

dr hab. inż. Magdalena Mieloszyk, prof. IMP PAN
Zakład Mechaniki Struktur Inteligentnych
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Fiszera 14
80-231 Gdańsk
email: mmieloszyk@imp.gda.pl

Gdańsk, dn. 13 grudnia 2023 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Wójcika na temat:
“Electric car battery leakage detection system”

1. Podstawa podjęcia recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 27 września 2023 r. powołująca recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Wójcika oraz list RDIMe.512.22.2023 Pani Profesor Ewy Majchrzak (Przewodniczącej Rady Dyscypliny) z dnia 28.09.2023 r.

2. Wybór tematyki rozprawy doktorskiej

Praca powstała na Wydziale Mechanicznym Technologicznym na Politechnice Śląskiej. Promotorem jest pan dr hab. inż. Piotr Przysałka z Politechniki Śląskiej, a promotorem przemysłowym jest pan dr inż. Wojciech Sebzda z Dräxlmaier Group. Rozprawa jest efektem realizacji projektu doktorat wdrożeniowy nr DWD/33/33/2019 finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy diagnostyki akumulatorów litowo-jonowych stosowanych w samochodach elektrycznych, ze szczególnym uwzględnieniem wycieku rozumianego jako wyciek oleju (czynnika chłodzącego) ze zbiornika akumulatora oraz wprowadzenie wody do oleju z zewnątrz, w związku z nieszczelnością układu. Oba analizowane przypadki są istotne ze względów eksploatacyjnych i bezpieczeństwa.

Tematyka rozprawy obejmuje obszary związane z diagnostyką, projektowaniem układu pomiarowego na bazie czujników światłowodowych, wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych do analizy danych w celu zwiększenia bezpieczeństwa użytkowania systemów magazynowania energii na bazie akumulatorów litowo-jonowych (z ang. *Rechargeable Energy Storage System*, RESS) stosowanych w pojazdach elektrycznych. Tematyka pracy jest aktualna ze względu na rosnący rynek pojazdów elektrycznych i ich eksploatację w różnych warunkach oraz rosnące zapotrzebowanie na akumulatory o większych gabarytach, pozwalających samochodom elektrycznym na pokonywanie większych dystansów na jednym ładowaniu. Przedstawiony w rozprawie problem jest ważny i aktualny, a jego rozwiązanie może mieć istotny wpływ na bezpieczeństwo użytkowania pojazdów elektrycznych.

Prezentowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Wykazuje wiedzę teoretyczną i eksperymentalną doktoranta w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. System wykrywania uszkodzeń i rozróżniania ich rodzaju (zanurzenie w wodzie lub wyciek oleju) został zaprojektowany i zweryfikowany w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych (badania w warunkach symulujących rzeczywiste warunki pracy podczas jazdy samochodem) poprzez

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 28.12.2023
RD 3 Me 1 339 51 2023
nr zał.

badania prowadzone w ściśle naukowym reżimie, przy użyciu odpowiednich metod badawczych.

3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Proponowany tytuł rozprawy „*Electric car battery leakage detection system*” odnosi się do wycieków rozumianych dwojako. Pierwszym analizowanym problemem jest wyciek nieprzewodzącego oleju ze zbiornika akumulatora, a w związku z powyższym problemy z przewodzeniem ciepła, możliwość nagrzewania się akumulatora. Drugim aspektem jest wprowadzenie wody do oleju i powstanie emulsji oleju i wody, której nawet niewielka ilość wpływa na charakterystykę cieplną oleju. Tytuł rozprawy w języku polskim „System wykrywania nieszczelności akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych” podany w rozszerzonym streszczeniu rozprawy, lepiej oddaje zakres pracy doktorskiej.

Zastosowane słowo „leakage” odnosi się jedynie do pierwszego aspektu rozprawy doktorskiej, czyli ubytku oleju w układzie. Rekomendowane byłoby użycie innego słowa, „leak”, odnoszącego się zarówno do wycieku cieczy lub gazu z instalacji jak i wprowadzenia, do zbiornika, cieczy lub gazu z zewnątrz. Słowo to jest tłumaczeniem polskiego słowa „nieszczelność” podanego w polskim tłumaczeniu tytułu rozprawy.

