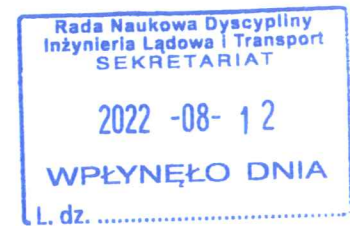


Warszawa, 23.07.2022 r.

dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor Instytutu Kolejnictwa

Instytut Kolejnictwa

Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Szmela

„Metody analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest Uchwała 416/2022 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 10.05.2022 (pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej dr. hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni z dnia 13.05.2022 – WTBD.521.DR.102.2022).

Recenzja stanowi wynik realizacji Umowy o dzieło nr 1160/000089/2022 zawartej z Politechniką Warszawską – Wydział Transportu.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowi egzemplarz papierowy (książka) rozprawy pt. „Metody analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym”.

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Jacek Skorupski,

2. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy, ocena doboru tematu rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Dariusz Szmela napisana została na 198 stronach (w tym 7 załączników – 39 stron) oprawionych w książkę formatu B5 i zawiera:

- streszczenie w języku polskim oraz angielskim,
- spis treści,
- wykaz ważniejszych pojęć i oznaczeń używanych w pracy,
- wykaz głównych oznaczeń używanych w pracy,
- dziewięć ponumerowanych rozdziałów w tym wprowadzenie, cztery rozdziały merytoryczne oraz podsumowanie,
- bibliografię liczącą 124 pozycje krajowych i zagranicznych, w tym 5 pozycji Autora rozprawy (jako Współautor),
- spis ilustracji,
- spis tabel,
- Załączniki - 1÷7.

Tematyka rozprawy doktorskiej koncentruje się na zagadnieniach dotyczących metody szacowania, analizy i oceny bezpieczeństwa w komputerowych urządzeniach sterowania ruchem kolejowym.

Jest to zagadnienie niezwykle istotne w całym cyklu życia urządzeń sterowania ruchem kolejowym ponieważ zdefiniowanie i udowodnienie spełnienia przez system srk zdefiniowanych w dokumentach normatywnych CENELEC (czy instrukcjach użytkownika – PKP PLK S.A.) wymagań bezpieczeństwa ma znaczący i bezpośredni wpływ na proces przewozowy w aspekcie dostępności niezawodności i bezpieczeństwa.

Należy tu podkreślić, że ze względu na zastosowanie i rolę systemu sterowania ruchem kolejowym, pełnioną w „podsystemie sterowanie” urządzenia te z natury rzeczy realizują różne funkcjonalności, a weryfikacja wskaźników bezpieczeństwa dla tego typu systemów realizowana jest poprzez wykorzystanie szeregu metod opisu formalnego tj. analiza drzewa uszkodzeń FTA (Fault Tree Analysis) czy analiza drzewa uszkodzeń z zależnościami czasowymi FTTD (Fault Tree with Time Dependencies), szacowanie granicznych prawdopodobieństw występowania określonych stanów (w tym stanów niebezpiecznych) opisanych modelami procesów Markowa, czy ocena skutków uszkodzeń FMEA (Failure Mode and Effect (Critical) Analysis).

W rozprawie Autor zaproponował wykorzystanie do oceny bezpieczeństwa systemów efektywnej metody opartej na modelowaniu procesów związanych z bezpieczeństwem poprzez wykorzystanie kolorowanych sieci Petriego – narzędzie matematyczne pozwalające na uwzględnienie w ocenie różnych czynników (otoczenie czy czynnik ludzki w procesie) i zdarzeń mających wpływ na ogólnie pojęte bezpieczeństwo techniczne i funkcjonalne systemu sterowania ruchem kolejowym.

W stosunku do metody FTA (reprezentacja statyczna drzewa niezdatności) wprowadzenie sieci Petriego pozwala na reprezentowanie w modelu również dynamiki systemu.

Jak to zaznaczył autor aktualne metody testowania opierają się w dużym stopniu o istniejące kodeksy postępowania oraz zestawy wymagań stanowiących podstawę i kryteria oceny uzyskanych wyników analiz bezpieczeństwa. Zgodnie z wymaganiami CENELEC (EN 50128) metody wykorzystujące sieci Petriego są zalecane do analiz bezpieczeństwa systemu.

