

Karolina KUPCZYK, Marcin DĘBOWSKI, Marcin ZIELIŃSKI,
Magdalena ROKICKA, Artur MIELCAREK*

GLONY JAKO POTENCJALNE ŹRÓDŁO ENERGII ODNAWIALNEJ (OZE)

W pracy przedstawiono dostępne metody wykorzystania energetycznej biomasy glonów. Dotychczas wykorzystywano biomasę pochodzenia rolniczego, jednak coraz częściej pojawiają się doniesienia, że jej ilość jest niewystarczająca, a dodatkowo przeznaczanie na cele energetyczne roślin konsumpcyjnych budzi kontrowersje natury etycznej. Z przeprowadzonego przeglądu literatury wynika iż glony mogą być potencjalnym źródłem wielu rodzajów biopaliw: biogazu powstającego w procesach beztlenowego rozkładu biomasy, biodiesla produkowanego z lipidów kumulowanych w komórkach glonów, wodoru pochodzącego z przemian fotobiologicznych lub pozyskiwana biomasa glonów może być przeznaczona do bezpośredniego spalania.

1. WSTĘP

Na przełomie stuleci ludzkość wykorzystywała i eksploatowała zasoby naturalne znajdujące się na Ziemi. Postępująca eksploatacja źródeł nieodnawialnych takich jak węgiel, ropa czy gaz prowadzi do nadmiernego wykorzystania tych surowców i wyczerpania zapasów. Rozpoczęcie ery przemysłowej opartej na energochłonnych systemach spowodowało wzrost zapotrzebowania na energię. Żeby sprostać wyzwaniom stojącym przed sektorem energetycznym i spełnić wymogi ochrony środowiska niezbędny jest rozwój odnawialnych źródeł energii. Systemy energetyczne oparte na wykorzystaniu biomasy o różnej charakterystyce i pochodzeniu. Istnieją jednak analizy stwierdzające, że wykorzystywanie gruntów rolnych pod uprawy energetyczne może negatywnie wpłynąć na globalną podaż żywności i wzrost cen [7, 12, 24]. Degradacja środowiska naturalnego spowodowała konieczność poszukiwania alternatywnych zamienników. Biomasa stała się ekologicznie uzasadnionym źródłem powstawania energii.

* UWM w Olsztynie, Katedra Inżynierii Środowiska ul. Warszawska 117, 10-720 Olsztyn

Obok wykorzystania tradycyjnej biomasy dużym zainteresowaniem cieszą się glony. Coraz częściej prowadzone są badania nad tym potencjalnym źródłem biomasy z uwagi nad ich dużą produktywnością, wysoką efektywność fotosyntetyczną oraz odporność na różnego rodzaju zanieczyszczenia. Glony mogą być źródłem kilku rodzajów odnawialnych biopaliw- biodiesel, biowodór i biometan [14].

2. TERMOCHEMICZNE PRZETWARZANIE BIOMASY GLONÓW NA CELE ENERGETYCZNE

Technologie konwersji biomasy glonów do energii można podzielić na dwie główne grupy związane z przetworzeniem termochemicznym i biochemicznym [6]. Jedną z technologii termochemicznych jest zastosowanie procesu zgazowania, czyli częściowego utlenienia biomasy w temperaturze mieszczącej się w zakresie od 800 °C do 1000°C [3]. W tym rozwiązaniu technologicznym biomasa reaguje z tlenem oraz parą wodną, czego bezpośrednim efektem jest generowanie gazu syntezowego, czyli mieszaniny CO, H₂, CO₂, N i CH₄ [4]. Gaz syntezowy charakteryzuje się niską kalorycznością w zakresie od 4,0 do 6,0 MJ·m⁻³ i może być spalany bezpośrednio lub używany, jako paliwo do silników i turbin gazowych [14]. Innym procesem prowadzącym do pozyskania biopaliwa ciekłego jest technologia oparta na termochemicznym upłynnianiu biomasy glonów [21]. Proces prowadzony jest w temperaturach mieszczących się w granicach od 300 °C do 350 °C oraz pod ciśnieniem 5,0–20,0 MPa. Reakcje termochemiczne prowadzące do wytworzenia biooleju przebiegają w obecności wodoru, jako katalizatora procesu [9]. Reaktory do prowadzenia procesów termochemicznego upłynniania są skomplikowane konstrukcyjnie i technologicznie, co bezpośrednio wpływa na koszty ich budowy oraz eksploatacji [15]. Kolejną technologią stosowaną do przetwarzania biomasy glonów na biopaliwo jest piroliza. W porównaniu do innych prezentowanych w literaturze metod jest to rozwiązanie opisane obszernie, jako obiecujące i przynoszące bardzo dobre rezultaty, które dają duże nadzieje na zastosowanie pirolizy w instalacjach pracujących w skali technicznej. Miao i Wu [17] zastosowali proces pirolizy do pozyskiwania oleju z mikroalg *Chlorella protothecoides* pochodzących z hodowli prowadzonej w warunkach heterotroficznych. Wydajność zastosowanego rozwiązania technologicznego pozwoliła na uzyskanie biooleju w ilości 57,9% suchej masy glonów wprowadzanych do ciągu technologicznego pirolizy. Wartość opałowa uzyskanego biopaliwa wynosiła średnio 41,0 MJ·kg⁻¹. Udowodniono, iż wydajność procesu odzysku oleju z suchej masy glonów poddawanych pirolizie rosła z 5,7% do 55,3% po podniesieniu temperatury z 254 °C do 502 °C. Dalsze zwiększanie wartości tego parametru wpływało bezpośrednio na obniżenie końcowych efektów pirolizy. Najwyższe wartości opałowe odzyskanego biooleju kształtowały się na poziomie 39,7 MJ·kg⁻¹. Wiele wyników badań prezentowanych

