

dr hab. inż. Jędrzej Mączak, prof. ucz.

Warszawa, 8.12.2023 r.

Instytut Pojazdów i Maszyn Roboczych
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska
ul. Narbutta 84
02-524 Warszawa
jedrzej.maczak@pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Wójcika pt.

Electric car battery leakage detection system

przygotowanej pod kierunkiem naukowym promotora
dr hab. inż. Piotra Przyszałki, prof. Politechniki Śląskiej

1. Wprowadzenie

Recenzję wykonano na podstawie pisma RDJMe.512.22.2023 prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej, z dnia 28.09.2023 roku.

2. Uwagi o sformułowanym zadaniu

Recenzowana praca powstała w ramach Programu MNiSW „Doktorat wdrożeniowy” Nr DWD/33/33/2019 we współpracy z firmą DRÄXLMAIER, w której były prowadzone badania przemysłowe i prace rozwojowe związane z jej tematyką.

Recenzowana praca dotyczy problematyki budowy modelowo wspartego systemu diagnostycznego do detekcji nieszczelności i wtargnięć cieczy w chłodzonych zanurzeniowo pakietach akumulatorowych stosowanych w pojazdach elektrycznych. Opracowana, autorska, metoda diagnozowania nieszczelności pakietów wykorzystuje opracowany i wykonany przez Autora polimerowy światłowodowy przetwornik oparty na zmianie indeksu refrakcji fali świetlnej na granicy ośrodka oraz autorskie metody detekcji uszkodzeń bazujące na sztucznych sieciach neuronowych.

Tematyka pracy jest nader aktualna ze względu na pojawienie się na rynku nowych pakietów akumulatorowych dla pojazdów BEV o napięciu 800 V, które są chłodzone cieczą - olejem o własnościach dielektrycznych. Należy tu zauważyć, iż jest to technika stosowana od bardzo niedawna, wymagająca najbardziej zaawansowanego chłodzenia pakietów baterii wykorzystywana obecnie jedynie w najbardziej zaawansowanych pojazdach BEV (np. Porsche Taycan, McLaren Speedtail, Mercedes AMG GT 63 S, Faraday Future FF91 itp.).

Należy jednak oczekiwać, że będzie się ona w niedalekiej przyszłości stosowana również w bardziej popularnych modelach pojazdów elektrycznych. W takich rozwiązaniach (800 V), nieszczelność układów chłodzących zanurzeniowo pakiety akumulatorów, spowodowana np. uszkodzeniem obudowy lub wymiennika ciepła, może skutkować zarówno wyciekami czynnika chłodzącego (np. oleju mineralnego) jak też pojawieniem się wody (np. deszczowej) we wnętrzu układu. Może to prowadzić do katastroficznych zdarzeń wskutek zainicjowania reakcji łańcuchowej wewnątrz pakietu, prowadzącej do utraty stabilności termicznej pakietu akumulatorowego. Reakcja ta może zostać spowodowana nawet pozornie niewielkim uszkodzeniem, które może z biegiem czasu propagować i uszkadzać inne ogniwa. Konsekwencje takich zdarzeń w dużym pakiecie akumulatorowym mogą być poważne z powodu wydzielania dużych ilości ciepła i łatwopalnych gazów, skutkując gwałtownym wzrostem temperatury i ciśnienia powodującym zwiększone ryzyko zapłonu i eksplozji. Wtargnięcie wody, gromadzącej się w pakiecie akumulatorowym m.in. wskutek uszkodzonego wymiennika ciepła, i może powodować korozję oraz zwarcia w obszarach o wysokim napięciu skutkujące podwyższonym ryzykiem zapłonu i eksplozji. Stąd też wynika konieczność opracowania nowych metod diagnostyki takich rodzajów uszkodzeń i duża aktualność recenzowanej pracy.

