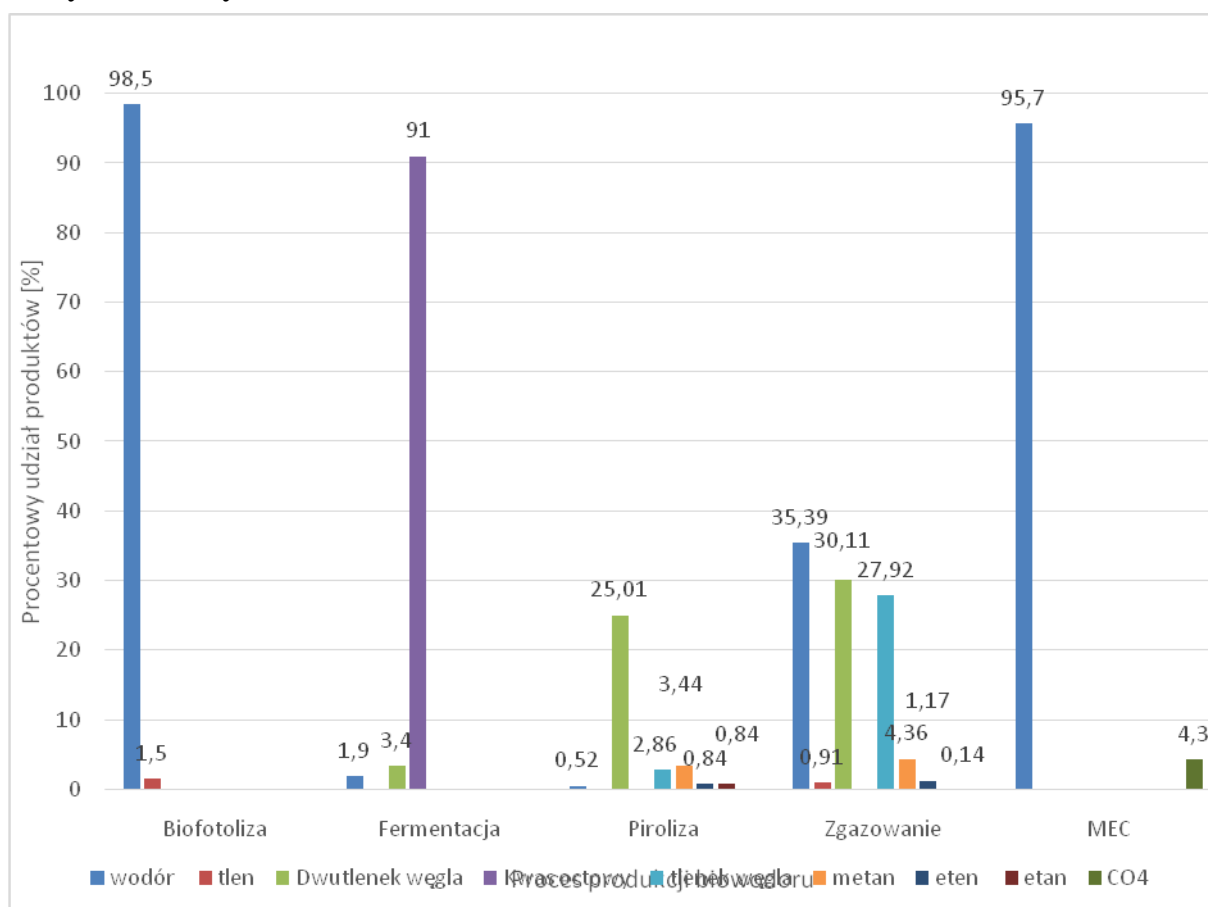


Ważnym aspektem w przypadku produkcji biowodoru jest wykorzystanie odpowiedniej biomasy. Z racji konkurencyjności nad żywnością, biomasa pierwszej generacji nie powinna być brana pod uwagę w przypadku produkcji biowodoru. Obiecującym rozwiązaniem jest biomasa drugiej generacji, zwana biomasą lignocelulozową, do której należą różnego rodzaju odpady. Nadmierna ilość produkowanych zanieczyszczeń ma negatywny wpływ na środowisko, a wykorzystując je w procesach produkcji wodoru zmniejszany jest ich udział, co powoduje dodatkową korzyść. Odpowiednim surowcem są także mikroalgi i cyjanobakterie, które mogą być hodowane w ściekach, a więc wykorzystanie ich jest opłacalne ekonomicznie. Kolejną zaletą jest brak konieczności obróbki wstępnej, która jest niezbędna w przypadku biomasy lignocelulozowej.

Analiza produktów procesów produkcyjnych wodoru pod względem ilościowym oraz jakościowym przeprowadzona została dla biofotolizy, fermentacji, pirolizy, zgazowania oraz metody bioelektrochemicznej (MEC). Rysunek 1 przedstawia analizę ilościową.



Rysunek 1. Struktura produktów gazowych w procesach produkcji biowodoru.

W ujęciu ilościowym dla procesu biofotolizy jedynym produktem ubocznym jest tlen, który nie ma negatywnego oddziaływania na środowisko, a produkty uboczne stanowią niewielki udział, dzięki czemu możemy wydobyć większą ilość wodoru.

W związku z dużą ilością wytworzonych produktów ubocznych w procesie ciemnej fermentacji, uzysk wodoru znacznie maleje. Produkty uboczne stanowią 98,1%, co stanowi zdecydowaną większość i hamuje wysokie uzyski wodoru. Powstałe kwasy można natomiast wykorzystać jako substraty w procesie fotofermentacji, co znacznie zwiększa uzysk wodoru. Mieszanina gazów produktu zawiera dwutlenek węgla, który ma negatywny wpływ na środowisko.