w literaturze wskazuje, iż bioolej pozyskiwany z biomasy glonów charakteryzuje się wyższą jakością od biopaliwa pozyskiwanego podczas pirolizy roślin lignocelulozowych [5, 18].

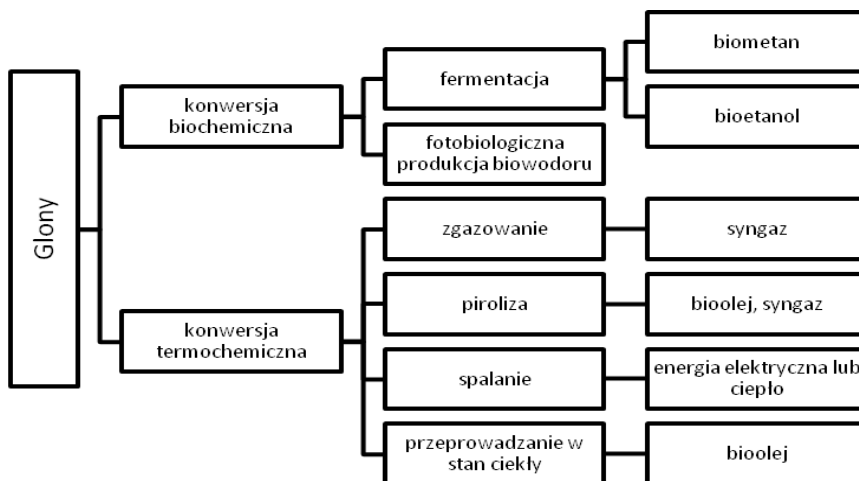
3. BIOCHEMICZNE METODY PRZETWARZANIE BIOMASY GLONÓW NA CELE ENERGETYCZNE

Glony mogą być źródłem alkoholu etylowego. Stwierdzono, iż istnieje możliwość przeprowadzenia efektywnej fermentacji alkoholowej glonów z rodzaju *Chlorella sp.* ze względu na wysoką zawartość skrobi (ok. 37,0% suchej masy). W trakcie eksperymentów uzyskano 65,0 % sprawność konwersji węglowodanów do etanolu [11]. Przeprowadzone dotychczas prace badawcze potwierdzają, iż w określonych warunkach produkcja alkoholu etylowego z biomasy glonów jest technicznie wykonalna i ekonomicznie uzasadniona. W większości przypadków jednak fermentacja alkoholowa stosowana jest jako dodatkowy zabieg technologiczny, do którego kierowane są odpady pochodzące z ekstrakcji oleju z biomasy glonów [3].

Eksperymenty potwierdzają, iż mikroalgi posiadają niezbędne genetyczne, metaboliczne i enzymatyczne uwarunkowania do wytwarzania H_2 w procesie przemian biochemicznych [8]. W warunkach beztlenowych wodór wytwarzany jest w szlakach metabolicznych glonów eukariotycznych jako dawca elektronów w procesie wiązania CO_2 . Stwierdzono, iż tego rodzaju mechanizm może przebiegać zarówno w warunkach ciągłego oświetlenia, jak i bez dopływu energii świetlnej [10]. Podczas fotosyntezy algi prowadzą konwersję cząsteczki wody do jonu wodorowego (H^+) i tlenu. Jony H^+ są następnie, w warunkach beztlenowych, przekształcane w wyniku oddziaływania enzymu hydrogenazy do wodoru cząsteczkowego H_2 [2]. Stwierdzono, iż zainicjowanie procesu fotosyntezy i obecność w środowisku fotosyntetycznego tlenu powoduje szybkie hamowanie funkcjonowania kluczowego enzymu, jakim jest hydrogenaza, co bezpośrednio wpływa na ograniczenie efektywności wywarzania wodoru przez biomasę glonów [1, 2, 16, 19,].

