

dr hab. inż. Paweł Dworak, prof. ZUT
Katedra Automatyki i Robotyki
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Szczecin, dnia 31 marca 2025 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
NA ZLECENIE RADY DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA,
ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
UNIwersytetu Zielonogórskiego**

Tytuł rozprawy: **Poprawa efektywności energetycznej przekaźnika elektromagnetycznego**

Autor rozprawy: **mgr inż. Piotr Tetlak**

I. Cel, zakres i charakter rozprawy

Recenzowana rozprawa dotyczy opracowania nowej konstrukcji przekaźnika bistabilnego, stanowiącego alternatywę dla, z jednej strony powszechnie stosowanych, tańszych przekaźników monostabilnych, z drugiej strony, rozwiązań takich przekaźników stanowiących ofertę konkurencyjnych firm. Finalne rozwiązanie zostało wdrożone do produkcji w firmie RELPOL S.A., co w zasadzie już na wstępie potwierdza co najmniej dobre wyniki pracy konstruktorskiej i duży potencjał biznesowy opracowanego produktu. Przedstawiona w pracy analiza działania różnego rodzaju konstrukcji przekaźników, ich wielorakie modelowanie, włącza się w nurt bardzo ważnych badań i prac konstruktorskich prowadzonych przez grupy badawczy z kraju i zagranicy. Autor postawił sobie zadanie ambitne zarówno od strony naukowej jak i konstruktorskiej i biznesowej opracowując urządzenie znacznie bardziej efektywne energetycznie od stosowanych powszechnie przekaźników monostabilnych, a jednocześnie możliwe do produkcji w opłacalnej ekonomicznie, umiarkowanej i konkurencyjnej cenie. Przedstawiony przez Autora rozprawy sposób analizy problemu wykorzystuje znane i powszechnie stosowane: metodę obwodu równoważnego oraz metodę elementów skończonych umiejętnie wplecione, usprawniające i poprawiające metodykę prac konstruktorskich.

Na stronie 6 rozprawy Autor przedstawił główny cel i tezę pracy.

Cele pracy sformułowano następująco:

„Celem pracy jest zaproponowanie rozwiązań, które pozwolą na znaczące ograniczenie poboru energii elektrycznej po stronie sterowania w przekaźnikach elektromagnetycznych. Cel ten będzie

realizowany przy dodatkowym założeniu, aby zaproponowane rozwiązania, mogły być łatwo i efektywnie wdrożone do produkcji.”

Teza rozprawy brzmi:

„Możliwe jest znaczące ograniczenie zużycia energii standardowego przekaźnika elektromagnetycznego poprzez wprowadzenie niskokosztowych modyfikacji, które w sposób istotny nie zmienią bazowej struktury oraz technologii produkcji tego przekaźnika.”

Autor w swojej rozprawie dokonał stosownych analiz teoretycznych, zaproponował odpowiednie modyfikacje bazowej konstrukcji przekaźnika, przedstawił nowoczesny sposób prowadzenia prac konstruktorskich oraz metody praktycznej weryfikacji opracowanych urządzeń. Zarówno cel jak i teza pracy zostały w pełni potwierdzone i z sukcesem zrealizowane.

Wyniki analiz są weryfikowane i ilustrowane licznymi przykładami symulacyjnymi i eksperymentalnymi co pozwoliło bezpośrednio wykorzystać jej rezultaty w praktyce, skutkując opracowaniem konstrukcji nowego modelu przekaźnika, ale również stanowiąc modelowy przykład sposobu opracowywania kolejnych nowych wersji tych urządzeń.

Praca wpisuje się idealnie w potrzeby badawcze i konstruktorskie zaawansowanych rozwiązań różnego rodzaju przekaźników. Jej realizacja jest trudna zarówno od strony teoretycznej jak i praktycznej wymagając spełnienia często sprzecznych wymagań technicznych i biznesowych. Wymaga znajomości i umiejętności zastosowania zaawansowanych metod i algorytmów z zakresu modelowania układów elektromagnetycznych, analizy, syntezy i praktycznej implementacji i weryfikacji opracowanych urządzeń.

