

Jerzy Waškiewicz

Wojciech Gis

Edward Menes

Instytut Transportu Samochodowego

WSTĘPNA OCENA EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA BIOMETANU W MIEJSKIM TRANSPORCIE AUTOBUSOWYM. STUDIUM PRZYPADKU

Przedstawiono syntetycznie założenia techniczno – eksploatacyjne pierwszej w Polsce instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu, sfinansowanej w ramach projektu międzynarodowego More Baltic Biogas Bus, zaprojektowanej i wykonanej przez firmę NGV AutoGas z Krakowa, zainstalowanej na terenie zamkniętego składowiska odpadów w Niepołomicach. Przykładowo wskazano koncepcję wykorzystania biometanu do zasilania silników autobusów miejskich obsługujących potrzeby komunikacyjne ludności Krakowa i podkrakowskich osiedli na wybranych liniach przewozów regularnych. Przedstawiono wariantowo średnie koszty biometanu pozyskiwanego z biogazu wysypiskowego przypadające na jeden wozokilometr przebiegu autobusu. Porównano przedmiotowe koszty ze średnimi kosztami jednostkowymi przebiegu autobusu zasilanego olejem napędowym. Mając na względzie aspekt środowiskowy nowatorskiej instalacji w Polsce oszacowano średnie koszty jednostkowe emisji gazów cieplarnianych w przypadku eksploatacji autobusów na biometan (licząc od źródła do koła). Oszacowano średnie koszty jednostkowe emisji gazów cieplarnianych w przypadku eksploatacji autobusów zasilanych olejem napędowym.

PRELIMINARY ECONOMIC EVALUATION OF THE USE OF BIOMETHANE IN THE URBAN BUS TRANSPORT SYSTEM. CASE STUDY

The technical and operational assumptions of Poland's first operational installation of biogas purification, compression, storage and distribution of biomethane, financed from the international More Baltic Biogas Bus project, designed and built by NGV AutoGas firm from Krakow, and installed at the closed landfill in Niepołomice, have been presented in a synthetic form. As an example, the concept of using biomethane was shown to power the engines of urban buses that serve transport needs of the Krakow's population and that of the settlements surrounding Krakow, on selected regular routes. The average costs of the biomethane obtained from the landfill biogas were shown in a variant form per one vehicle-kilometre of the bus's mileage

The subject costs have been compared with the average unit costs of running diesel-powered bus. Having regard to the environmental aspect of the innovative installation in Poland the average unit costs of greenhouse gases emissions have been estimated for the use of buses running on biomethane (counting from the source to the wheel). The average unit costs of greenhouse gases emissions have been estimated for the use of buses powered by diesel fuel.

Wprowadzenie

W ramach zrealizowanego w 2014 r. przez Instytut Transportu Samochodowego międzynarodowego projektu pt. More Baltic Biogas Bus, zaprojektowano i wykonano prototypową instalację oczyszczania, sprężania i dystrybucji biometanu z przeznaczeniem wykorzystania jako samochodowe paliwo silnikowe.

Instalacja została posadowiona na terenie wysypiska odpadów komunalnych w Niepołomicach koło Krakowa. Biogaz pozyskiwany jest z nieczynnego już wysypiska odpadów komunalnych. Składowisko zajmuje powierzchnię 4,31 ha. Otwarto je w 1992 roku na terenach starej cegielni. 31 marca 2013 roku składowisko zamknięto. Składowisko ma charakter nadpoziomowo - podpoziomowy. Grubość warstwy zgromadzonych na nim odpadów wynosi około 10 m. Wyposażone jest w sprawny system odgazowania, sieć drenażu do odprowadzania odcieków oraz odpowiednie uszczelnienie dna i skarp, w celu zminimalizowania zagrożenia dla środowiska przyrodniczego.

Masa odpadów komunalnych na składowisku w Niepołomicach oszacowana jest na około 500 Gg. Średnia objętość biogazu możliwa do pozyskiwania ze składowiska odpadów w Niepołomicach w ciągu jednej godziny waha się w granicach 60 - 100 Nm³/h, w zależności od pory roku i od temperatury otoczenia. Średnia objętość biogazu pozyskiwanego ze składowiska została określona na około 94 Nm³/h [1].

Zasoby biogazu oszacowano na około 47 mln Nm³. Zawartość metanu w biogazie pozyskiwanym ze składowiska w Niepołomicach wynosi około 65% [1].

