

20.08.2018 r.

Dr hab. inż. Łukasz Konieczny, prof. P.Ś.
Wydział Transportu
Politechnika Śląska

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Lubikowskiego pt.

„Zastosowanie generatorów termoelektrycznych w procesie odzyskiwania energii z układów napędowych pojazdów”

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Stanisława Radkowskiego

z dnia 26.06.2018 r.

1. Uwagi ogólne

Praca doktorska mgr inż. Kamila Lubikowskiego została wykonana w Zakładzie Ciągników i Napędów Hydraulicznych, Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Jędrzeja Mączaka, profesora PW oraz dr inż. Krzysztofa Szczurowskiego. Przedstawiona do recenzji praca zawiera 155 stron, ze spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim, wprowadzeniem, 9 głównymi rozdziałami i spisem literatury zawierającym 148 pozycji oraz 6 stronicowym załącznikiem.

Rozprawa poświęcona jest analizie możliwości zastosowania generatorów termoelektrycznych jako elementów podnoszących bilans energetyczny układu napędowego pojazdu z silnikiem spalinowym. W pracy przedstawiono szereg pozycji literaturowych, w którym dokonano selekcji informacji dotyczących generatorów termoelektrycznych, jako elementów wykorzystanych w procesie odzyskiwania energii odpadowej w procesie spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w silniku spalinowym.

Przeprowadzona w rozprawie wnikliwa analiza literaturowa pozwala na stwierdzenie, że na całym świecie trwają badania nad wykorzystaniem generatorów termoelektrycznych w poprawie bilansu energetycznego układu napędowego pojazdu z silnikiem spalinowym oraz poprawie właściwości materiałowych generatorów tego typu. Jednocześnie Autor stwierdza iż brakuje publikacji przeglądowych na temat generatorów termoelektrycznych w języku

polskim, a dostępny materiał opisuje generatory za pomocą uproszczonej zależności liniowej, wykorzystującej zmienność wartości siły elektromotorycznej od różnicy temperatur działających na generator przy założonej stałej wartości współczynnika Seebecka, jako niezależnej danej materiałowej.

W rozprawie Autor przedstawia wyniki badań wstępnych typowych generatorów termoelektrycznych oraz weryfikację danych pomiarowych z udostępnionymi danymi przez producentów. Uzyskane wyniki pozwoliły Autorowi stworzyć model matematyczny w środowisku Matlab/Simulink wykorzystany do budowy systemu symulacyjnego pracy generatora. Osiągnięciem naukowym Kandydata jest przedstawienie metodologii określania zastępczego współczynnika Seebecka dla kompletnego układu generatora termoelektrycznego (TEG), jako zmiennej dla całego układu, zależnej od różnicy temperatur ΔT oraz temperatury jednej ze stron generatora, (w analizowanym w rozprawie przypadku dotyczy strony gorącej T_H). Dotychczas w literaturze wykorzystywany jest współczynnik materiałowy jednego elementu czynnego, nie uwzględniający konstrukcji całego generatora TEG, która ma istotny wpływ na zachowanie się układu w procesie odzyskiwania energii. Jest to istotny wkład Autora w dorobek naukowy na temat zastosowania generatorów termoelektrycznych jako układów półprzewodnikowych służących do poprawy bilansu energetycznego pojazdów z silnikami spalinowymi.

Autor przedstawia przeprowadzone badania oraz własną propozycję algorytmu doboru generatorów w procesie odzyskiwania energii odpadowej z ciepła strat spalania i chłodzenia. Jednocześnie Autor proponuje opis matematyczny postępowania w procesie odzyskiwania energii przy dużych różnicach temperatur oraz wysokich temperaturach strony gorącej.

