

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Jurczyka pt. **Wyznaczenie charakterystyk alkalicznego generatora wodoru.**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Prodziekana ds. Nauki i Organizacji Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 11.10.2018 r.

#### **1. Celowość podjęcia tematu**

Przedłożona do recenzji praca jest analizą możliwości zastosowania alkalicznego generatora wodoru jako urządzenia służącego magazynowaniu energii elektrycznej w wytworzonym wodorze. W warunkach nadmiaru energii w systemie elektroenergetycznym lub nadmiaru jej wytwarzania w autonomicznym systemie, konwersja energii elektrycznej w paliwo wodorowe jest jedną z możliwości jej akumulacji. Wodór może być spalany w silnikach cieplnych czy wykorzystany w ogniwach wodorowych.

Sterownie wytwarzaniem i magazynowaniem energii elektrycznej jest istotnym problemem w systemach elektroenergetycznych. Problem ten wynika zasadniczo z dwóch powodów. Pierwszym z nich jest zmienność wytwarzania w źródłach, która nie wynika z zapotrzebowania, a warunków pogodowych. Klasycznym tutaj przykładem są siłownie wiatrowe. W krajach, w których udział energetyki wiatrowej jest znaczny zmienność obciążeń jest kompensowana zmianami wytwarzania prądu w dużych blokach energetycznych lub często uruchamianych i odstawianych siłowniach gazowych. Drugą przyczyną zmienności jest w zmieniające się w cyklu dobowym zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Stąd od dawna trwają prace nad systemami umożliwiającymi magazynowanie energii, we wszelkich jej formach. Klasycznym tutaj przykładem są elektrownie pompowo-szczytowe.

Nierzadkie są przypadki, gdy klasyczne elektrownie przepływowo przekształca się w obiekty pompowo-szczytowe. Na temat różnych instalacji magazynowania energii pisze Autor w 2 rozdziale pracy. Systemy magazynowania energii stawiają nie tylko przed pomysłodawcami, projektantami oraz realizatorami wyzwania naukowe i techniczne. Każde z tych potencjalnych rozwiązań wymaga gruntownej analizy ekonomicznej. Stanowi ona, w realnych warunkach, podstawę celowości działania.

W świetle przedstawionych informacji temat pracy doktorskiej Pana Michała Jurczyka związany z badaniem generatora wodoru ma swoje zakotwiczenie w problemach rozwoju systemów energetycznych. Jest tematem jak najbardziej aktualnym i ważnym naukowo.

#### **2. Zakres pracy, sposób jej realizacji i wyniki badań**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska składa się z 14 rozdziałów, spisu literatury, spisów rysunków, tabel i załączników. Całość jest poprzedzona spisem treści oraz spisem ważniejszych oznaczeń.

W rozdziałach 1 i 2 Autor omówił zagadnienie wytwarzania energii elektrycznej i występujących zmianach mocy w systemie, gdy źródłami wytwarzania w KSE są odnawialne źródła energii. Przedstawił różne systemy magazynowania energii, zakresy występujących sprawności, zainstalowane moce oraz czasy magazynowania i wykorzystania zmagazynowanej energii.

W rozdziale 3 Autor przedstawił technologie wytwarzania wodoru określając rolę jaką mają w wytwarzaniu elektrolizery. Omówił również podstawowe zasady i prawa procesu elektrolizy.

Rozdział 4 stanowi przegląd wybranych typów elektrolizerów. Omówiono nisko i wysokotemperaturowe elektrolizery, a w tabelach 4.1 i 4.2 przedstawiono ich zalety i wady. W dalszej części omówiono elektrolizery membranowe typu PEM, elektrolizery alkaliczne oraz elektrolizatory typu AEM, gdzie ogranicza się wyraźnie koszty aparatury. W tabeli 4.4 porównano parametry pracy i inne cechy ww. elektrolizerów.