Biogaz pozyskiwany z systemu odgazowania składowiska pierwotnie miał być wykorzystany tylko do zasilania agregatu wytwarzającego energię elektryczną. Dzięki otwartości na innowacyjne przedsięwzięcia zarządzającej wysypiskiem Spółki „Wodociągi Niepołomice”, w ramach projektu More BBB dodatkowo przewidziano eksperymentalne wykorzystanie części pozyskiwanego biogazu wysypiskowego, poprzez doprowadzenie biogazu do parametrów biometanu (minimum 95% metanu), a następnie stosowanie biometanu do zasilania silników samochodowych.

Instalacja wykonana przez firmę NGV Autogas z Krakowa pozwala na osuszenie biogazu i usunięcie nadmiaru dwutlenku węgla, związków siarki oraz innych niepożądanych zanieczyszczeń, a następnie na sprężenie biometanu i zmagazynowanie pod ciśnieniem 250 barów w przystosowanych do tego celu zbiornikach.

Instalacja została wykonana na bazie dwóch kontenerów dwudziestostopowych. W jednym kontenerze (moduł I) zamontowano urządzenia do uzdatniania biogazu do parametrów paliwa silnikowego (upgrading) (rys. 1). Kontrola jakości biometanu w procesie upgrading-u następuje automatycznie. Rozwiązanie chronione jest prawami patentowymi. W drugim kontenerze (moduł II) zamontowano sprężarkę, absorber pochłaniający pozostałości wody z biometanu i zbiorniki do magazynowania biometanu. Na zewnętrznej ścianie tego drugiego kontenera zamontowano dystrybutor służący do tankowania paliwa biometanowego do zbiorników samochodowych (rys. 2).

Średnia godzinowa wydajność pozyskiwania paliwa biometanowego z przedmiotowej instalacji limitowana jest wydajnością pracy sprężarki biometanu i wynosi 50 Nm³/h.

Innowacyjność przedmiotowej technologii w Polsce powoduje, że brak jest krajowych doświadczeń, a zatem i kompleksowych danych służących m.in. analizie ekonomicznej w tym zakresie. Niniejszy artykuł stanowi studium jednego przypadku, bazujące głównie na przesłankach wynikających z przyjętych założeń, w dużej części teoretycznych, służące ocenie efektów wykorzystania biometanu do zasilania silników autobusów miejskich

obsługujących wybrane linie regularne publicznego transportu łączącego Kraków z pobliskimi miejscowościami.



Rys. 1. Moduł I – urządzenia upgradingu biogazu

Fig. 1. Module I – of the equipment for upgrading biogas



Rys 2. Moduł II - tankowanie autobusu biometanem

Fig. 2. Module II - refueling bus with biomethane

Przykładowy zakres wykorzystania biometanu z nowatorskiej instalacji przy składowisku odpadów w Niepołomicach przez miejski transport autobusowy Krakowa

Wielkość zapotrzebowania biometanu do zasilania autobusów miejskich oszacowano na przykładzie wybranej linii autobusowej MPK S.A. w Krakowie. Wybrano do tego celu linię aglomeracyjną nr 221, od pętli na osiedlu Mały Płaszów w Krakowie do pętli Niepołomice Dworzec. Linia ma długość 20 km i prowadzi przez miejscowości Brzegi i Grabie. Oszacowany na podstawie obowiązującego w listopadzie 2014 r. rozkładu jazdy, roczny przebieg autobusów na linii 221 wynosi około **176 tys. km**.

Przy zakładanym średnim eksploatacyjnym zużyciu biometanu na 100 km przebiegu rzędu $60 \text{ Nm}^3/100\text{km}$, roczne zapotrzebowanie biometanu do zasilania silników autobusów obsługujących linię 221 wyniesie około **106 Nm^3** .

Przy średniej wydajności sprężarki biometanu wynoszącej $50 \text{ Nm}^3/\text{h}$, obliczony czas pracy sprężarki na stacji tankowania biometanu autobusów obsługujących linię 221 wyniesie około 2100 godzin w ciągu roku.

Wariant I wykorzystania biometanu z Niepołomic w miejskim transporcie autobusowym. W przypadku wykorzystania biometanu ze składowiska odpadów w Niepołomicach do zasilania autobusów obsługujących **łącznie dwie linie** o przebiegach rocznych autobusów podobnych do przebiegów autobusów obsługujących linię nr 221, sprężarka biometanu

zainstalowana w module II pracowałaby średnio w ciągu roku przez około 4200 tys. godzin. W tym przypadku roczna produkcja i dystrybucja biometanu wyniosłaby około **212 Nm³/rok**.