Przedstawiona rozprawa została napisana w języku angielskim. Praca liczy 165 stron i zawiera wykaz używanych akronimów i symboli, 7 rozdziałów, bibliografię oraz 6 załączników. Bibliografia obejmuje 162 pozycje, w tym 36 stron internetowych, 16 patentów (w tym 2 patenty własne Autora), 10 raportów technicznych oraz 76 artykułów i książek opublikowanych w ciągu ostatnich 10 lat.

Takie zestawienie bibliografii jest uzasadnione ze względu na wysoce aplikacyjny charakter tematu rozprawy doktorskiej oraz przedstawione rozwiązanie systemu diagnostycznego. Warto podkreślić, że takie podejście wymaga weryfikacji nowatorstwa proponowanego rozwiązania w bazach patentowych oraz analiz raportów technicznych. Skład literatury przedstawia dobrą równowagę pomiędzy podejściem naukowym i aplikacyjnym.

Treść pracy jest dobrze uzupełniona materiałem graficznym odnoszącym się zarówno do zdjęć stanowisk badawczych, schematów proponowanych rozwiązań, jak i wyników badań eksperymentalnych. Wykresy są czytelne i odpowiednio ilustrują prezentowany materiał, zwiększając tym samym poziom zrozumienia przedstawianych zagadnień. Rysunki są odpowiednio ponumerowane i wszystkie zostały przywołane w tekście rozprawy. Równania są ponumerowane. Język użyty w rozprawie jest zrozumiały, a zastosowana terminologia jest poprawna i nie budzi zastrzeżeń. Wykaz zastosowanych akronimów i symboli zwiększa czytelność pracy.

W Rozdziale 1 zaprezentowano przegląd literatury ukierunkowany na problemy jakie mogą pojawić się w akumulatorach (RESS). Zaprezentowano wzrost elektromobilności jaki nastąpił w ostatnich latach. Przedstawiono motywację do podjęcia zagadnienia badawczego, jego cele i zakres pracy. Podkreślono również, że praca powstała w ramach projektu Doktorat wdrożeniowy przy współpracy Politechniki Śląskiej i firmy Draxlmaier Group.

W Rozdziale 2 opisano budowę akumulatorów stosowanych w pojazdach elektrycznych z uwzględnieniem ich charakterystyk wytrzymałościowych, prądowych, strukturalnych. Zwrócono uwagę na stosowane sposoby chłodzenia baterii. Podano procesy degradacji zachodzące w akumulatorze w zależności od wartości temperatury wewnątrz akumulatora oraz

napięcia. Podkreślono, że okno operacyjne akumulatorów litowo-jonowych jest bardzo wąskie, więc istotne jest utrzymanie odpowiednich parametrów czynnika chłodzącego. Wymieniono możliwe wady/uszkodzenia akumulatorów dzieląc je na wewnętrzne i zewnętrzne oraz podając ewentualne przyczyny (np. kolizja, zamknięcie). Podano metody diagnostyki wadliwego działania baterii z uwzględnieniem metod uczenia maszynowego. Przedstawiono wyniki przeszukiwania baz patentowych.

W Rozdziale 3 przedstawiono zasadę działania różnych czujników światłowodowych ze szczególnym uwzględnieniem czujników na bazie światłowodów polimerowych (z ang. *polymeric optical fibre*, POF). Szczególnie zwrócono uwagę na czujniki bazujące na zmianach natężenia światła oraz długości fali. Praktyczne zastosowania tych czujników odniesiono do przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego.

W Rozdziale 4 przedstawiono autorskie rozwiązanie układu (systemu pomiarowego) bazującego na POF do zastosowania w pakiecie akumulatora. Jego celem było wykrywanie ubytku (wycieku) oleju z akumulatora oraz wprowadzenia wody do oleju. Oba te uszkodzenia mogą być niebezpieczne dla użytkownika akumulatora, co wykazano w Rozdziale 2. Przedstawiono, wymagania, schemat układu, jego budowę fizyczną oraz koncepcję zastosowanej elektroniki (w tym protokół komunikacyjny). Przedstawiono również metodę wytwarzania samego czujnika oraz jego charakterystykę czułości w odniesieniu do materiałów o znanym współczynniku refrakcji. Przedstawiono również testy czujnika w komorze klimatycznej.

