

## Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Kamila Sternala pt.

"Metodyka testowania sterowników systemów bateryjnych  
pojazdów wspartych modelem"

### 1. Podstawa recenzji

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 23.10.2024 w sprawie powołania recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr. inż. Kamila Sternala.

### 2. Omówienie podstawowych osiągnięć rozprawy

#### 2.1. Oryginalne osiągnięcia rozprawy

Za podstawowe i oryginalne osiągnięcia rozprawy doktorskiej uważam:

- propozycję metodyki bazującej na modelu z autokoderem wariacyjnym z uwarunkowaniem do detekcji anomalii w realizacji zadań czasu rzeczywistego oraz
- walidację i egzemplifikację zaproponowanego podejścia w odniesieniu do testowania anomalii oprogramowania sterownika pojazdu z napędem elektrycznym.

#### 2.2. Wkład rozprawy

Rozprawa wnosi wkład metodyczny w obszarze informatyki stosowanej adresując problemy aplikacyjne z zakresu diagnostyki procesów krytycznych czasowo.

Wkładem metodycznym pracy jest propozycja sposobu detekcji anomalii oprogramowania czasu rzeczywistego z zastosowaniem modelu sztucznej inteligencji.

Wkład aplikacyjny pracy polega na zastosowaniu proponowanej metodyki do detekcji anomalii oprogramowania sterownika pojazdu elektrycznego w zakresie funkcji bezpieczeństwa.

Wkład rozprawy w rozwój teorii i metod modelowania uważam za marginalny.

Biuro Dziekana

## 2.3. Tezy pracy

W pracy doktorskiej przedstawiono dwie tezy. Pierwsza, o charakterze bardziej ogólnym, odwołuje się do możliwości opracowania metodyki testowania sterowników pojazdów z napędem elektrycznym bazującej na metodach sztucznej inteligencji. Druga teza jest tezą o charakterze użytkowym, która odwołując się do wybranej metody podnosi możliwość jej wykorzystania do detekcji anomalii w odniesieniu do oprogramowania sterowników pojazdów zasilanych elektrycznie.

Pierwszą tezę można uważać za postawioną ambitnie, ponieważ ma charakter generalizujący. Zawiera ona także element zabezpieczenia, ponieważ jest sformułowana w kategoriach warunkowych. Zakłada bowiem możliwość, a nie pewność osiągnięcia celu. Powstaje jednak pytanie, czy odwołanie się do jednego przykładu może być dowodem na słuszność tak ogólnej sformułowanej tezy? W pracy nie podano przecież w sposób jawny ani ogólnego dowodu jej słuszności, ani przykładów zastosowania wielu różnych modeli sztucznej inteligencji, ani zastosowania w wielu sterownikach.

Z treści dysertacji wynika, że Doktorant skoncentrował się głównie na realizacji tezy pracy numer dwa. Powstaje w związku z tym pytanie czy w świetle przedstawionych wyników pracy były jakieś szczególne powody, dla których sformułowano nie jedną a dwie tezy?

## 3. Uwagi, problemy dyskusyjne, pytania

### 3.1 Instrumentacja kodu

Pierwszym elementem zaproponowanej metodyki jest instrumentacja kodu. Polega ona na ingerencji w kod sterownika podlegający testowaniu. W związku z tym pojawiają się następujące pytania.

- a) Czy ingerencja w kod o znaczeniu krytycznym z punktu widzenia realizacji funkcji bezpieczeństwa w czasie rzeczywistym jest dopuszczalna np. przez zewnętrzny ośrodek certyfikujący?
- b) W jakim zakresie instrumentacja kodu wprowadza błąd metody polegający na konieczności wykonania dodatkowych instrukcji mających wpływ na czas realizacji ścieżek?
- c) Jakie były istotne powody, dla których w pracy zarzucono próbę podejścia do opracowania metodyki, która nie wymaga instrumentacji?
- d) Czy i ew. jaki związek istnieje pomiędzy instrumentacją kodu, a techniką tworzenia modeli cząstkowych przez tzw. „zakrywanie pól” wektorów wejściowego i wyjściowego autokodera?