Obecnie stosowane w przemyśle motoryzacyjnym rozwiązania, pozwalające na wykrywanie tego rodzaju uszkodzeń pakietów akumulatorowych chłodzonych zanurzeniowo, wykorzystują układy elektroniczne, których zasada działania opiera się głównie na zmianie rezystancji elektrod zanurzonych w cieczy przewodzącej. Ten typ przetwornika zapewnia podstawową funkcjonalność wykrywania cieczy, ponieważ czujnik zgłasza ostrzeżenie w przypadku braku obecności cieczy jednakże nie dostarcza żadnych informacji o rodzaju samej cieczy a w szczególności wtrąceń wody. Zastosowanie tego typu sensorów wewnątrz systemu akumulatorowego wymaga ponadto dobrej izolacji lub dodatkowego zabezpieczenia linii zasilających i komunikacyjnych pomiędzy BMS (niskie napięcie) a akumulatorem (wysokie napięcie) w celu ochrony BMS przed niebezpiecznymi zdarzeniami wynikającymi z transmisji napięcia z czujnika poprzez wiązkę przewodów. Należy tu również pamiętać o trudnych warunkach podczas pracy układu zasilania bateryjnego w pojeździe wynikających z drgań i dużych zmian temperatury zmieniających właściwości czynnika chłodzącego. Biorąc te czynniki pod uwagę, pomysł Autora aby skupić się na możliwości wykorzystania czujników wykorzystujących polimerowe światłowody do detekcji wspomnianych uszkodzeń jest bardzo interesujący.

Pewną trudność, ale i wyzwanie stanowił dla Autora brak literaturowego opisu rozwiązań już stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym w zakresie diagnostyki szczelności pakietów bateryjnych, gdyż opisy prototypów i nowych rozwiązań takich układów na ogół nie są publikowane, o ile nie zostały uprzednio opatentowane. Przegląd dostępnej literatury i zarejestrowanych wniosków patentowych wskazał, że problem detekcji ubytku czynnika chłodzącego i jego zanieczyszczenia wodą w pakietach baterii chłodzonych zanurzeniowo jest tematem nowym, który nie został dotychczas szerzej zbadany. Prawdopodobną przyczyną tego stanu rzeczy jest to, iż jest to technologia stosowana od bardzo niedawna i używana jedynie w najdroższych pojazdach wykorzystujących napięcie pakietów 800 V. Fakt zainteresowania Autora rozwojem tej technologii jest dodatkowym atutem pracy.

Zaprojektowanie i wykonanie prototypu systemu diagnozującego wspomniane wyżej uszkodzenia wymagało obszernych, interdyscyplinarnych prac badawczo-rozwojowych w zakresie mechatroniki, ze względu na konieczność opracowania dedykowanej warstwy mechanicznej, sprzętowej, programowej oraz opracowania i wykonania polimerowych przetworników światłowodowych. Prace te doprowadziły do zbudowania polimerowego światłowodowego przetwornika absorpcji fali zanikającej (ang. evanescent wave) oraz opracowania dedykowanej platformy sprzętowej służącej do rejestrowania danych eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych oraz drogowych. Wykorzystane przez Autora zjawisko fali zanikającej powoduje (upraszczając) rozpraszanie promieniowania świetlnego w światłowodzie na granicy faz rdzeń-płaszcz światłowodu. Usuwając na pewnym odcinku płaszcz światłowodu i pozwalając na kontakt jego włókna z badanym odczynnikiem (olejem) o zmieniających się własnościach optycznych Autor uzyskał sensor optyczny reagujący na zmianę jego własności fizykochemicznych.

Badania zbudowanego przez Autora demonstratora technologii prowadzono zarówno dla pakietu bateryjnego w stanie pełnej zdatności, jak też przy celowo wprowadzonych uszkodzeniach (wyciek oleju, wtargnięcie wody). Na podstawie zgromadzonych danych Autor sformułował zestaw modelowo wspartych metod detekcji wspomnianych uszkodzeń, które zostały następnie zweryfikowane w badaniach eksperymentalnych. Poprawność opracowanych algorytmów była oceniana na podstawie zarejestrowanych zestawów danych zarówno w stanie pełnej zdatności jak i podczas zasymulowanych stanów z rozważanymi uszkodzeniami.