Wariant II wykorzystania biometanu z Niepołomic w miejskim transporcie autobusowym

W przypadku obsługi autobusami zasilanymi biometanem ze składowiska odpadów w Niepołomicach łącznie trzech linii o rocznych przebiegach autobusów podobnych do rocznych przebiegów autobusów obsługujących linię 221, średni czas pracy sprężarki w roku wyniosłby około 6400 godzin, a roczna produkcja i dystrybucja biometanu wyniosłaby około **318 Nm³/rok**.

Aspekty ekonomiczne wykorzystania biometanu w miejskim transporcie autobusowym

Koszty zmienne eksploatacji instalacji zależą głównie od jej czasu pracy będącego funkcją objętości dystrybuowanego biometanu np. w ciągu roku.

Na koszty zmienne składają się m.in. koszty:

- poboru energii elektrycznej przez moduł oczyszczania biogazu,
- poboru energii elektrycznej przez sprężarkę biometanu,
- materiałowe, robocizny,
- przeglądów technicznych polegających m.in. na wymianie zaworów roboczych i czyszczeniu instalacji upgrading-u, wymianie filtrów, oleju itp..

Razem, w wariantcie I obsługi autobusami miejskimi MPK w Krakowie linii regularnych o cechach wyżej wyspecyfikowanych, roczne zmienne koszty eksploatacji instalacji oczyszczania, sprężania i dystrybucji biometanu wyniosłby około 73 tys. zł [2].

Roczne zmienne koszty eksploatacji przedmiotowej instalacji według wariantu II wyniosłby około 125 tys. zł.

Należy zaznaczyć, że w przyszłości można rozważyć możliwość wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych do zasilania silników elektrycznych przedmiotowej instalacji. Energia ta mogłaby pochodzić w części np. z agregatu wytwarzającego energię elektryczną wykorzystującego biogaz ze składowiska w Niepołomicach, a także np. z ogniw fotowoltaicznych zainstalowanych na południowym zboczu wzgórza, jakie stanowi zreultywowane wysypisko.

Stałe koszty eksploatacji instalacji do oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu stanowią m.in.:

- koszty amortyzacji instalacji,
- koszty montażu instalacji na terenie składowiska odpadów w Niepołomicach,
- koszty zezwoleń, certyfikatów, nadzoru itp. warunkujących dopuszczenie stacji do eksploatacji,
- koszty obsługi osobowej instalacji,
- koszty ubezpieczenia i ochrony stacji.

Razem koszty stałe eksploatacji instalacji do upgrading-u biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu w skali roku wyniosłby około **347 tys. zł**.

W przedstawionych wyżej kalkulacjach przyjęto, że sam biogaz z wysypiska odpadów w Niepołomicach pozyskiwany byłby bezkosztowo, to znaczy właściciel wysypiska, Spółka „Wodociągi Niepołomice”, udostępnił będzie biogaz do celów badawczych w projekcie More BBB, nie pobierając za pobierany biogaz opłaty.

Kalkulacja średnich kosztów 1 Nm³ biometanu z wysypiska w Niepołomicach

Przedmiotowe kalkulacje wykonano uwzględniając koszty stałe i zmienne związane z pozyskaniem biometanu z instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu według dwóch wariantów różniących się założeniami co do objętości biometanu wykorzystywanego w miejskim transporcie autobusowym (w zależności od przyjętego zakresu obsługi przez MPK Kraków linii komunikacyjnych autobusami zasilanymi biometanem).

W przypadku pominięcia kosztów zakupu biogazu od Spółki „Wodociągi Niepołomice”, w wariantcie I (obsługa dwóch linii autobusami zasilanymi biometanem), średni koszt 1 Nm³ biometanu (z instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu w Niepołomicach wyniesie około **1,98 zł/Nm³**.

W wariantcie II (obsługa trzech linii autobusami zasilanymi biometanem), średni koszt 1 Nm³ biometanu z przedmiotowej instalacji wyniesie około **1,49 zł/Nm³**.

Średnie koszty 1 Nm³ biometanu są różne w zależności od objętości pozyskiwanego biometanu do celów transportowych w skali np. roku. Im więcej wykorzystuje się tego paliwa, tym średni koszt jednostkowy jest mniejszy.

