Nafta-Gaz 2022, nr 12, s. 872–877, DOI: 10.18668/NG.2022.12.03

Biogaz rolniczy w Polsce – produkcja i możliwości wykorzystania

Agricultural biogas in Poland – production and possible applications

Jadwiga Holewa-Rataj, Ewa Kukulska-Zając

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Biogaz stanowi alternatywę energetyczną dla konwencjonalnych paliw gazowych. Wzrost produkcji tego gazu oraz zwiększenie wykorzystania potencjału sektora biogazowego w Polsce może mieć znaczący wkład w zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez dywersyfikację źródeł energii. W niniejszym artykule skoncentrowano się wyłącznie na biogazie rolniczym i przedstawiono najnowsze dane dotyczące m.in. liczby biogazowni rolniczych oraz rocznej wydajności instalacji do wytwarzania tego gazu. Warto zauważyć, że liczba biogazowni rolniczych w Polsce systematycznie wzrasta. Na początku roku 2021 było ich 116, na koniec 2021 roku w rejestrze wytwórców biogazu rolniczego KOWR wpisanych było już 128 instalacji biogazowych, natomiast aktualna na koniec 2022 roku liczba biogazowni rolniczych wynosi 141. Wzrost liczby instalacji biogazowych pociąga za sobą wzrost możliwości produkcji tego gazu. Instalacje zarejestrowane na koniec 2021 roku pozwalały na wytworzenie ponad 513 mln m^3 biogazu rolniczego rocznie. Obecnie sumaryczna roczna wydajność instalacji biogazowych pozwala na wytworzenie ponad 569 mln m^3 biogazu rolniczego. Wszystkie zarejestrowane w Polsce biogazownie rolnicze wykorzystują produkowany biogaz do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu. Sumaryczna moc zainstalowana elektryczna wszystkich biogazowni rolniczych na koniec 2022 roku wynosi 139,5 MW_e. W artykule przedstawiono również wyniki analiz w zakresie stosowanych w Polsce substratów do produkcji biogazu rolniczego oraz metod jego oczyszczania, a także wpływu użytej metody oczyszczania na jakość, parametry fizykochemiczne oraz możliwość wykorzystania powstającego gazu. Do produkcji biogazu rolniczego w większości stosowana jest biomasa roślinna w połączeniu z inną biomasą oraz ewentualnie kiszonka. Wykorzystywane w biogazowniach rolniczych procesy oczyszczania biogazu to przede wszystkim odsiarczanie i osuszanie. Przeprowadzone badania pokazały również, że parametry energetyczne biogazów rolniczych pochodzących z różnych biogazowni charakteryzują się niewielkim zróżnicowaniem, co jest istotne ze względu na fakt, że stabilność parametrów energetycznych biogazu stanowi ważny czynnik wpływający na możliwość jego efektywnego wykorzystania.

Słowa kluczowe: biogaz rolniczy, produkcja biogazu rolniczego w Polsce.

ABSTRACT: Biogas is an energy alternative to conventional gaseous fuels. Increasing the production of agricultural biogas and increasing the use of the potential of the biogas sector in Poland may significantly contribute to increasing the country's energy security through the diversification of energy sources. This article focuses exclusively on agricultural biogas and presents the latest data on, inter alia, the number of agricultural biogas plants and the annual capacity of the installation for producing this gas. It is worth noting that the number of agricultural biogas plants in Poland is systematically increasing. At the beginning of 2021 there were 116 agricultural biogas plants, at the end of 2021, 128 biogas installations were entered in the KOWR register of agricultural biogas producers, while the current number of agricultural biogas plants at the end of 2022 is 141. The increase in the number of biogas installations entails an increase in the possibility of producing this gas. Installations registered at the end of 2021 allowed for the production of over 513 million m^3 of agricultural biogas per year. Currently, the total annual capacity of biogas installations allows for the production of over 569 million m^3 of agricultural biogas. All agricultural biogas plants registered in Poland use the produced biogas to generate heat and electricity in combination. The total installed electric capacity of all agricultural biogas plants at the end of 2022 is 139.5 MW_e. The article also presents the results of analyzes of the substrates used in Poland for the production of agricultural biogas and methods of its purification, as well as the impact of the treatment method used on the quality, physicochemical parameters and the possibility of using the generated gas. For the production of agricultural biogas, mostly plant biomass is used in combination with other biomass, and possibly silage. The biogas purification processes used in agricultural biogas plants are primarily desulphurization and drying. The conducted research also showed that the energy parameters of agricultural biogas from different biogas plants are characterized by little differentiation, which is important due to the fact that the stability of the energy parameters of biogas is an important factor influencing the possibility of its effective use.