Jak widać nie istnieje jeden zbiorczy kodeks postępowania zawierający wytyczne dotyczące zakresu i sposobu realizacji (metod) procesu dowodzenia bezpieczeństwa a wymienione i scharakteryzowane przez Autora dotychczas stosowane metody oceny bezpieczeństwa posiadają swoje ograniczenia.

Doktorant podejmując w swojej rozprawie tematykę oceny bezpieczeństwa w odniesieniu do systemów sterowania ruchem kolejowym niewątpliwie zajmuje się istotnym obszarem badawczym.

Jest to cenna próba rozwiązania problemu szacowania bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym metodami naukowymi przy zastosowaniu autorskiej metody opartej o zastosowanie kolorowanych sieci Petriego (stosowanych np. w innych gałęziach transportu np. transport lotniczy do oceny i identyfikacji zagrożeń).

Uważam, że podjęta tematyka rozprawy ma znaczenie zarówno pod względem poznawczym, naukowym jak i utylitarnym. Za pierwiastek naukowy rozprawy należy uznać opracowanie autorskiej metody szacowania i oceny bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym. Utylitarny charakter odnosi się do możliwości wdrożenia proponowanej metody w zastosowaniach praktycznych.

Na tej podstawie mogę stwierdzić, że temat rozprawy jest dysertabilny i aktualny.

3. Teza i cel pracy

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autor podjął się rozwiązania złożonego zagadnienia określonego, jako szacowanie i ocena bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym.

Zakres pracy jest obszerny i prezentuje tematykę badawczą, którą zajmuje się Doktorant. Został on podporządkowany realizacji celu rozprawy tj. przedstawienie propozycji zastosowania racjonalnej i efektywnej metodyki analizy bezpieczeństwa w komputerowych systemach sterowania ruchem kolejowym. W tym celu Autor podjął się opracowania modelu, który może zostać zastosowany do opisu struktury systemu srk oraz procesów ruchowych posłuży również do modelowania otoczenia i interakcji poszczególnych komponentów oraz identyfikacji źródeł zagrożeń z uwzględnieniem zależności czasowych, sekwencji pracy systemów i rodzajów przesyłanych sygnałów i komunikatów.

Mając na względzie tak sformułowany cel pracy Autor stawia tezę - Teza rozprawy (str. 22) – cytuję:

„Zastosowanie opracowanej metody identyfikacji źródeł zagrożeń, utworzonych klas uszkodzeń oraz analizy opartej na modelu struktury systemu srk, procesów ruchowych i jego otoczenia z zastosowaniem znakowanych, kolorowanych, hierarchicznych i czasowych sieci Petriego zapewnia w sposób racjonalny przeprowadzenie analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów srk uwzględniając złożony charakter czynników wpływających na jego prawidłowe działanie.”

Dopelnieniem zdefiniowanego celu jest sformułowana na str. 22 teza pomocnicza rozprawy – cytuję:

„Metoda określona w ramach przedmiotowej rozprawy zapewnia formalną weryfikację poprawności modelu w aspekcie wymagań bezpieczeństwa oraz umożliwia ocenę ilościową celów bezpieczeństwa komputerowych systemów srk określonych w standardach CENELEC oraz procedurach zarządcy infrastruktury”

Zdaniem recenzenta tak sformułowana Teza rozprawy wyznacza granice i zakres stosowania proponowanej metody do wykorzystania przy realizacji określonego celu w ramach rozważań prowadzonych przez Autora.

Z naukowego punktu widzenia teza jest postawiona prawidłowo i jest adekwatna do tematu i celu pracy.

4. Analiza treści rozprawy

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 3-6.

Całość pracy można podzielić na dwie zasadnicze części.

Pierwsza część rozprawy obejmująca Wprowadzenie i rozdział 2, dotyczy rozważań teoretyczno-badawczych dotyczących charakterystyki systemów sterowania ruchem kolejowym i zagadnień oceny i szacowania wskaźników bezpieczeństwa w komputerowych systemach sterowania ruchem kolejowym.

Wprowadzenie do rozprawy (17 stron) zawiera wprowadzenie w tematykę badawczą poruszaną przez Autora w rozprawie – problem oceny bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym. i pozwolił Autorowi na sformułowanie problemu badawczego przyjętego do rozwiązania w przedmiotowej pracy.