### 3.2 Proces uczenia modelu

W procesie uczenia modelu dla celów detekcji anomalii zastosowano technikę „zakrywania” wybranych pól wektorów wejściowego i wyjściowego. „Zakrywanie” pól jest w istocie techniką prowadzącą do utraty wrażliwości modelu na wejścia, które są zakrywane. Prowadzi to generacji modeli zdegradowanych lub inaczej modeli cząstkowych. Jeśli założymy celowość takiego podejścia, które nota bene nie znajduje w pracy przekonującego uzasadnienia, to pojawiają się dodatkowe pytania.

- a) Jakie są kryteria doboru pól przeznaczonych do zakrywania i czy dobór tych pól wymaga szczegółowej wiedzy o oprogramowaniu?
- b) Czy w związku z tym opracowana metodyka jest przydatna wyłącznie do testowania oprogramowania na etapie jego powstawania, czy też może być stosowana przez ośrodki certyfikujące, które mogą nie posiadać dostatecznej wiedzy szczegółowej?
- c) Czy proces uczenia modelu bez nadzorowania jest odporny na zbiory danych uczących, które zawierają informacje o trwałych anomaliach?
- d) Jakimi kryteriami kierował się Doktorant dokonując podziału danych na dane uczące i walidujące?

### 3.3 Zakres stosowalności opracowanej metodyki

- a) Czy i pod jakimi warunkami oraz w jakim zakresie opracowana metodyka detekcji anomalii może być wykorzystana do zastosowania nie tylko do testowania oprogramowania sterowników na etapie jego rozwoju i produkcji, ale także do detekcji anomalii (po zaimplementowaniu w sterowniku) w trybie on-line?
- b) Jakie są inne zastosowania opracowanej metodyki, poza tymi przedstawionym w pracy?
- c) Jakie są istotne ograniczenia aplikacyjne zaproponowanej metodyki poza sygnalizowaną w pracy złożonością obliczeniową etapu trenowania modelu?

### 3.4 Założenia

- a) Jakie jest uzasadnienie przyjęcia proporcjonalnej zależności prawdopodobieństwa anomalii (3.10) od bezwzględnej wartości różnicy jednoimiennych elementów wektorów wejścia i wyjścia?
- b) Jaki jest sens agregatu (3.11), któremu Doktorant przypisuje wartość „prawdopodobieństwo anomalii całego wektora”?
- c) W jaki sposób dobrano parametr  $k$  w formule (3.14)?

### 3.5 Dobór autokodera

Do detekcji anomalii Doktorant zaproponował użycie autokodera wariacyjnego z uwarunkowaniem. Celowość doboru takiej architektury autokodera nie budzi zastrzeżeń. Wiadomo jednak, że mając wzgląd na sformułowanie pierwszej tezy pracy, właściwe byłoby dokonanie analizy możliwości zastosowania w tym celu innych modeli. Czy Doktorant przeprowadził próbę analizy komparatywnej realizacji tego samego zadania z więcej niż jednym typem modelu?

### 3.6. Implementacja

W pracy zostały pominięto ważne szczegóły dotyczące implementacji autokodera. Informacje o liczbie epok, czasach ich realizacji oraz sprzęcie do tego celu użytym są informatywne, ale niewystarczające. Czy autokoder był przedmiotem implementacji autorskiej? Z jakich środowisk programistycznych lub chmurowych, ew. bibliotek korzystał Doktorant?

## 4. Analiza struktury i treści rozprawy

W zasadzie ogólna struktura rozprawy nie odbiega od pewnego, klasycznego wzorca dysertacji doktorskich.

Rozprawa składa się z pięciu rozdziałów. Pierwszy rozdział został poświęcony genezie pracy. Rozdział drugi przybliży zagadnienia techniczne, programistyczne i informatyczne związane z realizacją głównego zadania badawczego pracy. Zasadniczymi, merytorycznymi rozdziałami pracy są: rozdział trzeci poświęcony opisowi zaproponowanej koncepcji metodyki syntezy modelu oraz rozdział czwarty poświęcony zestawieniu i ocenie uzyskanych wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych. W pewnym stopniu treść tych ostatnich dwóch rozdziałów odzwierciedla podstawowe zamierzenia rozprawy sformułowane zarówno w tezach jak i przedstawione w tytule pracy. W ostatnim rozdziale pracy dokonano podsumowania uzyskanych wyników oraz przedstawiono projekcję dalszych badań. Przyjętą strukturę pracy uznałbym za racjonalną i przejrzystą.