Key words: agricultural biogas, agricultural biogas production in Poland.

Autor do korespondencji: J. Holewa-Rataj, e-mail: *jadwiga.holewa@inig.pl*

Artykuł nadesłano do Redakcji: 18.11.2022 r. Zatwierdzono do druku: 29.11.2022 r.

Wstęp

Zgodnie z definicją zawartą w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Dyrektywa 2018/2001) mianem biogazu określa się paliwa gazowe wyprodukowane z biomasy. Dane dostępne w literaturze przedmiotu wskazują trzy podstawowe źródła do pozyskiwania biogazu. Są nimi (Olech et al., 2017; Semikow i Sumera, 2019):

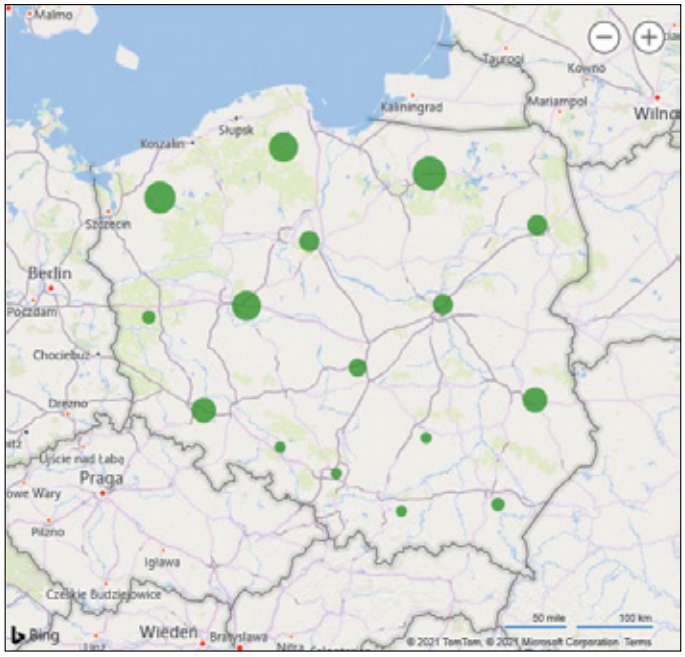
- składowiska odpadów, głównie odpadów komunalnych;
- oczyszczalnie ścieków, w których procesowi fermentacji poddawane są osady ściekowe;
- biogazownie rolnicze, wykorzystujące jako substrat do produkcji biogazu odpady z przemysłu rolniczego i spożywczego, a także surowce pochodzące z przeznaczonych do tego celu upraw.

W niniejszym artykule skoncentrowano się wyłącznie na biogazie rolniczym, który zgodnie z Ustawą z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r.) jest definiowany jako „gaz otrzymywany w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych, odpadów lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, lub biomasy roślinnej zebranej z terenów innych niż zaewidencjonowane jako rolne lub leśne, z wyłączeniem biogazu pozyskanego z surowców pochodzących ze składowisk odpadów, a także oczyszczalni ścieków, w tym zakładowych oczyszczalni ścieków z przetwórstwa rolno-spożywczego, w których nie jest prowadzony rozdział ścieków przemysłowych od pozostałych rodzajów osadów i ścieków".

Nadrzędnym celem europejskiej polityki klimatycznej jest osiągnięcie nowoczesnej, zasobooszczędnej, zielonej i konkurencyjnej gospodarki neutralnej klimatycznie do 2050 roku. W tym kontekście biogaz rolniczy jest paliwem gazowym, które wpisuje się w szereg polityk i działań UE, w tym politykę Europejskiego Zielonego Ładu, strategię na rzecz ograniczenia emisji metanu, plan działań na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym oraz strategię inteligentnej integracji sektorowej (Biomasa, 2020). Dzieje się tak dlatego, że zagospodarowanie odpadów z przemysłu rolno-spożywczego na potrzeby uzyskania biogazu przyczynia się nie tylko do ograniczenia niekontrolowanych emisji metanu z tego sektora gospodarki, ale wpływa również na zmniejszenie ilości składowanych odpadów poprzez ich powtórne wykorzystanie. Duże nadzieje związane są też z możliwością zatłaczania biometanu do sieci, co pozwoli na lepszą integrację systemu gazowego i elektroenergetycznego oraz zwiększy udział OZE w tych sektorach.