We wprowadzeniu Autor przeprowadził szczegółową kwerendę dostępnych materiałów źródłowych (artykuły) dotyczącego aktualnego stanu wiedzy w obszarze objętym rozważaniami w rozprawie oraz

opisał bezpieczeństwo w ujęciu systemów sterowania ruchem kolejowym, podstawowe metody analizy i oceny bezpieczeństwa.

Szczegółowa analiza aktualnego stanu wiedzy pozwoliła Autorowi na określenie celu i kierunku badań, oraz na sformułowanie omówionej już w recenzji tezy pracy.

Ponadto Autor zdefiniował studium przypadku wraz z uzasadnieniem wyboru (system wymiany informacji dyżurny ruchu – dróżnik przejazdowy), dla którego prowadzić będzie analizy bezpieczeństwa z użyciem zaproponowanej w pracy metody oraz określił środowisko programowe (język programowania SysML i oprogramowanie Capella), które będzie wykorzystywał do budowy modelu systemu w postaci sieci Petriego.

Czytelność pracy oraz prześledzenie toku postępowania Autora (etapy opracowania metody i jej weryfikacji) uzupełnia przyjęty przez Algorytm postępowania (s. 24).

W **rozdziale drugim** (22 strony) Autor opisał, zagadnienia związane z bezpieczeństwem „podsystemu sterowania” oraz systemów technicznych – systemów sterowania ruchem kolejowym.

W analizie odniósł się zarówno do ogólnej wiedzy związanej z bezpieczeństwem (tzw. kultura bezpieczeństwa) oraz aktualnego stanu prawnego wynikającego z rozporządzeń UE (402/2014) czy zapisów norm CENELEC (serii 50 – xxx) odnoszących się do złożonych zagadnień bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym.

Autor scharakteryzował i usystematyzował proces identyfikacji zagrożeń (w fazie definiowania systemu) oraz poszczególne wynikające z ww. regulacji metody identyfikacji, szacowania, eliminacji i oceny zagrożeń (ryzyka) tj. HAZOP, FTA, FEMA, oraz metodzie wykorzystującej procesy Markowa dla wyznaczenia granicznego prawdopodobieństwa wystąpienia stanu krytycznego mającego wpływ na bezpieczeństwo.

Elementem poznawczym jest również dokonana przez Autora ocena przydatności poszczególnych opisanych i stosowanych metod do analizy i oceny bezpieczeństwa (HAZOP, FTA, FMEA, Markov) dokonana zgodnie z przyjętymi przez Autora kryteriami (Tabela 2.3) oraz wynikające z tej analizy ograniczenia stosowania tych metod. (Tabela 2.4).

Część pierwsza rozprawy przedstawia w sposób usystematyzowany zagadnienia bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym ma niewątpliwy charakter poznawczy oraz świadczy o wiedzy Autora w odniesieniu do poruszanych w pracy zagadnień.

Druga część rozprawy obejmująca rozdziały 3÷6 (oraz załączniki 1÷7), ma charakter użytkowy i stanowi element zasadniczy rozprawy. W moim przekonaniu rozdziały te decydują o wartości naukowej rozprawy.

Rozdział trzeci (76 stron) kluczowy z punktu widzenia merytorycznej oceny rozprawy przedstawia definicję proponowanej przez Autora hybrydowej metody analizy bezpieczeństwa. W rozdziale tym Autor przedstawił algorytm proponowanej metody w zastosowaniu do systemów sterowania ruchem kolejowym wraz ze szczegółowym opisem poszczególnych kroków realizacji procesów w proponowanej metodzie wraz z kryteriami oceny bezpieczeństwa.

Autor przedstawił model systemu sterowania ruchem kolejowym (model referencyjny zgodny z przyjętym systemem srk (p. 1.3) jako systemem referencyjnym – studium przypadku). Opisał model z wykorzystaniem zależności czasowych (dynamikę systemu) z wykorzystaniem kolorowanych sieci Petriego. Tak przyjęty model uwzględnia zależności czasowe występujące w systemie referencyjnym oraz definiuje przejścia pomiędzy poszczególnymi stanami.

