

dr hab. inż. Zbigniew Matuszak, prof. AM w Szczecinie

dom: 71-040 SZCZECIN
ul. gen. Okulickiego 167A
tel. +48 505088867

praca: Instytut Eksploatacji
Siłowni Okrętowych
Akademia Morska
70-500 SZCZECIN
ul. Wały Chrobrego 1-2
tel. 91 480 9414
e-mail: z.matuszak@am.szczecin.pl



Szczecin, 19.04.2019

Recenzja rozprawy doktorskiej

kpt. mar. mgr. inż. Adama Polaka

pt. „Optymalizacja podsystemu zasilania katody ogniwa paliwowego PEM w obiektach podwodnych”

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej, dr hab. inż. Bogdana Żaka, prof. AMW, z dnia 13.03.2019 r.

Wprowadzenie

Praca dotyczy jednego z zagadnień związanych z eksploatacją ogniw paliwowych PEM (ang. Proton-exchange membrane fuel cell – PEMFC), zasilania stosu ogniwa paliwowego w utleniacz i sterowania jego przepływem. Ogólnie tematyka pracy mieści się w obszarze dostarczania energii elektrycznej do obiektów podwodnych. Problem jest istotny w przypadku zasilania energią elektryczną obiektu z tzw. źródła wewnętrznego energii, co pociąga za sobą wymagania związane z objętością i masą źródła energii.

Aktualnie zasilanie energią elektryczną obiektów podwodnych jest stosowane w postaci źródeł prądu w postaci baterii pierwotnych lub wtórnych ogniw galwanicznych.

Praca podejmuje zagadnienie oceny zamiennika źródeł energii elektrycznej o odpowiednio wysokich parametrach poboru prądu, tj. ogniwa paliwowego. Dla specyfiki pracy obiektów podwodnych jest to bardzo istotny problem eksploatacyjny.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska kpt. mar. mgr. inż. Adama Polaka pt. „Optymalizacja podsystemu zasilania katody ogniwa paliwowego PEM w obiektach podwodnych” zawiera 138 stron, na które składają się:

- pięć numerowanych rozdziałów merytorycznych, w tym *Wprowadzenie* oraz *Podsumowanie*;
- spis ilustracji;
- spis tabel;
- wykaz ważniejszych oznaczeń;
- bibliografia;
- załączniki;
- streszczenia w j. polskim i j. angielskim.

We *Wprowadzeniu* – rozdziale pierwszym - dokonano w początkowej części ogólnego wprowadzenia do tematyki rozprawy. W dalszej części opisano ogniwa paliwowe w ujęciu historycznym, prezentując podstawy ich działania. Znaczą część rozdziału poświęcono ogniwom paliwowym PEM charakteryzując ich zasadę działania jak i budowę stosów paliwowych i ich konfigurację. W końcowej części *Wprowadzenia* zawarto *Sformułowanie problemu badawczego* oraz *Tezę i cele pracy*.

W rozdziale drugim zaprezentowany model matematyczny ogniwa paliwowego PEM. Zaprezentowany model matematyczny uwzględnia wpływ natężenia przepływu tlenu na zmiany zróżnicowania napięć na celach stosu ogniwa. Dokonano analizy różnorodności warunków panujących w poszczególnych celach stosu na parametry ogniw. Model matematyczny zweryfikowano na rzeczywistym systemie ogniwa paliwowego oraz wykonując badania symulacyjne na opracowanym modelu.

Rozdział trzeci podejmuje zagadnienie zasilania tlenem przedziału katody stosu paliwowego typu PEM bez układu recyrkulacji tlenu. Obejmuje to głównie sterowanie przepływem tlenu dla czterech stanów eksploatacyjnych stosu ogniwa paliwowego.

Rozdział czwarty jest zdaniem recenzenta głównym rozdziałem merytorycznym. Wykorzystując środowisko Matlab/Simulink przeprowadzono badania modelowe

wykorzystując opracowany program symulacyjny dla opracowanego modelu matematycznego ogniwa paliwowego zaprezentowanego w dwóch poprzednich rozdziałach. Eksperyment czynny przeprowadzono na systemie ogniwa paliwowego typu PEM w Laboratorium Eksploatacji Elektrycznych Urządzeń Okrętowych Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej. Miał on na celu weryfikację postawionej w pracy tezy poprzez sprawdzenie na obiekcie rzeczywistym poprawności działania opracowanych i opisanych w poprzednich rozdziałach procedur.