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie innowacyjnego, modelowo wspartego systemu detekcji wycieków cieczy chłodzącej i pojawienia się wtrąceń wody w chłodzonych zanurzeniowo pakietach akumulatorów litowo-jonowych pojazdów

elektrycznych. Opracowany system diagnostyczny wykorzystuje polimerowe czujniki światłowodowe absorpcji fali zanikającej oraz algorytmy wykrywania uszkodzeń oparte na płytkich i głębokich sieciach neuronowych. Wyciek lub wtargnięcie cieczy do wnętrza układu może być wynikiem np. uszkodzonej obudowy akumulatora lub wymiennika ciepła. Kierując się zapotrzebowaniem branży, taki system wykrywania wycieków i wtrąceń powinien być stosowany wewnątrz systemu akumulatorów z chłodzeniem immersyjnym (zanurzeniowym) oraz powinien być wystarczająco wytrzymały, aby poradzić sobie z warunkami motoryzacyjnymi.

Aby zrealizować sformułowany w pracy cel Autor postawił przed sobą następujące zadania badawcze:

- określenie rodzajów uszkodzeń akumulatorów litowo-jonowych, zwłaszcza uszkodzeń spowodowanych wyciekami i wnikaniem cieczy,
- przeprowadzenie przeglądu literatury na temat polimerowych czujników światłowodowych, technik ich wykrywania i technologii wytwarzania, a także metod wykrywania usterek w systemach akumulatorów,
- budowę prototypu systemu wykrywania usterek opartego na zaproponowanym i wytworzonym przez siebie polimerowym czujniku światłowodowym, zdolnym do monitorowania zarówno wtargnięcia cieczy (wody) jak i wycieku cieczy z układu chłodzącego,
- opracowanie, opartych na modelach, metod wykrywania wycieków cieczy i wtargnięć cieczy z wykorzystaniem technik sztucznej inteligencji, takich jak płytkie i głębokie sieci neuronowe,
- opracowanie komponentów, a także dedykowanych stanowisk testowych odpowiednich dla każdego badania weryfikacyjnego,
- opracowanie planu badań diagnostycznych i przeprowadzenie kompleksowych eksperymentów w celu zebrania danych niezbędnych do weryfikacji i walidacji systemu zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i drogowych,
- przeprowadzanie badań eksperymentalnych na głębokich modelach neuronalnych w poszukiwaniu optymalnych hiperparametrów,
- wyciągnięcie wniosków, które można wykorzystać do podniesienia poziomu gotowości technologicznej systemu.

Opracowany system detekcji wycieku czynnika chłodzącego oraz wykrywania wtrąceń wody może być zintegrowany z systemem zarządzania baterią pojazdu.

Recenzowana praca doktorska jest pracą wdrożeniową, mającą na celu stworzenie nowych rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie diagnostyki pakietów akumulatorowych stosowanych w nowoczesnych BEV. Z tego też względu brak zwyczajowo jednoznacznie postawionej tezy rozprawy jest oczywisty i całkowicie akceptowalny.

Mając na uwadze obecny stan wiedzy w tym zakresie należy uznać, że cele rozprawy sformułowane przez Autora są poprawne, a tematyka pracy ma bardzo duże znaczenie naukowo–poznawcze i aplikacyjne.

3. Charakterystyka pracy

Opiniowana praca, składająca się z siedmiu rozdziałów, spisu literatury oraz wykazu oznaczeń i skrótów, zajmuje wraz z dodatkowymi załącznikami 165 stron. Wykaz literatury, obejmujący 162 pozycje, należy uznać za trafny. Wśród cytowanych pozycji znajdują się jedynie 3 publikacje sygnowane przez Autora związane w całości z tematem pracy (dwa patenty Autora i jedna publikacja pokonferencyjna w wydawnictwie Elsevier nt. przetworników światłowodowych). Brak publikacji związanych z pracą można uzasadnić nowatorską tematyką pracy realizowanej wraz z partnerem przemysłowym, co zapewne uniemożliwiło/utrudniło publikację wyników pracy. Bibliografia została pogrupowana zgodnie z kolejnością występowania w tekście w formacie IEEE. Źródła internetowe zostały prawidłowo oznaczone czasem dostępu.

Układ treści, w tym podział na rozdziały oraz strona graficzna rozprawy nie budzą zastrzeżeń. Praca została napisana bardzo starannie w języku angielskim. Rysunki i zdjęcia są starannie opracowane, czytelne i opatrzone przypisami w razie zapożyczeń. Nie dopatrzyłem się w pracy żadnych błędów językowych.