Głównym produktem procesu prolizy jest bioolej, co przyczynia się do znacznej minimalizacji uzysku produktów gazowych, co z kolei ma wpływ na zbyt niskie uzyski wodoru, by można było uznać tę metodę za obiecującą w aspekcie wytwarzania biowodoru na dużą skalę.

Proces zgazowania w dużym stopniu hamuje nadmierne wytwarzanie smoły, która powoduje wiele problemów technicznych i roboczych, natomiast produkcja popiołu w dużym stopniu powoduje zanieczyszczenie w reaktorze. Uzyskowi wodoru metodą zgazowania towarzyszy również wiele gazowych produktów ubocznych. Największe zagrożenie stanowi wysoki udział dwutlenku węgla, który w przypadku tego badania wynosi ponad 30% i stanowi duże zagrożenie środowiskowe. Węglowodory mogą zostać natomiast przetwarzane, co zwiększa uzysk wodoru w procesie reformingu parowego.

Udział wodoru w produkcji bioelektrochemicznej (MEC) jest wysoki ze względu na niewielką ilość produktów ubocznych.

Ocena jakościowa produktów ubocznych pozwoliła na zweryfikowanie emisyjności dwutlenku węgla do atmosfery. W procesach pirolizy, zgazowania oraz fermentacji zauważono obecność CO₂ w otrzymanym gazie, jednak w procesach fermentacyjnych stanowi on marginalny udział. Należy zatem zwrócić uwagę na stopień emisyjności w porównaniu z innymi badanymi metodami wykorzystującymi odnawialne źródła energii. Neutralnymi pod względem emisyjności gazów cieplarnianych są biofotoliza i system bioelektrochemiczny.

Szymon GŁOWACKI

Dr hab. inż., profesor SGGW,

Klara GUMIENIK

inż.

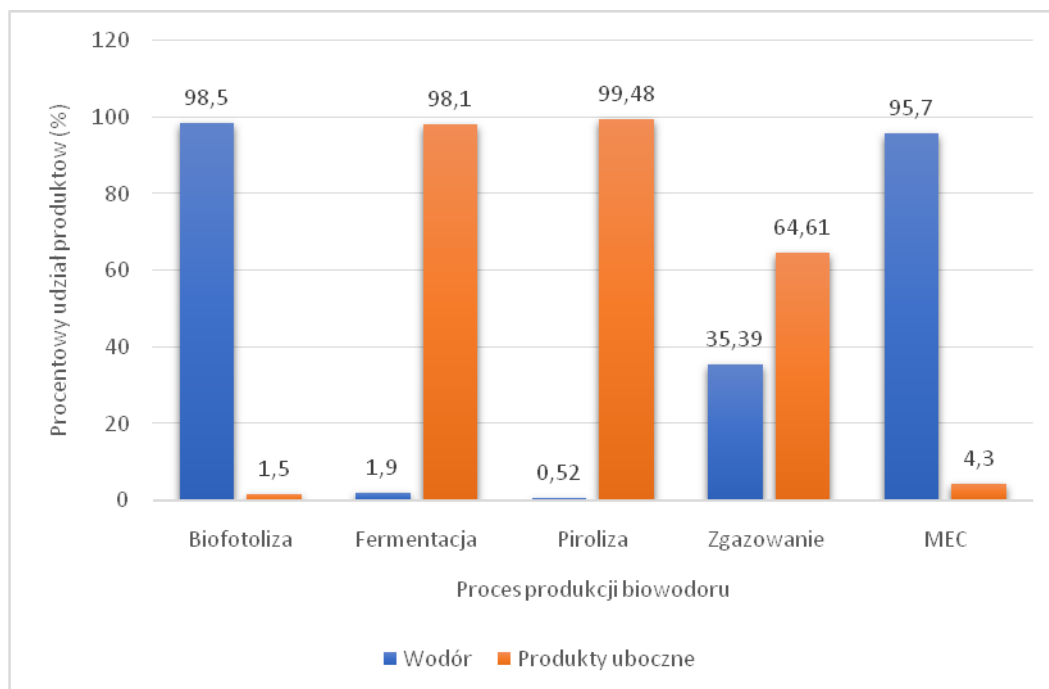
Instytut Inżynierii Mechanicznej SGGW w Warszawie.

Warszawa, Polska

ANALIZA WYTWARZANIA BOWODORU DO CELÓW ENERGETYCZNYCH

Nasilający się w ostatnich latach problem z globalnym ociepleniem oraz kończącymi się złożami węgla, będącego głównym surowcem energetycznym, przyczynia się do konieczności znalezienia źródeł substytucyjnych, mających niewielki wpływ na środowisko. Ważnym aspektem w tej kwestii jest zarówno opłacalność ekonomiczna, jak i odnawialność danego surowca. Wprowadzone w ostatnim czasie alternatywy w dalszym ciągu nie są uznawane za wystarczające w perspektywie zaspokojenia całej światowej energetyki. Ostatnie badania skupiają się w dużej mierze na wykorzystaniu do tego celu wodoru, który ma wysoką wydajność energetyczną i jest neutralny dla środowiska. Wodór jest najczęściej występującym pierwiastkiem na świecie i może stanowić alternatywę dla paliw konwencjonalnych. Barierą dla tego rozwiązania stanowi wytwarzanie wodoru w większości ze źródeł nieodnawialnych, co nie rozwiązuje poruszanych problemów. Zastosowanie go na dużą skalę możliwe jest w przypadku znalezienia procesu produkcji wodoru neutralnego dla środowiska oraz opłacalnego ekonomicznie. Istnieje możliwość zastąpienia nieodnawialnego surowca biomasą, w wyniku czego powstaje biowodór, który w niedalekiej przyszłości może być szeroko wykorzystywanym paliwem energetycznym w sektorach gospodarki jako, paliwo samochodowe oraz w celach wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej.

