

Transformacja wodorowa, ale jaka?

Hydrogen transformation, but what kind?

Robert Godzwon*

Słowa kluczowe: zielony wodór, ekologia, LPG, propan, butan, odpady, biowęgiel

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowatorską ideę stworzenia systemu gospodarczego w dobie transformacji energetycznej, w transporcie samochodowym opartym na przerobieniu odpadów komunalnych w połączeniu z wytwarzaniem „zielonego wodoru”. Idea przedstawiona w artykule umożliwia rozwiązanie jednocześnie częściowo dwóch problemów, które towarzyszą obecnemu i przyszłemu nowoczesnemu społeczeństwu. Te problemy to niewystarczająca ilość paliw kopalnych, zanieczyszczenie środowiska naturalnego produktami ich spalania a także zanieczyszczenie odpadami produkowanymi przez cywilizację. Przedstawioną wstępną analizę korzyści z zastosowania technologii wytwarzania bio-LPG, z wykorzystaniem zielonego wodoru i węgla powstającego w wyniku procesów pirolizy niskotemperaturowej. Zaprezentowano schemat proponowanego procesu technologicznego. W artykule nakreślono również potencjalne „słabe punkty” procesu technologicznego, które w przyszłości powinny być szerzej przebadane, a także „mocne punkty” i płynące z tego korzyści dla społeczeństwa. W artykule nie ma odpowiedzi na postawione w tytule pytanie, ponieważ nie istnieje pewnik, że idea procesu zostanie zaakceptowana przez świat nauki, a następnie przez świat gospodarki, jedynie można być pewnym, że zostanie zaakceptowana przez społeczeństwo, jeśli zostałyby wdrożone w skali przemysłowej przez gremia gospodarcze.

Artykuł ten należy traktować jako głos w dyskusji o chyba najbardziej palącym problemie naszej cywilizacji, a mianowicie jak zwiększyć dostępność i konsumpcję energii przez społeczeństwa bez pogarszania kondycji otoczenia ekologicznego w jakim żyje. Oczywiście w dających się zaakceptować przez te społeczeństwa cenach. Dodatkowo, jeśli udałoby się połączenie wzrostu produkcji energii z możliwością jednoczesnej utylizacji odpadów produkowanych przez cywilizację, gdyż dotychczas rozwój społeczeństw prowadzi nieuchronnie do wzrostu stopnia zanieczyszczenia planety, a odwrócenie tego trendu byłoby nadzieją dla przyszłych pokoleń. Mam nadzieję, że tekst ten spowoduje inne spojrzenie na temat transformacji wodorowej a właściwie rewolucji wodorowej.

Keywords: green hydrogen, ecology, LPG, propane, butane, wastes, biocoal

Abstract

The article presents an innovative idea of creating an economic system in the era of energy transformation, in road transport based on the processing of municipal waste combined with the production of "green hydrogen". The idea presented in the article makes it possible to partially solve two problems that accompany the current and future modern society. These problems include an insufficient amount of fossil fuels, pollution of the natural environment with their combustion products, and pollution with waste produced by civilization. Presented is a preliminary analysis of the benefits of using bio-LPG production technology using green hydrogen and carbon generated as a result of low-temperature pyrolysis processes. A diagram of the proposed technological process is presented. The article also outlines the potential "weak points" of the technological process, which should be more extensively researched in the future, as well as the "strong points" and the resulting benefits for society. The article does not answer the question posed in the title, because there is no certainty that the idea of the process will be accepted by the world of science and then by the world of economy, but one can only be sure that it will be accepted by society if it were implemented on an industrial scale by economic bodies.

This article should be treated as a voice in the discussion about perhaps the most pressing problem of our civilization, namely how to increase the availability and consumption of energy by societies without worsening the condition of the ecological environment in which they live. Of course, at prices acceptable to these societies. Additionally, if it were possible to combine the increase in energy production with the possibility of simultaneous utilization of waste produced by civilization, because the development of societies so far inevitably leads to an increase in the degree of pollution of the planet, and reversing this trend would be hope for future generations. I hope that this text will bring a different perspective on the hydrogen transformation, or rather the hydrogen revolution.