W Rozdziale 5 przedstawiono teoretyczne podstawy autorskiej metody wykrywania nieszczelności rozumianych jako wyciek oleju oraz wprowadzenie wody do układu. Przedstawiono rekurencyjne sieci neuronowe oraz omówiono wskaźniki skuteczności zaproponowanych modeli.

W Rozdziale 6 przedstawiano walidację zaproponowanego systemu detekcji w warunkach laboratoryjnych oraz środowiskowych (podczas jazdy samochodem oraz jego postoju). Skupiono się na możliwości wykrywania usterek z wykorzystaniem sieci neuronowych.

W Rozdziale 7 przedstawiono podsumowanie prac opisanych w rozprawie, główne wnioski oraz plany na przyszłość ze szczególnym uwzględnieniem praktycznego zastosowania zaproponowanego przez Autora rozwiązania w przemyśle – firmie Draxlmaier Group. Podkreślono również konieczność multidyscyplinarnych badań przed wprowadzeniem gotowego rozwiązania do produkcji.

Każdy rozdział zawiera podsumowanie najważniejszych elementów. Taka struktura znacznie ułatwia podążanie za koncepcją autora. Konstrukcja pracy jest prawidłowa. Szczegółowo przedstawiono metodologię badań, wyniki skomentowano, przedstawiając wnioski wynikające z dyskusji wyników badań.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa poświęcona jest aktualnej tematyce istotnej ze względów badawczych i aplikacyjnych. Autor rozprawy bardzo dobrze łączy te dwa podejścia. Poniższa rozprawa koncentruje się na badaniu i ocenie usterek (głównie nieszczelności) występujących w chłodzonych zanurzeniowo akumulatorach i opracowaniu systemu diagnostycznego służącego do wykrywania nieszczelności dla takich urządzeń.

J

Motywacją do podjęcia tematyki rozprawy jest skupienie się na mniejszych, częściej występujących usterkach (np. nieszczelnościach), które mogą w konsekwencji doprowadzić do bardzo poważnych problemów eksploatacyjnych, w tym zniszczenia akumulatora czy pojazdu. Ich wykrycie pozwoli na niedrogi usunięcie przyczyny poprzez, np. wymianę uszczelki oraz bezawaryjną dalszą pracę akumulatora. Autor rozprawy wskazał, że w literaturze więcej jest artykułów dotyczących takich problemów jak np. samozapłon, przyspieszona degradacja, wskazując jednocześnie zasadność podjęcia tej tematyki badawczej. Zaprojektowany przez Autora układ diagnostyczny wpisuje się w zauważoną przez niego niszę. W rozprawie Autor rozważał dwa rodzaje nieszczelności: wyciek oleju chłodzącego z obudowy akumulatora spowodowany, np. zużyciem uszczelki oraz wprowadzenie wody do oleju chłodzącego spowodowanego np. uszkodzeniem wymiennika ciepła.

Autor proponuje zastosowanie czujników światłowodowych do wykrywania nieszczelności. Ze względu na swoje zalety (brak prądu w układzie pomiarowym oraz odporność na korozję) mogą one być zastosowane również wewnątrz akumulatora. Obecnie stosowane są głównie metody oporowe, które pozwalają na wykrycie obecności cieczy, natomiast nie pozwalają na określenie jaka jest to ciecz. Dodatkowo są to czujniki, które mogą być stosowane tylko raz, więc za każdym razem, gdy zostaną aktywowane, muszą być wymienione. Takich wad nie ma zaproponowane przez Autora rozwiązanie. Zaproponowane przez Autora czujniki mogą być używane wielokrotnie, pozwalają również na określenie rodzaju cieczy na podstawie współczynnika refrakcji. Autor do analizy danych (zaprojektowanego systemu wykrywania nieszczelności) wykorzystał sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe.

Warto podkreślić, że firma, która współuczestniczyła w realizacji projektu Doktorat wdrożeniowy zamierza kontynuować badania nad zaproponowanym przez Autora rozwiązaniem systemu diagnostycznego oraz docelowo go wdrożyć.