Porównanie średnich kosztów 1 Nm³ biometanu z ceną CNG

Cena detaliczna metanu (CNG) na stacjach dystrybucji tego paliwa w Krakowie, w końcu grudnia 2014 r., wynosiła 2,89 zł/Nm³ na stacji przy ul. Balickiej (PGNiG). Na stacjach prywatnych cena była wyższa. Np. na stacji przy ulicy Siewnej (firma Orfamet) cena ta wynosiła 3,04 zł/Nm³.

Należy podkreślić, że oszacowane w tym miejscu niższe koszty biometanu pozyskiwanego z instalacji w Niepołomicach w porównaniu z ceną detaliczną paliwa CNG, są wynikiem braku uwzględnienia podatków w tym pierwszym przypadku i wynikiem braku uwzględniania kosztów zakupu surowca, jakim jest biogaz. Natomiast w cenie detalicznej CNG zawarty jest m.in. podatek akcyzowy oraz VAT.

Wniosek praktyczny z badań kosztów jednostkowych produkcji biometanu z gazu składowiskowego jest jednoznaczny: koszty biometanu z wykonanej w ramach projektu More BBB innowacyjnej instalacji upgrading-u biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu w Niepołomicach (bez kosztów zakupu biogazu w Spółce „Wodociągi Niepołomice”) są dwukrotnie mniejsze niż cena paliwa metanowego (CNG) w sieci dystrybucyjnej w Polsce.

Kalkulacja średnich kosztów biogazu wysypiskowego z Niepołomic

W powyższych kalkulacjach kosztów wytworzenia biometanu z biogazu wysypiskowego z Niepołomic, nie uwzględniono kosztów pozyskania (zakupu) biogazu będącego surowcem do produkcji biometanu. Można by powiedzieć, że biogaz pozyskiwany jest za darmo, ponieważ wysypisko i tak wytwarza biogaz. Ale biorąc pod uwagę, że Spółka „Wodociągi Niepołomice” wytwarzając z biogazu i sprzedając energię elektryczną, będzie uzyskiwała pewien zysk, wówczas koszty „utraconego zysku” w związku z przeznaczeniem części powstającego biogazu na rzecz nowatorskiej instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu stanowiłyby w tym przypadku koszty zakupu tego surowca przeznaczonego do wytworzenia biometanu.

Koszty te wynikają ze średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej przez osoby fizyczne produkujące energię elektryczną z własnych mikroinstalacji OZE stanowiącej około 80% ceny sprzedaży energii elektrycznej przez jej profesjonalnych wytwórców [3]. Średnie koszty produkcji energii elektrycznej z biogazu wysypiskowego w Niepołomicach muszą ponadto uwzględniać koszty amortyzacji agregatu prądowłórczego, koszty konserwacji itp. Zysk ze sprzedaży energii elektrycznej przez Spółkę „Wodociągi Niepołomice” byłby niewielki, wyniósłby około 0,03 zł/kWh.

Średnie koszty pozyskania biogazu ze składowiska w Niepołomicach, w przeliczeniu na 1 Nm³ biometanu obliczono uwzględniając:

- przyjętą wartość energetyczną biometanu,
- zakładaną sprawność agregatu prądowłórczego (40%),
- przyjęty średni zysk ze sprzedaży energii elektrycznej z własnych mikroinstalacji OZE.

Oszacowano, że średnie koszty pozyskania biogazu ze składowiska w Niepołomicach wynoszą około **0,11 zł/Nm³** w przeliczeniu na biometan.

Średnie koszty jednostkowe biometanu przy uwzględnianiu kosztów zakupu biogazu

W praktyce eksploatacji instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu w Niepołomicach może się okazać, że po wstępnym okresie eksperymentalnego rozruchu instalacji, właściciel składowiska odpadów, tj. Spółka „Wodociągi Niepołomice” zażąda opłat za biogaz przeznaczony do przetworzenia na paliwo silnikowe, jakim jest biometan, uwzględniając „utracony zysk” z tytułu nie sprzedanej energii elektrycznej do sieci państwowej. Wówczas przedmiotowe koszty jednostkowe biometanu będą wyższe o koszt zakupu surowca, jakim jest biogaz. W kosztach 1 Nm³ wyprodukowanego biometanu przedmiotowej instalacji znajdzie się koszt zakupu surowca, wynoszący **0,11 zł/Nm³**.