W opisie metody Autor oparł się o szczegółowo udokumentowaną część teoretyczną opisującą sieci Petriego w różnych zastosowaniach oraz o prace z teorii niezawodności i bezpieczeństwa.

Zaproponowany model stanowi autorską adaptację sieci Petriego do zastosowania przy ocenie bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym w odniesieniu do opisanego w p. 3.2. studium przypadku (systemu wymiany informacji SWI) oraz zdefiniował scenariusze operacyjne.

Model został zaimplementowany w środowisku ARCADIA przy wykorzystaniu oprogramowania Capella jako odwzorowanie modelu systemu referencyjnego w postaci obiektów i zachodzących między nimi interakcjami z zachowaniem określonej (zdefiniowanej) struktury warstwowej i powiązań między tymi warstwami. Podejście takie umożliwia zarówno odwzorowanie w środowisku informatycznym modelu jak i przeprowadzenie symulacji.

Dane wejściowe wprowadzane były z wykorzystaniem języka SysML w oparciu o zdefiniowane w systemie SWI funkcje oraz przypisany do nich poziom bezpieczeństwa SIL.

Autor dokonał identyfikacji zagrożeń występujących w systemie referencyjnym, dokonał ich klasyfikacji i kodyfikacji w odniesieniu systemu kolejowego i analizowanego systemu referencyjnego.

W **rozdziale czwartym** (6 stron) Autor zawarł wyniki przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych wykonany w środowisku (CPN Tools), przy warunkach brzegowych na modelu opisanym w rozdziale 5.

Uzyskane wyniki badań potwierdziły poprawność zaproponowanego przez Autora modelu oraz prawidłowe działanie w odniesieniu do zdefiniowanych scenariuszy operacyjnych. Tym samym zweryfikowano poprawność przyjętych dla modelu referencyjnego założeń. Wyniki symulacji w postaci liczbowej (6 parametrów) wraz z oceną testu Autor przedstawił w Tabeli 4.1. Uzyskane wyniki symulacji mieściły się w kryteriach oceny (parametrach granicznych wskaźników bezpieczeństwa) określonych w normach CENELEC. W takim przypadku Autor uznał wynik symulacji za pozytywny (mieszczący się w przyjętym przedziale „poprawności wyniku”).

W **rozdziale piątym** (9 stron) Autor przeprowadził proces walidacji metody poprzez „dyskusje wyników badań symulacyjnych” w odniesieniu 25 kryteriów przyjętych w analizie porównawczej różnych metod analitycznych przeprowadzonej w p. 2.3.6 rozprawy.

W wyniku dyskusji nad wynikami symulacji Autor doszedł do wniosku, że zaproponowana autorska metoda analizy bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym jest rozwiązaniem racjonalnym (m.in. jako wypadkowa oceny wielokryterialnej w odniesieniu do czasu realizacji, stopnia złożoności metody, modyfikowalność, trudności implementacyjnych w środowisku testowych, adaptacji w odniesieniu do modeli różnych systemów sterowania ruchem kolejowym, czy możliwości identyfikacji błędów) i pozwala uzyskanie wiarygodnych wyników.

Autor zwraca uwagę również na uniwersalność metody wynikającej z wykorzystania struktury hierarchicznej umożliwiającej odwzorowanie w modelu dowolnie złożonych systemów sterowania ruchem kolejowym a zastosowanie kolorowania (znakowania) zwiększa możliwości definiowania stanów w modelu systemu srk.

Rozdział szósty (5 stron) – Podsumowanie. Autor przedstawił wnioski wynikające z pracy wykazując, że zastosowanej hybrydowej metody analizy bezpieczeństwa opartej o identyfikację zagrożeń metodą HAZOP oraz analizę modelu w postaci sieci Petriego pozwala na identyfikację zagrożeń, których nie można w sposób racjonalny i pewny identyfikować innymi metodami (przy wykorzystaniu wyłącznie jednej z opisanych w pracy metody analizy bezpieczeństwa), w szczególności w przypadku błędów powstałych w wyniku różnych zależności czasowych i zakłóceń w sekwencji działania poszczególnych modułów (logicznych czy fizycznych) występujących w systemie sterowania ruchem kolejowym.

Wykazał, że założony cel pracy został osiągnięty a teza udowodniona.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Układ pracy

Zawartość merytoryczna poszczególnych rozdziałów pracy powiązana jest z tytułem i odpowiada sformułowanemu celowi rozprawy.

Ogólnie układ i struktura pracy jest właściwa, treść rozdziałów jest zgodna z nadanymi im tytułami, a kolejne rozdziały stanowią logiczne rozwinięcie głównego wątku dysertacji.

Forma opracowania

Język, jakim posługuje się Doktorant, jest poprawny, a jego wypowiedzi sformułowane są w sposób jasny i jednoznaczny.

Materiał ilustrujący tekst pracy (Rysunki, Tabele, wzory i zależności matematyczne) wzbogaca jej treść i znacznie ułatwia jej zrozumienie, zwłaszcza w zakresie śledzenia toku rozumowania i postępowania Autora rozprawy. Tabele, rysunki, wzory mają swoje odniesienia w tekście rozprawy co poprawia jej czytelność i zrozumienie.

Doktorant nie ustrzegł się w pracy drobnych błędów edycyjnych i stylistycznych, np.:

- w podpisach rysunków Autor zastosował zasadę numeracji pozwalającą na identyfikację kolejności i przypisania rysunku do konkretnego rozdziału pracy (np. Rys. 1.1.) w całej pracy Autor w podpisach rysunków zawarł informację dotyczącą źródła pochodzenia rysunku, jednak w przypadku Rys. 1.1 Autor nie zaznaczył, że jest to jego opracowanie własne, ale wynika to z treści rozdziału 1.4 Algorytm realizacji i odnosi się do konkretnego postępowania przyjętego przez Autora w recenzowanej pracy,
- czyżbyż użycie opisów na rysunkach w j. angielskim – Rys. 3.12, 3.13, 3.14, 3.15. (zastrzeżenie to nie odnosi się do rysunków będący zrzutami z ekranu – generowanych przez wykorzystane przez Autora oprogramowanie).

Zauważone błędy edycyjne i stylistyczne nie wpływają na zasadnicze wartości merytoryczne pracy.

Dobór literatury (124 pozycje) pomimo zauważonych braków (rok publikacji poz.[15][16][24][25][40][47][50][63][67][68][69][87][108][111], miejsce publikacji dot. poz.[40][63][67][111]) uważam za poprawny i właściwy.

Co prawda w tekście rozprawy Autor nie odwołuje się do 8 pozycji z wykazu jednak z zapisów można wnioskować, że miały one charakter poznawczy dla Autora i pozwoliły na wyciągnięcie wniosków pozwalających na sformułowanie celu pracy i przyjęcie założeń dla opracowywanej przez Doktoranta

metody oceny bezpieczeństwa czy użycia narzędzi programowych w celu implementacji metody w środowisku programowym.

PYTANIE:

Przyjęte przez Recenzenta domniemanie w ww. kwestii braku odniesień do pozycji literatury [1][35][36][49][55][61][68][108] w tekście wymaga ustosunkowania się Doktoranta.

Ponadto proszę o wyjaśnienie jakie dokumenty firmy Thales wymienione w pozycji [67] były przez Pana poddane analizie.

Metodyka badań

Wybór metody badań został dostosowany do postawionych celów rozprawy. Materiał badawczy zgromadzony przez Doktoranta stanowi wystarczającą podstawę do realizacji postawionego celu rozprawy. Został on właściwie przygotowany, opracowany oraz wykorzystany w części eksperymentalnej. Zastosowany aparat matematyczny i sposób jego wykorzystania świadczy o umiejętności Doktoranta w samodzielnym rozwiązywaniu rzeczywistych problemów badawczych.

Przeprowadzona analiza, opracowana metoda oraz umiejętność formułowania i rozwiązywania problemów, jak również umiejętność korzystania z nowoczesnej techniki komputerowej i przetwarzania danych, pozwalają na stwierdzenie, że Doktorant w stopniu dobrym opanował wiedzę z dziedziny nauk inżynierjno-technicznych. Ponadto należy stwierdzić, że przedmiot niniejszej rozprawy doktorskiej stanowi właściwe przygotowanie rozwiązań naukowych do wykorzystania w praktyce.