Cel pracy. Celem niniejszej pracy jest analiza procesów produkcji biowodoru w aspektach ilościowych otrzymywanego wodoru oraz jakościowych gazowych produktów ubocznych w poszczególnych metodach. Pozwoli to ocenić, która z metod oferuje potencjalnie wysoki uzysk, mogący zostać następnie rozpatrywany w kategoriach masowej produkcji.



Rysunek 2. Udział wodoru i produktów ubocznych w procesach produkcji biowodoru.

Podsumowanie.

Wyniki badań procesów produkcji biowodoru, pomimo postępów, w dalszym ciągu nie są wystarczająco satysfakcjonujące. Dużą barierę stanowią wytwarzane produkty uboczne. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie największego uzysku produktów ubocznych w procesach ciemnej fermentacji, pirolizy oraz zgazowania. Powoduje to niski uzysk wodoru, a więc aby wykorzystać te procesy na dużą skalę należy zwiększyć procent wytwarzanego wodoru. Niestety do tej pory istnieje niewiele badań skupiających się na tych metodach, co nie pozwala na dokładną ich analizę. Dodatkowo w procesach termochemicznych dużą rolę odgrywają produkty niegazowe, do których zaliczamy smołę i popiół. Wpływają one negatywnie na całokształt produkcji i skłaniają do dalszych badań skupiających się na minimalizacji ich uzysku.

Literatura:

1. Wakayama T., Nakada E., Asada S., Miyake J. Effect of Light/Dark Cycle on Bacterial Hydrogen Production by Rhodobactersphaeroides RV, AIST/MITI, National Institute of Bioscience and Human Technology, Higashi 1-1, 305-8566, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 2000
2. Full J., Trauner M., Mieke R., Sauer A. Carbon-Negative Hydrogen Production (HyBECCS) from Organic Waste Materials in Germany: How to Estimate Bioenergy and

Greenhouse Gas Mitigation Potential, Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA, 70569 Stuttgart, Germany, 2021

3. Dębowski M., Dudek M., Zieliński M., Nowicka A., Kazimierowicz J. Microalgal Hydrogen Production in Relation to Other Biomass-Based Technologies—A Review Department of Environmental Engineering, Faculty of Geoengineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, 10-720 Olsztyn, Poland, 2021

4. Shengnan Z., Zhiping Z., Huan Z., Yanyan J., Yameng L., Quanguo Z. Rheological properties of corn stover hydrolysate and photo-fermentation bio-hydrogen producing capacity under intermittent stirring, Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China, 2020

5. Saravanana A., Senthil P., Kumarbc S., JeevananthamdnS., Karishmad S., Dai-Viet Voe N. Recent advances and sustainable development of biofuels production from lignocellulosic biomass, Department of Energy and Environmental Engineering, Saveetha School of Engineering, SIMATS, Chennai 602105, India, 2021

6. Song T., Wu J., Shen L., Xiao J. Experimental investigation on hydrogen production from biomass gasification in interconnected fluidized beds, Thermoenergy Engineering Research Institute, Southeast University, Nanjing 210096, China, 2011

7. Se-Won P., Sang-Yeop L., Yean-Ouk J., Gun-Ho H., Yong-Chil S. Effects of Oxygen Enrichment in Air Oxidants on Biomass Gasification Efficiency and the Reduction of Tar Emissions Department of Environmental Engineering, Yonsei University, 1 Yonseidae-gil, Wonju-si 26493, Korea, 2018

8. Hassan N. S., Jalil A. A., Vo D. V. N., Nabgan W. An overview on the efficiency of biohydrogen production from cellulose, 2020

9. Castello, E.; NunesFerraz-Junior, A.D. Stability problems in the hydrogen production by dark fermentation: Possible causes and solutions, 2019

10. Jahirul M.I., Rasul M.G., Chowdhury A.A., Ashwath N. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis —A Technological Review Centre for Plant and Water Science, Central Queensland University, Rockhampton, Queensland 4702, Australia, 2012