W rozdziale 5 artykułuje się potrzebę przeprowadzenia badań elektrolizera typu AEM. Autor podkreśla, że technologia ta, w przypadku obiektów przemysłowych, nadal jest badana. Wskazuje, że wyznaczone charakterystyki urządzenia mogą zostać wykorzystane w celu walidacji istniejących modeli matematycznych analogicznych typów urządzeń oraz stanowić podwaliny dla projektowania instalacji elektrolizerów. Dalej Autor określa cel pracy i składowe cele cząstkowe zawierające m.in. budowę stanowiska pomiarowego.

Rozdział 6 zawiera opis badanego obiektu, omówienie jego elementów składowych, ich schematy i zdjęcia. W rozdziale 7 przedstawiono charakterystyki badanych elektrolizerów, w tym charakterystyki sprawności i energochłonności. Omówiono również urządzenia pomocnicze generatora wodoru, w tym dokonano analizy ich potrzeb energetycznych. Dla ułatwienia analizy i czytelności przeprowadzanych działań w tabeli 7.1 zestawiono urządzenia pomocnicze wchodzące w skład badanego generatora wodoru, opisano ich funkcje i tryb pracy.

Rozdział 8 zawiera wyznaczone przez Autora charakterystyki generatora; wartości wskaźnika potrzeb własnych w funkcji mocy oraz wartości sprawności i energochłonności w zależności od mocy generatora. Z kolei w rozdziałach 9 i 10 przedstawiono charakterystyki prądowe, napięciowe, mocy i wydajności badanego urządzenia przy jego włączeniu w stanie zimnym i ciepłym, a także przy nagłych zmianach wartości prądu zasilającego.

W rozdziale 11 zawarto obszerną analizę niepewności zrealizowanych pomiarów. Określono niepewności standardowe typu A i B oraz niepewność standardową złożoną. Dla mierzonych w sposób pośredni wielkości wyznaczono współczynniki wrażliwości, a w tabeli zestawiono wartości maksymalnej niepewności całkowitej najważniejszych mierzonych wielkości. Zamieszczono również wykresy przedstawiające niepewności wyznaczenia mierzonych parametrów w funkcji mocy względnej elektrolizerów.

Rozdział 12 zawiera obszerną analizę ekonomiczną wytwarzania wodoru w oparciu o badaną metodę. Na podstawie przyjętych założeń wyznaczono graniczną cenę sprzedaży wodoru i uzależniono ją od sprawności generatorów i ich dziennego czasu pracy. Poddano również analizie wpływ ceny jednostkowej zakupu instalacji, ceny zakupu energii elektrycznej oraz kosztów operacyjnych na wynikową cenę graniczną jednostki wytwarzanego wodoru. Dokonano także analizy udziału poszczególnych składników w koszcie finalnym wodoru. Bardzo istotną sprawą jest, przedstawiony w punkcie 12.2 pracy, wpływ mocy instalacji na jednostkowy koszt inwestycyjny i tym samym na koszty wytwarzania wodoru.

W rozdziale 13 zawarto szczegółowe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań, a następnie uwagi końcowe będące ogólnym podsumowaniem poruszanych problemów i uzyskanych wyników w przedstawionej rozprawie.

Literatura zamieszczona w pracy jest obszerna (130 poz.) i właściwie dobrana. Zawiera 7 pozycji, których Pan Michał Jurczyk jest autorem lub współautorem.

### 3. Charakterystyka pracy

Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest bardzo aktualny z punktu widzenia metod magazynowania energii elektrycznej, pracy systemów energetycznych oraz ważny i interesujący naukowo. Metody magazynowania energii i sprawność jej konwersji są częstym tematem w czasopiśmiennictwie naukowym z obszaru energetyki. Zakres zrealizowanych badań jest obszerny i spełnia wymagania zwyczajowo stawiane pracom doktorskim.

Przyjęta metodyka badań jest właściwa i jasno opisana. Wykorzystana aparatura pomiarowa jest nowoczesna i daje wiarygodność uzyskanym wartościom z pomiarów. Praca zawiera obszerny rozdział poświęcony analizie niepewności uzyskanych wyników. Rezultaty badań są opracowane przejrzysto, co ułatwia studiowanie rozprawy.