Kolejną z metod biochemicznej konwersji biomasy glonów do gazowego nośnika energii jest zastosowanie procesu fermentacji metanowej. Szacuje się, że konwersja biomasy glonów do biogazu jest wysoce opłacalnym i ekonomicznie uzasadnionym rozwiązaniem technologicznym, a ilość odzyskanej energii jest porównywalna z wartościami uzyskiwanymi podczas ekstrakcji lipidów komórkowych [25]. Dodatkowym produktem procesu oprócz wysokoenergetycznego biogazu jest osad pofermentacyjny, który może zostać wykorzystany w sposób bezpośredni jako nawóz dla roślin uprawnych lub po prostym przetworzeniu zawrócony do systemu hodowli biomasy glonów jako komponent pożywki [20, 22]. Trudności eksploatacyjne układów technologicznych fermentacji metanowej opartych na wykorzystaniu biomasy glonów

mogą wynikać z faktu, iż w składzie biochemicznym alg dominują białka, co może bezpośrednio wpływać na zbyt niski stosunek C:N. Zjawisko to można skutecznie ograniczyć poprzez kofermentację biomasy glonów oraz substratów organicznych bogatych w związki węglowe. Wysoka zawartość białka w biomase glonów może prowadzić do zwiększonej produkcji wolnego amoniaku, który działa toksycznie na mikroorganizmy odpowiedzialne za procesy fermentacji metanowej. Ponadto jony sodu występujące w biomase glonów pochodzących z systemów hodowlanych partych na wodzie słonej mogą hamować proces metanogenezy. Istnieją jednak doniesienia naukowe opisujące możliwość wpracowania i adaptowania mikroorganizmów osadu beztlenowego do sprawnej fermentacji biomasy glonów morskich [13, 23]. Wielu badaczy twierdzi, iż zastosowanie fermentacji metanowej jest najbardziej perspektywicznym i najefektywniejszym sposobem energetycznego wykorzystania biomasy glonów. Sialve i in. [25] stwierdzili, że zastosowanie procesu fermentacji metanowej prowadzonej w odpowiednich warunkach technologicznych jako pierwotnego sposobu przetworzenia biomasy glonów warunkuje wyższy efekt ekonomiczny w stosunku do zintegrowanego systemu ekstrakcji lipidów i beztlenowego przetworzenia pozostałości poekstrakcyjnych.



Rys. 1. Przetwarzanie biomasy z alg [6]

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Intensywny rozwój technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) prowadzi do produkcji energii przy relatywnie niskim wpływie na środowisko naturalne. Surowce biotechnologiczne pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego są limitowane wielo-

ma czynnikami. Jest to m.in. krótki okres dostępności (sezonowe zbiory) oraz szybka degradacja surowca. Rośliny energetyczne wymagają dużego areалу a także odpowiedniej klasy gleby. Budzi to sprzeciw społeczności rolniczej i konkurencję o ziemię do produkcji roślin na cele żywnościowe. Z tego względu rozpoczęto poszukiwania alternatywnej technologii wytwarzania biomasy. Coraz większym zainteresowaniem cieszy się technologia produkcji biomasy z mikroglonów, ponieważ technologie hodowlane nie konkurują o grunty rolne. Cechą, która wyróżnia algi jest niska zawartość substancji ligninowych, co jest korzystne szczególnie w przypadku metod biochemicznego przetwarzania. W świetle dostępnej literatury przedmiotu można stwierdzić, że glony mogą stać się w przyszłości cennym źródłem energii odnawialnej.

LITERATURA

- [1] AKKERMAN I., JANSSEN M., ROCHA J., WIJFFELS R.H., *Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor design*. International Journal of Hydrogen Energy, 2002, 27(11): 1195-208.
- [2] CANTRELL K.B., DUCEY T., RO K.S., HUNT P.G., *Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities*. Bioresource Technology, 2008, 99(17): 7941-53.
- [3] CLARK J., DESWARTE F. *Introduction to chemicals from biomass*. In: Stevens CV, editor. Wiley series in renewable resources. John Wiley & Sons., 2008.
- [4] DEMIRBAS A. *Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals*. Energy Conversion and Management, 2001, 42(11): 1357-78.
- [5] DEMIRBAS A. *Oily products from mosses and algae via pyrolysis.*, Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects, 2006, 28(10): 933-40.
- [6] DUNAHAY T., JARVIS E., DAIS S., ROESSLER P. *Manipulation of microalgal lipid production using genetic engineering*. Applied Biochemistry and Biotechnology, 1996, 57-58(1): 223-231.
- [7] FARGIONE J., HILL J., TILMAN D., POLASKY S., HAWTHORNE P.: *Land clearing and the biofuel carbon debt*. Science, 2008, 319, 1235–1238.
- [8] GHIRARDI M.L., ZHANG L., LEE J.W., FLYNN T., SEIBERT M., GREENBAUM E., *Microalgae: a green source of renewable H₂*. Trends in Biotechnology, 2000, 18(12): 506-511.
- [9] GOYAL H.B., SEAL D., SAXENA R.C. *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12(2): 504-517.
- [10] GREENBAUM E., *Energetic efficiency of hydrogen photoevolution by algal water splitting*. Biophysical Journal, 1998, 54(2): 365-368.
- [11] HIRANO A., Ueda R., Hirayama S., Ogushi Y., *CO₂ fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation*. Energy, 1997, 22(2-3): 137-142.
- [12] JOHANSSON D., AZAR C.: *A Scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the us*. Climatic Change., 2007, 82 (3), 267–291.
- [13] KLOCKE M., MAHNERT P., MUNDT K., SOUIDI K., LINKE B., *Microbial community analysis of a biogas-producing completely stirred tank reactor fed continuously with fodder beet silage as mono-substrate*. Systematic and Applied Microbiology, 2007, 30: 139-151.
- [14] MCKENDRY P. *Energy production from biomass (part 3): gasification technologies*. Bioresource Technology, 2002b, 83(1): 55-63.
- [15] MCKENDRY P., *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*. Bioresource Technology, 2002a, 83(1): 47-54.

- [16] MELIS A. *Green alga hydrogen production: progress, challenges and prospects*. International Journal of Hydrogen Energy, 2002, 27(11-12): 1217-1228.
- [17] MIAO X., WU Q., *High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of Chlorella protothecoides*. Journal of Biotechnology, 2004, 110(1): 85a.
- [18] MIAO X., WU Q., YANG C., *Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004, 71(2): 855-863b.
- [19] MIURA Y., AKANO T., FUKATSU K., MIYASAKA H., MIZOGUCHI T., YAGI K., *Hydrogen production by photosynthetic microorganisms*. Energy Conversion and Management, 1995, 36(6-9): 903-906.
- [20] OLGUIN E.J., *The cleaner production strategy applied to animal production*. In: OLGUÍN E.J., SÁNCHEZ G., HEMÁNDEZ E. Environmental biotechnology and cleaner bioprocesses. London: Taylor and Francis, 2000, 107-121.
- [21] PATIL V., TRAN K.-Q., GISELRA D H.R., *Towards sustainable production of biofuels from microalgae*, International Journal of Molecular Sciences, 2008, 9(7): 1188-1195.
- [22] PANG S.M., MIAH M.S., YEOH B.G., HASHIM M.A., *Spirulina cultivation in digested sago starch factory wastewater*. Journal of Applied Phycology, 2000, 12(3): 395-400.
- [23] SCHLÜTER A., BEKEL T., DIAZ N.N., DONDRUP M., EICHENLAUB R., GARTEMANN K.H., KRAHN I., KRAUSE L., KROMEKE H., KRUSE O., MUSSGNUMG J.H., NEUWEGER H., NIEHAUS K., PUHLER A., RUNTE K.J., SZCZEPANOWSKI R., TAUCH A., TILKER A., VIEHOVER P., GOESMANN A., *The metagenome of a biogas-producing microbial community of a production-scale biogas plant fermenter analysed by the 454-pyrosequencing technology*. Journal of Biotechnology, 2008 r., 136: 77-90.
- [24] SEARCHINGER T., HEIMLICH R., HOUGHTON R., DONG F., ELOBEID A., FABI-OSA J., TOKGOZ S., HAYES D., YU T.: *Use of us croplands for biofuels in-creases greenhouse gases through emissions from land-use change*. Science, 2008, 319, 1238–1240.
- [25] SIALVE B., BERNET N., BERNARD O., *Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel*. Sustainable. Biotechnol. Adv., 2009, 27(4): 409-416.

ALGAE AS A POTENTIAL SOURCE OF RENEWABLE ENERGY

The study presents available methods of energy use of algal biomass. Until now used biomass of agricultural origin, but increasingly there are reports that the amount is insufficient, and in addition to expend for energy crops is controversial nature of consumer ethics. Algae can be a potential source of many types of biofuels. These include the biogas formed in the processes of anaerobic decomposition of biomass, biodiesel produced from lipids accumulated in algal cells, hydrogen derived from photo-biological transformations sourced biomass or algae may be used for direct combustion.