11. Sharma A., Arya S.K. Photobiological Production of Biohydrogen: Recent Advances and Strategy Department of Biotechnology, University Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India, 2019

12. Islam K., Dunlop P., Hewitt N.J., Lenihan R., Brandoni C. Bio-Hydrogen Production from Wastewater: A Comparative Study of Low Energy Intensive Production Processes Centre for Sustainable Technologies, Belfast School of Architecture and the Built Environment, Ulster University, Newtownabbey BT37 0QB, UK, 2021

13. Anne Rödl Lignocellulosic Biomass Hamburg University of Technology Institute of Environmental Technology and Energy Economics, Hamburg, Germany 2017

14. Rastegari A., Yadav A.N., Gupta A. Prospects of Renewable Bioprocessing in Future Energy Systems Vijai Kumar Gupta, Department of Chemistry and Biotechnology, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2021

15. Luo S., Xiao B., Guo X., Hu Z., Liu S., He M. Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of biomass in a fixed bed reactor: Influence of particle size on gasification performance School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Luoyu Road, Wuhan 430074, PR China, 2008

16. Chaves T.C., Silva Belo Gois G.N., Peiter F.S., Vich D.V., Lucena Cavalcante de Amorim E. Biohydrogen production in an AFBR using sugarcane molasses, 2020

17. Merino-Pérez O., Martínez-Palou R., Labidi j., Luque R. Microwave-Assisted Pretreatment of Lignocellulosic Biomass to Produce Biofuels and Value-Added Products Dirección de Investigación y Posgrado Instituto Mexicano del Petróleo Mexico Mexico, 2014
18. Osman A.I., Deka D.J., Baruah D.C., Rooney D.W. Critical challenges in biohydrogen production processes from the organic feedstocks, 2020
19. Prabir Basu Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction Dalhousie University and Greenfield Research Incorporated, 2013
20. Jarungrumt T., Prommuak C. Net Energy Analysis and Techno-Economic Assessment of Co-Production of Bioethanol and Biogas from Cellulosic Biomass Faculty of Science, Energy and Environment, Rayong Campus, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Rayong 21120, Thailand, 2021
21. Kose A., Oncel S.S. Biohydrogen Production from Microalgae: An Enzyme Perspective Department of Bioengineering, Ege University, Izmir, Turkey, 2016
22. Wang S., Zhongyang L. Pyrolysis of Biomass ISBN 978-3-11-037457-5, 2017
23. Huber G.W., Iborra S., Corma A. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. Chemical Reviews, 2006
24. Pandey A., Chang J., Hallenbeck P.C., Larroche C. Biohydrogen Elsevier, 2013
25. Lian Z., Wang Y., Zhang X., Yusuf A., Famiyeh L., Murindababisha D., Jin H., Liu Y., He J., Wang Y., Yang G., Sun Y. Hydrogen Production by Fluidized Bed Reactors: A Quantitative Perspective Using the Supervised Machine Learning Approach Key Laboratory of Carbonaceous Wastes Processing and Process Intensification of Zhejiang Province, University of Nottingham Ningbo, Ningbo 315100, China, 2021
26. Bwatanglang I.B., Faruq M., Gupta A. K., Gupta N.A. Algae-Derived Biomass for Sustainable and Renewable Biofuel Production Department of Chemistry Faculty of Science, Universiti Putra Malaysia Serdang Malaysia, 2015
27. Griffiths G., Hossain A.K., Sharma V., Duraisamy G. Key Targets for Improving Algal Biofuel Production Energy and Bioproducts Research Institute (EBRI), College of Engineering and Physical Sciences, Aston University, Birmingham B4-7ET, UK, 2021
28. Lage S., Gojkovic Z., Funk C., Gentili F.G. Algal Biomass from Wastewater and Flue Gases as a Source of Bioenergy Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies, Swedish University of Agricultural Sciences, 901 83 Umeå, Sweden, 2018