Autor rozprawy biegle posługuje się metodologią w zakresie czujników światłowodowych, projektowania układów pomiarowych oraz analizy wyników uzyskanych w różnych warunkach pracy układu. Autor analizuje wpływ poszczególnych parametrów, takich jak temperatura czy wartość współczynnika refrakcji, a następnie przechodzi do bardziej skomplikowanych zagadnień. W ramach tworzonych układów pomiarowych analizował możliwość wykorzystania zaprojektowanego układu najpierw w warunkach laboratoryjnych, a następnie w warunkach zbliżonych do rzeczywistych osiągając TRL 5 dla zaprojektowanego systemu detekcji nieszczelności. Warto podkreślić, że badania były prowadzone na rzeczywistych obudowach akumulatorów.

Oryginalne elementy rozprawy:

- Zaprojektowanie układu pomiarowego do detekcji nieszczelności (wycieku oleju oraz wprowadzenia wody do oleju) bazującego na polimerowych czujnikach światłowodowych
- Zaprojektowanie czujnika światłowodowego do detekcji nieszczelności, w oparciu o wpływ zmiany współczynnika refrakcji cieczy na natężenie światła w układzie optycznym
- Wykorzystanie sztucznej inteligencji do automatyzacji procesu detekcji nieszczelności

Warto podkreślić aplikacyjną naturę rozwiązania przedstawionego w rozprawie doktorskiej. Jest to poparte dwoma wnioskami patentowymi złożonych przez Autora rozprawy.

J

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Rozprawa nie zawiera większych błędów. Poniższe uwagi i pytania mają charakter dyskusyjny i mają przyczynić się do zwiększenia przejrzystości i wartości poznawczej rozprawy.

Zostały one zebrane w postaci listy:

- Cenniejsze byłoby dokonanie porównania różnych rodzajów akumulatorów przez Autora, zamiast korzystania z gotowego schematu z literatury (Rys. 2.2. wraz z opisem). Przedstawione porównanie nie odpowiada na pytania, który typ akumulatora jest najlepszy oraz które rozwiązanie i dlaczego analizowano w dalszej części pracy? Czy zaproponowane rozwiązanie systemu diagnostycznego można zastosować we wszystkich przedstawionych na Rys. 2.2. rodzajach akumulatorów?
- Na rysunku Rys. 2.3. przedstawiono schematyczną budowę typowych modułów akumulatorów (cylindryczne i pryzmatyczne). Warto byłoby dodać, czym oprócz kształtu różnią się te moduły, a w związku z powyższym jakie jest ich zastosowanie w praktyce. Czy zaproponowane rozwiązanie diagnostyczne można zastosować dla obu przypadków?
- W rozprawie wybrano światłowody polimerowe do wykonywania na nich czujników. Czy rozważano również światłowody szklane (bardziej popularne niż światłowody polimerowe, choćby ze względu na zastosowanie w telekomunikacji), stosowane w czujnikach światłowodowych do pomiaru różnych parametrów? Czy w zaproponowanym rozwiązaniu diagnostycznym można by zastosować światłowody szklane?
- Jak rozwiązano problem kompensacji termicznej światłowodu, tzn. zmiany właściwości materiału samego światłowodu związane z oddziaływaniem temperatury?
- Czy sposób kalibracji przedstawiony w na rys. 3.15 można zaadoptować do kalibracji systemu zaprojektowanego przez Autora w celu określenia ilości zanieczyszczenia w postaci wody w oleju?
- Czy Autor analizował powtarzalność systemu pomiarowego w odniesieniu do możliwej degradacji czułości czujnika ze względu np. na pojawienie się warstwy filmu olejowego na jego powierzchni? W rozprawie wspomniano, że na natężenie światła w czujniku wpływać może wiele czynników, np. proces starzenia. Czy rozważano wpływ procesu starzenia się światłowodu polimerowego na działanie układu diagnostycznego?
- Zaprojektowany system pomiarowy ma na celu wykrywanie nieszczelności na podstawie zmian współczynnika refrakcji otoczenia czujnika. Jaka jest minimalna zmiana współczynnika refrakcji wykrywana przez czujnik? Jaka jest rozdzielczość metody?
- Na Rys. 4.2 zaproponowano układ pomiarowy składający się z kilku czujników na każdym ze światłowodów. W jaki sposób identyfikowane będą poszczególne czujniki?
- W pracy przedstawiono wiele wyników prac eksperymentalnych. Warto byłoby na podstawie zgromadzonych wyników zbudować tabelę kontyngencji (macierz błędów) zawierająca informacje o liczbie wyników prawdziwie dodatnich, fałszywie dodatnich, fałszywie ujemnych, prawdziwie ujemnych. Takie podejście ułatwi ocenę skuteczności proponowanej metody diagnostycznej.
- W ramach listy wymagań, które ma spełnić system diagnostyczny (sekcja 4.1.2.) podano rozróżnienie cieczy o współczynnikach refrakcji z zakresu 1.00 nD do 1.47 nD. Jaka ma być założona czułość systemu? Podano również minimalną częstotliwość próbkowania wynoszącą 50 Hz. Na jakiej podstawie przyjęto taka wartość graniczną?
- Istotnym aspektem w zaprojektowanym systemie diagnostycznym jest kompensacja termiczna. Warto podkreślić, że zarówno na układ pomiarowy (czujnik, światłowód) jak i analizowaną ciecz (współczynnik refrakcji) wpływa temperatura. Jak zrealizowano

