

Biogas as vehicle fuel

The road transport in Europe almost fully depends on fossil fuel. This dependence concerns in particular oil. Diversification of the road transport fuels will be a key attribute for road transport in the coming years. Biogas is one of alternative renewable fuels. Actually in Poland biogas is used for generating electricity and heat. In some countries (for example in Sweden), upgraded biogas to natural gas quality, is used as a vehicle fuel too. In this paper described biogas production and production potential in two countries: Poland and Sweden. It is one of the purposes of European Project Baltic Biogas Bus, realized presently. General purpose of the Project is determination of the production possibility in Baltic Sea Region Countries taking part in the Project. The paper characterized biogas and biomethane emerging after its upgrading. Authors of the paper discussed ecological results of biogas (biomethane) application for fuelling city buses too.

Key words: *alternative fuels, biogas, city bus transport*

Biogas jako paliwo pojazdów

Europejski transport drogowy niemal w pełni zależy od paliw kopalnych. Dotyczy to w szczególności ropy naftowej. Dywersyfikacja paliw w transporcie drogowym będzie kluczowym problemem do rozwiązania w najbliższych latach. Biogaz jest odnawialnym paliwem alternatywnym. Aktualnie w Polsce biogaz jest wykorzystywany głównie do produkcji energii elektrycznej i ciepła. W niektórych państwach (np. w Szwecji), biogaz oczyszczony do jakości gazu ziemnego, jest również stosowany jako paliwo do pojazdów. W artykule opisano możliwości produkcyjne oraz potencjał produkcji biogazu obu Państw: Polski i Szwecji. Jest to jednym z celów realizowanego obecnie europejskiego projektu Baltic Biogas Bus. Celem projektu jest określenie możliwości produkcji biogazu w państwach regionu Morza Bałtyckiego biorących udział w projekcie. Przedstawiono właściwości biogazu i biometanu przed i po ugradingu. Opisano skutki ekologiczne stosowania biogazu (biometanu) do zasilania silników autobusów miejskich.

Słowa kluczowe: *paliwa alternatywne, biogaz, miejski transport autobusowy*

1. Introduction

According to Directive 2003/30/EC [1] of the European Parliament and of the Council biogas is "a fuel gas produced from biomass and/or from the biodegradable fraction of waste, that can be purified to natural gas quality, to be used as biofuel, or wood gas".

Feedstock for biogas production is mostly derived from agricultural, municipal and industry wastes.

Biogas can be produced by the anaerobic digestion (AD) of a range of organic wastes, with the key wastes being [2]:

- sewage sludge,
- wet manure slurries from intensive styles of agriculture,
- dry manures from animal beddings, known as farm yard manure (FYM),
- waste from food processing,
- food and organic waste from restaurants and other commercial operations,
- household kitchen and garden wastes.

Figure 1 presents conversion technologies for production of transport fuels [3].

1. Wprowadzenie

Zgodnie z dyrektywą 2003/30/WE [1] Parlamentu Europejskiego i Rady biogaz jest to "paliwo gazowe produkowane z biomasy i/lub z ulegającej biodegradacji części odpadów, które może być oczyszczone do jakości naturalnego gazu, z przeznaczeniem do użycia jako biopaliwo lub gaz drzewny".

Surowiec do produkcji biogazu pochodzi głównie z odpadów rolniczych, komunalnych i przemysłowych.

Biogaz może być wytwarzany w wyniku fermentacji beztlenowej (AD) odpadów organicznych, przede wszystkim z [2]:

- osadów pościekowych,
- gnojowicy z ferm hodowlanych,
- suchego obornika zwierzęcego z podściółki,
- odpadów z przetwórstwa żywności,
- żywności i odpadów organicznych z restauracji i innych działań handlowych,
- odpadów kuchennych z gospodarstw domowych i ogrodów.

Rysunek 1 przedstawia technologie produkcji paliw [3].

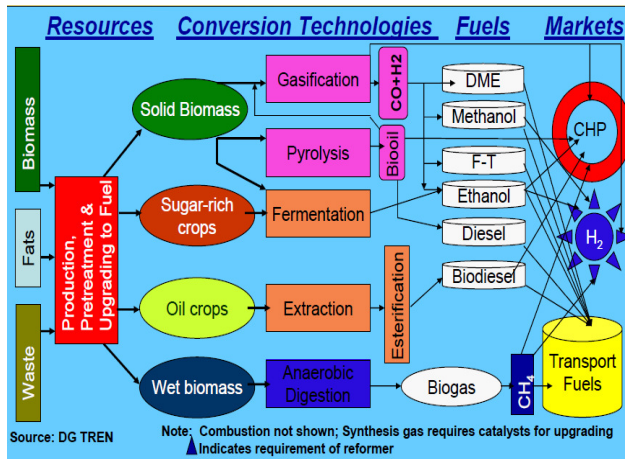


Fig. 1. Conversion technologies for production of transport fuels [3]

Rys. 1. Technologie produkcji paliw dla transportu [3]

Biogas can also be produced by thermal gasification, which is a process where the biomass or organic waste is heated under limited amounts of oxygen. The heat decomposes the organic material and gases as carbon dioxide, hydrogen, steam, carbon monoxide and methane are produced. Biogas produced this way is called SNG, Synthetic Natural Gas [2].

Table 1 presents for instance average composition of landfill biogas in comparison for average composition of natural gas [4].

Biogas upgrading technologies are enabled for cleaning and removing: water, hydrogen sulfide, oxygen, nitrogen, ammonia, siloxanes, particles; increasing energy content by removing carbon dioxide; conditioning for distribution e.g.: odorization, compression; treatment of off-gas [4].

Biogas upgrading technologies are presently following: water scrubbing, PSA (Pressure Swing Adsorption), chemical absorption, membrane and cryogenic [4].

In result of these processes emerge biomethane.

Table 2. Presents Swedish Standard for biogas as a fuel for SI engines [4].

Tabela 2. Obecne wymagania szwedzkiej normy dotyczącej biogazu jako paliwa do silników o zapłonie iskrowym [4].

<ul style="list-style-type: none"> • Particles < 1 μm • Methane 97+/- 2 % • Water < 32 mg/Nm³ • CO₂, O₂, N₂ < 5% • Oxygen < 1 vol % • Sulphur < 23 mg/Nm³ • N (except for N₂) expressed as NH₃ <20 mg/Nm³ • Odorised • Compressed to 200 bar <p>For grid injection: Addition of propane (around 7-9 vol%)</p>
--

Biomethane can be used by SI engines of vehicles directly (as CBG or LBG for instance: terracastus technologies [5]) or can be injected as upgraded biogas into grid.

Biogas może być także produkowany metodą gazyfikacji cieplnej, która jest procesem, w którym odpady biomasy lub organiczne ogrzewa się w warunkach ograniczonego dostępu tlenu. W wyniku ogrzewania następuje rozkład materiałów organicznych powodujący powstawanie gazów takich jak dwutlenek węgla, wodór, para wodna, tlenek węgla i metan. Biogas produkowany w ten sposób nosi nazwę SNG, syntetyczny gaz ziemny [2]. W tabeli 1 przedstawiono przykładowy skład biogazu wysypiskowego w porównaniu do średniego składu gazu ziemnego [4].

Upgrading biogazu ma na celu jego oczyszczenie oraz usunięcie wody, siarkowodoru, tlenu, azotu, amoniaku, siloksanów, zanieczyszczeń stałych, zwiększenie wartości opałowej przez usuwanie dwutlenku węgla, przygotowanie do sprzedaży np.: nawanianie, sprężanie; obróbki gazów odlotowych [4].

Table 1. Average composition of biogas in comparison for average composition of natural gas [4]

Tabela 1. Średni skład biogazu w porównaniu ze średnim składem gazu ziemnego

	Biogas	Landfill gas	Natural gas (Danish)
Methane (vol-%)	60-70	35-65	89
Other hydrocarbons (vol-%)	0	0	9.4
Hydrogen (vol-%)	0	0-3	0
Carbon dioxide (vol-%)	30-40	15-50	0.67
Nitrogen (vol-%)	~0.2	5-40	0.28
Oxygen (vol-%)	0	0-5	0
Hydrogen sulphide (ppm)	0-4000	0-100	2.9
Ammonia (ppm)	~100	~5	0
Lower heating value (kWh/Nm ³)	6.5	4.4	11.0

Obecnie stosuje się następujące technologie uprzedzenia biogazu: płukanie wodą, PSA (Pressure Swing Adsorption), absorpcji chemicznej, membranowa i kriogeniczna [4]. W wyniku tych procesów powstaje biometan.

Tabela 2 przedstawia wymagania szwedzkiej normy dotyczącej biogazu jako paliwa do silników o zapłonie iskrowym [4].

Biometan może być używany jako paliwo w silnikach o zapłonie iskrowym pojazdów (jako CBG lub LBG na przykład: terracastus technologii [5]) lub wtryskiwany jako oczyszczony biogas do sieci.