W związku z tym koszt 1 Nm³ biometanu (łącznie z kosztami zakupu biogazu) z instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu w Niepołomicach wyniósłby w zależności od wariantu wykorzystania biometanu przez MPK w Krakowie:

- w wariantcie I: **2,09 zł/Nm³**
- w wariantcie II: **1,60 zł/Nm³**

Jest oczywiste, że im większe wykorzystanie instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu w Niepołomicach (im większa produkcja biometanu), tym koszty jednostkowe tego paliwa będą mniejsze. Jednak, jak wspomniano wcześniej, wydajność wytwarzania biometanu przez przedmiotową instalację jest limitowana wydajnością zainstalowanej w module II sprężarki biometanu oraz w konkretnym przypadku składowiska odpadów w Niepołomicach jest limitowana wydajnością źródła biogazu (60 – 100 Nm³/h).

Należy raz jeszcze podkreślić, że zaprezentowane tu porównania kosztowe dotyczą innowacyjnego rozwiązania podlegającego jedynie ocenie ekonomicznej na etapie badań prowadzonych w ramach projektu More BBB i nie uwzględniają kwestii opodatkowania wprowadzanego do obrotu paliwa biometanowego. W praktyce należy liczyć się z tym, że po okresie próbnego rozruchu i po zakończeniu badań w ramach projektu More BBB, eksploatacja instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu może podlegać kontroli ze strony organów podatkowych państwa. Wówczas biometan z przedmiotowej instalacji, przy określonych realiach cenowych paliw

silnikowych w Polsce, z punktu widzenia ekonomicznego może cechować się mniejszą przewagą konkurencyjną w porównaniu z metanowym paliwem silnikowym oferowanym w sieci dystrybucji CNG w Polsce.

Aspekty środowiskowe systemu wykorzystania biometanu w miejskim transporcie autobusowym na przykładzie stacji w Niepołomicach

W przypadku rozważań dotyczących wykorzystania w transporcie samochodowym paliw z odnawialnych źródeł energii (OZE) często podnoszona jest kwestia efektu, jakim jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza przy stosowaniu tego rodzaju nośników energii. W tym miejscu przedstawione będą efekty ekonomiczne w aspekcie wykorzystania biometanu z instalacji w Niepołomicach do zasilania silników autobusowych, w świetle aktualnie obowiązujących w Polsce aktów prawnych, stanowiących przełożenie kwestii emisji zanieczyszczeń gazów cieplarnianych na skutki finansowe, w tym przypadku dla przewoźników samochodowych.

W przypadku biometanu wykorzystywanego do celów transportowych, koszty związane z emisją dwutlenku węgla wynikają z faktu, że energia elektryczna wykorzystywana w Polsce do funkcjonowania instalacji oczyszczania biogazu i sprężania biometanu wytwarzana jest z węgla kamiennego, a nie z odnawialnych źródeł energii. Stąd, wykorzystywanie energii paliwa biometanowego pochodzącego z wysypiska wytwarzającego biogaz nie będzie (uwzględniając emisję dwutlenku węgla „od źródła do koła”) procesem nie powodującym emisji tego zanieczyszczenia.

Przykładowo, biorąc pod uwagę emisję gazów cieplarnianych „od źródła do koła”, udział emisji gazów cieplarnianych w przypadku pojazdów zasilanych biometanem w emisji gazów cieplarnianych pojazdów zasilanych olejem napędowym oszacowany został na około 3% [4].

Przyjęte do oszacowania emisji gazów cieplarnianych ze spalania paliw silnikowych przez autobusy miejskie obsługujące linie regularne (według przykładowych wariantów w przedmiotowych obliczeniach) wskaźniki energetyczne emisji gazów cieplarnianych z silników parku samochodowego w Polsce publikuje KOBiZE [5]. Stosowana przez KOBiZE w inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń metoda szacowania emisji gazów cieplarnianych dla wszystkich źródeł mobilnych jest metodą wskaźnikową. Emisja zanieczyszczeń obliczana jest jako iloczyn zużycia poszczególnych paliw przez pojazdy każdej z wyspecyfikowanych kategorii przez odpowiednie wskaźniki energetyczne emisji zanieczyszczeń. Krajowe energetyczne wskaźniki emisji dwutlenku węgla z silników parku samochodowego przyjmowane są przez KOBiZE na podstawie opracowań Instytutu Transportu Samochodowego.