kompensację termiczną tego złożonego układu, szczególnie w przypadku badań środowiskowych?

- Elementy służące do zamontowania układu pomiarowego wewnątrz obudowy baterii wykonano z PET-G. Dlaczego wybrano taki materiał?
- Na Rys. 4.7. zaprezentowano układ pomiarowy z zaznaczonym czujnikiem (obszarem pomiarowym). Jaka jest długość takiego czujnika? Na jakiej wysokości względem dna zbiornika zamontowano czujnik i dlaczego wybrano takie położenie? Czy znajdował się on w tym samym miejscu podczas badań w warunkach laboratoryjnych i środowiskowych? Czy analizowano możliwość zastosowania kilku czujników na różnych głębokościach? Dlaczego temperatura nie jest mierzona przy czujniku a przy ścianie zbiornika? Możliwe są różne wartości temperatury w obu obszarach, co może wpłynąć na poprawność działania układu diagnostycznego.
- Na Rys. 4.12. zaprezentowano odpowiedzi dwóch czujników. Jaka jest przyczyna różnic w charakterystykach wyznaczonych dla każdego z czujników? Ile razy dokonywano pomiaru dla każdej wartości współczynnika refrakcji przy tych samych parametrach układu pomiarowego?
- Rys. 4.16 zaprezentowano metodologię eksperymentu polegającego na odcinaniu fragmentów światłowodu i analizowaniu jakości płaszczyzny cięcia. Czy z każdym krokiem całkowita długość światłowodu się zmieniała? Czy wpływało to na odpowiedź układu pomiarowego?
- Rys. 4.17. Zaprezentowano przekroje poprzeczne światłowodów w zależności od użytego narzędzia. Dlaczego wykorzystano niedrogą gilotynę? W przypadku światłowodów szklanych stosowane są specjalne gilotyny, które zapewniają prostopadłość płaszczyzny cięcia. Użycie innych narzędzi powoduje uszkodzenia tej płaszczyzny. Czy rozważano inne metody cięcia? Czy uzyskana jakość powierzchni cięcia jest zadowalająca?
- Rys. 4.18. Czym jest podyktowana większa liczba próbek w przypadku określonym jako Omron E39-F4 (Rys. 4.18. (b))?
- Na Rys. 4.7, przy opisie czujnika podano, że na światłowodzie przygotowano pojedynczy obszar, określany jako „sensing area”. Natomiast, w podsumowaniu dotyczącym analizy wpływu różnych rodzajów narzędzi na jakość płaszczyzny cięcia, podano, że na czułość czujnika wpływa jakość powierzchni na końcu światłowodu. Czy końce światłowodu również są elementami mierzącymi (czujnikami)? Jeżeli tak to, w jaki sposób odnosi się to do schematu układu pomiarowego z Rys. 4.7, a dokładnie czujnika (6)?
- Na Rys. 4.21. przedstawiono wykres zmian temperatury w czasie dla jednego cyklu termicznego podczas badań w kontrolowanych warunkach. Czy na wyznaczone kształty krzywych nie wpływała w sposób znaczący charakterystyka procesu nagrzewania? Czy analizowano również wpływ temperatury na czujnik światłowodowy i sam światłowód przy stabilizacji w określonych, wybranych temperaturach? Takie podejście pomaga przy tworzeniu krzywych kalibracyjnych zależności parametru mierzonego od temperatury.
- Rys. 4.22. W jaki sposób wyznaczono histerezę? Czy była ona wyznaczona w ramach odrębnego pomiaru czy została wyznaczona na podstawie wyników zaprezentowanych na Rys. 4.21?
- Podano, że współczynnik refrakcji oleju zmienia się wraz z temperaturą. Czy oprócz pomiaru temperatury można wprowadzić pomiar zmian współczynnika refrakcji? W przypadku przeprowadzonego testu, na czujnik wpływa zarówno temperatura jak i zmiana współczynnika refrakcji, również zależnego od temperatury. Warto zastanowić