II. Zawartość merytoryczna rozprawy

Rozprawa jest dość obszerna, liczy 204 numerowanych stron poprzedzonych spisem treści oraz listami wykorzystywanych skrótów i symboli. Została podzielona na osiem rozdziałów, pięć dodatków oraz spis cytowanej literatury.

W rozdziale pierwszym, stanowiącym wprowadzenie do zasadniczej części rozprawy, Autor przedstawił gruntowne uzasadnienie potrzeby opracowania nowej konstrukcji przekaźnika bipolarnego. Wyjaśnia wady i zalety oraz zakres zastosowań przekaźników; formułuje cel i zakres pracy; przedstawia znaczenie i konieczność badań nad opracowaniem nowej konstrukcji przekaźnika bipolarnego. Podkreśla przy tym przede wszystkim aspekty techniczne eksploatacji, szacuje potencjalne oszczędności w zużyciu energii, potrzeby produkcyjne i wartości globalnego rynku przekaźników.

W rozdziale drugim Autor przedstawił stosowane w pracy metody modelowania i analizy pracy elektromagnesów. W zakresie symulacji komputerowych są to metoda obwodu równoważnego (MOR) oraz metoda elementów skończonych (MES). Autor przedstawia możliwości obu metod, wady i zalety modelowania i weryfikacji symulacyjnej założeń projektowych, przedstawia

stosowne wzory, wykorzystywane środowisko programistyczne (programy Matlab/Simulink/Simscape oraz Ansys Maxwell), wpływ wybranych parametrów na dokładność i czasową realizowalność badań. W drugiej części rozdziału przedstawia się stanowisko laboratoryjne wykorzystywane do eksperymentalnej weryfikacji sił trzymania zwory, przedstawia dokładności urządzeń pomiarowych i ostateczny poziom niepewności uzyskiwanych wyników. Oprócz sił, przedstawia się sposoby: przeprowadzania pomiarów napięć zadziałania i resetu przełącznika, pomiaru i analizy poboru energii elektromagnesu, wskazuje wymogi i metodologię testów trwałościowych i środowiskowych. Rozdział zamyka, dodany trochę na dokładkę, podrozdział 2.3 przedstawiający ogólną koncepcję metody „Design thinking”. Treść tego podrozdziału jest bardzo ogólna i w zasadzie w ogóle nie dotyczy metod projektowania przełączników elektromagnetycznych. To, że Autor ją wykorzystuje, to dobrze, bo to właściwe postępowanie, ale metoda nie jest dedykowana tylko przełącznikom, jak sugeruje tytuł. No i mowa jest o jednej metodzie, a nie kilku.

Szczegółową analizę rozwiązań i wymagań konstruktorskich rozpoczyna rozdział trzeci. Na początku porównuje się tu rozwiązania i parametry techniczne przełączników bistabilnych konkurencyjnych firm (Omron, Finder, Hongfa) i innych rozwiązań z oferty firmy Relpol. Dalej analizuje się i opracowuje zestaw podstawowych wymagań projektowych dotyczących sił i momentów dla zwory elektromagnesu i styków przełącznika, jego mocy, napięcia pracy, rezystancji uzwojenia, odporności na zmiany temperatury i wreszcie wymiarów zewnętrznych i układu styków opracowywanego urządzenia. Ich podsumowanie stanowi zamykająca rozdział tabela 3.4.

Kluczowe dla opracowania finalnej wersji urządzenia były prace opisane w rozdziałach czwartym i piątym, łącznie liczących prawie 70 stron. Autor opisuje tu szczegółowo kolejne analizowane rozwiązania konstrukcyjne, ich właściwości i możliwość uzyskania zgodności z przyjętymi uprzednio wymaganiami. Idąc śladami konkurencyjnych rozwiązań Autor bada możliwość zapewnienia bistabilności poprzez 1) zastosowanie magnetycznie półtwardego rdzenia elektromagnesu, 2) umieszczenie magnesu stałego w rdzeniu elektromagnesu i wreszcie 3) umieszczenie magnesu trwałego równoległe do rdzenia elektromagnesu. W każdym z tych trzech przypadków przedstawiono stosowne założenia dotyczące np. rodzaju wykorzystywanych materiałów, wykonano kompleksowe badania symulacyjne MOR i MES, zweryfikowano działanie przygotowanych prototypów urządzeń. Badano rozkłady pól magnetycznych, siły i momenty załączania i podtrzymywania zwory, napięć niezbędnych do załączenia i resetowania przełącznika. Z wykorzystaniem narzędzia Optimetrics dokonano optymalizacji parametrów konstrukcyjnych opracowywanych elementów, w tym przede wszystkim grubości jarzma wtórnego. W rozdziałach 4.3.4 – 4.3.6 opisano i porównano wyniki badań MOR i MES 3D finalnej wersji przełącznika pokazując ich dużą wzajemną zgodność i przede wszystkim możliwość realizacji: wymagań technicznych dla produktu oraz ekonomicznej opłacalności wdrożenia i produkcji przełącznika.