Figure 2 presents utilization of biogas in Sweden. Utilization share of biogas by vehicle is approximately 26 %. This type of utilization of biogas do not exist in Poland.

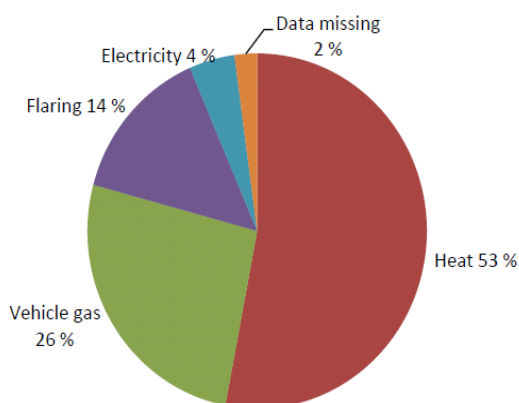


Fig. 2. Utilization of biogas in Sweden (2008) [4]
Rys. 2. Użycie biogazu w Szwecji (2008) [4]

European Project Baltic Biogas Bus (BBB) stimulate the use of biogas (biomethane) as fuel of city buses aiming to reduce environmental impact.

Desk study on wider range of biogas production options and experiences including production potential scenarios for Baltic Sea Region (for Poland, Sweden etc.) is one of purpose of this project.

New market opportunities for the development of biogas have created an European Union Directive 2009/28/EC [6] of 5 June 2009 on promotion of renewable energy sources, requiring from Poland to achieve 15% share of RES in final energy consumption in 2020. The construction of a new quantity target in relation to "energy consumption" offers the opportunities for biogas sector development, which can be direct or indirect used of all three end-markets of energy carriers, such as electricity, heat and transport.

Document prepared by the government titled "A Roadmap for renewable energy by 2020" as a plan for implementation of the Directive, has to specify the individual shares of energy carriers from renewable energy sources and technology in achieving the national target and their participation in general, national energy use balance. In the current year it is expected to introduce a new support system, including a new system of certification under the amendment to the Energy Law, which will determine the profitability of biogas investment in coming years.

According to the Energy Regulatory Office, on the beginning of the 2010 there were 124 biogas plants in Poland, including:

- 6 agricultural biogas plants;
- 46 biogas plants that produce biogas from sewage treatment plants;
- 72 biogas plants that produce biogas from landfills [7].

Rysunek 2 przedstawia wykorzystanie biogazu w Szwecji. Wykorzystanie biogazu przez pojazdy gazowe wynosi około 26 procent. Nie wykorzystuje się w ten sposób biogazu w Polsce.

Europejski projekt Baltic Biogas Bus (BBB) stymuluje wykorzystanie biogazu (biometanu) jako paliwa w autobusach komunikacji miejskiej, mając na celu ograniczenie jego wpływu na środowisko naturalne.

Studium wykonalności sposobów zwiększenia możliwości produkcji biogazu i wymiany doświadczeń, w tym scenariusze potencjalnej produkcji biogazu dla regionu Morza Bałtyckiego (Polska, Szwecja itd.) jest jednym z celów tego projektu.

Nowe szanse rozwoju rynku biogazowego stwarza Dyrektywa Unii Europejskiej 2009/28/WE [6] z 5 czerwca 2009 o promocji odnawialnych źródeł energii, zobowiązująca Polskę do osiągnięcia 15% udziału OZE w końcowym zużyciu energii w roku 2020. Konstrukcja nowego celu ilościowego w odniesieniu do „zużycia energii” daje szanse rozwoju sektorowi biogazu, który może znaleźć bezpośrednie i pośrednie zastosowanie na wszystkich trzech rynkach końcowych nośników energii, jakimi są energia elektryczna, ciepło i transport.

Przygotowywany przez rząd dokument – „Plan działań w zakresie energetyki odnawialnej do 2020 r.” – jako plan wdrożenia dyrektywy ma wyszczególnić udziały poszczególnych nośników energii z OZE i technologii w osiągnięciu krajowego celu oraz ich udział w ogólnym, krajowym bilansie wykorzystania energii. Już w roku bieżącym przewidywane jest wprowadzenie nowego systemu wsparcia, w tym nowego systemu certyfikatów w ramach nowelizacji Prawa energetycznego, która zadecyduje o opłacalności inwestycji biogazowych w najbliższych latach.

Według danych Urzędu Regulacji Energetyki, na początku roku 2010 w Polsce istniało 124 biogazownie, w tym:

- 6 biogazowni rolniczych;
- 46 biogazowni wytwarzających biogaz z oczyszczalni ścieków;
- 72 biogazowni wytwarzających biogaz z wysypisk odpadów [7].

Zakłada się, że w 2020 r. Polska wytwarzać będzie 2 mld m³ biogazu (MRiRW) [8].

Z wytworzonego w 2008 roku w Polsce biogazu otrzymano 251,8 GWh energii elektrycznej i 925 TJ ciepła, natomiast w 2010 roku łączna moc pochodząca z instalacji biogazowych wynosiła 70,777 MW [7].

It is assumed that in 2020 Poland will produce 2 bln m³ of biogas [8].

From the biogas manufactured in Poland in 2008 there were received 251,8 GWh of electricity and 925 TJ of heat, however in 2010 the total power of the biogas plants was 70,777 MW [7].

2. Biogas in Poland – actual condition and perspective of development

2.1. Biogas production potential from the agricultural biogas plants in Poland

The area of Poland covers 31 269 thous. ha, of which 55% of the area is used for agricultural purposes, and 29% is woodland. The total potential of biomass has been calculated at 160,9 PJ, and future scenarios foresee the reduction to 155.3 PJ (scenario 1) and 139.5 PJ (scenario 2). First scenario predicts to maximize the production of biofuels (including biogas) by 2020, while the second scenario assumes a sustainable production of biofuels (including biogas) with a special observance of minimum impact on the environment. The potential of the forest is now almost 26% of the total capacity and is expected to grow to the level of 31% in both scenarios. In all scenarios, from a technical point of view, thin wood fraction is the most important part and will be equal to 53-55% of the total potential of forest biomass. The potential for the wood industry will not have a significant impact on the amount of calculation and will not vary significantly among scenarios (2-3%) [9].

Straw potential specifies the largest proportion of the total potential of biomass in the current assessments. Currently, its potential is estimated at 115,8 PJ, that is 72% of total capacity. It was estimated, that in scenarios 1 and 2, the potential of biomass will be reduced to 66% of the total potential. Most of the full potential of straw from the cereal straw and grain is estimated at over 62% of the total harvested straw. In second place there is corn straw 20% share. Rapeseed straw is 17% of all the straw. In the current vision of future scenario for maximizing the production of biofuels, the amount of surplus straw reaches 31% of the fully assembled straw, while in the second future scenario is 28% [9].

According to data of the Energy Market Agency in Poland, covering approximately 50% of the Polish market as of January 1st, 2010, agricultural biogas production potential is estimated at 3 629 000 m³, which corresponds to 78 438,4 GJ of energy, heating value equal to 21 614 kJ/m³ [10].

The intention of the Polish government is to create such mechanisms, that by the 2020 there was founded about 2500 agricultural biogas plants with total capacity of 2000-3000 MW in Poland [11].

Currently in Poland there are about 1300 holdings of cattle, 3000 holdings pigs, 3500 holdings of poultry - in total 7,800 farms with an animal cast of

2. Biogas w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju

2.1. Potencjał produkcyjny biogazu w Polsce z biogazowni rolniczych

Obszar Polski obejmuje łącznie 31 269 tysięcy ha, z czego 55% obszaru jest wykorzystane do celów rolniczych, a 29% to tereny leśne. Całkowity potencjał biomasy został obliczony na 160,9 PJ, natomiast przyszłościowe scenariusze przewidują jego obniżenie do 155,3 PJ (scenariusz 1) i 139,5 PJ (scenariusz 2). Scenariusz pierwszy przewiduje maksymalizację produkcji biopaliw (w tym biogazu) do roku 2020, natomiast scenariusz drugi zakłada zrównoważoną produkcję biopaliw (w tym biogazu), ze szczególnym przestrzeganiem minimalnego wpływu na środowisko. Potencjał leśny wynosi obecnie prawie 26% całkowitego potencjału i oczekuje się jego wzrostu do poziomu 31% w przypadku obu scenariuszy. We wszystkich scenariuszach z technicznego punktu widzenia przeredzenie frakcji drewna stanowi najważniejszą część i będzie równa 53-55% całego potencjału biomasy leśnej. Potencjał przemysłu drzewnego nie będzie miał znacznego wpływu na sumy obliczeń i nie będzie różnił się znacznie między scenariuszami (2-3%) [9].

Potencjał słomy określa największą część całkowitego potencjału biomasy w aktualnych ocenach. Obecnie jej potencjał szacuje się 115,8 PJ, czyli 72% całkowitego potencjału. Oszacowano, że w scenariuszach 1 i 2 potencjał biomasy ulegnie obniżeniu do 66% całkowitego potencjału. Większość całkowitego potencjału słomy pochodzi ze słomy zbożowej i szacuje się na ponad 62% całkowitej zebranej słomy. Na drugim miejscu znajduje się słoma kukurydziana z odsetkiem 20%. Słoma rzepakowa stanowi 17% całej słomy. W obecnej wizji scenariusza dla maksymalizacji produkcji biopaliw kwota nadwyżki słomy osiąga 31% całkowicie zebranej słomy, natomiast w drugim scenariuszu przyszłości wynosi 28% [9].

Według danych Agencji Rynku Energii w Polsce, obejmujących około 50% rynku polskiego, na dzień 1 stycznia 2010 r., potencjał produkcyjny biogazu rolniczego szacuje się na 3 629 000 m³, co odpowiada 78 438,4 GJ energii, przy wartości opałowej równej 21 614 kJ/m³ [10].

Zamierzeniem rządu polskiego jest stworzenie takich mechanizmów, aby do 2020 roku powstało w Polsce około 2500 biogazowni rolniczych o łącznej mocy 2000-3000 MW [11].

Aktualnie w Polsce istnieje ok. 1300 gospodarstw zajmujących się hodowlą bydła, 3000 gospodarstw zajmujących się hodowlą trzody, 3500 gospodarstw zajmujących się hodowlą drobiu - razem 7800 gospodarstw o obsadzie zwierząt powyżej 100 SD [12], co stanowi dostatecznie duży potencjał do intensyfikacji wytwarzania biogazu rolniczego.

more than 100 livestock units [12], which is a large enough potential to intensify the agricultural production of biogas.

The production potential of biomass as a feedstock for the production of biogas, in permanent pastures (after the security of fodder needs at the current level of livestock production) is total: 2 278 thous. Mg per year at a minimal level. With extensive production, while at the maximum level for intensive production is 3 418 thous. Mg per year [13].

In Poland energy crops in the 2007/2008 season are occupied by area of 180,5 thous. ha. Oilseeds occupied 63,6% of total area of planted energy crops, cereals 20,4%, while the corn 11%, remaining area occupied permanent crops (willow and others), and grasses, roots and other [13].

Currently straw, as raw material, is mainly used to produce heat or electricity as a solid fuel, and can also be used for biogas production and the production of second-generation biofuels. Estimated quantity of straw possible to use for energy purposes in Poland amounts to 4,866 thous. Mg [13].

Assuming that for energy purposes (biogas) will be used remains from agricultural production only in 25%, this potential is approximately 125 thous. Mg of dry mass (0,5 t / ha) which is equivalent to about 50 mln³ biogas. This represents 10% of the amount of natural gas consumed in rural areas [13].

Considering, as a raw material, also residues from cattle, swine and poultry, the potential of available raw materials for the manufacture of agricultural biogas is estimated by the Ministry of Agriculture and Rural Development 5 500 mln m³ in total, of which:

- from the special crops and residues 1 962 mln m³,
- the residue of the meadows and pastures 1 700 mln m³,
- from the by-products fermentation from agricultural production 1 540 mln m³.

The potential for biogas production in the distinction between types of raw materials is shown in Fig. 3. Figure 3 shows that the special crops and residues, as well as meadows and pastures and agricultural by-products have a high potential for agricultural biogas production.

2.2 Biogas production potential from the landfills plants in Poland

In Poland is produced about 10-12 mln Mg of unsorted municipal waste a year, and in the group of mixed waste fraction, biodegradable fraction is dominant (50%). In addition, a significant amount of green waste from gardens and parks (leaves, grass) and waste from markets also are deposited in landfills. Biodegradation, and therefore the distribution of those waste has a place on landfill, and one

Potencjał produkcji biomasy, jako surowca do wytwarzania biogazu, na trwałych użytkach zielonych (po zabezpieczeniu potrzeb paszowych na obecnym poziomie produkcji zwierzęcej) wynosi ogółem: 2 278 tys. ton rocznie przy poziomie minimalnym. Przy produkcji ekstensywnej, natomiast przy maksymalnym poziomie przy produkcji intensywnej wynosi 3 418 tys. ton rocznie [13].

W Polsce uprawy roślin energetycznych w sezonie 2007/2008 zajmowały łącznie powierzchnię 180,5 tys. ha. Rośliny oleiste zajmowały 63,6% powierzchni upraw RE ogółem, zboża 20,4%, natomiast kukurydza 11% pozostałą powierzchnię zajmowały plantacje trwałe (wierzba energetyczna i inne) oraz trawy, rośliny okopowe i inne [13].

Aktualnie słoma, jako surowiec, wykorzystywana jest głównie do produkcji energii cieplnej lub elektrycznej jako paliwo stałe, a może być wykorzystywana także do produkcji biogazu oraz do produkcji biopaliw drugiej generacji. Szacunkowa ilość słomy możliwa do wykorzystania do celów energetycznych w Polsce wynosi 4866 tys. ton [13].

Przyjmując założenie, że na cele energetyczne (produkcja biogazu) będą wykorzystywane pozostałości produkcji rolniczej tylko w 25 %, to ich potencjał wynosi około 125 tys. ton suchej masy (0,5t/ha) co stanowi równowartość około 50 mln m³ biogazu. Stanowi to 10 % ilości gazu ziemnego zużywanego na obszarach wiejskich [13].

Uwzględniając także jako surowiec pozostałości z hodowli bydła, trzody chlewnej i drobiu, potencjał dostępnych surowców do wytwarzania biogazu rolniczego szacowany jest przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi na 5 500 mln m³ ogółem, z czego:

- z upraw specjalnych i pozostałości 1 962 mln m³,
- z pozostałości z łąk i pastwisk 1 700 mln m³,
- z fermentacji produktów ubocznych z produkcji rolnej 1 540 mln m³.

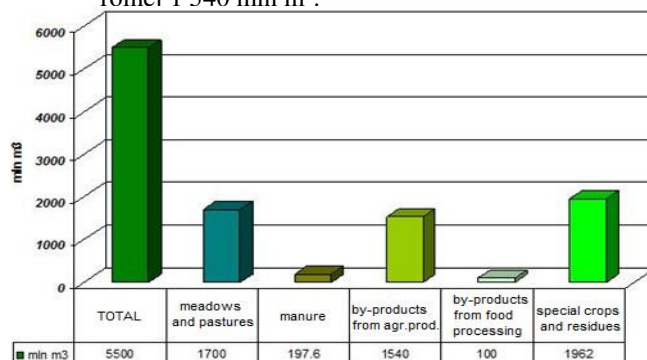


Fig. 3. Production potential of agricultural biogas (in mln m³) [2]
Rys. 3. Potencjał produkcji biogazu (w mln m³) [2]

Potencjał produkcji biogazu w rozróżnieniu na typy surowców jest przedstawiony na rys. 3. Z rys. 3 wynika, że uprawy specjalne i pozostałości, a także łąki i pastwiska oraz produkty uboczne produkcji rolnej charakteryzują się najwyższym potencjałem produkcji biogazu rolniczego.

of the products of decomposition is methane. Assuming a biogas yield for 200 m³/Mg was calculated that the production of biogas from biodegradable waste in Poland could reach 1 bln m³, assuming 50% methane content in derived biogas, gives the theoretical amount of 500 million m³. The biogas heating value is 36 MJ/m³, thus waiving the recovery of biogas from biodegradable waste means a loss of 18 thous. TJ of energy in the country [14].

In optimal conditions, from the one Mg of municipal waste about 400-500 m³ of landfill gas. However, in reality, not all organic wastes are fully decomposed, and the fermentation process depends on several factors. Therefore, it is assumed that from the one Mg of waste can win up to 200 m³ of landfill gas [15].

Currently on Poland there is about 700 registered and active landfills. It was estimated that each year they produce over 600 million m³ of methane. In practice, the landfill gas resources possible to derive not exceed 30-45% of the total potential in the landfills. In such circumstances, reasonably possible to derive methane sources from the same municipal waste landfills are estimated at 135-145 million m³ of methane per year, equivalent to 5 235 TJ of energy. This potential is being used only marginally.

Number of landfills in Poland, equipped with a degassing installations is growing permanently and in 2007 reached 304 units [16]. Part of the landfill installation is equipped with facilities for the production of heat and/or electricity.

According to the data of Energy Market Agency in Poland, covering approximately 50% of the Polish market as of January 1st, 2010, the productive potential of biogas from landfills is estimated on 33 927 500 m³, equivalent to 565 953 GJ of energy, by the heating value, equal to 16 681 kJ / m³ [10].

Data from the Energy Regulatory Office on January 1st, 2010 shows that currently there are 72 plants for the production of biogas from landfills with total capacity of 7 245 MW [7]. These installations are built on a landfill site.

From the manufactured biogas from landfills in 2008 in, there was received 14.4 GWh of electricity and 142 TJ of heat [10].

2.3. Biogas production potential from the wastewater treatment plants in Poland

Poland has more than 4000 sewage treatment plants and industrial plants. In many such systems are formed large quantities of sediment, which may constitute the raw material for biogas production because they do not contain toxic substances, and dry matter content of 4-5%, including more than 90% organic matter, allows them to be anaerobic. These deposits in Poland, are mostly deposited in landfills, which is becoming an increasing problem, particularly in light of EU law. Legal regulations

2.2. Potencjał produkcyjny biogazu w Polsce z wysypisk odpadów

W Polsce wytwarzane jest ok. 10-12 mln ton niesegregowanych odpadów komunalnych rocznie, przy czym w grupie odpadów mieszanych dominuje frakcja biodegradowalna (ponad 50%). Ponadto znacząca ilość odpadów zielonych z ogrodów i parków (liście, trawa), a także odpady z targowisk również deponowane są na składowiskach. Biodegradacja, a więc rozkład tych odpadów odbywa się na składowiskach, a jednym z produktów tego rozkładu jest metan. Zakładając wydajność biogazu na poziomie 200 m³/t obliczono, że produkcja biogazu z biodegradowalnych odpadów w Polsce mogłaby wynieść 1 mld m³, co przy założeniu 50%-owej zawartości metanu w uzyskanym biogazie daje teoretyczną ilość metanu wynoszącą 500 mln m³. Wartość opałowa biometanu wynosi 36 MJ/m³, a więc zaniechanie odzysku biogazu z odpadów biodegradowalnych oznacza utratę 18 tys. TJ energii w skali kraju [14].

W warunkach optymalnych z jednej tony odpadów komunalnych może powstać około 400-500 m³ gazu wysypiskowego. Jednak w rzeczywistości nie wszystkie odpady organiczne ulegają pełnemu rozkładowi, a przebieg fermentacji zależy od szeregu czynników. Dlatego też przyjmuje się, że z jednej tony odpadów można pozyskać maksymalnie do 200 m³ gazu wysypiskowego [15].

W Polsce zarejestrowanych jest obecnie ok. 700 czynnych składowisk odpadów. Oszacowano, że produkują one rocznie ponad 600 mln m³ metanu. W praktyce zasoby gazu wysypiskowego możliwe do pozyskania nie przekraczają 30-45% całkowitego potencjału powstającego na wysypisku gazu. W takich warunkach, realnie możliwe do pozyskania z samych wysypisk odpadów komunalnych, zasoby metanu są szacowane na 135-145 mln m³ metanu rocznie, co odpowiada 5 235 TJ energii. Potencjał ten jest obecnie wykorzystywany tylko w nieznacznym stopniu.

Liczba składowisk w Polsce, wyposażonych w instalacje odgazowywania stale rośnie i w 2007 r. wyniosła 304 [16]. Część instalacji składowiskowych wyposażona jest w urządzenia do produkcji energii cieplnej i/lub elektrycznej.

Według danych Agencji Rynku Energii w Polsce, obejmujących około 50% rynku polskiego, na dzień 1 stycznia 2010 r., potencjał produkcyjny biogazu pochodzącego z wysypisk odpadów szacuje się na 33 927 500 m³, co odpowiada 565 953 GJ energii, przy wartości opałowej równej 16 681 kJ/m³ [10].

Z danych Urzędu Regulacji Energetyki na dzień 1 stycznia 2010 r. wynika, iż obecnie istnieją 72 instalacje służących do wytwarzania biogazu pochodzącego z wysypisk odpadów o łącznej mocy 7,245 MW [7]. Instalacje te są wybudowane na terenie wysypisk.

limit the storage of sludge, and therefore it is necessary to disseminate appropriate methods of disposal of sewage sludge and their optimal use [17].

Technical potential for the use of biogas from wastewater treatment plants for energy purposes is very high. Poland has 1759 industrial and 1471 municipal wastewater treatment plants and this number increases (for the year 2003). At present only at 72 sewage treatment plants, there are biogas plants. Standard from 1 m³ of sediment (4-5% dry weight) could be obtained from 10 to 20 m³ of biogas containing 60% methane. For the direct production of biogas are best adapted biological sewage treatment plants, which apply in all municipal wastewater treatment plants and some industrial plants. Due to the fact that sewage treatment plants have a relatively high demand on both their own heat and electricity, the energy use of biogas from the fermentation of sewage sludge can significantly improve the profitability of these municipal services. For economic reasons, the acquisition of biogas for energy purposes is justified only to the larger sewage treatment plants receiving on average over 8000 – 10000 m³/day [18].

Eurostat data show that the total production of sewage sludge in Poland amounts to 533,4 thous. Mg of dry solids per year (in year 2007) [19]. Given the data that the yield of biogas from dry organic matter of sewage sludge is 63 m³ per Mg of dry organic matter, and the fact that it contains 80% of dry organic matter and organic in the dry matter, it can be concluded, that the potential of biogas from sewage sludge is 26 883 360 m³ per year.

According to the data of Polish Energy Market Agency, the biogas production potential from sewage treatment plants is estimated at 96 930 200 m³, which corresponds to 2 078 755 GJ of energy, equal to the heating value 21 446 kJ/m³ [10].

Data from the Energy Regulatory Office on January 1st, 2010 show that there are currently 46 installations for the production of biogas from wastewater treatment plants with total capacity of 7245 MW. These installations are built at the wastewater treatment plants.

From the wastewater treatment biogas manufactured in 2008 in Poland there was received 94.9 GWh of electricity and 733 TJ [10].

Poland as a country of industry and agriculture has a relatively large potential for biogas production. Depending on the degree of purity of agricultural biogas, namely methane content, produced biogas can be an important energy carrier in CHP systems, and to use in transport.

National waste management in Poland is not very efficient, which means that significant amounts of potential energy resources as waste substances are deposited in landfills.

Alignment of the national fuel and energy economy to the requirements of European directives, in particular Directive 2009/28/EC [6] promoting

Z wytworzonego w 2008 roku w Polsce biogazu pochodzącego z wysypisk odpadów otrzymano 14,4 GWh energii elektrycznej i 142 TJ ciepła [10].

2.3. Potencjał produkcyjny biogazu w Polsce z oczyszczalni ścieków

W Polsce funkcjonuje ponad 4 tysiące oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych. W wielu takich instalacjach powstają znaczne ilości osadów, mogących stanowić surowiec do produkcji biogazu, ponieważ nie zawierają toksycznych substancji, natomiast zawartość suchej masy po poziomie 4-5%, w tym ponad 90% masy organicznej, pozwala na ich beztlenową fermentację. Osady te w Polsce, najczęściej są deponowane na składowiskach odpadów, co staje się coraz większym problemem, szczególnie w świetle przepisów prawa UE. Uregulowania prawne ograniczają składowanie osadów, w związku z czym niezbędne jest upowszechnienie właściwych metod utylizacji osadów ściekowych i ich optymalnego zagospodarowania [17].

Potencjał techniczny dla wykorzystania biogazu z oczyszczalni ścieków do celów energetycznych jest bardzo wysoki. W Polsce jest 1759 przemysłowych i 1471 komunalnych oczyszczalni ścieków i liczba ta wzrasta (dane na rok 2003). W chwili obecnej jedynie przy 72 oczyszczalniach ścieków istnieją biogazownie. Standardowo z 1 m³ osadu (4-5% suchej masy) można uzyskać 10-20 m³ biogazu o zawartości ok. 60% metanu. Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, które mają zastosowanie we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Ponieważ oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne zarówno na energię cieplną i elektryczną, energetyczne wykorzystanie biogazu z fermentacji osadów ściekowych może w istotny sposób poprawić rentowność tych usług komunalnych. Ze względów ekonomicznych pozyskanie biogazu do celów energetycznych jest uzasadnione na tylko większych oczyszczalniach ścieków przyjmujących średnio ponad 8 000 - 10 000 m³/dobę [18].

Dane Eurostatu wskazują, że całkowita produkcja osadu ściekowego w Polsce wynosi 533,4 tys. ton suchej masy osadu w skali roku (dane z roku 2007) [19]. Biorąc pod uwagę dane o tym, że uzysk biogazu z suchej masy organicznej osadu ściekowego wynosi 63 m³ na tonę s.m.o., i to, że zawiera on 80% suchej masy organicznej w suchej masie, można wywnioskować, że potencjał biogazu z osadu ściekowego wynosi 26 883 360 m³ w skali roku.

Według danych Agencji Rynku Energii w Polsce, obejmujących około 50% rynku polskiego, na

dzień 1 stycznia 2010 r., potencjał produkcyjny biogazu pochodzącego z oczyszczalni ścieków

renewable energy sources, imposes the need for significant change to increase the potential energy derived from renewable sources and waste substances.

The degree of dispersion and relatively low potential of individual farms may hinder the creation of agricultural biogas plants complexes, covering the whole of Polish territory. Nevertheless, the possibility of building about 2500 agricultural biogas plants in Poland, reported for the first time at the conference WIREC 2008 in Washington, seems to be real in the period up to 2020

Started research on the possibility of purification and use of biogas for transport purposes may create the possibility to use purified biogas as a fuel initially in agricultural machinery and equipment, and next by fueling vehicle engines. In this field work is being carried out, which aim is to use the existing Polish natural gas distribution network (currently in Poland there are 31 CNG refueling stations).

3. Production potential of biogas in Sweden

Sweden is a quickly developed country in the production of energy from renewable resources. Approximately 29% of primary energy supply in the country is from renewable sources.

Biogas industry started to flourish in the years 1950 - 1970 in Sweden, initially to reduce the amount of sewage sludge. In 2006 in Sweden, there were 223 biogas plants: 138 municipal wastewater treatment plants, 60 plant at the landfill of municipal waste, industrial wastewater treatment 3, 14 and 8 cofermentation install biogas plants. At present, in Sweden there are about 233 biogas plants with a total biogas production of 1.3 TWh/year. Most of these installations, as many as 139 is located at municipal wastewater treatment plants (WWTP). In these plants produce almost 43% of the Swedish biogas [19].

The theoretical potential of biogas production in Sweden is about 14 to 17 TWh/year, representing more than ten times the current production of biogas. Biomass from agriculture represent the largest part of the potential of biogas. Currently, almost 80% of the capacity of the agricultural sector remains unused.

The total biogas production in Sweden was 1.2 TWh in 2006.

In 2006 the highest yield of biogas plants were characterized by a sewage treatment plant - 582 GWh, as well as installations at landfill sites - 342 GWh. Co-fermentation plants produced 184 GWh of energy, industrial installations - 91 GWh, while farm biogas plants - only 14 GWh.

The biogas potential of about 14 TWh of producing 50% of crops, mainly biomass from fallow land, 18% from livestock manure, and in 7% of municipal waste, including 7% of sewage sludge szacuje się na 96 930 200 m³, co odpowiada 2 078 755 GJ energii, przy wartości opałowej równej 21 446 kJ/m³ [10].

Z danych Urzędu Regulacji Energetyki na dzień 1 stycznia 2010 r. wynika, iż obecnie istnieje 46 instalacji służących do wytwarzania biogazu pochodzącego z oczyszczalni ścieków o łącznej mocy 7,245 MW [7]. Instalacje te wybudowane są przy oczyszczalniach ścieków.

Z wytworzonego w 2008 roku w Polsce biogazu pochodzącego z wysypisk odpadów otrzymano 94,9 GWh energii elektrycznej i 733 TJ [10].

Polska jako kraj przemysłowo-rolniczy posiada relatywnie duży potencjał w zakresie wytwarzania biogazu. W zależności od stopnia czystości biogazu rolniczego, a dokładniej od zawartości metanu, wytworzony biogaz może stanowić istotne nośniki energii układach CHP, a także do zastosowań transportowych.

Narodowa gospodarka odpadami w Polsce jest mało efektywna, co powoduje, że znaczne ilości potencjalnych surowców energetycznych typu substancje odpadowe jest deponowana na składowiskach odpadów.

Proces dostosowywania się narodowej gospodarki paliwowo-energetycznej do wymagań dyrektyw europejskich, szczególnie dyrektywy 2009/28/EC [6] promującej odnawialne źródła energii, nakłada konieczność istotnych zmian prowadzących do zwiększenia potencjału energetycznego pochodzącego ze źródeł odnawialnych oraz substancji odpadowych.

Stopień rozproszenia i relatywnie mały potencjał indywidualnych gospodarstw rolniczych utrudniać może stworzenie kompleksów biogazowni rolniczych obejmujących całe terytorium Polski. Nie mniej jednak możliwość budowy około 2500 biogazowni rolniczych w Polsce zgłoszona po raz pierwszy na konferencji WIREC 2008 w Waszyngtonie wydaje się być realna w okresie do 2020 r.

Rozpoczęte prace badawcze w zakresie możliwości oczyszczenia i wykorzystania biogazu do celów transportowych stwarzać mogą możliwość do zastosowania oczyszczonego biogazu do zasilania początkowo maszyn i urządzeń rolniczych, a w dalszej kolejności do zasilania silników samochodowych. W tym zakresie prowadzone są prace, których celem jest wykorzystanie istniejącej w Polsce sieci dystrybucji gazu naturalnego (aktualnie w Polsce istnieje 31 stacji tankowania samochodów CNG).

3. Potencjał produkcyjny biogazu w Szwecji

Szwecja jest krajem wysoko rozwiniętym w zakresie produkcji energii z zasobów odnawialnych. Około 29% dostaw energii pierwotnej w kraju jest ze źródeł odnawialnych.

and 18% from various other sources (industrial waste, garden waste, etc.). About 26 TWh is derived from biomass gasification of forest and agricultural production.

3.1. Production potential of biogas in Sweden from agriculture biogas plants

The total potential of biomass waste in Sweden is currently estimated at about 123 PJ/year. A lot of this amount 82% comes from the potential of the forest, 7% of the timber industry and 11% comes from straw [20].

There were defined two different scenarios for the development of renewable energy sources. The first scenario provides for maximizing the production of biofuels (including biogas) by 2020, while the second scenario assumes the sustainable production of biofuels (including biogas) with a special observance of minimum impact on the environment.

In the first scenario, the total potential of biomass will be 130.8 PJ/year, where 83% comes from forestry activities, less than 9% will fall for the timber industry, and the rest, including about 9%, will fall for a potential straw. The second scenario reveals the potential of the total amount of 131.8 PJ/year. Partial capacity amounts to 85% for forestry, 7% for wood, and 8% for the potential of straw.

Agriculturally used area of the country is 3.1 mln ha, which represents 7% of the total area of the country and wooded areas occupy 53% of the area. Major contribution to the potential of forest trees is derived from scrap.

Of the total amount of straw, cereal straw is more than 80%, the rest is corn straw. The total amount of straw collected in Sweden was rated equivalently to 60 PJ/year, however, both scenarios predict future decline in capacity to 56.2 PJ/year.

The highest concentration of biomass production has been identified in the region of Östra Mellansverige, where it amounts to 5.4 PJ/year. According to the production of future scenarios in the region will decrease the quantity of 4.8 PJ/year in the first scenario and to 4.4 PJ/year in the second scenario. Also in the region Sydsverige total potential of biomass is about 4 PJ/year in the first futuristic scenario, this potential will not change, while for the second scenario, this potential will decrease to 3.6 PJ/year. In the four regions of Sweden, the potential of biomass is set at a level close to zero.

On the basis of current assessments can be said that the most sensitive indicators are the ratio of "straw of cereal grain" and "participation of straw in soil, however, is an indicator of future scena-

rios," consumption of grain "will exhibit the highest volatility. In all regions, in which the total potential of straw is laid down to near zero, the most sensitive indicator of the current turns out to be "part of straw in the soil, while the rate of future scenarios",

Przemysł biogazowy zaczął rozwijać się w latach 1950 - 1970 w Szwecji, początkowo w celu zmniejszenia ilości osadów ściekowych. W 2006 roku w Szwecji istniały 223 instalacje produkcji biogazu: 138 oczyszczalni ścieków komunalnych, 60 instalacji przy wysypiskach odpadów komunalnych, 3 przemysłowe oczyszczalnie ścieków, 14 instalacji kofermentacyjnych oraz 8 biogazowni rolniczych. W chwili obecnej w Szwecji istnieje około 233 instalacji biogazowych z całkowitą produkcją biogazu w wysokości 1,3 TWh/rok. Większość z tych instalacji, bo aż 139 jest zlokalizowanych przy oczyszczalniach ścieków komunalnych (WWTP). W tych właśnie instalacjach produkuje się niemalże 43% szwedzkiego biogazu [19].

Teoretyczny potencjał produkcji biogazu w Szwecji wynosi około 14-17 TWh/rok, co stanowi ponad dziesięciokrotność aktualnej produkcji biogazu. Biomasa pochodząca z rolnictwa reprezentuje największą część potencjału biogazu. Aktualnie prawie 80% potencjału z sektora rolniczego pozostaje niewykorzystane.

Całkowita produkcja biogazu w Szwecji wyniosła 1,2 TWh w roku 2006.

W 2006 roku najwyższym uzyskiem biogazu charakteryzowały się instalacje oczyszczalni ścieków – 582 GWh, a także instalacje przy wysypiskach odpadów – 342 GWh. Instalacje kofermentacyjne produkowały 184 GWh energii, instalacje przemysłowe – 91 GWh energii, natomiast biogazownie rolnicze – tylko 14 GWh energii.

Według Szwedzkiego Stowarzyszenia Gazowego potencjał produkcyjny biogazu w Szwecji jest bardzo duży, a jego wartość wynosi 35-40 TWh/rok.

W potencjale biogazu około 14 TWh energii pozyskuje się w 50% z upraw roślin, głównie biomasy pochodzącej z ugorów, w 18% z odchodów zwierzęcych, w 7% z odpadów komunalnych, również w 7% z osadu ściekowego oraz w 18% z różnych innych źródeł (odpadów przemysłowych, odpadów ogrodniczych itd.). Około 26 TWh pochodzi ze zgazowania biomasy leśnej i rolnej.

3.1. Potencjał produkcyjny biogazu w Szwecji z biogazowni rolniczych

Całkowity potencjał biomasy odpadowej w Szwecji oceniany jest aktualnie na około 123 PJ/rok. 82% tej ilości pochodzi z potencjału leśnego, 7% z przemysłu drzewnego a 11% pochodzi ze słomy.

Określono dwa różne scenariusze rozwoju odnawialnych źródeł energii. Scenariusz pierwszy przewiduje maksymalizację produkcji biopaliw (w tym biogazu) do roku 2020, natomiast scenariusz

drugi zakłada zrównoważoną produkcję biopaliw (w tym biogazu), ze szczególnym przestrzeganiem minimalnego wpływu na środowisko.

consumption of meat "would be the most volatile [9].

The potential resources from the agricultural sector in Sweden is the crops, agricultural residues and animal wastes. In Sweden, biogas production potential from livestock manure is $2.5 \cdot 10$ to 27 TWh/year [19].

3.2. Production potential of biogas in Sweden from landfills

In Sweden, in the manufacture of heat and electricity burned about 50% of municipal waste, which are always sorted at source, in more or less efficient manner. Over 45% of the waste is recovered and recycled (paper, cardboard, metal, glass, plastic packaging, the fraction of biological, etc.). Only 4% is stored, primarily as fly ash from waste incineration plants. Revenues from the sale of energy from waste incineration economic conditions provide for

Table 3. Number of processed waste in Sweden in the distinction between treatment methods, the number of harvested biogas and production of biogas for use in engines, as well as electricity and heat production in 2004-2008 [21]

Tabela 3. Ilość odpadów przerabianych w Szwecji w podziale na zastosowane technologie, ilość gazu rolniczego i produkcji biogazu jako paliwa silnikowego oraz elektryczności i ciepła w latach 2004-2008 [21]

	2004	2005	2006	2007	2008
Anaerobic digestion (Mg)	244,374	258,071	283,729	356,087	405,580
Composting (Mg)	389,384	459,827	452,388	515,294	568,700
Total biological treatment (Mg)	633,758	717,710	736,117	871,380	974,280
including food waste processing (Mg)	107,028	118,960	134,994	166,807	162,680
The total amount of municipal waste treated biologically (Mg)	433,830	454,450	469,877	561,303	597,280
After-fermentation waste (Mg)	211,080	251,840	272,730	336,100	389,350
Biogas (TWh)	118,900	161,600	181,270	228,810	280,000
The gas to be used in engines (TWh)	70,170	68,600	80,180	112,860	162,420
Electricity (TWh)	6,230	1,260	1,680	1,230	700
Heat (TWh)	38,230	61,620	63,600	67,960	48,740
Crude gas (TWh)	0	19,130	26,250	36,370	42,300

the collection, sorting and recovery of waste and materials for reuse.

Table 3 shows the quantities of organic waste processed in different ways, and the amount of digested matter, together with the produced biogas.

As shown in Table 3, in the process of waste treatment in 2008, equivalently produced 280 thous. TWh of biogas, which means more than twofold increase compared to 2004.

Every year in Sweden is burned about 4.5 mln Mg of municipal waste, which means that it rece-

ives every year about 13.6 TWh of electricity from waste (about 2.3 bln m³ of biogas), which corresponds to the annual consumption of heat in 810 000 households and electricity 250 000 houses.

W scenariuszu pierwszym całkowity potencjał biomasy wyniesie 130,8 PJ/rok, gdzie 83% pochodzi z działalności leśnej, mniej niż 9% przypadnie dla przemysłu drzewnego, a reszta, również około 9%, przypadnie dla potencjału słomy. Scenariusz drugi ujawnia łączną kwotę potencjału w wysokości 131,8 PJ/rok. Częściowy potencjał wynosi odpowiednio 85% dla gospodarki leśnej, 7% dla przemysłu drzewnego, a 8% dla potencjału słomy.

Wykorzystany rolniczo obszar kraju zajmuje 3,1 mln ha, co stanowi 7% całkowitego obszaru kraju, a obszary zalesione zajmują 53% tego obszaru. Główny udział w potencjale leśnym pochodzi ze ściniek drzew.

Z całkowitej ilości słomy, słoma zbożowa stanowi więcej niż 80%, resztę stanowi słoma kukurydziana. Całkowita ilość słomy zebranej w Szwecji została oceniona ekwiwalentnie na 60 PJ/rok, jednakże oba scenariusze przyszłości przewidują spadek potencjału do 56,2 PJ/rok

Najwyższe zagęszczenie produkcji biomasy zostało zidentyfikowane w regionie Östra Mellansverige, gdzie wynosi on 5,4 PJ/rok. Zgodnie ze scenariuszami przyszłości produkcja w tym regionie zmaleje do ilości 4,8 PJ/rok w przypadku scenariusza pierwszego i do 4,4 PJ/rok w przypadku scenariusza drugiego. Również w regionie Sydsverige całkowity potencjał biomasy wynosi około 4 PJ/rok, w przyszłościowym scenariuszu pierwszym potencjał ten się nie zmienia, natomiast w przypadku scenariusza drugiego potencjał ten zmaleje do 3,6 PJ/rok. W czterech regionach Szwecji potencjał biomasy określono na poziomie bliskim zeru.

Na bazie aktualnych ocen można powiedzieć, że najbardziej czułymi wskaźnikami są wskaźnik „słomy zbożowej do ziarna” i „udział słomy w glebie”, jednakże w scenariuszach przyszłości to wskaźnik „konsumpcji zboża” będzie wykazywał najwyższą zmienność. We wszystkich regionach, w których całkowity potencjał słomy określono na poziomie bliskim zeru, najbardziej wrażliwym wskaźnikiem aktualnie okazuje się „udział słomy w glebie”, natomiast w scenariuszach przyszłości wskaźnik „konsumpcji mięsa” będzie najbardziej zmiennym [9].

Potencjalne surowce z sektora rolniczego w Szwecji to rośliny uprawne, pozostałości rolnicze oraz odchody zwierzęce. W Szwecji potencjał produkcyjny biogazu z odchodów zwierzęcych wynosi $2,5 \cdot 10^{-27}$ TWh/rok [19].

In practice this means that about 15% of heat transmitted to district heating comes from waste incineration. 60% of the city of Malmo (250 000 persons), 30% of Goteborg (500 000 persons) and the entire southern Stockholm (130 000) are heated with heat produced in municipal waste incinerators.

3.3. Production potential of biogas in Sweden from wastewater treatment plants

An important substrate for biogas production are sludges, wet biological fraction present in municipal waste and waste from food industry and agriculture. Biogas thus produced can be directly used to produce electricity and heat, or be subjected to a process of refining the quality of the natural gas used as fuel to power vehicles or driven to the natural gas network.

In Sweden, due to lack of gas network solution is the use of biomethane to power municipal vehicles. In the cities of Linköping and Helsingborg (both at about 100 000 inhabitants), all buses and vehicles used for waste exports are driven by biogas. In Linköping biogas is also fueling a regional train.

Biogas production is more expensive than natural gas, but its application works to the benefit reduction of CO₂ emissions. State mobilizes community for its production through the release of the excise tax. In addition, according to EU law should not be stored biological waste due to uncontrolled emissions of methane, which is 22 times greater negative impact on the greenhouse effect than carbon dioxide already been mentioned.

In 2006, Sweden produced 210 000 tons of sewage sludge. From this it follows that the potential production of biogas from sewage sludge in Sweden in 2006 was about 529 200 m³.

In Sweden, there is no problem with the management of the digested sludge. This sediment after dewatering is returned to the soil due to the high content of phosphorus and no heavy metals. This considerably reduced the scope of application of fertilizers. Technology blending them in the garbage and the burning seems to be the most effective technology, where the level of heavy metals does not allow for recycling the sludge into the soil.

4. Biogas actual condition and perspective of development in Poland versus Sweden

Table 4 presents division of biogas production potential of the project countries BBB (Poland and Sweden). Table 4 indicates huge capability use in

Poland (e.g. taking into account only near 20-25 percent of utilization of biogas in this way) of biogas as vehicle fuel even if for city buses. In Sweden a lot of city buses is presently fuelled with biogas (biomethane). For example in Stockholm are in service in this year about 150 city buses.

3.2. Potencjał produkcyjny biogazu w Szwecji z wysypisk odpadów

W Szwecji na cele produkcji energii cieplnej i elektrycznej spalano ok. 50 % odpadów komunalnych, które zawsze są sortowane u źródła, w bardziej lub mniej efektywny sposób. Ponad 45 % odpadów jest odzyskane i poddane recyklingowi (papier, karton, metal, szkło, opakowania plastikowe, frakcja biologiczna itd.). Zaledwie 4 % jest składowane, przede wszystkim jako popioły lotne ze spalarni odpadów. Przychody ze sprzedaży energii ze spalania odpadów dają przesłanki ekonomiczne do zbierania, sortowania i odzyskiwania odpadów i materiałów do ponownego użycia.

Tabela 3 przedstawia ilości różnie przetwarzanych odpadów organicznych, a także ilość odpadu pofermentacyjnego wraz z wyprodukowanym biogazem.

Jak wynika z tabeli 3, w procesie przetwarzania odpadów, w 2008 roku wyprodukowano ekwiwalentnie 280 tys. TWh biogazu, co oznacza ponad dwukrotny wzrost w stosunku do roku 2004.

Co roku w Szwecji spalanych jest ok. 4,5 miliona ton odpadów komunalnych, co oznacza, że użykuje się co roku ok. 13,6 TWh energii z odpadów (około 2,3 mld m³ biogazu), co z kolei odpowiada rocznemu zużyciu ciepła w 810 000 gospodarstwach domowych i energii elektrycznej w 250 000 domach jednorodzinnych.

W praktyce oznacza to, że około 15% energii cieplnej przesyłanej w sieci ciepłowniczej pochodzi ze spalania odpadów komunalnych. 60% miasta Malmo (250 000 osób), 30% Goteborg (500 000 osób) oraz cały południowy Sztokholm (130 000 osób) ogrzewane są energią cieplną produkowaną w spalarniach odpadów komunalnych.

3.3. Potencjał produkcyjny biogazu w Szwecji z oczyszczalni ścieków

Ważnym substratem do produkcji biogazu są osady ściekowe, wilgotna frakcja biologiczna występująca w odpadach komunalnych oraz odpady z przemysłu żywnościowego i rolnictwa. Tak wytworzony biogaz może być bezpośrednio używany do produkcji energii elektrycznej i ciepła lub zostać poddany procesowi uszlachetniania do jakości gazu ziemnego, użyty jako paliwo do napędzania pojazdów lub kierowany do sieci gazu ziemnego.

W Szwecji ze względu na brak sieci gazowej rozwiązaniem jest używanie biometanu do napędu pojazdów komunalnych. W miastach Linköping i Helsingborg (oba po około 100 000 mieszkańców), wszystkie autobusy i pojazdy służące do wywozu

odpadów napędzane są biogazem. W Linkoping biogaz napędza również pociąg regionalny.

Biogaz jest droższy w produkcji od gazu ziemnego, jednak jego zastosowanie działa na korzyść obniżenia emisji CO₂. Państwo mobilizuje gminy do jego produkcji poprzez zwolnienie z akcyzy.

Table 4. Presents division of biogas production potential of the project countries BBB (Poland and Sweden).

Tabela 4. podział potencjału produkcji biogazu w państwach uczestniczących w projekcie BBB (Polska i Szwecja)

Biogas type		Country	
		Poland	Sweden
Agriculture biogas	According to data	3 629 000 m ³	76%
	Converted value [m ³]	3 629 000	1,82-2,20 mln
Landfill biogas	According to data	33 927 500 m ³	10%
	Converted value [m ³]	33 927 500	0,24-0,29 mln
Biogas from wastewater treatment plants	According to data	96 930 200 m ³	14%
	Converted value [m ³]	96 930 200	0,34-0,41 mln
TOTAL	According to data	53-486 PJ	14-17 TWh 35-40 TWh
	Converted value [m ³]	7,2-22,8 mln	2,4-2,9 mln 6-6,9 mln

5. Ecological results of application of biogas (biomethane) for supplying city buses.

Biogas (biomethane) is similar to compressed natural gas (CNG) but renewable.

Results of research introduce in indicate that [22]:

- currently EEV certified methane buses clearly outperform EEV certified diesel vehicles for NO_x as well as PM,
- methane vehicles provide true EEV performance over time,
- All methane fuelled vehicles deliver very low PM emissions,
- Stoichiometric vehicles deliver lower NO_x and lower fuel consumption,
- Clear benefit for methane also for unregulated emissions (PM numbers, aldehydes, PAH, direct NO₂ emissions etc.),
- Main drawback of spark-ignited methane compared to diesel is higher energy consumption.

Table 5 presents results of above research of

Table 5. Exhaust emission from city buses [22]
Tabela 5. emisji spalin z autobusów miejskich [22]

City bus-cycle	CO g/km	HC g/km	CH ₄ * g/km	NO _x g/km	PM g/km	CO ₂ g/km	CO ₂ eqv g/km
Diesel Euro 3	0,80	0,14	0,00	8,64	0,195	1189	1189
Diesel Euro 4	2,84	0,10	0,00	8,35	0,112	1194	1194
Diesel Euro 5 **	2,84	0,10	0,00	8,35	0,087	1194	1194
Diesel EEV	1,12	0,02	0,00	5,87	0,062	1116	1116
CNG Euro 3	0,14	1,67	1,14	9,36	0,011	1257	1295
CNG EEV	2,27	1,04	0,87	3,18	0,007	1275	1294

* for diesel CH₄ = 0 ** Euro 5 emission factors estimated by Euro 4 factors

exhaust emissions from EEV buses (diesel and CNG) [22].

Figure 5 indicates that the best diesel and CNG buses have a tailpipe CO₂ emission of some 1,100 g/km [22]. However, it is necessary to remember that biomethane is renewable fuel and therefore CO₂ emission from well to wheel is near zero.

Dodatkowo, według prawa unijnego nie wolno składować odpadów biologicznych ze względu na niekontrolowaną emisję metanu, który ma 22-krotnie większy negatywny wpływ na efekt cieplarniany niż już wspomniany ditlenek węgla.

W roku 2006 w Szwecji wytworzono 210 000 ton osadu ściekowego. Z tego wynika, że potencjał wytworzenia biogazu z osadów ściekowych w Szwecji w roku 2006 wynosił około 529 200 m³.

W Szwecji nie istnieje problem z zagospodarowaniem przefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków. Osad ten po odwodnieniu zawracany jest do gleby z uwagi na dużą zawartość

fosforu i brak metali ciężkich. Dzięki temu znacznie obniżono zakres stosowania nawozów sztucznych. Technologia mieszania ich z odpadami komunalnymi i spalania wydaje się być najbardziej efektywną technologią w przypadku, gdy poziom metali ciężkich nie pozwala na zawrócenie osadu do gleby.

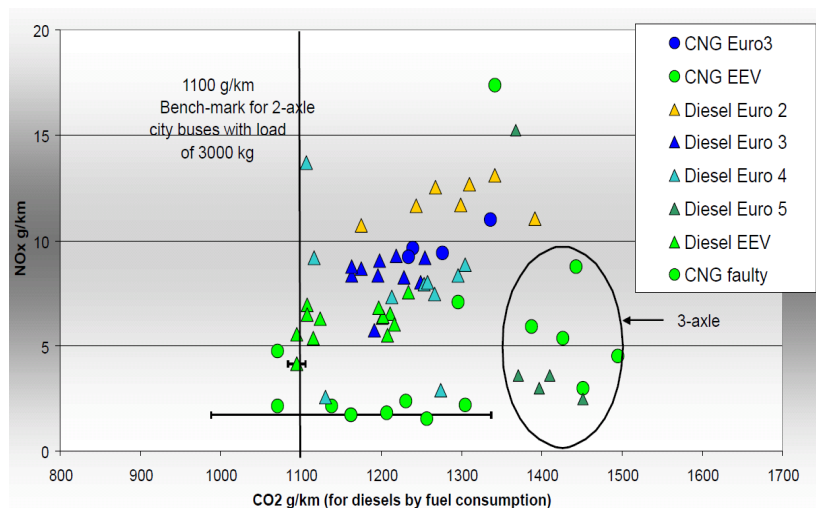
W Szwecji ze względu na brak sieci gazowej rozwiązaniem jest używanie biometanu do napędu pojazdów komunalnych. W miastach Linkoping i Helsingborg (oba po około 100 000 mieszkańców), wszystkie autobusy i pojazdy służące do wywozu odpadów napędzane są biogazem. W Linkoping biogaz napędza również pociąg regionalny.

Biogaz jest droższy w produkcji od gazu ziemnego, jednak jego zastosowanie działa na korzyść obniżenia emisji CO₂. Państwo mobilizuje gminy do jego produkcji poprzez zwolnienie z akcyzy. Dodatkowo, według prawa unijnego nie wolno składować odpadów biologicznych ze względu na niekontrolowaną emisję metanu, który ma 22-krotnie większy negatywny wpływ na efekt cieplarniany niż już wspomniany ditlenek węgla.

W roku 2006 w Szwecji wytworzono 210 000 ton osadu ściekowego. Z tego wynika, że potencjał wytworzenia biogazu z osadów ściekowych w Szwecji w roku 2006 wynosił około 529 200 m³.

4. Biogaz stan obecny i perspektywy rozwoju w Szwecji w porównaniu z Polską

W Tabeli 4 przedstawiono podział potencjału pro-



nawet jedynie dla autobusów miejskich. W Szwecji dużo autobusów miejskich jest obecnie zasilanych biogazem (biometanem), na przykład w Sztokholmie w roku bieżącym jest używanych około 150 autobusów miejskich.

dukcji biogazu w państwach uczestniczących w projekcie BBB (Polska i Szwecja). Tabela 4 ukazuje ogromne możliwości wykorzystania bigazu w Polsce (np. biorąc pod uwagę tylko 20-25 procent wykorzystania biogazu w ten sposób) jako paliwa dla pojazdów mechanicznych.

Fig. 5. NO_x and CO₂ emissions for the Braunschweig city bus fleet [22]
Rys. 5. Emisja NO_x and CO₂ dla pojazdów mechanicznych w Braunschweig [22]

6. Conclusions

The EU 20-20-20 climate and energy goals can be summaries as follows:

- reduction greenhouse gas emissions at least by 20% up to 2020,
- improving the EV's energy efficiency by 20% up to 2020,
- increasing the share of renewable energy up to 20% in 2020, in particular a 10% share of renewable energy in the transport sector.

The new transport White Paper recommends an ambitions target of 60% reduction of greenhouse gas emissions from transport up to 2050 in comparison to 1990. In this publication is forecasted that biomethane will be alternative road transport fuel for passenger / light duty cars, heavy duty (city) vehicles and heavy duty (long distance) vehicles in short term period (2020), mid term period (2030) and long term period (2050 – only for passenger / light duty cars and heavy duty (city) vehicles) [23].

Prospect of application of biogas (biomethane) as a vehicle fuel is significant.

5. Wyniki ekologiczne stosowania biogazu (biometanu) do zasilania autobusów miejskich.

Oddziaływanie stosowania biogazu (biometanu) jest podobne do oddziaływania sprężonego gazu ziemnego (CNG). Pochodzi on jednak ze źródeł odnawialnych.

Oddziaływanie stosowania biogazu (biometanu) jest podobne do oddziaływania sprężonego gazu ziemnego (CNG). Pochodzi on jednak ze źródeł odnawialnych.

Wyniki badań wskazują, że [22]:

- Obecnie autobusy napędzane metanem spełniające normę EEV wyraźnie przewyższają silniki Diesla EEV dla NO_x oraz PM,
- Pojazdy zasilane metanem charakteryzują się rzeczywistymi właściwościami EEV,
- Wszystkie pojazdy zasilane metanem charakteryzują się bardzo niską emisją PM,
- Pojazdy stechiometryczne charakteryzują się niższą emisją NO_x i mniejszym zużyciem paliwa,
- Wyraźne korzyści dla metanu także pod względem nieuregulowanej emisji (liczba cząstek stałych, aldehydy, PAH, emisja NO₂ itp.),
- Główną wadą silników o zapłonie iskrowym zasilanych metanem w porównaniu do silników o zapłonie samoczynnym jest większe zużycie energii.

Tabela 5 przedstawia wyniki badań emisji z układów wydechowych autobusów EEV (olej napędowy i CNG) [22].

Rysunek 5 ukazuje, że najlepsze autobusy z silnikami ZS i CNG charakteryzują się emisją CO₂ z układu wylotowego około 1100 g / km [22]. Jed-

nakże należy pamiętać, że biometan jest paliwem odnawialnym, a tym samym emisja CO₂ *well to wheel* jest bliska zeru.

6. Wnioski

Klimatyczne i energetyczne cele UE 20-20-20 można streścić w następujący sposób:

- Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych przynajmniej o 20% do roku 2020,
- Poprawa o 20% sprawności energetycznej pojazdów EV do roku 2020,
- Zwiększenie udziału energii odnawialnej do 20% w 2020 r., w szczególności 10% udziału energii odnawialnej w sektorze transportu.

Nowa Biała Księga dotycząca transportu zaleca ambitny cel 60% redukcji emisji gazów cieplarnianych w sektorze transportu do 2050 r. w porównaniu z rokiem 1990. W niniejszej publikacji Przewiduje się, że biometan będzie paliwem alternatywnym dla samochodów osobowych/dostawczych, ciężarowych (miasto) i ciężarowych (duże odległości) w krótkim okresie czasu (2020), średnim okresie (2030) i długim (2050 - tylko dla samochodów osobowych/dostawczych i ciężarowych (miasto)) [23]. Perspektywa zastosowania biogazu (biometanu) jako paliwa do pojazdów jest obiecująca.



Nomenclature/Skróty i oznaczenia

CNG Compressed Natural Gas/*sprężony gaz ziemny*

LPG Liquefied Petroleum Gas/*gaz skroplony*

Bibliography/Literatura

- [1] Directive 2003/30/EC – Official Journal of the European Union L123/42, 17.5.2003.
- [2] Biernat K., Dziołak P., Gis W., Żółtowski A.: Summary elaboration on the production and potential production of biogas in the Baltic Sea Region Countries today and in the perspective of the next years. Baltic Biogas Bus Project.
- [3] Biernat K.: Nowe technologie wytwarzania biokomponentów i biopaliw pierwszej i drugiej generacji. Międzynarodowa Konferencja – Jakość paliw w Polsce i Unii Europejskiej. Warszawa 2007.
- [4] Petersson A.: Overview of upgrading technologies. 2010 Nordic Biogas Conference.
- [5] Beyer J., Brown B.: Terracastus technologies. Technology for cleaning and upgrading biogas, www.businessregion.se
- [6] Directive 2009/28/EC – Official Journal of the European Union L 110/16, 5.6.2009
- [7] Mapa Odnawialnych Źródeł Energii, opracowana przez Urząd Regulacji Energetyki, dane aktualne na dzień 31 grudnia 2009 r.: <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>;
- [8] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Założenia Programu rozwoju biogazowni rolniczych, stanowiące propozycję Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi przekazaną Ministrowi Gospodarki do programu „Innowacyjna Energetyka, Rolnictwo Energetyczne”, Warszawa, maj 2009;
- [9] Opracowanie pt. Residue biomass potential inventory results (Deliverable D5.01.03) w projekcie Renewable fuels for advanced power-trains (RENEW)
- [10] Informacja z Agencji Rynku Energii – Iwona Gogacz, wiadomość elektroniczna z dnia 15 stycznia 2010 r.;
- [11] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Założenia Programu rozwoju biogazowni rolniczych, stanowiące propozycję Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi przekazaną Ministrowi Gospodarki do programu „Innowacyjna Energetyka, Rolnictwo Energetyczne”, Warszawa, maj 2009;
- [12] Ł. Rembowski, Potencjał ilości biomasy ze źródeł rolniczych i przemysłowych w Polsce, Redakcja agroenergetyka.pl: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=512>;
- [13] K. Żmuda, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Energetyka odnawialna w polityce Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Bydgoszcz, 24 czerwca 2009 r.;
- [14] Pozyskiwanie biogazu z odpadów komunalnych, Redakcja agroenergetyka.pl: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=149>;
- [15] EC BREC, 2003. Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego;
- [16] Ochrona Środowiska 2008, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa;
- [17] Produkcja biogazu w oczyszczalni ścieków, Redakcja agroenergetyka.pl: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=529>;
- [18] EC BREC, 2003. Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego;
- [19] M. T. Yohaness, Biogas potential from cow manure – Influence of diet, Uppsala BioCenter, Swedish University of Agricultural Sciences, Master thesis 2010:3;
- [20] S. Dahlgren, Swedish Biogas Association and Swedish Gas Association, Biogas State of the art – Sweden;
- [21] Avfall Sverige – Swedish Waste Management 2009;
- [22] Nylund Nils-Olof: Environmental benefits with biogas buses, Nordic Biogas Conference Oslo, 10 – 12 March 2010;
- [23] European alternative fuel strategy in the Clean Transport System Interactive. JEG “Transport & Environmental”.

Mr. Wojciech Gis, DEng. – Science Secretary, Head of Environmental Protection Centre in Motor Transport Institute, Warsaw

Dr inż. Wojciech Gis – sekretarz naukowy, kierownik Centrum Ochrony Środowiska w Instytucie Transportu Samochodowego



Mr. Jerzy Merkisz – prof., DSc, DEng. Institute of Combustion Engines and Transport in Poznan University of Technology

Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz – dyrektor Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Mr. Andrzej Żółtowski, DEng. – Deputy Head of Environmental Protection Centre in Motor Transport Institute, Warsaw

Dr inż. Andrzej Żółtowski – zastępca kierownika Centrum Ochrony Środowiska w Instytucie Transportu Samochodowego