Uważam jednak, że treści i proporcje poszczególnych rozdziałów mogłyby być zdecydowanie lepsze. Wymienię w tym miejscu kilka uwag, które moim zdaniem mogłyby przyczynić się do poprawy przekazu i jakości rozprawy.

### Rozdział 1. Wstęp

Wprowadzenie do pracy powinno odzwierciedlać erudycję Doktoranta w zakresie tematyki rozprawy. Oczekiwany elementami tej części rozprawy jest poszerzona analiza krytyczna źródeł, dogłębna identyfikacja problemu pracy, przedstawienie przekonującej motywacji podjęcia tematyki pracy oraz sformułowanie celu i tezy pracy.

Niestety, w tym krótkim rozdziale nie wszystkie wyżej wymienione elementy zostały zaprezentowane w stopniu wystarczającym. W szczególności:

- brak jest pogłębionej analizy krytycznej przynajmniej najważniejszych źródeł literaturowych. W to miejsce Doktorant w zasadzie przedstawia tylko ogólne informacje o charakterze statystycznym dotyczące rynku pojazdów z napędem elektrycznym, przedstawia poglądowy schemat i opis pojazdu z takim napędem, oraz sygnalizuje problem bezpieczeństwa ich użytkowania.
- Przedstawiony problem pracy polega na identyfikacji rozkładów czasów realizacji zadań czasu rzeczywistego realizowanych przez sterowniki stosowane w pojazdach elektrycznych. Z tematu i lektury pracy wynika, że zarysowany w niej problem mieści się raczej w kategoriach właściwych metodom obliczeniowym sztucznej inteligencji, a więc w obszarze badawczym informatyki stosowanej. Nie deprecjonowałbym jednak znaczenia pracy dla dyscypliny inżynierii mechanicznej z uwagi chociażby na jej potencjał aplikacyjny w przemyśle samochodowym.
- Dość zaskakujące jest stwierdzenie Doktoranta, że „... istnieje luka badawcza w metodach analizy czasów realizacji potencjalnych sekwencji kodów programu sterownika ...”. Stwierdzenie to wymagałoby wsparcia przez przeprowadzoną kwerendą dostępnych źródeł. Wydaje się mało prawdopodobne, aby ten problem nie był analizowany chociażby z uwagi na wymagania związane z oceną poziomu integralności funkcji bezpieczeństwa sterowników.
- W zasadzie cele pracy są jej przeredagowanymi tezami. Zabieg stylistyczny tego rodzaju nie jest chyba konieczny, ponieważ wydaje się, że można pokusić się o to, aby teza i cel pracy mogły być sformułowane łącznie. Rozbicie ich w dwóch podrozdziałach jest dość sztuczne i wprowadza niepotrzebne powtórzenia. Ponadto, dla pełnej czytelności użytych w tezie sformułowań powinny być one poprzedzone odpowiednimi definicjami. W szczególności chodzi o definicję anomalii oraz sygnałów wejściowych i wyjściowych modelu. Wynika to z faktu różnego rozumienia w różnych środowiskach naukowych, zarówno pojęcia anomalii jak i roli i miejsca modeli.

Dla przykładu, w klasycznych podejściach z zakresu diagnostyki procesów bazującej na modelach (FDI) pod pojęciem modelu rozumie się model analityczny, behawioralny, predykcyjny lub obserwator stanu diagnozowanego obiektu. Na podstawie analizy rozbieżności pomiędzy wyjściem modelu i wyjściem diagnozowanego obiektu, uzyskanych dla tych samych wejść dokonywana jest najpierw detekcja potencjalnych uszkodzeń, a następnie ich wskazanie (lokalizacja). Detekcja dokonywana jest z wykorzystaniem progowania adaptacyjnego, rozmytego lub stałowartościowego. Wadą tego typu podejść jest między innymi złożoność procesu syntezy modelu obiektu i identyfikacja jego parametrów. Pewnym remedium, jakkolwiek niepozbawionym wad, jest zastosowanie modeli sztucznej inteligencji, w tym modeli rozmytych, rozmytych sieci neuronowych, czy sieci neuronowych.