Produkcja biogazu rolniczego w Polsce

W rejestrze prowadzonym przez Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa w listopadzie 2022 r. w Polsce zarejestrowanych było 141 biogazowni rolniczych, należących do 117 podmiotów. Sumaryczna roczna wydajność tych instalacji biogazowych pozwala na wytworzenie ponad 569 mln m^3 biogazu rolniczego (KOWR, 2022). Jednak szacowany na podstawie dostępności substratów roczny potencjał produkcji biogazu rolniczego w Polsce jest znacznie większy i wynosi 13,5 mld m^3 biogazu lub 7,8 mld m^3 biometanu (Nikiciuk, 2019). Wielkość produkcji biogazu oraz liczba biogazowni rolniczych jest zróżnicowana w poszczególnych rejonach Polski (rysunek 1).



Rysunek 1. Produkcja biogazu rolniczego w poszczególnych województwach na podstawie danych KOWR z 2022 roku

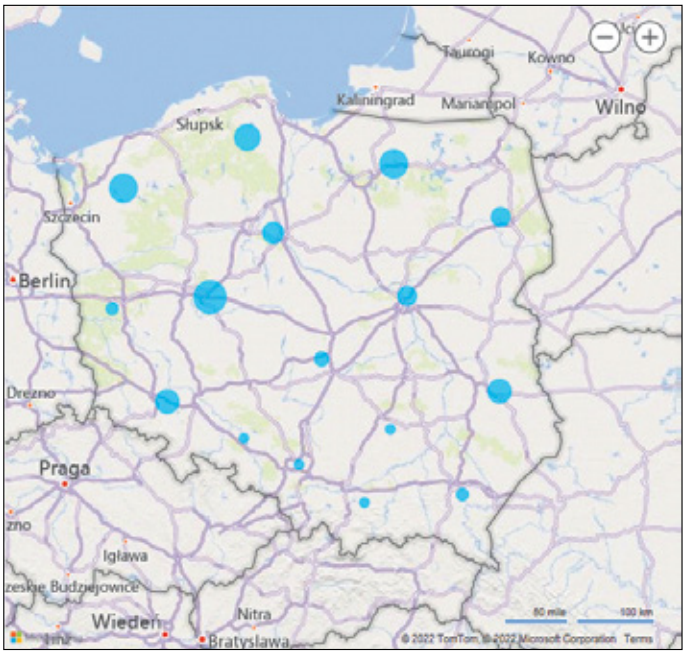
Figure 1. Production of agricultural biogas in individual voivodeships based on KOWR 2022 data

W produkcji biogazu rolniczego dominują trzy województwa, tj. warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie oraz wielkopolskie, i odpowiadają one łącznie za 35,3% ilości tego biogazu produkowanego w Polsce. W województwach tych zlokalizowanych jest 50 biogazowni rolniczych, co stanowi ponad 35,0% biogazowni zarejestrowanych w KOWR. Na drugim biegunie znajdują się województwa z południa Polski, tj. małopolskie, opolskie, świętokrzyskie, śląskie. W żadnym z tych województw roczna produkcja biogazu nie przekracza rocznie 10 mln m^3. Łącznie województwa te produkują 21,9 mln m^3 biogazu rocznie, co stanowi jedynie 3,8% produkcji biogazu w Polsce. Wszystkie zarejestrowane w Polsce biogazownie rolnicze wykorzystują produkowany biogaz do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu. Większość

z nich (prawie 69,0%) to instalacje małe w rozumieniu ustawy (Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r.), czyli takie, których łączna moc zainstalowana elektryczna jest większa niż 50 kW i nie większa niż 1 MW_e. W przypadku pozostałych biogazowni łączna moc zainstalowana elektryczna instalacji wynosi do 3,5 MW_e. Sumaryczna moc zainstalowana elektryczna wszystkich biogazowni rolniczych wynosi 139,5 MW_e, z czego 66,6% produkowane jest w małych biogazowniach. Łączna moc zainstalowana elektryczna biogazowni rolniczych w poszczególnych województwach jest ściśle powiązana z ilością produkowanego w danym województwie biogazu (rysunek 2). Aż 6 województw (wielkopolskie, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie, pomorskie, lubelskie i dolnośląskie) posiada biogazownie o łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej powyżej 10 MW_e. Z drugiej jednak strony województwo świętokrzyskie posiada biogazownie rolnicze o łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej nieprzekraczającej 2,5 MW_e.