2. Charakterystyka pracy

Rozprawę doktorską rozpoczyna obszerny wstęp stanowiący ukierunkowane przedstawienie zastosowania generatorów termoelektrycznych w procesie odzyskiwania dyssypowanej energii cieplnej. Autor we wstępie przedstawia zasadę działania generatorów termoelektrycznych, zjawiska fizyczne działające na generatory, ich budowę oraz klasyfikację. Następnie przedstawia sposób wykorzystania generatorów w procesie odzyskiwania energii w pojeździe, przegląd literaturowy dostępnej wiedzy oraz sformułowane na tej podstawie tezy rozprawy:

1) Możliwa jest poprawa bilansu energetycznego pojazdu, przez odzyskiwanie energii z ciepła odpadowego silnika spalinowego za pomocą właściwego użycia niskotemperaturowych generatorów termoelektrycznych,

2) Można tego dokonać poprzez optymalizację procesu odzyskiwania energii, uwzględniając parametry pracy generatorów termoelektrycznych.

W Rozdziale 2 Autor przedstawia badania wstępne, ukierunkowane na zweryfikowanie parametrów i możliwości energetycznych TEG. Autor zwięźle opisuje własne stanowisko do testowania generatorów oraz wyniki z badań. Zwraca uwagę na niepoprawne uproszczenia w przypadku badań z ogólnym opisem pracy generatorów oraz ich zależności od różnicy temperatur i indywidualnie od każdej z temperatur (T_C i T_H).

W Rozdziale 3 Autor przedstawia propozycję zastosowania indywidualnego równania opisującego zmianę współczynnika Seebecka w funkcji temperatur absorbera i źródła.

Następnie, w Rozdziale 4, Autor skupia się na opisie matematycznym zagadnień termoelektrycznych niezbędnych do zamodelowania pracy TEG, buduje w programie komputerowym Matlab model symulacyjny, a końcu przedstawia wykonane obliczenia i symulacje. W kolejnym, 5 rozdziale Autor przedstawia propozycję algorytmu doboru TEG. Autor zawarł w 6 rozdziale wyniki przeprowadzonych badań stanowiskowych oraz ich porównanie z modelem matematycznym i symulacyjnym.

Swoją rozprawę Autor podsumowuje w rozdziale 7 przedstawiając za razem propozycje zagadnień do dalszej pracy. W rozdział 8 Autor zawarł spis literaturowy, zaś w rozdziale 9 załączniki do rozprawy na którym zakończył rozprawę.

Układ treści, podział na rozdziały, sformułowanie celu rozprawy oraz wniosków końcowych są czytelne i logiczne.

Przedstawione rezultaty symulacji matematycznych oraz empirycznych wyników badań w rozprawie potwierdzają poprawność przyjętych tez rozprawy. Zaprezentowane wyniki eksperymentalnej weryfikacji modeli pozwalają na ustalenie warunków i zakresu ich stosowalności.

3. Ocena redakcyjna

Praca jest opracowana schludnie i przejrzysto. Opracowanie redakcyjne recenzowanej dysertacji jest na wysokim poziomie. Struktura i podział pracy jest prawidłowy. W ujęciu całościowym praca jest dopracowana, aczkolwiek rozdziały dotyczące przeglądu literatury zdają się dość obszerne. Przedstawiono wiele kierunków badań i możliwości aplikacji ogniwo TEG w wielu dziedzinach i obszarach. Z pewnością pokazuje to odpowiednie ugruntowanie

wyboru tematyki rozprawy oraz jej użytkowe znaczenie natomiast skutkuje dość rozbudowanym rozdziałem.

4. Uwagi szczegółowe i zapytania

Spotyka się pewne niezgrabności stylistyczne niekiedy wynikłe tylko z błędów literowych.

Z obowiązku recenzenta pragnę zwrócić uwagę na pewne niedociągnięcia oraz kwestie wymagające wyjaśnienia jak np.