się nad sposobem przeprowadzenia pomiarów w taki sposób, aby można było odseparować od siebie te zmiany.

- W równaniu 5.2 wprowadzono parametr p (próg odcięcia) podawany w sposób arbitralny. W jaki sposób wyznaczana jest lub przyjmowana wartość parametru p ?
- W pracy analizowano nieszczelności w postaci wycieku oleju oraz wprowadzenia wody do akumulatora. Do jakiego poziomu oleju akumulator jest nieczuły na spadek ilości czynnika chłodzącego, a przy jakim poziomie przestaje działać poprawnie? Czy, z praktycznego punktu widzenia, sensowne jest analizowanie przypadku braku czynnika chłodzącego w układzie lub moment, w którym pozostanie go tylko 10%? Analogicznie, przy jakiej ilości wody w czynniku chłodzącym obserwowany jest jej wpływ na poprawność działania akumulatora?
- Czy zaproponowany układ diagnostyczny jedynie wykrywa obecność wody czy również ma możliwość określenia jej poziomu? Analogicznie, czy system tylko wykrywa ubytek oleju czy również może posłużyć do określenia jego poziomu w danej chwili?
- Na Rys. 6.8 (b) i (c) sygnał zmierzony z czujnika POF zmienia się w przypadku wystąpienia uszkodzenia, natomiast sygnał LSTM ma stałą wartość. Jaka jest przyczyna nieczułości zastosowanej sieci neuronowej?
- Na Rys. 6.8, w przypadku pomiarów czujnikiem POF, widoczne są zmiany amplitud sygnału. Jaka jest przyczyna opóźnienia pomiędzy momentem wystąpienia nieszczelności (wyciek oleju), a odpowiedzią czujnika POF? Jaka jest przyczyna wzrostu amplitudy sygnału z czujnika POF i utrzymania jej na stałym poziomie już po wyłączeniu mieszadła?
- Na Rys. 6.11. (a) pokazano wartości sygnału diagnostycznego świadczące o wystąpieniu uszkodzenia (nieszczelności) przed jego rzeczywistym pojawieniem się (czerwona kropka na wykresie). Jaka jest przyczyna takiego zachowania się systemu diagnostycznego?
- Na Rys. 6.15-6.17 bardzo widoczne są drgania układu. Jaki jest wpływ drgań układu pomiarowego na dokładność pomiaru nieszczelności? W jaki sposób można wyeliminować wpływ drgań na system detekcji nieszczelności, korzystając, np. z pomiarów uzyskanych z akcelerometru trójosiowego?
- Na Rys. 6.18 zaprezentowano histogramy powstałe na podstawie pomiarów czujnikiem POF. Czy wyznaczana była wartość współczynnika skośności rozkładu dla przedstawionych przypadków?
- Na Rys. 6.22(a) i Rys. 6.23(a) widoczne są gwałtowne zmiany amplitudy sygnału z czujnika POF, szczególnie na początku pomiaru. Jaka jest ich przyczyna skoro pojazd nie znajduje się w ruchu?

Powyższe uwagi nie wpływają na ocenę merytoryczną pracy doktoranta. Wyniki pracy zostały przedstawione prawidłowo, a wszystkie wnioski odnoszą się bezpośrednio do wyników badań i są precyzyjnie sformułowane. Postawione powyżej pytania mają charakter dyskusyjny i mają na celu wskazanie problemów, których można uniknąć w przyszłych pracach badawczych.

6. Uwagi redakcyjne:

Niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana w języku angielskim. Jej język angielski i skład są jasne i nie wymagają żadnych poprawek. Dalsze uwagi nie mają charakteru merytorycznego, a jedynie natury technicznej i redakcyjnej.

Lista uwag:

- str. 6, zamiast słowa „elevate” powinno być „increase”
- str. 9, zamiast słowa „advisor” powinno być „supervisor”
- str. 10, str. 17. zamiast „Lithium-Ion batteries” powinno być „Lithium-ion batteries”
- skrót LIB jest kilkakrotnie wyjaśniany w rozprawie, w tym na str. 10, analogicznie wyrażenie „Lithium-ion batteries” występuje w treści rozprawy kilkakrotnie mimo podanego wcześniej skrótu.
- str. 16. przy cytowaniu artykułów w taki sposób „A thorough review, performed by [7],” wymienia się nazwisko autora lub autorów. W tym przypadku powinno być napisane „performed by Tran and Fowler [7]”
- str. 23. przy cytowaniu artykułów w taki sposób „was presented by [90].” wymienia się nazwisko autora lub autorów. W tym przypadku powinno być napisane „was presented by Samanta et al. [90]”. Można również użyć sformułowania „was presented in [90]”
- str. 24 “Research conducted by [92]” powinno być “Research conducted by Zou et al. [92].”
- Analogiczna uwaga dotyczy również cytowania innych artykułów, np. str. 24 “A study given by [93]”, str. 25 “found in the work of [94]”, str. 35 “Résearch given by [123]”
- str. 41, Rys. 3.15 (a) nie został opisany w treści rozprawy
- Rys. 3.5. prezentuje zasadę działania czujnika światłowodowego typu FBG do pomiaru odkształcenia. Niezbędny jest opis w treści rozprawy zasady działania czujnika, albo pominięcie rysunku. Wzór 3.1. nie odnosi się do pomiaru odkształcenia.
- str. 3.4. „which can be determined by spectroscopic measurement of some kind”. Brakuje informacji jakie pomiary ukryte są pod stwierdzeniem “pewnego rodzaju”?
- Na Rys. 3.9 brakuje opisu paska kolorów. Nie wiadomo zatem jaki parametr przedstawiony jest w postaci zakresu kolorów. W związku z powyższym nie jest czytelne na jakiej postawie sformułowano wniosek, że najlepszą czułość czujnika uzyskuje się po polerowaniu światłowodu papierem ściernym o wielkości ziarna 26 μ m.
- W treści rozprawy, kilkakrotnie podawane są informacje dotyczące temperatur bezpiecznej pracy akumulatorów litowo-jonowych, np. na str. 3 (They are required to operate within a specified temperature range (-20°C - +60°C) to not be damaged.), na str. 13 (When they are operated at temperatures above 50°C, especially at high SOCs, their recoverable power and capacity can be reduced significantly.). Na wykresie przedstawionym na Rys. 2.5. (będącym przedrukiem z artykułu L. Lu, X. Han, L. Jianqiu, J. Hua, and M. Ouyang, “A review on the key issues for Lithium-Ion battery management in electric vehicles,” Journal of Power Sources, vol. 226, pp. 272–288, 03 2013) zaznaczone jest bezpieczne okno pracy akumulatora z uwzględnieniem temperatury i napięcia, ale wykres ten jest na tyle schematyczny, że nie można z niego odczytać dokładnego rekomendowanego zakresu temperatur pracy akumulatora. Wspomniany schemat pochodzi z publikacji przeglądowej z 2013 r., czyli sprzed 10 lat. W ciągu ostatnich 10 lat tworzone są nowe rozwiązania techniczne i technologiczne. Rekomendowane byłoby, aby Autor, zamiast wykorzystywać gotowe schematy, pochodzące z prac innych autorów, samodzielnie przeanalizował dostępną literaturę pod tym kątem. Szczególnie, że dotyczy to motywacji podjęcia tematyki badawczej przedstawionej w rozprawie.
- Na str. 34 pojawia się skrót RIU, który nie jest wyjaśniony w treści rozprawy?
- Na Rys. 3.15. (b) pojawia się pojęcie „aktywność wody (water activity)”. Warto byłoby w rozprawie podać definicję tego pojęcia oraz wyjaśnić na czym polegały procesy prowadzące do wyznaczenia zależności pomiędzy zmianą długości a fali stopniem aktywności wody przedstawione na wykresie.