Ocena merytoryczna

Jak wcześniej podkreśliłem, wybór tematyki uważam za celowy, uzasadniony i aktualny, a sam tytuł rozprawy „*Metody analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym*” jednoznacznie określa badany i rozwiązywany problem.

Uważam, że omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są na bardzo dobrym poziomie i właściwie dla tego typu prac. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod eksperymentalnych i analitycznych stosowanych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport oraz właściwą oceną materiałów źródłowych. Doktorant posiada cechy, które to predysponują Doktoranta do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Moim zdaniem, zasadniczym i najważniejszym osiągnięciem naukowym Doktoranta jest opracowanie autorskiej metody hybrydowej oceny bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym, oraz wykorzystanie w analizach bezpieczeństwa metod stochastycznych w tym budowa modelu z wykorzystaniem hierarchicznych kolorowanych sieci Petriego. Dużą zaletą rozprawy jest jej użyteczny charakter, co jest bardzo ważne przy tego typu opracowaniach. Autor wskazuje obszar zastosowań proponowanej metody oraz jej zalety i wady w odniesieniu do innych metod stosowanych w analizach bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym rekomendowanych m.in. w normach CENELEC.

Zaproponowana metoda i przeprowadzone obliczenia na przyjętym przez Autora systemie referencyjnym (studium przypadku) potwierdzają możliwości praktycznego zastosowania

zaproponowanego podejścia do analizy, oceny szacowania wskaźników bezpieczeństwa w systemach sterowania ruchem kolejowym.

Za główne osiągnięcia Doktoranta uważam:

- przeprowadzenie szczegółowej analizy literatury z obszaru badawczego rozprawy,
- opracowanie autorskiej metody analizy bezpieczeństwa systemów sterowania ruchem kolejowym,
- weryfikację metody poprzez wykonanie badań symulacyjnych na modelu referencyjnym oraz walidację uzyskanych wyników symulacji.

6. Uwagi i pytania szczegółowe

Analiza tekstu rozprawy niezależnie od kwestii wymagających odniesienia się przez Doktoranta zamieszczonych w tekście recenzji, rodzi kilka pytań szczegółowych, które nasunęły się w trakcie jej czytania.

Odpowiedzi na pytania oczekuję podczas publicznej obrony.

- Pytanie: Właściwe określenie liczby i rodzaju zagrożeń występujących w różnych systemach sterowania ruchem kolejowym (dane wejściowe do Pańskiego modelu) wymaga często doświadczenia i wiedzy eksperckiej. Proszę wyjaśnić w jaki sposób walidowane są w Pańskiej metodzie dane wejściowe (sprawdzenie poprawności i kompletności zbioru potencjalnych zagrożeń).
- Pytanie: W pracy nie określił Pan ograniczeń stosowania metody. Proszę o wyjaśnienie czy istnieją ograniczenia, które powodują, że zaproponowana przez Pana metoda jest nieefektywna.

7. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „*Metody analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym*” podejmuje istotne problemy poznawcze o potencjale aplikacyjnym i została wykonana na wysokim poziomie merytorycznym. Przyjęta przez Doktoranta teza rozprawy została udowodniona, a wyznaczony cel osiągnięty.

Uwagi zawarte w recenzji nie zmieniają mojej ogólnej pozytywnej opinii o rozprawie.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta, a rezultaty pracy mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w praktyce.

Podsumowując recenzję stwierdzam, że:

- wybór tematu rozprawy doktorskiej był właściwy i aktualny,
- rozprawa zawiera wiele oryginalnych myśli i rozwiązań stanowiących własny dorobek naukowy Doktoranta i wnoszący nowe elementy do problematyki analizy i oceny bezpieczeństwa urządzeń sterowania ruchem kolejowym,
- Doktorant wykazał się znajomością problemu, opracował i zastosował w sposób właściwy metodę analizy bezpieczeństwa systemów srk oraz wykazał się umiejętnością rozwiązywania problemów naukowych.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Dariusza Szmela pt. „*Metody analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym*” (promotor: prof. dr hab. inż. Jacek Skorupski) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).

Stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Dariusza Szmela pt. „*Metody analizy bezpieczeństwa komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym*” na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej.



.....
Dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor Instytutu Kolejnictwa