Wstęp

Dążenie do czystej energii, wymuszone międzynarodowymi zobowiązaniami do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla (CO₂), powoduje poszukiwanie czystych źródeł energii oraz możliwości jej magazynowania i wykorzystania. Największym wyzwaniem jest transformacja w transporcie samochodowym. Mobilność nie sprzyja tym nowym rozwiązaniom, zarówno w technologii elektrycznej jak i wodorowej.

Jeżeli spojrzeć się na możliwości budowy instalacji stacjonarnych, wytwarzających i magazynujących energię, to są one w naszym zasięgu. Jeśli jednak spojrzeć się na zagadnienie „mobilności”, to łatwo dojrzeć górę problemów.

Umiemy już wytworzyć energię elektryczną w instalacjach Odnawialnych Źródeł Energii (OZE), ale tak naprawdę nie umiemy jej przetransferyować do urządzeń mobilnych, takich jak samochody w taki sposób, aby

*) Robert Godzwon, inż., Mastertechprojekt Sp. z o.o. Szczecin, 71-004 Szczecin, ul. Cukrowa 63/1b, koordynator ds. instalacji PV i technologii wodorowych, r.godzwon@mastertechprojekt.pl

samochody te spełniały nasze oczekiwania lub przynajmniej nie miały gorszych parametrów niż obecne samochody spalinywe.

Porównując te nowe rozwiązania w dziedzinie motoryzacji, związane z elektryfikacją i zastosowaniem technologii wodorowej w samochodach, to po głębszej analizie, widzi się jednak wady tych rozwiązań. Choćby takie, że wiele z tych rozwiązań nie można nazwać ekologicznymi.

Dodatkowo koszty przetransferowania całej gospodarki na technologie elektryczne lub wodorowe będą na pewno bardzo wysokie. Na dzień dzisiejszy otwarte pozostaje pytanie – czy dokonano jednoznacznej oceny jakie byłyby to koszty gospodarcze, ekologiczne i społeczne takiej transformacji i ile potrzeba czasu, a właściwie czy świat nauki i biznesu jest w stanie powiedzieć, czy to jest w ogóle możliwe i ile będzie to globalnie społeczeństwo kosztować? To trochę tak jakby zachwycać się obiektem w kosmosie, który jest oddalony o sto lat świetlnych, a który w momencie zachwytu, może już nie istnieć. Każda technologia wpływa na otoczenie i zawsze będziemy odczuwali jej skutki. Rozwiązania związane z pełną elektryfikacją i „wodoryzacją” sektorów gospodarki, głównie transportu, nie są jednak celem niniejszego artykułu. Poza tym, były one już szczegółowo opisywane w licznych doniesieniach literaturowych [13].

Nauczyliśmy się wytwarzać ekologiczną energię elektryczną z instalacji OZE, a co za tym idzie, wytwarzać i wykorzystywać „zielony wodor”, który został okrzyknięty „paliwem przyszłości”. W żadnym z tych przypadków nie opanowano jednak racjonalnego procesu magazynowania w taki sposób, aby był to proces ekonomicznie uzasadniony. Globalne społeczeństwo, w szczególności świat nauki, powinien doceniać to co już osiągnięto i zwiększać efektywność procesów energetycznych i poszukiwać rozwiązań prowadzących do oszczędności.

Jeśli przemysł energetyczny wytworzyć „zielony wodor”, to czy jesteśmy w stanie zmagazynować i dostarczyć go do samochodu w taki sposób, aby było to ekonomiczne i racjonalne. Znając właściwości fizyko-chemiczne wodoru to raczej wydaje się to mało prawdopodobne. Jedynym rozwiązaniem byłoby zmagazynować go w postaci innego związku chemicznego.