W wyniku badań symulacyjnych uzyskano szereg charakterystyk prezentujących przebiegi rozstępu napięć i współczynnika przepływu tlenu dla różnych parametrów sterowania dwupołożeniowego z histerezą i sterowania PD. Podobne charakterystyki uzyskano również dla sterowania rozmytego PD. W konkluzji badań symulacyjnych i eksperymentalnych stwierdzono, że najkorzystniejsze jest sterowanie wykorzystujące logikę rozmytą.

Podsumowanie – rozdział piąty – zawiera opisanie prac wykonanych w ramach rozprawy. Wskazano na wykonanie prac obejmujących zakres rozprawy.

Podkreślono, że w wyniku realizacji rozprawy opracowana została autorska metoda sterowania przepływem tlenu w systemie ogniwa paliwowego, która wykorzystuje informację o zróżnicowaniu napięć w stosie.

Autor wskazał również w Podsumowaniu dalsze kierunki badań w obszarze tematycznym, który obejmuje rozprawa.

Bibliografia rozprawy zawiera 88 pozycji, w znacznej większości ściśle związanych z tematem rozprawy.

Załączniki stanowią zgrabne uzupełnienie treści zawartych w rozprawie.

Ocena sformułowania problemu badawczego oraz tezy i celów pracy

Zasilanie energią elektryczną obiektów podwodnych przy ograniczonym w znacznym stopniu dysponowanej objętości miejsca stanowi aktualny cały czas problem. Autor zaproponował zastosowanie jako źródła energii ogniwa paliwowe typu PEM (tzw. ogniwa wodorowe). Jednym z najistotniejszych problemów w eksploatacji ogniwa paliwowych jest zasilanie stosu ogniwa paliwowego w utleniacz, a głównie sterowanie przepływem utleniacza. Jest to o tyle istotne, że system ogniwa paliwowego PEM w obiekcie podwodnym nie ma dostępu do powietrza atmosferycznego.

Tak więc sformułowany problem badawczy: ***W jaki sposób realizować doprowadzanie utleniacza do przedziału katody ogniwa paliwowego PEM pracującego bez dostępu do***

powietrza, aby obniżyć energetyczne potrzeby własne podsystemu tlenowego, utrzymując jednocześnie właściwe warunki pracy wewnątrz stosu? został postawiony właściwie.

Również pytania, a właściwie zadania szczegółowe (s. 17) rozwijające problem badawczy zostały właściwie określone.

Tezę rozprawy na podstawie problemu badawczego i zadań szczegółowych Autor rozprawy sformułował w następujący sposób: ***Możliwe jest obniżenie energetycznych potrzeb własnych systemu ogniwa paliwowego PEM, będącego źródłem zasilania elektrycznego obiektu podwodnego, poprzez usunięcie układu recyrkulacji tlenu, a utrzymanie właściwych warunków pracy i wysokiej utylizacji tlenu przez odpowiednie sterowanie jego przepływem.***

Autor sformułował również cele naukowe i utylitarne rozprawy (s. 18). Zostały one sformułowane we właściwy sposób. Recenzent uważa, że dla analizowanej pracy wystarczyłoby sformułowanie problemu badawczego i zadań szczegółowych oraz celów rozprawy.

Ocena merytoryczna rozprawy

Celem naukowym rozprawy jest: ***Opracowanie sterowania podsystemem zasilania utlenianiem przedziału katody stosu ogniwa paliwowego PEM zapewniającego właściwe warunki pracy stosu przy braku układu recyrkulacji tlenu.***

Struktura pracy jest przejrzysta i prawidłowa. Być może zyskała by nieco jeszcze struktura, gdyby z *Wprowadzenia* wydzielono jako osobny rozdział *Sformułowanie problemu badawczego* oraz *Tezę i cele pracy*.

Trzy pierwsze rozdziały, a dokładniej drugi i trzeci rozdział, we właściwy sposób stanowią wprowadzenie do czwartego, merytorycznego rozdziału.