Szczegółowe porównanie wyników symulacji opracowanego modelu z wynikami badania fizycznego prototypu przedstawiono w rozdziale piątym. Urządzenie zbudowane na bazie przekaźnika R4N poddano testom zgodnie ze stosownymi normami i procedurami stosowanymi w firmie Relpol. Testy te pozwoliły na dopracowanie modelu symulacyjnego, ale przede wszystkim potwierdziły prawidłowość działania urządzenia i wskazały kluczowe wymagania wykonania i montażu jarzma wtórnego. Dużą uwagę poświęcono tu modelowaniu i wpływowi reluktancji szczeliny powietrznej pomiędzy zwoją, a rdzeniem elektromagnesu. Wynikły z tego bezpośrednio wskazówki dotyczące wykonania (tolerancji) i montażu jarzma wtórnego. W części 5.2 przedstawiono wyniki badania grupy 100 prototypowych przekaźników o nominalnych napięciach wynoszących 6, 12, 18, 24 i 48 V. Potwierdziły one właściwe wartości napięć załączenia i resetowania przekaźnika w różnych warunkach temperaturowych. Zweryfikowano trwałość elektryczną i mechaniczną urządzenia.

W rozdziale szóstym opisano prace przygotowawcze niezbędne do uruchomienia produkcji seryjnej opracowanego urządzenia, przede wszystkim sposób wytwarzania jarzma wtórnego oraz dobór średnicy i liczby zwojów cewki elektromagnesu. Przedstawiono podstawowe dane, w szczególności te dotyczące wydajności, powstałej w firmie Relpol linii montażowej i stanowiska testowego dla przekaźników R4N oraz opracowanego w ramach pracy R4B.

Porównanie parametrów technicznych pracy przekaźnika R4B z ofertą firm konkurencyjnych stanowi treść rozdziału siódmego.

Ostatecznie, w rozdziale ósmym, Autor podsumował wyniki pracy oraz przedstawił zestawienie oryginalnych prac i efektów stanowiących według Autora nowy wkład do stanu nauki.

Umieszczone w końcowej części opracowania Dodatki stanowią techniczne uzupełnienie wyników pracy, tu w szczególności jest nim Dodatek A „Sprawozdanie z badań konstruktorskich przekaźników bistabilnych”, stanowiący prawdziwe, przeprowadzone zgodnie z normami, podsumowanie właściwości funkcjonalnych nowo opracowanego przekaźnika oraz Dodatek D, w którym wyprowadzono równanie na rezystancję cewki elektromagnesu w zależności od parametrów geometrycznych karkasu i drutu nawojowego. „Program badań przekaźników R4B (bistabilnych R4N)” jest ważnym zestawieniem testów jakie zgodnie z normami powinien przejść przekaźnik. Pozostałe dokumenty – patent i dokumentacja produktu – mają jedynie charakter informacyjny i nie wnoszą już nic istotnego.

Spis literatury zawiera 120 pozycji, głównie z ostatnich lat. Są one prawidłowo dobrane i zostały zacytowane w treści pracy. Jedną z pozycji jest patent, którego współautorem jest Doktorant. Autor nie cytuje żadnej ze swoich prac naukowych, pewnie dlatego, że ta dotycząca przekaźników, pt. „Bistable relay – contribution of electromechanical design to global energy savings” została wydana w vol. 6 rocznika 2024 Biuletynu PAN, zapewne po ostatecznym zredagowaniu i złożeniu rozprawy.