W 2019 roku do produkcji biogazu rolniczego zużyto 3,96 mln ton substratów, wśród których dominowały: wywar pogorzelniany, pozostałości owoców i warzyw oraz gnojowica (rysunek 3). Wymienione substraty łącznie stanowiły 59% (*m*/*m*) substratów stosowanych w tym okresie do produkcji biogazu rolniczego w Polsce.

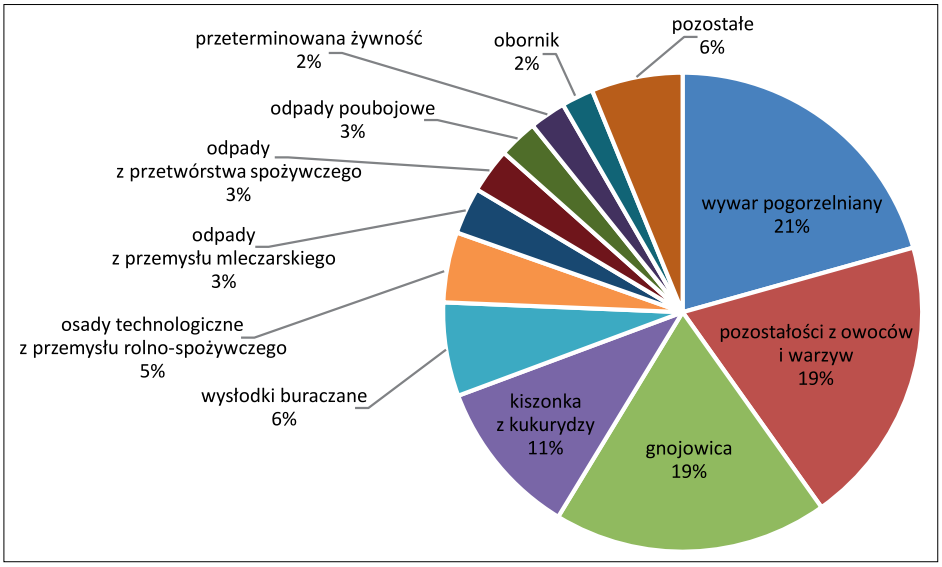
W kolejnych latach struktura substratów stosowanych do produkcji biogazu rolniczego uległa zmianie. Ankieta przeprowadzona w biogazowniach rolniczych w roku 2021 przez Instytut Nafty i Gazu –Państwowy Instytut Badawczy (przy wsparciu Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz Krajowego Ośrodka Wspierania Rolnictwa) wykazała, że biogazownie rolnicze do produkcji biogazu w większości stosują substraty będące mieszaniną różnych rodzajów biomasy. Substraty wymienione w odpowiedziach pozyskanych od biogazowni zostały



Rysunek 2. Łączna zainstalowana moc elektryczna biogazowni rolniczych w poszczególnych województwach na podstawie danych KOWR z 2022 roku

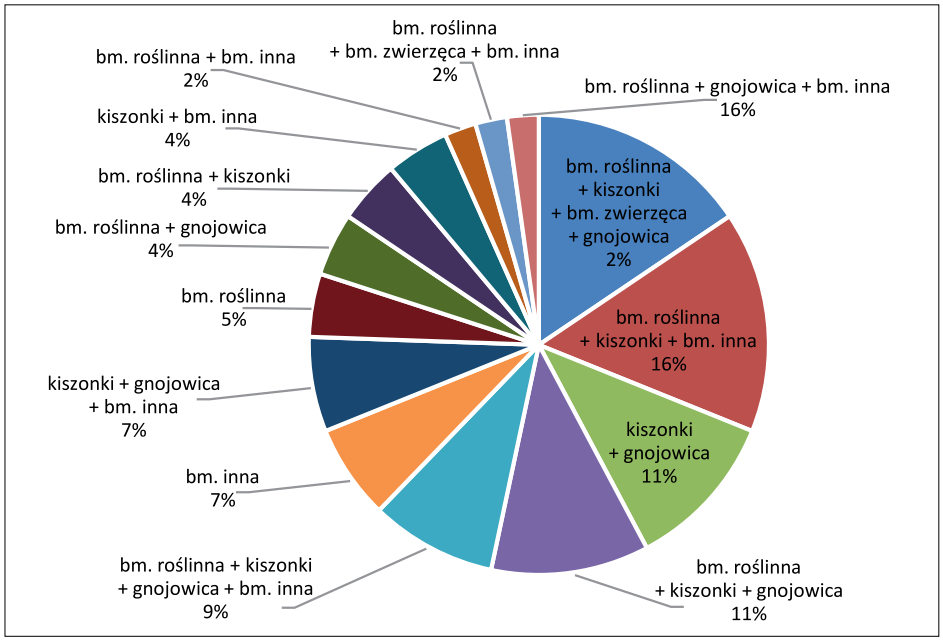
Figure 2. Total installed electric power of agricultural biogas plants in individual voivodeships based on KOWR 2022 data