4. Ogólna ocena rozprawy

W opiniowanej rozprawie przedstawiono proces tworzenia systemu wykrywającego ubytek cieczy chłodzącej oraz wykrywanie wtrąceń wody w pakietach baterijnych pojazdów elektrycznych chłodzonych cieczą. Zbudowany przez Autora system składa się z sensorów optycznych bazujących na polimerach światłowodowych oraz układu sterującego systemem wykorzystującego nowatorski algorytm oparty na sieciach neuronowych.

Zagadnienia podjęte w pracy zostały przedstawione w siedmiu rozdziałach. Każdy z podstawowych rozdziałów zakończony jest jego podsumowaniem uwypuklającym wnioski istotne dla całości rozprawy.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy. Opisano w nim motywację stojącą za prowadzonymi badaniami, najczęstsze uszkodzenia pakietów akumulatorów w pojazdach elektrycznych, problemy naukowe pozostające do rozwiązania oraz sformułowano cel pracy i sposoby dojścia do niego. Rozdział ten wyznacza kierunek dla kolejnych rozdziałów.

W Rozdziale 2 opisano koncepcję systemów pakietów akumulatorów pojazdów elektrycznych. Rozdział rozpoczyna się od kompleksowego przeglądu różnych rodzajów akumulatorów, omawia zalety i wady różnych składów chemicznych i kształtów ogniw stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym. Zawiera również opis różnych systemów zarządzania temperaturą akumulatora (BTM), prowadząc czytelnika w kierunku immersyjnego podejścia do chłodzenia, istotnego dla rozprawy. W rozdziale przedstawiono ograniczenia ogniw akumulatorów litowo-jonowych, które są obecnie najczęściej wybierane przez producentów samochodów. Na ich podstawie przedstawiono wyniki badań uszkodzeń związanych z akumulatorami, podkreślając problemy związane z wyciekami i usterkami wtargnięcia wody do wnętrza pakietu chłodzonego olejem. W rozdziale dokonano ponadto przeglądu aktualnie stosowanych algorytmów diagnostyki usterek w systemach zarządzania akumulatorami, w tym algorytmów korzystających z wykorzystania inteligencji obliczeniowej i uczenia maszynowego. W końcowej części rozdziału przedstawiono wyniki poszukiwań patentów dotyczących diagnostyki zestawów akumulatorów, zwłaszcza rozwiązań w zakresie wykrywania wycieków cieczy i wtargnięcia cieczy.

W Rozdziale 3 opisano podstawowe sposoby wykorzystywania światłowodów polimerowych, wykorzystujące zmianę intensywności i zmianę długości fali, jako przetworników możliwych do zastosowania w przemyśle motoryzacyjnym. W rozdziale przedstawiono różne zastosowania polimerowych czujników światłowodowych w przemyśle motoryzacyjnym, takie jak system ochrony pieszych i system ochrony przed zakleszczeniem przy zamykaniu okien pojazdu. Ze względu na ograniczoną liczbę zastosowań dla branży motoryzacyjnej, badania zostały rozszerzone na bardziej wymagający przemysł lotniczy.

W Rozdziale 4 przedstawiono koncepcję sprzętowo-programową opracowanego demonstratora optycznego systemu wykrywania cieczy do wykrywania uszkodzeń pakietów akumulatorów pojazdów elektrycznych. Opisuje on podstawy teoretyczne, architekturę systemu oraz stawiane mu wymagania zarówno funkcjonalne jak i нефункционалне. Rozdział opisuje ponadto proces wdrażania systemu i badania eksperymentalne wykorzystujące opracowane czujniki bazujące na zmianie indeksu refrakcji podczas kontaktu z różnymi materiałami ciekłymi. Opisany proces implementacji systemu składa się między innymi z opracowania elektronicznej jednostki sterującej i protokołu komunikacyjnego. W rozdziale zaprezentowano zmontowany system wraz z pakietem baterii w testowej obudowie

rzeczywistego systemu używanego w pojeździe. Znaczącą część rozdziału stanowi opis budowy, wytwarzania i badań światłowodowych przetworników bazujących na zmianie indeksu refrakcji. Podczas opracowywania konstrukcji przetworników Autor wziął pod uwagę następujące czynniki:

- czułość przetwornika w odniesieniu do procedury wytwarzania czujnika,
- czułość przetwornika w odniesieniu do natężenia źródła światła; ocena reakcji czujnika na różne natężenia światła ujawniła, czy do działania optycznego systemu wykrywania cieczy potrzebne jest stałe źródło światła i czy intensywność źródła światła wpływa na działanie czujnika,
- czułość czujnika w odniesieniu do powtarzalności czujnika; odnosi się ona do zdolności do konsekwentnego odtwarzania tych samych danych wyjściowych w identycznych warunkach,
- wyjście czujnika w odniesieniu do różnych temperatur roboczych - temperatura robocza może znacząco wpływać na działanie czujnika ze względu na potencjalne zmiany właściwości optycznych materiałów czujnika lub wykrywanego medium.

Badania eksperymentalne nad opracowanymi czujnikami indeksu refrakcji kładą nacisk na procedurę wytwarzania, charakterystyki czujników i ich testy w komorze klimatycznej.

Rozdział 5 zawiera teoretyczne podstawy opracowanych przez Autora modelowo wspartych metod wykrywania uszkodzeń, które mogą być stosowane w optycznym systemie detekcji cieczy. Omówiono w nim rekurencyjne sieci neuronowe, ze szczególnym uwzględnieniem pamięci długotrwałej (LSTM), bramkowanych jednostek rekurencyjnych (GRU) i rekurencyjnych autoenkoderów (RAE). Przedstawiono opracowane techniki oparte na LSTM i RAE GRU oraz omówiono szereg wskaźników wydajności modeli, które zostały wykorzystane do oceny ich skuteczności. W rozdziale przedstawiono również wskaźniki przydatne do oceny proponowanych metod wykrywania uszkodzeń.

Obszerny Rozdział 6 zawiera opis prowadzonych badań weryfikacyjnych opracowanego optycznego systemu detekcji cieczy, a także szeroko zakrojonych testów walidacyjnych opracowanych metod wykrywania usterek. W pierwszej części skupiono się na działaniu metody detekcji usterek z wykorzystaniem sieci neuronowych LSTM (zweryfikowanych w warunkach laboratoryjnych) i przedstawiono odpowiednie wnioski. W drugiej części przedstawiono skuteczność metody wykrywania usterek z wykorzystaniem sieci neuronowych autoenkodera, która została zweryfikowana w warunkach drogowych. Zastosowanie każdej metody zostało szczegółowo opisane, zapewniając przegląd kolejnych etapów, takich jak akwizycja danych, przygotowanie modelu, wybór parametrów i ocena

wyników. Proponowane metody zostały przetestowane w trybie offline przy użyciu wcześniej zarejestrowanych zestawów danych z odpowiedniego środowiska.

Ostatni, siódmy rozdział pracy podsumowuje wyniki badań, przedstawiając wnikliwą analizę najważniejszych wyników rozprawy oraz główne wnioski z prowadzonych prac. Ponadto przedstawiono w nim propozycje przyszłych prac, mających na celu wskazanie potencjalnych kierunków i podkreślenie multidyscyplinarności badań. Na końcu rozdziału przedstawiono krótki opis wdrożenia w branży motoryzacyjnej i opis osiągniętych kamieni milowych.

W siedmiu załącznikach umieszczonych na końcu rozprawy zawarto:

- definicje wybranych, istotnych dla pracy pojęć związanych z systemami akumulatorowymi i diagnostyką usterek,
- tabelę współczynników załamania światła dla różnych stężeń wagowych (%) wody i sacharozy,
- kompletny zestaw zwizualizowanych wyników dla badania wstępnego w warunkach laboratoryjnych w każdym z rozważanych stanów systemu,
- kompletny zestaw zwizualizowanych wyników do kompleksowych testów w warunkach drogowych w każdym z rozważanych stanów systemu,
- listę używanego sprzętu i oprogramowania,
- schematy blokowe opracowanego ECU (Elektronicznej Jednostki Sterującej).