Układ pracy oceniam jako właściwy, czytelnik prowadzony jest, zgodnie z przyjętą procedurą projektową, krok po kroku, a poszczególne zagadnienia są weryfikowane i ilustrowane dużą liczbą wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych, które bezpośrednio i w najlepszy sposób prezentują wszystkie zawiłości teoretyczne, implementacyjne i eksploatacyjne przedsięwzięcia. Tym samym praca zasługuje na duże uznanie.

III. Ogólna ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa bardzo dobrze uzupełnia i rozwija wyniki prac innych grup badawczych zajmujących się modelowaniem zjawisk elektromagnetycznych w szczególności w przekładnikach, ale i generalnie wszelkich urządzeniach wykorzystujących zjawisko magnetyzmu, w tym np. napędach elektrycznych. Autor umiejętnie wykorzystuje znane idee i metody, przedstawiając skuteczny sposób modelowania i projektowania urządzeń oraz weryfikacji eksperymentalnej prac konstruktorskich.

W mojej opinii cele pracy zostały osiągnięte. Najdobitniej potwierdza to uruchomienie w zakładzie Relpol automatycznej linii produkcyjnej produkowanych dotychczas i opracowanych w ramach pracy przekładników R4N i R4B. Inwestycja kilkunastu milionów złotych jest możliwa jedynie w przedsięwzięcie gruntownie zweryfikowane, dające niemal gwarancję zyskowności. Przekładniki R4B w różnych wersjach stanowią obecnie ofertę firmy.

Jak już wspominałem powyżej, uważam, że zarówno cele rozprawy jak jej teza zostały w pracy osiągnięte i potwierdzone, co jest głównym osiągnięciem rozprawy i samo w sobie stanowi potwierdzenie jej poziomu merytorycznego. Niemniej jednak chciałbym wskazać pewne jej aspekty i osiągnięcia zasługujące na dodatkowe podkreślenie. Są to:

- opracowanie modeli MOR i MES przekładników R4N i R4B i sposobów ich praktycznej weryfikacji;
- określenie kryteriów i sposobów weryfikacji parametrów elektrycznych i mechanicznych opracowywanych przekładników w różnych warunkach środowiskowych;
- opracowanie modeli różnych wersji przekładników – z rdzeniem elektromagnesu wykonanym z materiału magnetycznie półtwardego; z magnesem stałym zlokalizowanym w rdzeniu elektromagnesu; z magnesem trwałym umieszczonym równolegle do rdzenia elektromagnesu – i gruntowne przedstawienie potencjalnych problemów eksploatacyjnych, wad i zalet każdej z konstrukcji;
- wskazanie jak technologia wytwarzania poszczególnych części urządzenia i ich montażu może wpływać na ich parametry techniczne i możliwość skutecznej eksploatacji;
- opracowanie przekładnika spełniającego zarówno wymagania techniczne pracy, ale również wymagania reżimu technologicznego produkcji, jej efektywności i opłacalności;

- stworzenie wysoce efektywnego energetycznie przełącznika stanowiącego realną i dużą konkurencję do produktów innych firm.

Ponadto praca stanowi praktyczne kompendium wiedzy w zakresie modelowania, budowy i projektowania współczesnych przełączników i samo to stanowi duże osiągnięcie jej Autora. Obszerność i wnikliwość tego opracowania dodatkowo potwierdzają gruntowną wiedzę Autora z zakresu przedmiotu.

Liczba i waga prezentowanych przez Autora wyników skłania mnie do wyrażenia pozytywnej opinii merytorycznej, choć oczywiście podczas lektury rozprawy nasuwały mi się pytania i uwagi których część pozwolę sobie wymienić poniżej:

1. W tabeli 3.4 przedstawiono założenia projektowe, ale czy wszystkie te parametry zostały faktycznie uwzględnione w poszukiwaniach, zagadnieniu optymalizacyjnym, czy może wybrane założono, przyjęto, że będą spełnione skoro w przełączniku R4N są spełnione? Np. częstość przełączeń z/bez obciążenia, jak uwzględniono ją w badaniu? O trwałościach elektrycznych i mechanicznych nie wspominając.
2. W rozdziale 2.2.3 autor opisuje metodę obliczania ilości energii zużytej na załączenie przełącznika; stosuje ją też konsekwentnie w testach w rozdziale siódmym. To jest oczywiście porównywalne, ale ostatecznie to ile przełącznik zużyje energii zależy od jego sterowania, czyli metoda ta nie przesądza o ostatecznej energochłonności konkretnych rozwiązań, zależnej również od szybkości wyłączenia prądu płynącego w cewce elektromagnesu zaraz po jego przełączeniu.
3. Dlaczego wartość rezystancji uzwojenia w zależności (3.10) i (D.13) wskazuje się jako funkcję jedynie trzech parametrów, pomijając wymiary karkasu, czy średnicę żyły? Poddaje to w wątpliwość uniwersalność wzoru. Zakładając też konkretną grubość izolacji żyły, mogła być ona we wzorze wskazana po prostu jako stała.
4. Na stronie 98 w „MSR – Iteracja 3” Autor pisze: „zastosowano dłuższą płytkę stalową (5b) w porównaniu do (5a)” ale zdjęcie prototypu przedstawione na rys. 4.25D sugeruje, że w badanym urządzeniu płytką niekoniecznie była dłuższa ile inaczej umiejscowiona względem tej z rys. 4.25C. Zatem, czy prototypy były badane niezależnie od badań symulacyjnych, czy jedynie zrobiono im fotkę poglądową?
5. Przyznam, że na podstawie schematów przedstawionych na rys 4.23 trudno jest mi zauważyć „tożsamość” obu rozwiązań. Tożsamość oznacza identyczne, czy tak w istocie jest? Rysunek 4.24A wskazuje na podobieństwo wyników, ale na pewno nie tożsamość układu.
6. Czym różnią się rysunki 2.7 i 4.26 przedstawiające wizualizację modelu MES 3D przełącznika monostabilnego i koncepcji przełącznika bistabilnego?
7. W rozdziale 4.3.3, Autor podaje że parametrem optymalizacji z wykorzystaniem narzędzia Optimetrics jest grubość jarzma wtórnego; a co z jego długością, została założona?
8. Na stronie 125 we wnioskach Autor pisze „Bez weryfikacji modelu wynik symulacji MES w zakresie siły trzymania zwory mógłby różnić się nawet dwukrotnie od wartości zmierzonej.” To dość trudno zweryfikować korzystając jedynie z rysunków ale i tu mam

pewne wątpliwości. Na rysunkach 4.30 czy 4.33 dla $F=0$ AZ moment siły trzymania zwory wynosi trochę poniżej 50 Nmm, podczas gdy na rysunku 5.3 i 5.4 wszystkie T_h dla $F=0$ ZA są większe od 50 Nmm, czyli szczelina zwiększa siłę trzymania zwory? Na stronie 123 Autor pisze „że dodatkowa reluktancja w postaci przerwy powietrznej znacząco obniża moment trzymania zwory”. Wydaje mi się, że modele w rozdziale czwartym nie przewidywały szczeliny?

9. W rozdziale 6.1.2 Autor pisze, że jarzmo wtórne zawiera zaczep na sprężynę powrotną. Jednocześnie kilkakrotnie w treści pracy pisze, że konstrukcja przekaźnika zmieniła się jedynie poprzez dodanie dwóch dodatkowych elementów – jarzma wtórnego i magnesu – sugerując brak zmian w pozostałych. Stąd pytanie, czy jarzmo pierwotne faktycznie nie uległo zmianie, choćby powodującej pozbycie się zbędnego zaczepu? Czy może po dodaniu jarzma wtórnego w przekaźniku pojawiają się dwa takie zaczepy?
10. Jak dokładnie umieszcza się, mocuje magnes pomiędzy jarzmem i jarzmem wtórnym?
11. Nie jest dla mnie do końca jasne co determinowało ostateczne parametry elektryczne elektromagnesu, przyjętą/obliczoną/założoną moc cewki $P=1.1$ W, siłę magnetomotoryczną na poziomie 160 AZ, różniących się od elektromagnesu przekaźnika R4N. To kolejny element przekaźnika, który jednak różni się od wersji bazowej. Skąd te wartości?
12. Czy przebadano jakkolwiek, np. metodą MES najgorszy możliwy przypadek konstruktorski, w którym wszystkie możliwe błędy wykonania poszczególnych elementów i montażu się kumulują? Jak daleko parametry przekaźnika odbiegają wówczas od nominalnych, jak daleko im do tych granicznych? W punkcie 5.4.3 Dodatku A wskazują na niższy niż wymagany docisk styków badanych przekaźników; czym mógł być on spowodowany?