Są prace na temat możliwości magazynowania i wykorzystania amoniaku w silnikach ciepłych, a także możliwości magazynowania wodoru właśnie w postaci amoniaku, np. [1.13]. O właściwościach trujących amoniaku [5] raczej wszyscy słyszeli ale najlepiej to widać w zakładach „gdzie go się używa w procesach technologicznych, jak np. chłodnie itp. Podobnie jest ze związkami azotu, czyli NOx [7], które powstają w momencie spalania, zwłaszcza amoniaku.

Przykładowe rozwiązanie problemu

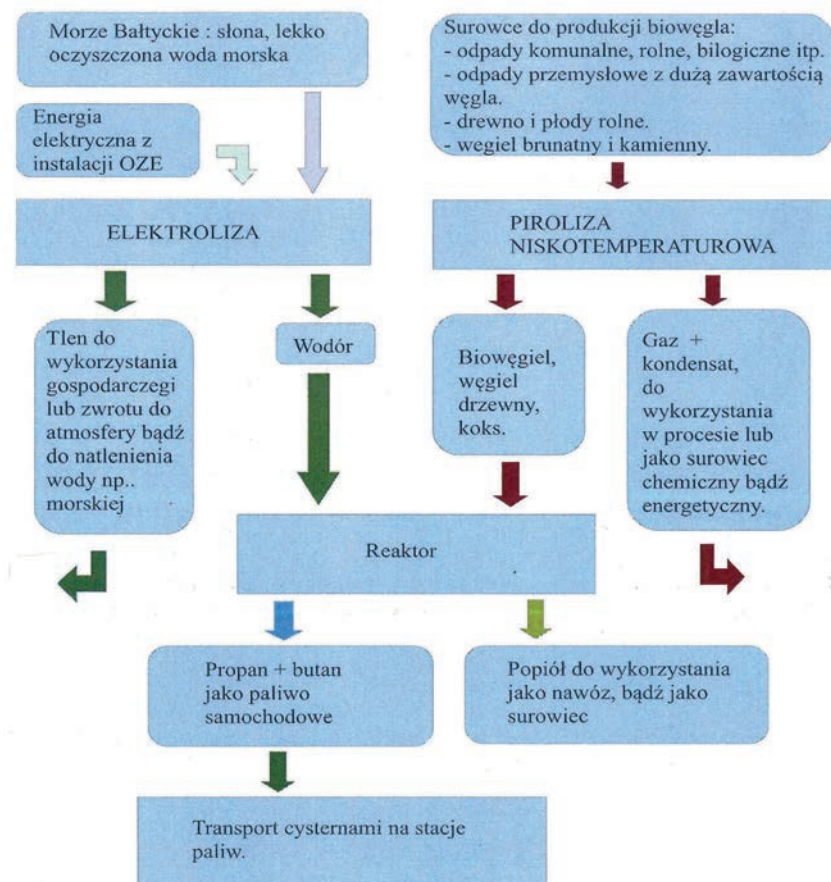
Jednym ze sposobów rozwiązania nakreślonych powyżej problemów technicznych mogą być technologie związane z LPG (Liquide Petroleum Gases). Należałoby na wstępie postawić pytanie – dlaczego to paliwo zawojowało rynek samochodowy? Powodów jest kilka. Przede wszystkim jednak LPG było dotychczas tanie i nadawało się do napędu prawie każdego rodzaju samochodu, nawet starego. Dodatkowo, sam nośnik energii jest na ogół odpadowy.

Ciekawym teoretycznym rozwiązaniem byłoby związanie (przetworzenie) „zielonego wodoru”, wytworzonego w procesie elektrolizy, z węglem rodzimym, do postaci propanu i butanu, czyli właśnie do postaci LPG. Można postawić od razu pytanie – dlaczego do LPG? Odpowiedź wydaje się intuicyjna – z tych samych powodów, dla których LPG podbił rynek samochodowy, oraz dlatego, że ma najlepszy stosunek stechiometryczny węgiel-wodor. Jeśli można wytworzyć „zielony

wodor”, to brakuje jeszcze tylko węgla, który z kolei można pozyskać w różnych przyjaznych ekologicznie procesach. Jednym z tych procesów jest proces pirolizy niskotemperaturowej surowca [12], który zawiera dużo węgla. Często widzi się efekt takiej pirolizy w postaci węgla drzewnego. Ale surowcem mogą być wszelkie odpady zawierające w swoim składzie węgiel, czyli komunalne, rolnicze i przemysłowe.

Przyjrzyjmy się odpadom komunalnym, których Polska rocznie produkuje trochę ponad 13 mln ton [6], z czego według średniego składu morfologicznego do wytworzenia biowęgla nadawałoby się ok. 75% [2]. Biowęgiel „oprócz węgla pierwiastkowego, zawiera również inne składniki mineralne, które po reakcji uwodornienia stanowiłyby popiół. Przyjmując, że węgla atomowego jest około 46% [4], to w całym procesie wytwórczym węgla atomowego można byłoby otrzymać około 4,553 mln ton węgla atomowego, z którego z kolei otrzymywałoby się mieszanek LPG 50/50 (50% – propan, 50% – butany) w ilości około 5,540 mln ton rocznie. W produkcji „zielonego wodoru”, zużyto by w procesie elektrolizy około 8,820 mln ton wody, otrzymując 0,986 mln ton „zielonego wodoru” oraz 7,833 mln ton tlenu, potrzebując przy tym 49,34 TWh prądu (do elektrolizy), przy sprawności elektrolizera 50,0 kWh na 1 kg wodoru [8]. Z powyższych rozważań wynika, że obecne zużycie LPG w Polsce, stanowiłoby około 45,03% produkcji rocznej [11]. Cały proces związany z produkcją jak i przerobem wodoru powinien odbywać się na bieżąco i jak najkrócej, z powodu właściwości wodoru atomowego. Należy również zaznaczyć, że ilość śmieci komunalnych wynika z bieżącej „produkcji” śmieci przez mieszkańców naszego kraju. Należy wspomnieć, że na różnych rodzajach składowiskach zdeponowano kilkaset mln ton śmieci.

Warto zaznaczyć, że powyższe obliczenia na ten moment są obliczeniami hipotetycznymi, służącymi tylko do uwidocznienia jakie możliwości daje nam wykorzystanie odpadów w połączeniu z tzw. „zielonym wodem”. Schematycznie, omawiany proces technologiczny przedstawiono na rys. Opis procesu przedstawionego schematycznie na rys. przedstawiono poniżej.



Rys. Schemat ideowy instalacji do wytwarzania LPG z biowęgla
Fig.1 Schematic diagram of the installation for the production of LPG from bio-coal.

Najlepsze lokalizacje dla tego typu instalacji wydają się być w rejonie wybrzeża Bałtyku. Woda procesowa mogłaby być dostarczana bezpośrednio z dna morskiego (mniej utleniona), przez specjalny ssak umieszczony na dnie i rurociągiem byłaby kierowana do instalacji znajdującej się na wybrzeżu. Po oczyszczeniu z zawiesin, byłaby następnie kierowana bezpośrednio do elektrolizera, wykorzystującego prąd z instalacji OZE. Najlepiej aby był to prąd bezpośrednio z instalacji PV, bez przekształcania (prąd stały, napięcie ok. 1500V, 1000A, zmienne w czasie od wartości maksymalnej do zera (dzień-noc)). Powstały surowy wodór (zawierający zanieczyszczenia – wilgoć, tlen), byłby kierowany bezpośrednio do reaktora, natomiast tlen po oczyszczeniu mógłby zostać wykorzystany w gospodarce, lub skierowany do atmosfery lub po prostu posłużyć do natlenienia wody w dowolnej rzece, zbiorniku wodnym śródlądowym lub nawet Bałtyku. Drugim elementem jakim są surowe śmieci lub inne surowce, stanowiące bogate źródło węgla atomowego, należałoby skierować do pirolizera niskotemperaturowego (ok. 300-600°C). Ciepło procesowe mogłoby pochodzić w wyniku spalania gazu otrzymanego w procesie pirolizy. Kondensat pochodzący z pirolizy również mógłby być zastosowany do ogrzewania, ale można byłoby ten kondensat również wykorzystać jako półprodukt w przemyśle chemicznym, bądź jako dodatek do benzyny, diesla i innych paliw płynnych. Proces wytwórczy biowęgla, nie wymaga aby instalacja do jego wytwarzania była na terenie gdzie jest elektrolizer i reaktor, ponieważ biowęgiel można przetransportować z miejsc, gdzie powstają śmieci, a więc z miast lub jeśli produkowany jest z biomasy, to z obszarów wiejskich lub leśnych. Dodatkowo, dla podniesienia ekonomiki transportu, węgiel należałoby sprasować.

Jeśli biowęgiel byłby otrzymywany z odpadów drewna, słomy, odpadów rolniczych to można powiedzieć, że w ten sposób byłby uzyskiwany „zielony LPG”. Po dostarczeniu biowęgla i wodoru do reaktora, nastąpiłoby uwodornienie atomowego węgla do propanu i butanu, przy udziale odpowiednich katalizatorów. Powstała mieszanina gazowa zostałaby sprężona do upłynnienia gazu, po czym zostałaby zgromadzona w zbiorniku LPG a stamtąd przewieziona cysternami na stację paliw. Pozostałe osady stałe, w zależności od pochodzenia biowęgla, można byłoby wykorzystać jako nawóz lub półprodukt do innych procesów.

Przedstawiony powyżej proces ma szereg interesujących atutów, z których najważniejszymi są:

- omożliwości częściowej rezygnacji z samochodów napędzanych wodorem i energią elektryczną,
- zwiększenie niezależności gospodarki od fluktuacji światowej produkcji LPG,
- omożliwość stopniowej rezygnacji z importu LPG (większość spalane w Polsce LPG to import),
- omożliwość zagospodarowywania i utylizacja odpadów komunalnych, oraz innych śmieci, np. przemysłowych, śmieci powstałych w czasie demontażu samochodów, powstałych tworzyw sztucznych itp.,
- omożliwość wykorzystania tlenu do natleniania zbiorników wodnych, rzek i mórz np. Morza Bałtyckiego,
- zmniejszanie produkcji LPG, na rzecz „ekoLPG”, a w przypadku używania biowęgla ze źródeł odnawialnych nawet „zielonego LPG”,
- dodatkowe źródło i możliwość wykorzystania tlenu w gospodarce,
- poprawa miksu samochodowego, jeśli chodzi o sposoby ich zasilania.
- rozwiązanie częściowe dwóch problemów za jednym razem, problemu śmieci i transformacji źródeł napędu samochodów.
- zmniejszenie zanieczyszczenia atmosfery, poprzez zmniejszenie wydobycia paliw kopalnych.

Technologia wykorzystania bio-wodoru i węgla pochodzącego z pirolizy niskotemperaturowej do produkcji prostych związków węglowodorowych, w tym LPG, wymaga jeszcze rozwiązania kilku problemów:

- poprawy sprawności elektrolizerów,
- stworzenia procesu technologicznego i systemu gospodarczego, umożliwiającego produkcję LPG na dużą skalę przemysłową,
- doboru odpowiednich katalizatorów,
- stworzenia rozwiązań technicznych reaktorów oraz innych podzespołów związanych z całym procesem technologicznym.

Podsumowanie

Spółcześnie, zwłaszcza kręgi przemysłowe, powinny dążyć do wykorzystywania do maksimum istniejących procesów i technologii, które są już opanowane. Dotyczy to także problemu „zazieleniania” tych procesów. Oczywiście to nie znaczy, że nie należy szukać nowych rozwiązań i wdrażać nowe technologie. Ostatnio pojawiły się doniesienia prasowe o możliwości pozyskiwania węgla w procesie wychwytywania dwutlenku węgla z atmosfery i redukcji go do węgla atomowego [9]. W wyniku wdrożenia takiej technologii, można byłoby wytwarzać ekologiczny węgiel, ale tak naprawdę rośliny dawno opanowały ten proces, więc czy ten proces będzie bardziej ekologiczny? Oczywiście jest to pieśń przyszłości. Często nowe procesy i nowe technologie okrzyknięte przez marketingowców jako ekologiczne, wcale nimi nie są i nie będą.

Czy możliwe będzie wdrożenie takiej transformacji wodorowej jak przedstawiono w niniejszym artykule? – czas pokaże.

Niniejsze artykuł jest pierwszym z serii autora w temacie możliwości ekonomicznej i ekologicznej wykorzystania zielonego wodoru w kierunku tworzenia „zielonych paliw tradycyjnych”. Przedmiotem niniejszego artykułu była frakcja LPG (ekoLPG, i „zielonego LPG”). Jako paliwa tradycyjne należy tutaj rozumieć te paliwa, które dotychczas są uważane za kopalne, a wobec których można zapewnić alternatywną zieloną drogę ich pozyskania, czyli zieloną technologię produkcji.

W kolejnym planowanym artykule dotyczącym ekoLPG będzie przedstawiona analiza ekonomiczna, włącznie z analizą ryzyka, dotycząca innowacyjnej idei wytwarzania frakcji LPG będącej przedmiotem niniejszego artykułu.

LITERATURA:

- [1] Dzirba D., G. Rosłonek.2018, „Przyszłość to technologie wodorowe”, *Przebieg Gazowniczy*, 6 (60): 54-55.
- [2] Grabowski Z.2022, „Spalanie odpadów w ZPTO przy zmniejszonej wartości opałowej”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* (12):28-33 (DOI: 10.15199/17.2022.12.6).
- [3] Jamróz A., M. Wiktor, Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Przedsiębiorstwem; „Wady i zalety użytkowania samochodów osobowych w zależności od stosowanego napędu”; https://winntbg.bg.gh.edu.pl/skrypty4/0587/nowoczesne_metody_129.pdf
- [4] Kardaś D, J. Kluska, M. Klein, P. Kazimierski, Ł. Heda, „Teoretyczne i eksperymentalne aspekty pirolizy drewna i odpadów”; UWM Olsztyn, ISBN 978-83-7299-875-0.
- [5] Karta Charakterystyki Substancji Niebezpiecznej – amoniak, Messer Polska Sp. z o.o., wyd. 07/02/2019; referencja: PL-NH3-002.
- [6] Krajowe plan gospodarki odpadami 2028; Monitor Polski, Dziennik Urzędowy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, 12 lipca 2023, Poz. 702
- [7] Krzyżanowski M. 2017. „Skutki zdrowotne zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu”; Skutki zdrowotne zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu”; *Lekarz Wojskowy* 1/2017, tom. 95.
- [8] Pawłowski K., 2023. „Analiza porównawcza technologii wytwarzania wodoru”, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 4/2023 (DOI: 10.15199/17.2023.4.1).
- [9] Platforma Przemysłu Przyszłości <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/naukowcy-uzyli-cieklego-metalu-do-zamiany-co2-w-wegiel/>
- [10] Platforma Przemysłu Przyszłości; <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/naukowcy-uzyli-cieklego-metalu-do-zamiany-co2-w-wegiel/>.
- [11] Raport roczny 2022 POGP (Polska Izba Gazu Płynnego).
- [12] Rosłonek G.2021. „Paliwa gazowe niekonwencjonalne”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* (5): 2-6 (DOI 10.15199/17.2021.5.1)
- [13] Szlęk A., W. Adameczyk, J. Bijańska, K. Wodarski,)/2023 „Amoniak jako nośnik energii”; *Nowa Energia* 2(88).