Najważniejszymi osiągnięciami autora (wg. podsumowania zamieszczonego w pracy) są:

- nowatorskie podejście do monitorowania wycieków i wtargnięć cieczy, które są krytycznymi wyzwaniami inżynierii mechanicznej dla zapewnienia niezawodności i wydajności zestawów akumulatorów, poprzez udaną adaptację i zastosowanie technik wykrywania z wykorzystaniem światłowodów polimerowych,
- kompleksowe rozwiązanie postawionego zadania wykraczające poza tradycyjne granice inżynierii mechanicznej, prezentując interdyscyplinarne podejście do adaptacji istniejących technik wykrywania optycznego w celu rozwiązania problemów związanych z inżynierią mechaniczną, zwiększając w ten sposób bezpieczeństwo i niezawodność akumulatorów pojazdów elektrycznych,
- formalny opis niezawodnych i skutecznych podejść do modelowego wykrywania uszkodzeń w systemie zestawu akumulatorów; opracowane metody wykrywania uszkodzeń poprawią ogólne bezpieczeństwo i osiągi pojazdów elektrycznych poprzez zmniejszenie ryzyka propagacji termicznej i innych uszkodzeń,
- realizacja fazy prototypowania systemu wykrywania wycieków i wtargnięć cieczy, wraz z szeroko zakrojonymi testami zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i drogowych demonstrujących praktyczne zastosowanie badań w kontekście systemów

akumulatorów, dostarczając cennych informacji na temat wydajności systemu i podkreślając mocne i słabe strony proponowanego rozwiązania.

- implementacja opracowanego systemu wykrywania wycieków i wtrąceń cieczy w ramach Grupy Dräxlmaier we współpracy z pierwszym klientem; podkreśla to praktyczne znaczenie prowadzonych badań dla branży motoryzacyjnej, oznaczając przejście od ustaleń teoretycznych do zastosowań w świecie rzeczywistym, zapewniając, że system spełnia zarówno standardy branżowe, jak i specyficzne wymagania klientów.

5. Uwagi szczegółowe i zapytania

Podczas zapoznawania się z pracą napotkałem kilka miejsc lub problemów, które być może wymagają wyjaśnienia lub rozwinięcia.

1. Na str. 7, omawiając cel pracy Autor pisze ogólnie o detekcji wtrąceń (intrusion), zaś wszystkie badania są związane z wtrąceniami wody. To samo określenie (np. intrusion, liquid intrusion) pojawia się w wielu miejscach pracy. Czy opracowana metoda pozwala również na wykrywanie innego rodzaju wtrąceń (jeżeli tak, to jakich?) do układu chłodzenia?
2. W Rozdziale 3.1 opisywane są różnego typu sensory optyczne klasyfikowane z uwagi na różne systemy detekcji (zmiany intensywności, pola zanikającego, długości fali, indeksu refrakcji itp.), jednakże (z wyjątkiem sensorów opartych na siatce Bragga), nie są wyspecyfikowane zjawiska fizyczne, na które reagują te sensory. Proszę o wyjaśnienie na jakie zjawiska fizyczne reagują to sensory.
3. Str. 45. Jaki jest cel stosowania przetwornika przyspieszeń w badanym układzie?
4. W jaki sposób w algorytmie została uwzględniona zmienność czułości sensora związana z temperaturą pokazana na Rys. 4.21?
5. W pracy nie opisano budowy układu chłodzenia zanurzeniowego pakietu akumulatorów. Proszę o przybliżenie elementów tej konstrukcji ze zwróceniem uwagi na potencjalne miejsca wycieków (pytanie ma związek z kolejnym).
6. W jaki sposób opracowany algorytm wykrywa wyciek oleju chłodzącego w sytuacji, gdy sensor jest całkowicie zanurzony w oleju chłodzącym (sensor jest umieszczony w obudowie pod akumulatorami - Rys. 4.8)? Na str. 95 napisano, że w takim przypadku sensor jest tylko częściowo zanurzony w oleju, co w rzeczywistym układzie, zakładając chłodnicę i pompę olejową oznaczałoby prawie całkowity jego wyciek.
7. Czy fakt użycia przezroczystej pokrywy i różnice w oświetleniu sensora wpływają na wynik pomiarów?

8. Czy podczas testów w obudowie był umieszczony pakiet akumulatorów? Schematyczny Rys. 4.8 z pakietem akumulatorów różni się od zdjęć z Rys. 4.7 i Rys. 6.13.

6. Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Oceniając całość przedstawionej rozprawy należy podkreślić istotną wagę poznawczą i techniczną głównego problemu pracy. Autor w głównej mierze skupił się nad opracowaniem kompletnego systemu wykrywającego nieszczelności i wtrącenia cieczy w pakietach baterii samochodowych chłodzonych zanurzeniowo wykorzystującego opracowane przez siebie przetworniki światłowodowe i układ diagnozowania bazujący na algorytmach wykorzystujących sieci neuronowe. Praca ma bardzo duże znaczenie aplikacyjne. Co ważniejsze, była ona realizowana przy współpracy partnera przemysłowego, firmy DRÄXLMAIER, producenta m.in. pakietów bateryjnych wykorzystujących napięcie 800 V z chłodzeniem zanurzeniowym. Pozwala to przypuszczać, że opracowane w ramach pracy technologie zostaną zaimplementowane w praktyce. Fakt ten potwierdzają uwagi podsumowujące Autora w Rozdziale 7.

Z uwagi na to, iż praca dotyczy nowatorskich technologii opracowanych na potrzeby przemysłu motoryzacyjnego jest dla mnie całkowicie oczywista przyczyna braku publikacji naukowych Autora z zakresu rozprawy. Dwa patenty brytyjskie Autora dotyczące zarówno opracowanego przetwornika światłowodowego jak i całego systemu detekcyjnego zostały przyznane/zgłoszone w latach 2021 i 2022, co zapewne uniemożliwiło jakiegokolwiek wcześniejsze publikacje związane z tematyką pracy.

Zagadnienie postawione przez Autora zostało rozwiązane samodzielnie, a uzyskane rezultaty mogą być w znaczącej części wykorzystane bezpośrednio w postaci rozwiązań aplikacyjnych w firmie DRÄXLMAIER, w części zaś stanowią przesłankę do dalszych badań metodycznych. Rozwiązując zadanie zakreślone w pracy, Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością i wyczuciem problemów technicznych, rzetelną wiedzą w dziedzinie budowy przetworników światłowodowych, planowania eksperymentów oraz analizy sygnałów, programowania układów mikroprocesorowych a także budowy sieci neuronowych.

Biorąc powyższe pod uwagę, recenzowaną rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Grzegorza Wójcika pt. *Electric car battery leakage detection system* oceniam bardzo pozytywnie. Doktorant wykazał się dobrą znajomością problematyki prowadzenia badań literaturowych oraz eksperymentalnych, które umożliwiły Mu opracowanie recenzowanej rozprawy doktorskiej. Oryginalność rozwiązania podjętego zagadnienia naukowego potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Wójcika ma duże znaczenie aplikacyjne, a uzyskane wyniki mogą i zapewne będą wykorzystane w praktyce przemysłowej. Autor wykazał się także bardzo dobrym zrozumieniem problematyki odnoszącej się do przedmiotu prowadzonych badań. Biorąc pod uwagę całość pracy, a w szczególności jej wartość poznawczą i użyteczną oraz znaczący wkład własny uważam, że Doktorant rozwiązał istotny problem z zakresu dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna (Budowa i Eksploatacja Maszyn). **Jednocześnie**, pomimo niespełnienia kryteriów publikacyjnych stawianych pracom prowadzonym przez Senat Politechniki Śląskiej (brak znaczącej publikacji z zakresu pracy), **stawiam wniosek o wyróżnienie pracy**. Praca jest nowatorska, interdyscyplinarna i przedstawiająca całościowo prace związane z realizacją postawionego zadania badawczego. Jest napisana po angielsku w dobrym stylu oraz ma bardzo duże znaczenie aplikacyjne, co zapewne uniemożliwiło wcześniejszą publikację wyników. Autor posiada 2 patenty brytyjskie związane całkowicie z tematyką pracy, co w moim przekonaniu wypełnia brakujący punkt kryterium Senatu PŚ.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż przedłożona rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Grzegorza Wójcika pt. *Electric car battery leakage detection system* spełnia wymogi obowiązujących przepisów w odniesieniu do prac doktorskich i może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna (Budowa i Eksploatacja Maszyn).

Niniejszą opinię przedkładam Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej, zleciennodawcy tej recenzji.

dr hab. inż. Jędrzej Mączak, prof. ucz.



PODPIS ZAUFANY
JĘDRZEJ
MĄCZAK
02/01/2024 12:05:44 GMT+1
Dok. nauk. podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym