjonalnych czy LPG. Obniżenie tej emisji można uzyskać w reakcji utleniania do CO<sub>2</sub> zachodzącej przy większym dostępie tlenu.

Poniżej przedstawiono przykłady zastosowania instalacji do wytwarzania i zasilania gazem generatorowym różnego rodzaju pojazdów i maszyn (rys. 4–7).



*Źródło: zdjęcie własne*

Rys. 4. Samochód Opel z generatorem w bagażniku  
Fig. 4. Opel vehicle with the wood gas generator in the luggage boot



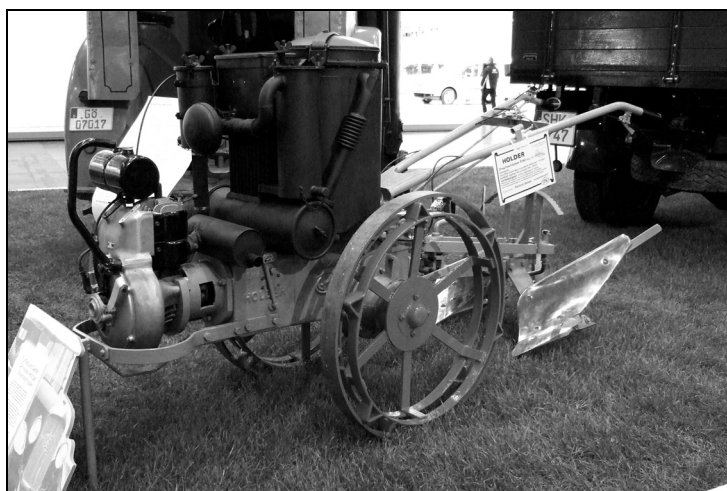
*Źródło: zdjęcie własne*

Rys. 5. Samochód Ford przystosowany do zasilania gazem generatorowym  
Fig. 5. Ford vehicle adjusted for supply with generator gas



*Źródło: zdjęcie własne*

Rys. 6. Ciągnik rolniczy Hanomag z silnikiem wysokoprężnym i instalacją dwupaliwową  
Fig. 6. Hanomag agricultural tractor with a combustion engine and dual fuel system



*Źródło: zdjęcie własne*

Rys. 7. Pług rolniczy samojezdny z instalacją do wytwarzania gazu generatorowego  
Fig. 7. Self-propelled agricultural plough with an installation for generator gas production

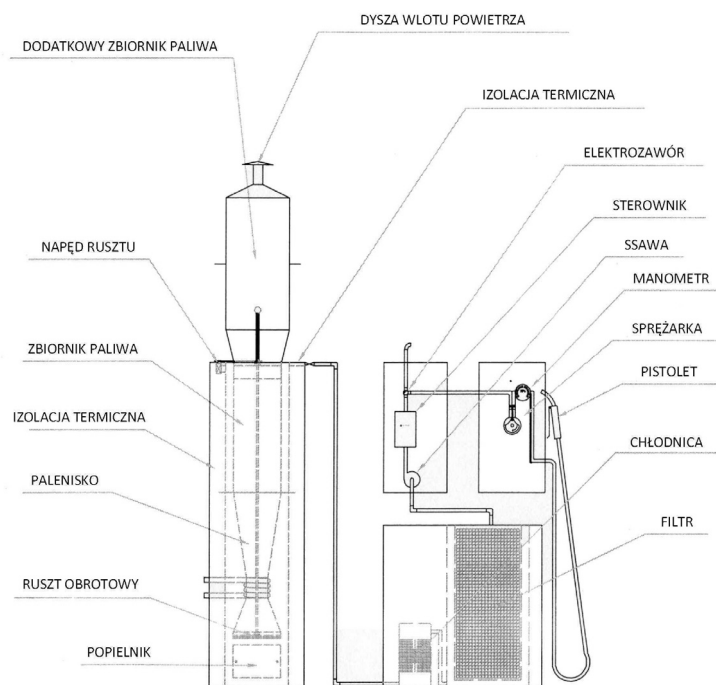
## Uwagi końcowe

Wydaje się, że obecnie w dobie poszukiwania alternatywnych paliw silnikowych warto powrócić do gazu generatorowego zwłaszcza, że wyznaczony wskaźnik koncentracji energii



chemicznej w komorze spalania jest dla tlenku węgla korzystnie wysoki (ok.  $3,38 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ) w porównaniu z metanem ( $3,08 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ) czy wodorem ( $2,89 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ) [Postrzednik 2009].

Dzisiejsze podejście powinno jednak polegać na stacjonarnym wytwarzaniu gazu i magazynowaniu go w postaci sprężonej na pokładzie pojazdu. Koncepcję takiej instalacji przedstawiono na rys. 8. Można przypuszczać, że gaz generatorowy w rolnictwie może być dobrym uzupełnieniem dla produkcji biogazu, który staje się obecnie coraz „modniejszy”. Pozwoliłoby to na wykorzystanie odpadów drzewnych lub osadów ściekowych [Cupał i in. 2011] niemożliwych do przetworzenia na biogaz drogą fermentacji. Przy każdej nowo budowanej biogazowni mogłoby powstać stanowisko do produkcji gazu generatorowego. Oba gazy można swobodnie mieszać ze sobą i powstałą mieszanką zasilać silniki stacjonarne.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 8. Koncepcja instalacji do wytwarzania i skraplania gazu generatorowego  
 Fig. 8. Concept of an installation for production and liquefying of generator gas

## Bibliografia

Dornburg V., Faaij A.P.C. (2001): Efficiency and economy of wood-fred biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies, *Biomass and Bioenergy* 21, 91-108.

- Cupiał K., Dużyński A., Gruca M., Grzelka J., Jamrozik A., Kociszewski A., Pyrc M., Szwaja S., Tutak W., Grab-Rogaliński K.** (2011): The turbocharged piston engine fueled with producer gas generated by sewage sludge gasification, *Combustion Engines* 03/2011 (146), PTNSS-2011-SC-152, ISSN 0138-0346.
- LaFontaine H., Zimmerman P.** (1989): Construction of a simplified wood gas generator for Fueling Internal Combustion Engines in a Petroleum Emergency, Federal Emergency Management Agency.
- McKendry P.** (2002): Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, *Biore-source Technology* 83, 55-63.
- Mukunda H.S., Dasappa S., Paul P.J., Rajan N.K.S., Shrinivasa U.** (1994): Gasifiers and combustors for biomass - technology and field studies?
- Oehler, P.** (2006): Verfahren und Vorrichtung zur thermischen Behandlung von Biomasse, Patent nr DE102005005859B3.
- Postrzednik S.** (2009): Gazowe paliwo silnikowe pozyskiwane na bazie węglowej, *Silniki Spalinowe, Powertrain, Design, Ecology & Diagnostics*, SC1, 62-67.
- Quaak P., Knoef H., Stassen H.** (1999): Energy from Biomass, Review of combustion and gasification technologies.
- Studziński K.** (red) (1956): *Techniczny poradnik samochodowy*, PWT, 985-1022.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (1986): *Wood gas as engine fuel*, FAO Forestry Paper 72, ISBN 92-5-102436-7.

## GENERATOR GAS – BIOFUEL WITH TRADITION

**Abstract.** Now in the age of the growing interest in renewable engine fuels talks about generator gas obtained from the wood material are respectively small in number. Whereas fuel constituted the basic substitute for petrol, which enabled exploitation of fleet in war conditions seventy years ago. At the moment it is (in the USA) assumed that this is actual "crisis" fuel in case of the deficiency of standard liquid fuels. This paper presents the properties of generator gas, patterns of applied engine installations and historical examples of structural solutions applied in the transport and agriculture. The production of the generator gas can be an alternative to "hard" biomass which is not suitable for production of biogas. A point of generator gas production could be opened at every for biogas plant. Both fuels may be freely mixed together and they could supply stationary engines.

**Key words:** generator gas, biofuel, scheme of a generator, generator gas properties

**Adres do korespondencji:**

Ireneusz Hetmańczyk; e-mail: i.hetmanczyk@po.opole.pl  
Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych  
Politechnika Opolska  
ul. Mikołajczyka 5  
45-271 Opole