IV. Uwagi szczegółowe

Rozprawa napisana jest schludnie, generalnie poprawnym językiem, ale niestety zawiera bardzo dużo błędów językowych (gramatycznych i stylistycznych) i edycyjnych. Oczywiście, w tak obszernym opracowaniu trudno ustrzec się błędów w ogóle, ale w tym opracowaniu jest ich moim zdaniem za dużo. Nie chcę, i wydaje mi się niepotrzebnym ich wszystkich drobiazgowo wymienianie, pozwolę sobie wspomnieć tylko o kilku z nich:

- przebieg zmian momentu i napięcia na rysunku 4.3 pokazano w czasie wyskalowanym w ms, podczas gdy już nawet na tym rysunku ale i w treści pracy konkretne chwile czasu wskazywane są jako [s], tzn. na początku rozdziału 4.1.2 w [ms], na końcu już jako [s];
- rysunek 4.3 w tekście pracy omawia się na trzy akapity przed odnośnikiem do niego, a sam rysunek znajduje się trzy strony dalej niż pierwsze jego omówienie;
- jednostki momentu pisane są często ze spacją, czyli [N mm] zamiast [Nmm] (brak przy tym konsekwencji, bo pojawiają się też [Nmm]), jednostki mocy [V A], jednostki energii w rozdziale siódmym pisane są [mW s];

- w treści pracy, gdy mowa o krzywych histerezy mamy raz „BH”, raz „B-H”; inna sprawa, to to, że krzywa na rysunku 2.4A żadnej histerezy nie ma;
- tabela 3.1 – skąd do oznaczenia typu jednego z porównywanych przekaźników stosuje się numer SKU zamiast stosowanej w pracy (wcześniej i później) nazwy Finder 22 10A 230V?;
- rozdział 3.2.2 – odniesienie do wzoru (5.3) zamiast (3.6) jest uciążliwe, pomijając, że oba różnią jedynie lekko zmienione oznaczenia;
- w rozdziale 4.3.5 w tekście podaje się zakres SMM, który zapewnia resetowanie przekaźnika jako (-200 AZ – -68 ZA), a w tabeli porównującej wyniki 4.5 (-208 AZ – -68 ZA); tak, różnica jest niewielka, ale takie literówki utrudniają analizę wyników;
- kąty rozwarcia analizowane w 5.1.1 wynoszą: 0.02°, 0.05°, 0.07°, **0.11°**, **0.1325°**, **0.155°**, 0.2° a na rysunkach 5.3 i 5.4: 0.02°, 0.05°, 0.07°, **0.011°**, **0.01325°**, **0.0155°**, 0.2° i nawet w podpisie rysunku 5.4 mamy 0.07° i **0.0150°**;
- przy wzorze 5.2 dobrze byłoby dodać, że założono że $\sin \alpha \approx \alpha$ i że kąt α podany jest w radianach, a nie jak w treści pracy w stopniach;
- na rys 7.1 w podpisie brak przypadku d).

Oprócz powyższych przykładowo wskazanych usterek i licznych błędów językowych razi również taka trochę rozwlekłość pracy. Część informacji powtarza się w pracy wielokrotnie, tak że czasem trudno się zorientować co założono już na początku, a co stało się wynikiem analizy. Treści powtarzają się również w ramach poszczególnych rozdziałów, będąc jedynie inaczej formułowane, co czyni przekaz mniej zwięzłym i konkretnym.

V. Wnioski końcowe

Dyplomant w recenzowanej Rozprawie jednoznacznie dowiódł swojej wiedzy i umiejętności systematycznej analizy problemów naukowych i technicznych, umiejętności konstruktorskich oraz teoretycznej i eksperymentalnej weryfikacji wyników opracowywanych urządzeń. Wykazał wiedzę i umiejętności właściwe dyscyplinie naukowej *Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne* oraz potwierdził predyspozycje do prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgra inż. Piotra Tetlaka, pt. „Poprawa efektywności energetycznej przekaźnika elektromagnetycznego” merytorycznie spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