podzielone na kategorie takie jak: biomasa roślinna, biomasa roślinna w postaci kiszonek, gnojowica i odchody zwierzęce, biomasa zwierzęca oraz inny rodzaj biomasy. W ostatniej z tych kategorii znalazły się takie substraty jak wywar gorzelniany, serwatka odpadowa, treści przewodu pokarmowego, osady stałe i ciekłe z ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków, osady z mycia i czyszczenia ryb, odcieki z zakładu ubojowego oraz procesu technologicznego z gnojowicą, woda tłuszczowa, olej rzepakowy rafinowany, młóto płynne, materiał paszowy,



Rysunek 3. Substraty do produkcji biogazu rolniczego w Polsce (Biomasa, 2020)

Figure 3. Substrates for the production of agricultural biogas in Poland (Biomasa, 2020)



Rysunek 4. Rodzaje substratów stosowanych do produkcji biogazu rolniczego w Polsce według odpowiedzi ankietowanych biogazowni
Figure 4. Types of substrates used for the production of agricultural biogas in Poland according to the responses of the surveyed biogas plants

odpad białkowy oraz koncentrat rolniczy białkowy. Jedynie 11% biogazowni, które udzieliły odpowiedzi w ankiecie, deklarowało, że stosuje tylko jedną kategorię biomasy, pozostałe biogazownie wykorzystywały do produkcji biogazu rolniczego biomasę należącą do różnych kategorii (rysunek 4).

Największy odsetek biogazowni, które odpowiedziały na pytania zawarte w ankietach, podał, że do produkcji biogazu stosuje biomasę roślinną w połączeniu z inną biomasą oraz ewentualnie kiszonką.

Jakość biogazu a metody jego użytkowania

Jakość biogazu rolniczego jest uzależniona od substratów, z których został wytworzony, oraz od warunków prowadzenia procesu fermentacji. W związku z tym może on zawierać liczne zanieczyszczenia, których obecności nie stwierdza się w gazie ziemnym. Wśród zanieczyszczeń biogazu rolniczego mogą występować zanieczyszczenia chemiczne (np. amoniak, związki chloru i fluoru), mechaniczne (np. krzem, pyły) oraz biologiczne (np. bakterie i grzyby) (Szlęk, 2012). Jak już wspomniano, obecnie produkowany w Polsce biogaz rolniczy jest stosowany do otrzymywania energii elektrycznej oraz cieplnej, głównie w układach kogeneracyjnych. Jednak ze względu na obecność zanieczyszczeń bezpośrednie wykorzystanie wytworzonego w procesie fermentacji biogazu, nawet w układach kogeneracyjnych, jest właściwie niemożliwe, musi on zostać poddany wstępnemu oczyszczeniu. Oczyszczanie biogazu rolniczego dla tego typu celów sprowadza się głównie do usuwania siarkowodoru i pary wodnej, odpowiedzialnych za korozję (Holewa et al., 2012; Piskorska-Wasiak, 2014). Wyniki przeprowadzonej wśród biogazowni rolniczych przez INiG – PIB ankiety potwierdzają taki zakres prowadzonego oczyszczania biogazu. Z uzyskanych odpowiedzi wynika, że:

- 100% ankietowanych biogazowni prowadzi odsiarczanie biogazu;
- 84,4% ankietowanych biogazowni osusza biogaz;
- 37,8% ankietowanych biogazowni prowadzi procesy odpalania biogazu;
- 6,7% ankietowanych biogazowni usuwa z biogazu siloksany;
- żadna z biogazowni, które udzieliły odpowiedzi w ankiecie, nie usuwa z biogazu tlenku węgla(IV).

Usuwanie wyłącznie podstawowych zanieczyszczeń z biogazu rolniczego wynika z optymalizacji kosztów jego oczyszczania w stosunku do wymagań jakościowych stawianych przez urządzenia spalające biogaz. Potwierdzają to przeprowadzone przez INiG – PIB badania jakości oczyszczonego biogazu rolniczego produkowanego w Polsce z wytypowanych do badań 11 reprezentatywnych biogazowni. Mimo że wszystkie ankietowane biogazownie deklarują odsiarczanie produkowanego biogazu, uzyskane wyniki zawartości siarkowodoru w oczyszczonych biogazach były bardzo zróżnicowane i mieściły się w zakresie od 2,3 mg/m^3 do 334,2 mg/m^3 (średnio 78,8 mg/m^3). W większości są to zawartości znacznie wyższe niż dopuszczalna zawartość tego zanieczyszczenia w gazie ziemnym, która wynosi 7 mg/m^3 (Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 6 sierpnia 2022 r.). Najniższymi zawartościami siarkowodoru (poniżej 5 mg/m^3) charakteryzowały

się biogazy powstające z biomasy roślinnej, biomasy roślinnej w postaci kiszonek oraz gnojowicy. Natomiast najwyższa zawartość siarkowodoru (powyżej 300 mg/m^3) cechowała biogazy, które powstały z wykorzystaniem jako substratów biomasy zwierzęcej lub wyłącznie wywaru gorzelnianego lub oleju rzepakowego, stałych i płynnych osadów z zakładowych oczyszczalni ścieków oraz serwatki odpadowej.

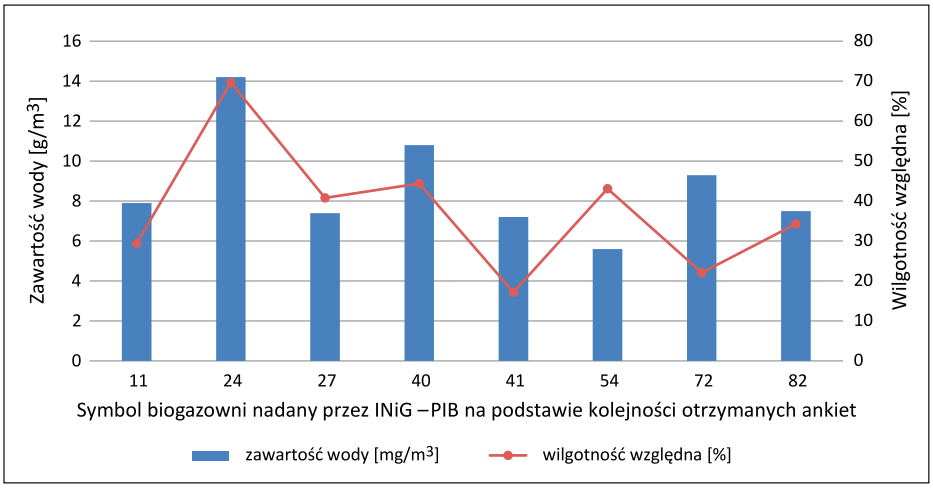
Osuszanie biogazu prowadzi prawie 85% ankietowanych biogazowni rolniczych, jednak w dużej mierze jest to osuszanie oparte wyłącznie na systemie odwadniaczy, w którym podczas schładzania gazu dochodzi do wykroplenia pary wodnej. Dlatego też badane biogazy rolnicze nawet po osuszeniu charakteryzowały się wysoką wilgotnością względną, mieszczącą się w przedziale od 17,2% do 69,7%, przy temperaturze gazu około 20°C. Wysoka wilgotność względna biogazów rolniczych przekłada się na wysoką zawartość wody, która w skrajnych przypadkach może sięgać kilkunastu gramów na metr sześcienny (rysunek 5). Wartości obu tych parametrów (zawartości wody i wilgotności względnej) powodują, że osuszone biogazy rolnicze charakteryzują się punktami rosy wody średnio na poziomie 11,5°C, przy ciśnieniu atmosferycznym.

Nieusuwanie z biogazu rolniczego tlenku węgla(IV) przekłada się z kolei na parametry fizykochemiczne tego gazu. Najważniejszym z parametrów fizykochemicznych paliw gazowych jest liczba Wobbego. Jest to parametr, który pozwala na sklasyfikowanie gazów do odpowiedniej grupy. Badane oczyszczone biogazy rolnicze charakteryzowały się niskimi wartościami liczby Wobbego, które mieściły się w zakresie od 21,01 MJ/m^3 do 29,27 MJ/m^3. Oznacza to, że 63,6% badanych biogazów rolniczych pod względem liczby Wobbego może być sklasyfikowanych tak jak gazy z grup Lm lub Ln (PN-C-04750:2011), przy czym należy zaznaczyć, że obecnie gazy należące do tych grup nie są transportowane sieciami gazowymi. Pozostałe 36,4% badanych biogazów na podstawie liczby Wobbego nie może być sklasyfikowanych do gazów pierwszej i drugiej rodziny.