- Należy unikać stwierdzeń, typu „relatively high Young’s modulus” bez podania jakiegokolwiek wartości liczbowej. Jest to stwierdzenie nieprecyzyjne, gdyż nie wiadomo w odniesieniu do jakiego materiału moduł Younga POF jest wysoki?
- Na Rys. 6.15, dotyczącym pomiarów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, podane zostały wartości przyspieszeń zmierzonych przy pomocy akcelerometru trójosiowego. Brakuje informacji, jakim kierunkom w odniesieniu do obudowy baterii (albo samochodu) odpowiadają kierunki osi x, y, z akcelerometru.
- Równanie 4.7. Brakuje informacji co kryje się pod parametrem k_{solution}
- Równanie 4.8. Brakuje informacji, jakie wartości są traktowane jako wartości bazowe, względem których wyznaczane są wartości przyrostu (zmian) obu parametrów?
- Na Rys. 4.14. (a) Pierwszy punkt krzywej „1st sample P80” jest niewidoczny.
- Przy podawaniu wartości liczbowych zachowuje się te same jednostki, np. różnica temperatur podanych w °C nie powinna być podawana w K.
- Na Rys. 4.22.(b) opis na osi rzędnych jest w zielonym kolorze.
- W Tabeli 6.1. dla przypadku 9 nie podano czasu t_2 .
- Na Rys. 6.10 (a) brakuje czerwonej kropki oznaczającej moment wystąpienia nieszczelności mimo, że podana została w legendzie do wykresu.
- Na Rys. 6.8 -6.11, 6.22 zakresy wartości na osiach są inne dla każdego przypadku pomiarowego. Zaleca się, aby na wykresach zbiorczych zmienne miały te same zakresy dla wszystkich prezentowanych przypadków. Ułatwia to porównywanie występujących zmian.
- W Tab. 6.6. wartości współczynnika \bar{r}_{td} jest podana w postaci ułamka dziesiętnego a w tekście w procentach. Należy stosować tę samą notację w obu przypadkach.

7. Wniosek końcowy

W ramach proponowanej metody diagnostycznej Autor zaproponował rozwiązanie układu diagnostycznego, w którym wykorzystano układ pomiarowy składający się czujnika światłowodowego (możliwość zastosowania w środowiskach, w których nie można wprowadzać prądu do układu pomiarowego) oraz algorytmy do wykrywania uszkodzeń (nieszczelności) z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji (uczenia maszynowego). Badania były prowadzone w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych. Wyniki prac pozwoliły Autorowi na złożenie dwóch wniosków patentowych. Warto podkreślić, aplikacyjny charakter rozwiązania oraz zainteresowanie firmy Draxlmaier Group kontynuacją prac przedstawionych w niniejszej rozprawie. W przypadku wdrożenia zaproponowanego rozwiązania diagnostycznego do rzeczywistych układów akumulatorowych, niezbędne będzie przeprowadzenie kolejnych testów oraz spełnienie odpowiednich norm bezpieczeństwa.

Rozprawa doktorska napisana przez mgr inż. Grzegorz Wójcika dotyczy istotnego, aktualnego problemu badawczego dotyczącego wykrywania i lokalizacji uszkodzeń (nieszczelności) w akumulatorach stosowanych w samochodach elektrycznych. Warto podkreślić, że wyniki rozprawy doktorskiej można zastosować w praktyce, co poza walorem naukowym nadaje badaniom charakter użyteczny.

Autor przy rozwiązywaniu problemów badawczych poprawnie zastosował metodykę prowadzenia badań naukowych i wykazał się umiejętnością samodzielnego ich prowadzenia. W rozprawie wskazano kolejne problemy badawcze, które wynikają wprost z uzyskanych przez kandydata wyników prac, co również potwierdza jej wagę. Zaprezentowane w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości pracy.

W mojej ocenie praca doktorska pt. „*Electric car battery leakage detection system*” autorstwa mgr. inż. Grzegorza Wójcika, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia wszelkie wymogi stawiane rozprawie doktorskiej zgodnie z obowiązującą Ustawą „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.). W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej.


dr hab. inż. Magdalena Mieloszyk
profesor IMP PAN