Oszacowana masa wyemitowanego dwutlenku węgla ze spalania oleju napędowego w silnikach autobusów MPK Kraków obsługujących linie według wariantu I (dwie linie) wynosi w ciągu roku około 412 Mg. Natomiast oszacowana masa wyemitowanego metanu wynosi w ciągu roku około 0,021 Mg.

Oszacowana masa wyemitowanego dwutlenku węgla ze spalania oleju napędowego w silnikach autobusów MPK Kraków obsługujących linie według wariantu II (trzy linie) wynosi w ciągu roku około 618 Mg, a masa wyemitowanego metanu około 0,038 Mg.

Aktualną dla roku 2014 wysokość stawek opłat za gazy lub pyły wprowadzone do powietrza w Polsce określa Załącznik nr 2 Obwieszczenia Ministra Środowiska [6]. Obwieszczenie powołuje się na art. 290 ust. 2 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. — Prawo Ochrony Środowiska [7].

Jednostkowe stawki opłaty za gazy lub pyły wprowadzane do powietrza w 2014 r. były następujące:

- dwutlenek węgla: 0,29 zł/Mg
- metan: 0,29 zł/Mg

Oszacowane koszty związane z emisją dwutlenku węgla i z emisją metanu w wyniku spalania oleju napędowego w silnikach autobusowych, wynikające z masy spalonego paliwa i wysokości obowiązujących stawek opłat za gazy i pyły wprowadzone do powietrza w Polsce według wariantu I obsługi linii autobusowych przez MPK Kraków w przypadku emisji dwutlenku węgla wynoszą około 120,- zł, a w przypadku metanu nie mają znaczenia (około 0,01 zł).

Biorąc pod uwagę udział emisji gazów cieplarnianych z silników pojazdów zasilanych biometanem w emisji gazów cieplarnianych pojazdów z silnikami zasilanymi olejem napędowym wynoszący 3%, roczne koszty zewnętrzne emisji gazów cieplarnianych w przypadku alternatywnej obsługi wybranych (wariant I) linii autobusowych taborem zasilanym biometanem wyniosłyby **3,60 zł**.

Oszacowane koszty związane z emisją dwutlenku węgla i z emisją metanu w wyniku spalania oleju napędowego w silnikach autobusowych, wynikające z masy spalonego paliwa i wysokości obowiązujących stawek opłat za gazy i pyły wprowadzone do powietrza w Polsce według wariantu II obsługi linii autobusowych przez MPK Kraków w przypadku emisji dwutlenku węgla wynoszą około 180 zł. W przypadku emisji metanu, koszty te (przy obowiązujących stawkach opłat za gazy i pyły wprowadzone do powietrza nie są istotne).

Biorąc pod uwagę udział emisji gazów cieplarnianych pojazdów zasilanych biometanem w emisji gazów cieplarnianych pojazdów zasilanych olejem napędowym wynoszący 3%, roczne koszty zewnętrzne emisji gazów cieplarnianych w przypadku alternatywnej obsługi wybranych (wariant II) linii autobusowych taborem zasilanym biometanem wyniosłyby **5,40 zł**.

Przy tak niskim, wyrażonym w wartości finansowej, efekcie środowiskowym przewagi stosowania paliwa biometanowego nad stosowaniem oleju napędowego do zasilania silników autobusów miejskich, problem z punktu widzenia ekologii, przy polskich uwarunkowaniach dotyczących stawek za gazy wprowadzone do powietrza, wydaje się być bez znaczenia. Kwestia opłat za gazy wprowadzone do powietrza w wyniku spalania paliw silnikowych ma minimalny wpływ na całkowite koszty transportu autobusowego. Zdecydowanie większy wpływ na koszty transportu mają koszty paliw, w tym wysokość podatków kształtujących cenę nośników energii.

Należy podkreślić, że wobec stosunkowo niskich, obowiązujących w Polsce, stawek opłat za korzystanie ze środowiska, marginalne znaczenie kosztów środowiskowych wobec całkowitych kosztów eksploatacji pojazdów, dotyczy zarówno pojazdów z silnikami zasilanymi biometanem, jak i pojazdów z silnikami zasilanymi olejem napędowym.

Wnioski wynikające z porównania średnich jednostkowych kosztów nośników energii według wariantów obsługi przewozowej na przykładzie MPK Kraków

1. Średnia wydajność produkcji biogazu w nowatorskiej instalacji oczyszczania biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu zlokalizowanej na terenie wysypiska odpadów w Niepołomicach jest wystarczająca do zasilania biometanem autobusów MPK Kraków obsługujących dwie (wariant I) lub trzy (wariant II) linie

autobusowe, charakteryzujące się podobieństwem przebiegów do linii aglomeracyjnej nr 221 (Kraków osiedle Mały Płaszów – Niepołomice Dworzec).

- Roczny przebieg parku autobusowego obsługującego te linie wyniósłby odpowiednio około 352 tys. km i około 529 tys. km (tab. 1).

Tablica 1

Oszacowanie średnich jednostkowych kosztów biometanu z prototypowej stacji upgrading-u biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji w Niepołomicach na przykładzie obsługi autobusowej realizowanej przez MPK Kraków

Table 1

Estimation of the average unit costs of the biomethan obtained from the prototype biogas up-grading, compression, storage and distribution station in Niepołomice using the example of the bus service provided by MPK Kraków

Wyszczególnienie	Jedn. miary		
		Dwie linie (wariant I)	Trzy linie (wariant II)
Przykładowe parametry związane z wykorzystaniem biometanu przez MPK Kraków			
Roczny przebieg autobusów	km	352400	528600
Średni dobowy czas pracy sprężarki	godz./dobę	11,6	17,4
Czas pracy sprężarki w roku	godz./rok	4234	6350
Roczne zużycie biometanu przez autobusy	Nm ³ /rok	211700	317600
Kalkulacja nie uwzględniająca kosztów zakupu biogazu do produkcji biometanu			
Roczne koszty zmienne produkcji biometanu	zł/rok	72800	125400
Roczne koszty stałe produkcji biometanu	zł/rok	346900	346900
Razem koszty produkcji biometanu	zł/rok	419700	472300
Koszt jednostkowy produkcji biometanu	zł/Nm ³	1,98	1,49
Porównanie kosztów paliwa biometanowego i kosztów ON			
Roczne koszty paliwa biometanowego	zł/rok	332800	385400
Średnia cena hurtowa ON	zł/dcm ³	3,827	3,827
Roczne koszty ON	zł/rok	606900	910300
Roczne oszczędności przy stos. biometanu	zł/rok	274100	524900
Kalkulacja uwzględniająca koszty zakupu biogazu do produkcji biometanu			
Śr koszty biogazu (w przelicz. na biometan)	zł/Nm ³	0,11	0,11
Koszt jednostkowy produkcji biometanu	zł/Nm ³	2,09	1,60
Roczne koszty paliwa biometanowego	zł/rok	461900	579100

Zródło: opracowanie własne

- Roczne zużycie biometanu wyniosłoby odpowiednio około 212 Nm³ i około 318 Nm³.
- Czas pracy sprężarki biometanu stacji w Niepołomicach w roku wyniósłby odpowiednio około 4200 godzin i około 6400 godzin.
- Roczne koszty produkcji biometanu (bez uwzględniania kosztów zakupu biogazu) wyniosłoby około 420 tys. zł w wariantcie obsługi dwóch linii autobusowych i około 472 tys. zł w wariantcie obsługi trzech linii.
- Roczne koszty produkcji biometanu (z uwzględnieniem kosztów zakupu biogazu) wyniosłoby około 443 tys. zł w wariantcie obsługi dwóch linii autobusowych i około 507 tys. zł w wariantcie obsługi trzech linii.
- Średni koszt 1Nm³ biometanu wyprodukowanego w prototypowej instalacji wyniósłby (bez uwzględniania kosztów zakupu biogazu) odpowiednio 1,98 zł/Nm³ i 1,49 zł/Nm³.

8. Średni koszt 1Nm³ biometanu wyprodukowanego w prototypowej instalacji wyniósłby (z uwzględnieniem kosztów zakupu biogazu) odpowiednio 2,09 zł/Nm³ w wariantcie I i 1,60 zł/Nm³ w wariantcie II.
9. W końcu grudnia 2014 r. na stacjach tankowania CNG w Krakowie będących własnością PGNiG cena detaliczna paliwa metanowego wynosiła 2,89 zł/Nm³.
10. Średni koszt biometanu w przeliczeniu na jeden wozokilometr przebiegu autobusu zasilanego biometanem z instalacji w Niepołomicach (bez uwzględniania kosztów zakupu biogazu) w wariantcie I oszacowano na 1,19 zł/wozokm, a w wariantcie II na 0,89 zł/wozokm (tab. 2.).