We *Wprowadzeniu* w wystarczający sposób scharakteryzowano opis działania ogniwa paliwowych na tle ich historycznego pochodzenia. Funkcjonowanie ogniwa paliwowych opisano podstawowymi równaniami chemicznymi reakcji zachodzących w ogniwach paliwowych. Również zaprezentowana charakterystyka ogniwa paliwowych PEM zawarta we *Wprowadzeniu* w wystarczający sposób stanowi przedstawienie i charakterystykę tych ogniwa do dalszej analizy prezentowanej w rozprawie.

Zaprezentowana w rozdziale drugim treść zawiera nie tylko materiał teoretyczny, lecz również prezentuje wyniki uzyskane z badań laboratoryjnych w Instytucie Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki

Wojennej, stąd też wydaje się nieco niefortunne nazwanie tego rozdziału *Modelem matematycznym stosu ogniwa paliwowego PEM...*

Rozdział trzeci stanowi oryginalny materiał będący wprowadzeniem do następnego, najbardziej merytorycznego rozdziału rozprawy. Zawiera podstawy teoretyczne do zaprezentowanej w czwartym rozdziale symulacji komputerowej oraz eksperymentu czynnego na systemie ogniwa paliwowego typu PEM w Laboratorium Eksploatacji Elektrycznych Urządzeń Okrętowych Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej.

W wyniku realizacji rozprawy Autor opracował metodę sterowania przepływem tlenu w systemie ogniwa paliwowego wykorzystującą informację o zróżnicowaniu napięć w stosie. Zaprezentowany w rozdziale czwartym sposób rozumowania i prezentowania wyników badań potwierdza dojrzałość badawczą Autora rozprawy.

Zawarte w *Podsumowaniu* wnioski i stwierdzenia w skromny, ale wystarczający sposób opisują wykonane zadania badawcze. Wskazują też dalsze kierunki badań zaproponowane przez Autora.

Oceniając rozprawę, uważam, że jej merytoryczna treść podparta jest należyтым przygotowaniem teoretycznym a całość zilustrowana jest właściwie dobranym materiałem ilustracyjnym. Końcowe podsumowanie i propozycje dalszych badań wynikają logicznie z opisu zaprezentowanych przeprowadzonych badań.

Ocena strony edytorskiej rozprawy

Praca została wykonana zasadniczo starannie, jednak poniżej recenzent przedstawia kilka uwag, które mogą zostać potraktowane jako wskazówki w dalszych publikacjach Autora, a nie wpływają na ocenę merytoryczną pracy:

- w szeregu zależności matematycznych wskazane byłoby zamieszczenie jednostek technicznych poszczególnych wyrazów;
- s. 7/8 – rysunek i podpis na innych stronach;
- s. 23, 23 zależność (26) – niekonsekwentne stosowanie kursywy do opisu zmiennych w zależnościach;
- s. 23, rys. 8 – z reguły T jest zastrzeżone dla temperatury wyrażonej w K, nie w °C;
- s. 38 plus Załącznik nr 2 – niefortunny podpis pod rysunkami: Dane pomiarowe i dane modelowe... a na rysunkach oznaczenie dla: dane pomiarowe, wyniki symulacyjne;

Uwagi dyskusyjne

Na podstawie całości treści pracy:

- Proszę o przykładowe porównanie rzeczywistych parametrów „klasycznego galwanicznego ogniwa” z ogniwem paliwowym typu PEM.

Podsumowanie

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej uważam, że:

- Autor dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a jej zakres spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym, gdyż praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego;

- rozprawa dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do nich nowe treści;

- cele pracy, w zakresie przyjętym przez Autora, zostały osiągnięte, gdyż zrealizowano postawione zadania szczegółowe, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonej analizie symulacyjnej i eksperymencie czynnego i mogą służyć do dalszych prac;

- formalny układ jest prawidłowy;

- Autor, kpt. mar. mgr. inż. Adam Polak, na podstawie zaprezentowanych treści rozprawy, posiada wiedzę teoretyczną, zdolności koncepcyjne oraz umiejętności niezbędne do samodzielnego rozwiązywania naukowych problemów badawczych

Uważam, że rozprawa kpt. mar. mgr. inż. Adama Polaka pt. „Optymalizacja podsystemu zasilania katody ogniwa paliwowego PEM w obiektach podwodnych” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w odpowiednich przepisach (aktualnie ustawa „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku, ze zmianami z dnia 18 marca 2011), a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.



Zbigniew Matuszak