Uzyskane wyniki mają duże znaczenie praktyczne. Mogą być wykorzystane zarówno na etapie projektowania instalacji wytwarzania wodoru jak i w analizie i ocenie pracujących generatorów. Praca może być wykorzystana w opracowaniach koncepcji i w projektowaniu autonomicznych systemów energetycznych.

Jak już podkreślono praca jest zredagowana bardzo przejrzysto i komunikatywnie. Redakcyjnie ją ujednolicono, przez co ułatwione jest jej studiowanie. Ułatwia to również spis konsekwentnie stosowanych oznaczeń. Na uwagę zasługuje bardzo staranna i jednolita redakcja rysunków, tabel i zestawień.

Bardzo cennym elementem pracy jest analiza ekonomiczna badanych rozwiązań technicznych. Pokazuje ona w jakich obszarach parametrów, wskaźników i cen należy się poruszać, aby myśleć o ich powodzeniu gospodarczym. Jest to sprawa niezwykle ważna, ale często zaniedbywana na etapie analiz technicznych.

### 4. Uwagi dyskusyjne i inne.

W trakcie studiowania rozprawy nasuwają się następujące pytania i uwagi:

Jak można przenieść uzyskane wyniki na instalacje wielokrotnie większe? Czy wyznaczone stałe czasowe (zmiany w czasie) dla odpowiednich wielkości np. mocy generatora lub jego wydajności będą miały taki sam bądź zbliżony przebieg? Jaka będzie wartość wskaźnika potrzeb własnych?

Jak ma się podany we wnioskach na str. 152 zakres energochłonności 51,2 – 50 kWh/kg H<sub>2</sub> do informacji zawartych na rys. 8.3? Czy współczynnik potrzeb własnych jednoznacznie identyfikuje ich (tj. potrzeb własnych) energochłonność?

Jakie problemy mogą wystąpić przy wykorzystaniu wodoru w silnikach turbinowych spalających paliwa węglowodorowe?

Jak już podkreślono, praca napisana jest bardzo starannie. Nie mniej jednak Autor nie ustrzegł się pewnych błędów przy redagowaniu rozprawy. Przykładowo:

Na str. 56 i w kilku innych miejscach Autor używa określenia *natężenie przepływu*, *natężenie strumienia*. Powinno się stosować określenie *strumień masy* lub *strumień objętości*.

Tabela 11.2 wnosi wystarczające informacje o niepewnościach całkowitych mierzonych wielkości fizycznych. Z rysunków 11.4- 11.16 można było zrezygnować. Tym bardziej, że niepewności podano w Załącznikach 2 i 3.

Str. 132 generator charakteryzuje się energochłonnością a nie *uzyskuje*.

Inne, nieliczne uwagi redakcyjne naniósłem w tekście rozprawy.

## 5. Ocena pracy

Poziom rozwiązań zadań przyjętych w pracy jest, z punktu widzenia jej celu, wysoki i spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim z zakresu nauk technicznych. Wykonując swoją pracę doktorską Pan Michał Jurczyk wykazał się rzetelnością i dociekliwością w prowadzeniu badań naukowych. Warto podkreślić staranność opracowania wyników badań, a także na walory aplikacyjne uzyskanych wyników.

Praca dotyczy badań eksploatacyjnych generatora wodoru i mieści się w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn.

## 6. Konkluzja

Uważam, że praca doktorska Pana Michała Jurczyka w pełni zasługuje na jej dopuszczenie do publicznej obrony. Przemawia za tym istotny naukowy wkład pracy Autora, oryginalność uzyskanych wyników, a także praktyczne ich znaczenie.

Uważam, że Pan Michał Jurczyk wykazał się umiejętnością planowania i realizacji badań.

**Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana Michała Jurczyka spełnia wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**