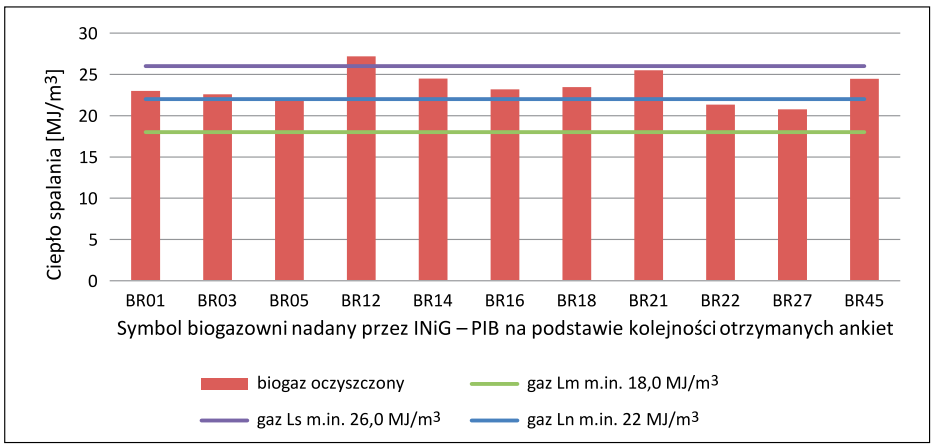
Drugi istotny parametr fizykochemiczny charakteryzujący paliwa gazowe to ciepło spalania, którego dolna wartość jest limitowana rozporządzeniem (Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 6 sierpnia 2022 r.). Wartości ciepła spalania badanych biogazów oczyszczonych mieściły się w przedziale od 20,77 MJ/m^3 do 27,19 MJ/m^3 (rysunek 6). Wartości te odpowiadają minimalnym wymaganiom względem ciepła spalania dla:

- gazu Ls w przypadku 9,1% badanych próbek;
- gazu Ln w przypadku 63,6% badanych próbek;
- gazu Lm w przypadku 27,3% badanych próbek.

Ważnym parametrem fizykochemicznym związanym z właściwościami użytkowymi paliwa gazowego jest także jego liczba metanowa. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że liczba metanowa badanych biogazów mieści się w zakresie od 131 do 148. Dla biometanu stosowanego w transporcie minimalna wartość liczby metanowej wynosi 65 (PN-EN 16723-1:2017-10). Należy jednak dodać, że w doniesieniach literaturowych dominuje z kolei pogląd, iż optymalna wartość liczby metanowej, ze względu na efektywność pracy silnika oraz niską emisję szkodliwych substancji, dla gazów spalanych w silnikach



Rysunek 5. Wilgotność względna i bezwzględna badanych biogazów rolniczych
Figure 5. Relative and absolute humidity of the analyzed agricultural biogas



Rysunek 6. Ciepło spalania badanych biogazów rolniczych
Figure 6. Combustion heat of the analyzed agricultural biogas

samochodowych powinna wynosić powyżej 80 (Holewa-Rataj i Kukulska-Zając, 2020).

Przeprowadzone badania i analizy pokazują również, że parametry energetyczne biogazów rolniczych pochodzących z różnych biogazowni charakteryzują się niewielkim zróżnicowaniem. W przypadku badanych biogazów względne odchylenie standardowe:

- liczby Wobbego wynosi 10,1%;
- ciepła spalania oraz wartości opałowej wynosi 8,0%;
- liczby metanowej wynosi tylko 3,6%.

Takie wyniki są szczególnie istotne ze względu na to, że stabilność parametrów energetycznych biogazu jest ważnym czynnikiem wpływającym na możliwość jego efektywnego wykorzystania.

Podsumowanie i wnioski

Produkcja i szerokie wykorzystanie biogazu rolniczego mogą stanowić istotny element transformacji energetycznej w Polsce oraz być ważnym krokiem na drodze do osiągnięcia w 2050 roku przez UE neutralności klimatycznej. Aby tak się stało, należy stworzyć odpowiednie możliwości prawne oraz systemy wsparcia dla producentów biogazu rolniczego, gdyż obecnie Polska wykorzystuje nieco ponad 4% szacowanego potencjału produkcji biogazu. Zwiększenie produkcji biogazu rolniczego w Polsce wymaga również wdrożenia rozwiązań umożliwiających wykorzystanie biogazu w inny sposób niż tylko do produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu. Kierunkiem rozwoju rynku biogazu w Polsce powinna być m.in. produkcja biometanu. Oczyszczenie biogazu do biometanu umożliwia wprowadzenie otrzymanego produktu do sieci gazowych oraz wykorzystanie go jako paliwa transportowego (bioCNG lub bioLNG). Biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonych badań, które wykazały dużą stabilność parametrów energetycznych biogazu rolniczego w Polsce, korzystnym rozwiązaniem wydaje się również umożliwienie wykorzystania oczyszczonego biogazu rolniczego jako gazu zasilającego specjalnie przeznaczone do tego sieci gazowe dostarczające biogaz do lokalnych użytkowników końcowych. Należy jednak zaznaczyć, że rozwój rynku biogazowego w Polsce wymagać będzie od producentów biogazu zastosowania bardziej efektywnych rozwiązań w zakresie jego oczyszczania.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Charakterystyka jakościowa biogazu rolniczego wraz z określeniem jego wpływu na środowisko*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0038/GE/2021, nr archiwalny: DK-4100-0127/2021.

Literatura

Biomasa, 2020. Raport Biogaz w Polsce 2020 <https://magazynbiomasa.pl/biogaz-w-polsce-raport-2020-dzis-premiera-publikacji/> (dostęp: 29.09.2022).

Holewa J., Kukulska-Zając E., Pęgielska M., 2012. Analiza możliwości wprowadzania biogazu do sieci przesyłowej. *Nafta-Gaz*, 8: 523–529.

Holewa-Rataj J., Kukulska-Zając E., 2020. Wpływ dodatku wodoru na liczbę metanową gazu ziemnego. *Nafta-Gaz*, 76(12): 945–950. DOI: 10.18668/NG.2020.12.08.

KOWR, 2022. Rejestr wytwórców biogazu rolniczego. <https://www.kowr.gov.pl/uploads/pliki/oze/biogaz/Rejestr%20wytw%C3%B3rc%C3%B3w%20biogazu%20rolniczego%20z%20dnia%2015.11.2022%20r..pdf> (dostęp: 15.11.2022).

Nikiciuk M., 2019. Potencjał ekologiczny i prowzrostowy sektora biogazowni rolniczych w województwie podlaskim. [W:] Gruszewska E., Roszkowska M. (red. nauk.). Współczesne problemy ekonomiczne w badaniach młodych naukowców. T. 3, *Analizy makro- i mezoekonomiczne*: 98–117. DOI: 10.15290/wpewbmn3.2019.08.

Olech E., Sikora J., Kuboń M., 2017. Biogas production from corn silage and apple pomace. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62(1): 155–157.

Piskorska-Wasiak J., 2014. Uzdatnianie biogazu do parametrów gazu wysokometanowego. *Nafta-Gaz*, 70(2): 94–105.

Semikow J., Sumera J., 2019. Some aspects of long-term testing of cogeneration set fueled with biogas. *Combustion Engines*, 58(4): 136–141. DOI: 10.19206/CE-2019-422.

Szlęk M., 2012. Światowe trendy analityczne w oznaczaniu składników śladowych zawartych w biogazie. *Nafta-Gaz*, 68(11): 821–826.

Akty prawne i normatywne

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Dz.Urz. UE L 328/82 z 21.12.2018).

PN-C-04750:2011 Paliwa gazowe. Klasyfikacja, oznaczenia i wymagania.

PN-EN 16723-1:2017-10 Gaz ziemny i biometan używany w transporcie oraz biometan zatłaczany do sieci gazu ziemnego – Część 2: Specyfikacja dla paliw do pojazdów.

Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 6 sierpnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego (Dz.U. z 2022 r. poz. 1899).

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. z 2021 r. poz. 1873 z późn. zm.).

Mgr Jadwiga HOLEWA-RATAJ
Starszy specjalista badawczo-techniczny;
kierownik Zakładu Ochrony Środowiska
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: *jadwiga.holewa-rataj@inig.pl*

Dr Ewa KUKULSKA-ZAJĄC
Zastępca Dyrektora ds. Gazownictwa
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: *ewa.kukulska-zajac@inig.pl*