Tablica 2

Oszacowanie średnich kosztów biometanu na 1 wozokilometr przebiegu z prototypowej stacji upgradingu biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji w Niepołomicach oraz średnich kosztów oleju napędowego na 1 wozokilometr przebiegu na przykładzie obsługi autobusowej realizowanej przez MPK Kraków

Table 2

Estimation of the average costs of biomethane per 1 vehicle-kilometre of mileage obtained from the prototype up-grading biogas, compression, storage and distribution station in Niepołomiche and of the average costs of diesel per 1 vehicle-kilometre of mileage using the example of the bus service provided by MPK Krakow

Wyszczególnienie	Jedn. miary		
		Dwie linie (wariant I)	Trzy linie (wariant II)
Kalkulacja nie uwzględniająca kosztów zakupu biogazu do produkcji biometanu			
Średni jednostkowy koszt biometanu	zł/wozokm	1,19	0,89
Kalkulacja uwzględniająca koszty zakupu biogazu do produkcji biometanu			
Średni jednostkowy koszt biometanu	zł/wozokm	1,26	0,96
Średni jednostkowy koszt ON	zł/wozokm	1,72	1,72
Różnica średnich kosztów biometanu i ON na 1 wozokilometr przebiegu			
przy nie uwzględnianiu kosztów biogazu	zł/wozokm	0,53	0,83
przy uwzględnianiu kosztów biogazu	zł/wozokm	0,46	0,76

Źródło: opracowanie własne

11. Średni koszt biometanu w przeliczeniu na jeden wozokilometr przebiegu autobusu zasilanego biometanem z instalacji w Niepołomicach (z uwzględnieniem kosztów zakupu biogazu) w wariantcie I oszacowano na 1,26 zł/wozokm, a w wariantcie II na 0,96 zł/wozokm.
12. W obydwu wariantach, nawet przy uwzględnieniu kosztów zakupu biogazu, średnie koszty biometanu na 1 wozokilometr przebiegu byłyby mniejsze niż średnie koszty oleju napędowego na 1 wozokilometr przebiegu.
13. Wobec stosunkowo niskich, obowiązujących w Polsce, stawek opłat za korzystanie ze środowiska, marginalne znaczenie kosztów środowiskowych w całkowitych kosztach eksploatacji pojazdów, dotyczy zarówno pojazdów z silnikami zasilanymi biometanem, jak i pojazdów z silnikami zasilanymi olejem napędowym. Udział kosztów emisji gazów cieplarnianych w łącznych kosztach oleju napędowego i kosztach emisji gazów cieplarnianych stanowi zaledwie 0,02%. Udział kosztów emisji gazów cieplarnianych

w łącznych kosztach paliwa biometanowego i kosztach emisji gazów cieplarnianych jest 30 razy mniejszy niż w przypadku ON.

14. Trzeba podkreślić, że produkcja biometanu z odpadów komunalnych z jednej strony prowadziłaby do ich gospodarczego wykorzystania, a z drugiej strony stanowiłaby czynnik ograniczający import do kraju surowców do produkcji paliw płynnych i import gazu ziemnego.
15. Rozproszona produkcja biometanu z odpadów wpłynęłaby również na wzrost bezpieczeństwa energetycznego kraju i przyczyniłaby się do powstania nowych miejsc pracy.

LITERATURA:

- [1] Czajka K. „Biogaz ze składowisk odpadów komunalnych, ze szczególnym uwzględnieniem składowiska w Niepołomicach”; EKOPOZ sp. z o.o.; Bolechowo k/Poznań; listopad 2014 r.
- [2] Gis W., Menes E., Waśkiewicz J. „Socjoekonomiczne i środowiskowe efekty wykorzystania biogazu w miejskim transporcie autobusowym – studium przypadku”; Praca ITS nr 5301/ITS; Warszawa 2014 r. (Praca wykonywana w ramach projektu międzynarodowego More Balic Biogas Bus).
- [3] Prezes Urzędu Regulacji Energetyki; Informacja nr 10/2012 w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za 2011 r.
- [4] Dena, Germany; za Michał Śliżak „Autobusy zasilane skroplonym gazem kopalnianym”; SOLBUS Sp. z o.o.; maj 2013 r.
- [5] KOBiZE „Krajowy raport inwentaryzacyjny 2012. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce”; Warszawa, luty 2012.
- [6] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 13 sierpnia 2013 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2014 (Monitor Polski – Dziennik Urzędowy Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 września 2013 r. poz. 729)
- [7] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. — Prawo Ochrony Środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150, z późn. zmianami)