- Na stronie 20 akapit "Właściwości metali..." jest powtórzony dwukrotnie.
- Brak jednostek Rys 3.4 (tabela) str 64, Rys. 3.5 str 64, Rys. 3.6 str 65, Rys.3.7 str 67, rys. 6.2 na str 106, Rys.6.8 str 111, Tabela 6.12 str.115.
- W załączniku str. 147-152 – rysunki są nienumerowane oraz również w większości brak jest jednostek przy opisach osi.
- Rys.6.10 str. 114 oraz rysunek w załączniku na str. 147. W przypadku aproksymacji wielomianami założono dopasowanie w których uwzględniono wyraz a_0 nie mający uzasadnienia fizycznego przy wyznaczaniu zależności pomiędzy zmiennymi.
- Obliczona zależność dwuwymiarowa współczynnika Seebecka (str. 66) nie jest określona czy dotyczy temperatury w stopniach Kelvina czy Celcjusza, dotyczy to kilku miejsc w pracy gdzie pominięto jednostki.
- Strona 67. Użyto sformułowania „obliczone napięcie ze wzorów 2 oraz 19”, o ile wzór 2 dotyczy napięcia to wzór 19 pozwala tylko na obliczenie zastępczego współczynnika Seebecka.
- Opis wykresu 3.7 wprowadza w błąd ponieważ zmienną niezależną jest różnica temperatur ΔT , a współczynnik Seebecka jest obliczany z zależności (2), (19) lub wyznaczony z badań eksperymentalnych więc serie na wykresie nie opisują wartości współczynnika a sposób jego wyznaczenia.

Zaproponowana w pracy metodyka doboru generatorów TEG z propozycją wykorzystania w układach odprowadzenia spalin silnika spalinowego pojazdu jest z pewnością odważną koncepcją zmierzającą do odzyskania energii ze strat ciepła. Jedno z istotnych pytań związanych z zastosowaniem TEG w układzie napędowym pojazdu samochodowego to sposób regulacji jego pracy i zabezpieczenie przed przegrzaniem w przypadku gdy parametry pracy silnika, a co za tym idzie zmiany temperatury w układzie wylotowym zmieniają się dynamicznie i w szerokim zakresie. Jakie możliwości w związku z tymi ograniczeniami widzi Autor ????. Autor również zwraca

uwagę na zagrożenie związane z drganiami w układzie wylotowym – jak zdaniem Autora wpływa to na możliwość stosowania TEG w takim miejscu?.

5. Końcowa ocena pracy

Oceniając całość przedstawionej rozprawy należy podkreślić istotną wagę poznawczą i techniczną głównego problemu pracy. Autor w głównej mierze skupił się nad opracowaniem zastosowania generatorów termoelektrycznych w procesie odzyskiwania energii z układów napędowych pojazdów, co w pełni wyczerpuje zakres rozprawy doktorskiej. Wykazał przy tym bardzo dobre wykorzystanie warsztatu badawczego w szczególności w zakresie eksperymentalnym oraz analitycznym. Zagadnienie zostało rozwiązane samodzielnie, a uzyskane rezultaty mogą być w części wykorzystane bezpośrednio w postaci rozwiązań aplikacyjnych, w części stanowią przesłankę do dalszych badań metodycznych. Rozwiązując zadanie określone w pracy Autor wykazał się dobrą znajomością i wycuciem problemów technicznych i rzetelną wiedzą w dziedzinie układów napędowych, szczególnie układów chłodzenia silnika spalinowego oraz odprowadzania spalin. Połączenie tej wiedzy ze znajomością metod odzyskiwania energii cieplnej w układach napędowych umożliwiło Doktorantowi rozwiązanie interesującego zadania naukowego.

W szczególności warto podkreślić merytoryczną stronę rozprawy, w tym kompleksowe opracowanie procedury doboru generatorów termoelektrycznych w tym autorski sposób określenia współczynnika Seebecka dla całego generatora. Prostota przedstawionego rozwiązania poprawa bilansu energetycznego układów napędowych w tym silnika spalinowego, układu chłodzenia i odprowadzania spalin powoduje, iż algorytm może z powodzeniem zostać zaimplementowany we współczesnych pojazdach.

Na uwagę zasługuje zakres prac badawczych, które umożliwiły opracowanie recenzowanej rozprawy doktorskiej, oryginalność rozwiązania istotnego zagadnienia naukowego, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta. Stąd stwierdzam iż, przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych.

Wobec spełnienia wszystkich wymogów Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym (art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003) stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Kamila Lubikowskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