Model w rozumieniu pracy jest modelem sztucznej inteligencji należącym do klasy autokodujących modeli neuronowych uczonych bez nadzorowania. W takim modelu wejścia koderu i wyjścia dekodera, w przypadku prawidłowego zakończenia procesu uczenia powinny być w przybliżeniu zgodne. To zasadnicza różnica pomiędzy pojęciem i rolą wyjścia modelu stosowanego w FDI i wyjściem modelu autokodera. W przypadku FDI zgodność jest rozumiana jako zgodność wyjścia obiektu i wyjścia modelu, a nie zgodności wejścia i wyjścia samego modelu.

Wydaje się, że przekaz pracy mógłby być lepszy, gdyby Doktorant mógł scharakteryzować we wprowadzeniu różne podejścia do metod diagnostyki bazującej na modelach lub przynajmniej podać ich klasyfikację pozycjonując jednocześnie propozycję własnego rozwiązania.

- Motywacja podjęcia tematu pracy jest racjonalna. Dyskusyjne jest tylko to, czy opracowana metodologia jest adekwatna do postawionego celu pracy. Ale to jest przedmiotem obrony pracy.

## Rozdział 2. Przedmiot badań

Niezwykle obszerny i niepotrzebnie przeładowany treściowo rozdział. Dla poprawy czytelności pracy należałoby rozważyć i dokonać starannej selekcji materiału. W szczególności: fragmenty rozdziału dotyczące podstaw informatyki, podstaw języka C, architektury systemów mikroprocesorowych, a także tabulogramy niektórych kodów mogłyby być całkowicie pominięte, ponieważ nie są niezbędne z punktu widzenia dowodu tej pracy.

Ponadto wydaje się, że celowe byłoby przeniesienie całego podrozdziału 2.8 dotyczącego autokodera wariacyjnego z warunkowaniem, do rozdziału nr 3, który jest poświęcony między innymi syntezie modelu tej klasy.

## Rozdział 3. Koncepcja metodyki

Rozdział ten należy traktować jako podstawowy w odniesieniu do sformułowanej tezy pracy. Propozycja metodyki badawczej została ujęta w sześciu krokach, które zostały syntetycznie i w miarę klarownie przedstawione w sposób opisowy.

Pewne obiekcje budzi krok pierwszy metodyki polegający na tzw. instrumentacji kodu. Polega on, według podanego opisu, na modyfikacji kodu realizacji funkcji bezpieczeństwa w celu pozyskania informacji o wykonywanych ścieżkach.

Powstają następujące wątpliwości.

- Czy ingerencja w kod dotyczący realizacji funkcji bezpieczeństwa jest dopuszczalna?
- Czy ingerencja taka jest akceptowalna na poziomie certyfikacji funkcji bezpieczeństwa?
- Czy ingerencja w kod nie obciąża dodatkowo uzyskanych wyników?

Z punktu widzenia użytecznego, znacznie bardziej atrakcyjna byłaby propozycja takiej metodyki badawczej, która nie wymaga wprowadzenia modyfikacji kodu.

To czy proponowana metodyka zapewnia „kompleksową i dokładną ocenę funkcji bezpieczeństwa”, jak pisze Doktorant, pozostaje kwestią otwartą, ponieważ wymaga dowodu lub przynajmniej uzasadnienia, czego w pracy nie ma.

W wielu miejscach pracy Doktorant odwołuje się do konieczności zrozumienia materii, która jest przedmiotem rozważań. Wydaje się to oczywistością. Także i w tym rozdziale podkreśla „dokładne zrozumienie charakterystyki sygnałów wejściowych”. Z punktu widzenia metodyki może to mieć i zapewne ma wpływ na jej ostateczne ukształtowanie i implementację. Z punktu widzenia numerycznego zapewne tylko w fazie implementacji.

Zadziwia także bardzo skromna liczba enumeratywnie wymienianych przez Doktoranta sygnałów wejściowych modelu. Należą do nich: natężenie i napięcie prądu pobieranego z ogniwa elektrochemicznego oraz sygnał logiczny aktywacji poduszki powietrznej. Sygnałami wejściowymi modelu są także bliżej nieokreślone sygnały wyjściowe algorytmów diagnostycznych. Brakuje także informacji, czy jest to model uproszczony, w którym pominięto celowo pewne sygnały, czy też pełny. W dalszej części rozdziału pojawia się sygnał wyzwający bezpiecznik pirotechniczny. Dlatego uważam, że istotnym elementem, który zdecydowanie polepszyłby czytelność tego rozdziału byłaby prezentacja już na samym jego początku schematu lub schematów blokowych w postaci tzw. czarnych skrzynek prezentującej wejścia i wyjścia modelu.

Podział reprezentacji cyfrowej sygnałów na sygnały wielowartościowe i logiczne nie jest dostatecznie uzasadniony. Podział ten stosowany jest konsekwentnie przez Doktoranta zarówno w części pracy dotyczącej opisu metodologii jak i w części eksperymentalnej. Formalnie binarne sygnały logiczne są także wielowartościowe. Czy osi podziału, jeśli byłby rzeczywiście konieczny, nie powinno być kryterium innego rodzaju odwołujące się nie tyle do reprezentacji numerycznej lecz do funkcjonalnej?

Ze względu na wagę problemu uczenia/walidacji i wykorzystania modelu w realizacji celu pracy należałoby oczekiwać szerszego opisu, a także dobrego uzasadnienia stosowanego podejścia do tego jakże ważnego etapu pracy. W końcu praca dotyczy opracowania metodyki detekcji anomalii bazującej na modelach.

Szerszego uzasadnienia i być może podania kilku przykładów wymaga także zastosowana przez Doktoranta technika tzw. „zakrywania pól” wektorów wejściowych na etapach uczenia, walidacji i detekcji anomalii. Pewnego rodzaju wątpliwości budzi

np. opis etapu detekcji anomalii (str. 92), w którym „zakryciu” podlegają wszystkie pola wektora wejściowego zawierające wartości sygnałów wejściowych, a więc zupełnie odwrotnie niż na etapie uczenia modelu. Powstaje zasadne pytanie, w jakim celu uczony jest model z wykorzystaniem sygnałów wejściowych, jeśli przy jego wykorzystaniu do detekcji nie są one potrzebne. Czyżby wyjścia modelu nie były zależne od tych sygnałów? A jeśli hipotetycznie tak jest, w co należy wątpić, to w jakim celu stosuje się je w procesie uczenia. Czy przeprowadzono analizę wrażliwości wyjścia modelu na te sygnały?

Detekcja możliwych i niemożliwych ścieżek realizacji jest właściwa, ponieważ te, które są teoretycznie niemożliwe mogą być możliwe w praktyce przy określonych warunkach sygnałów wejściowych i stanach wewnętrznych automatu. Detekcja ścieżki niemożliwej teoretycznie pozwala bowiem na wykrycie anomalii albo w sygnałach wejściowych, z których część jest skorelowana, albo anomalii w badanej implementacji funkcji zabezpieczającej. Oczywiście powyższe zdanie jest prawdziwe przy założeniu wierności zastosowanego modelu.

Bardzo poważne wątpliwości związane są z podrozdziałem zatytułowanym Detekcja anomalii na podstawie oceny wartości RMSE zamieszczonym na str. 94.

1° Wzór 3.7 odzwierciedla tylko i wyłącznie pierwiastek z uśrednionych kwadratów bezwzględnych wartości różnic odpowiadających sobie elementów wektorów wejściowego i wyjściowego w bliżej nieokreślonym momencie czasowym.

Zwróciłbym uwagę na dwa aspekty tego wzoru:

- a)  $i$ -te elementy wektorów w sposób jawny nie mają zdefiniowanych konotacji czasowych. Jeśli są to wektory reprezentujące próbki czasowe wejść w chwilach dyskretnych, to brakuje dodatkowego indeksu reprezentującego dyskretne chwile czasowe.
  - b) Na ile stosowanie określenia RMSE, które odwołuje się do wartości średniej (oczekiwanej) do wzoru (3.7) jest prawidłowe? Proszę porównać z definicją (3.4).
- 2° Podobne zastrzeżenie budzi wzór (3.8). Wzór ten w istocie jest równoważny bezwzględnej różnicy wartości odpowiadających sobie elementów dwóch wektorów. Zwróciłbym także uwagę, że na etapie uczenia, z punktu widzenia zadania optymalizacyjnego z kryterium minimalnej wartości funkcjonu ujmującego wzór 3.8 tracimy informację o znaku różnicy, co może, ale nie musi koniecznie odbić się na efektywności stosowanego algorytmu optymalizacyjnego.
- 3° Formuła (3.9), która wiąże prawdopodobieństwo anomalii z wartością formuły (3.8) może być tylko rozumiana w kategorii reguły heurystycznej, która mówi, że im większa rozbieżność elementów obu wektorów, tym większe prawdopodobieństwo anomalii. Ale potencjalnie źródłem anomalii może być też sam model. Pozytywny



wynik walidacji modelu jakkolwiek konieczny, nie jest wystarczający, ponieważ jakkolwiek błędu modelu nie wyklucza, ale też nie uzasadnia.

4° Zupełnie nieczytelne jest przyjęcie założenia o liniowej zależności prawdopodobieństwa anomalii od wartości formuły (3.8). Brak jest jakiegokolwiek uzasadnienia takiego założenia.

5° Podobne zastrzeżenie można sformułować w stosunku do wzoru (3.11). Suma prawdopodobieństw występujących w tym wzorze dotyczy przypadku niezależności zmiennych losowych. Czy rzeczywiście tak jest?

#### Rozdział 4. Wyniki badań

Scenariusze przeprowadzonych badań dotyczą zarówno badań symulacyjnych z użyciem danych syntetycznych jak i danych rzeczywistych uzyskanych z pojazdu eksperymentalnego. Podstawowym celem tych badań była w zasadzie ocena, czy wprowadzona w pracy miara (3.14) pozwala na wykrycie anomalii należących do kategorii określonej w pracy jako „ścieżki możliwe” i „niemożliwe”. Wnioski z badań symulacyjnych z użyciem danych syntetycznych potwierdzają, że agregat (3.14) może być użyteczny do realizacji detekcji anomalii tego typu. W tym miejscu zwróciłbym uwagę, że możliwość szybkiej analizy uzyskanych wyników dotyczących detekcji anomalii poprawiłoby ich ujęcie w formie tabelarycznej a nie tylko opisowej. W postaci tabel przedstawiono jedynie wyniki związane z procesem uczenia samego modelu.

Zwróciłbym również uwagę na uchybienie redakcyjne, które jest istotne dla oceny stopnia realizacji tez i celów pracy. W opisie pracy pominięto explicite prezentację zależności czasowych uzyskanych z modelu. Model zależności czasowych jest wyeksponowany w sformułowaniu pierwszej tezy pracy. W pracy zaprezentowano jedynie tabelaryczne wyniki czasów realizacji procesu uczenia i optymalizacji modelu. Mają one jednak jedynie znaczenie techniczne i trudno je uznać za zależności czasowe.

#### Rozdział 5. Podsumowanie

Podsumowanie zwyczajowo odzwierciedla podstawowe wyniki pracy, zawiera wnioski i uwagi oraz przedstawia propozycję lub projekcję dalszych prac w zakresie tematyki pracy wskazując na napotkane problemy w trakcie jej realizacji. Powinno też, a może przede wszystkim, odnieść się do stopnia realizacji celu badawczego zdefiniowanego w tezie pracy.

Należy podkreślić, że w zasadzie wszystkie te elementy znalazły odzwierciedlenie w jej podsumowaniu.

## 5. Edycja rozprawy

Uważam, że strona edycyjna rozprawy zasługuje na pewną, aczkolwiek moim zdaniem zasłużoną dawkę krytycyzmu.

Czytelnik rozprawy odnosi wrażenie wyraźnej nierówności stylu, braku precyzji lub odwrotnie nadmiernej generalizacji niektórych sformułowań, swobodnie stosowanej terminologii, licznych powtórzeń oraz stosowania skrótów myślowych.

Jakkolwiek z drugiej strony należy podkreślić, że typograficzna korekta formalna pracy została przeprowadzona starannie. Skutkuje to tylko nielicznymi błędami interpunkcyjnymi i typograficznymi. Na podkreślenie zasługuje także bardzo staranne, przejrzyste przygotowanie ilustracji graficznych.

Poniżej, przytaczam kilka wybranych przykładów dotyczących terminologii i stylu.

### a) Czujnik

Doktorant stosuje konsekwentnie pojęcie czujnika w odniesieniu do przetworników pomiarowych. Tymczasem od lat dobrze ugruntowane w polskiej terminologii technicznej są oba te pojęcia. Pod pojęciem czujnik rozumiany jest element przetwarzający bezpośrednio wartość wielkości mierzonej na wartość innej wielkości fizycznej – najczęściej elektrycznej. Czujniki są elementami składowymi przetworników pomiarowych. W nielicznych przypadkach jedynym elementem przetworników pomiarowych jest rzeczywiście tylko czujnik.

### b) Manieryzm stylu polegający na zbyt częste użycie niektórych zwrotów osłabiających w istocie ich semantykę np. słowo „kluczowe” lub pochodne do tego słowa zostało użyte w pracy 93 razy, a „precyzyjne” 47 razy.

### c) Przykłady kilku wybranych wyimków z początkowych stron rozprawy. Wszystkie przykłady pozostawię bez komentarza ze względu na ich specyficzną semantykę:

- „...w kierunku elektryfikacji gamy modelowej” (str. 1);
- „... praca baterii” (str. 7);
- „... umożliwia skuteczniejsze przeniesienie momentu obrotowego na koła i precyzyjniejsze zarządzanie dystrybucją siły napędowej.” (str. 9);
- „... opartych na 800V architekturze.” (str. 10);
- „... urządzenie to, oparte na technologii efektu Halla ( str. 10);
- „... styczniki są elementami mechanicznymi, sterowanymi niskim napięciem.” (str. 11);
- „... źródło zegara” (str. 13);
- „... ponadto funkcje te mogą być konstrukcjami związanymi z czasem...” (str. 21);
- „... wskazują na większą krytyczność...” (str. 21);
- „... wartości rezystancji izolacji dla przewodów plusowych, minusowych ...” (str. 25);

## 6. Konkluzja

Uważam, że Doktorant przedstawił oryginalną metodykę badawczą polegającą na zastosowaniu modelu sztucznej inteligencji do detekcji anomalii w odniesieniu do funkcji bezpieczeństwa i w zastosowaniu do oprogramowania sterowników pojazdów z napędem elektrycznym. I choć w treści pracy nie przedstawiono informacji o dokonanym wdrożeniu, to uważam, że zaproponowana metodyka ma pewien potencjał aplikacyjny. Świadczą o tym między innymi uzyskane przez Doktoranta wyniki przeprowadzanych badań eksperymentalnych. Stanowią one także dobry prognostyk w kierunku prowadzenia dalszych badań stosowanych. Lektura pracy pozwala na uznanie, że zakładany cel badawczy zwerbalizowany w drugiej tezie pracy został osiągnięty.

Doktorant wykazał wiedzę i biegłość zwłaszcza w zakresie informatyki stosowanej i metod sztucznej inteligencji. Zademonstrował umiejętność samodzielnego planowania, realizacji i oceny wyników eksperymentalnych prac badawczych.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia, oświadczam, że recenzowana rozprawa doktorska pana mgr. inż. Kamila Sternala pt. *„Metodyka testowania sterowników systemów bateryjnych pojazdów wspartych modelem”*, mimo podniesionych w recenzji zastrzeżeń, spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora zawarte w ustawie „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dziennik Ustaw z 2018 roku, poz. 1668 – tekst ujednolicony z późniejszymi zmianami) i może być dopuszczona do publicznej obrony w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Warszawa, 13-12-2024

