

Warszawa, dnia 1.12.2017 r.

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

Politechnika Warszawska

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Instytut Systemów Elektronicznych

***KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY WYDZIAŁU INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE***

Tytuł rozprawy: Efektywna energetycznie bezprzewodowa sieć typu ad-hoc dla aplikacji w transporcie kolejowym; Energy efficient wireless ad-hoc network for applications in railroad transportation

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Krzak

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH z dnia 16.11.2017 r., oraz pismo Pana Dziekana prof. Krzysztofa Boryczko w tej sprawie, nr. IEiT.510-1/07/758/2017 z dnia 20.11.2017 r.

Pan mgr inż. Łukasz Krzak posiada osobiste zapisy w internetowych bazach danych naukowych. W Scopusie (Elsevier) zapis obejmuje 5 dokumentów cytowanych łącznie 5 razy, oraz index H=2. Publikacje obejmują okres lat 2007-2015. Indeksowane w Scopusie zapisy obejmują następujące źródła: Przegląd Elektrotechniczny, konferencje ICSES - International Conference on Signals and Electronic Systems, IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, oraz w czasopiśmie Open Access Elsevier IFAC-PapersOnLine. Zapis domowy w Katedrze Elektroniki AGH obejmuje aktywności uczelniane doktoranta i asystenta. Według tego zapisu mgr inż. Ł.Krzak specjalizuje się w budowie oprogramowania i zagadnieniach komunikacji w sieciach radiowych. W latach 2010-2015 Doktorant realizował w ramach POIG i funduszy UE badania i wdrożenie cyfrowej platformy radiokomunikacyjnej w transporcie kolejowym. Obecnie kontynuuje projekt Europejskiego Instytutu Innowacji i Technologii, KIC-InnoEnergy - dotyczący czujników bezprzewodowych z baterią bezkontaktową, sieci takich czujników, oraz projekt Xsensor – opracowania otwartego protokołu komunikacyjnego służącego ułatwieniu obsługi technicznej, oraz wzrostowi efektywności środowiskowej, energetycznej i ekonomicznej generatorów energii elektrycznej. Z tych opracowań, zebranych doświadczeń, przeprowadzonych badań wynika bezpośrednio zrealizowana praca doktorska. Recenzent ocenia taką sytuację bardzo pozytywnie, gdyż praca była realizowana w konkretnym celu aplikacyjnym, na zamówienie i z akceptacją gestora

programu POIG. Ponadto, oprócz samej rozprawy doktorskiej dostępna jest dokumentacja zrealizowanego projektu rozwojowego, wspierająca jej znaczenie. Doktorant posiada zapis w bazie danych OPI Nauka Polska jako realizator prac badawczych. W projekcie wykonywanym z firmą Radionika pt. „Badanie i wdrożenie cyfrowej platformy radiokomunikacyjnej w transporcie kolejowym” występuje jako kierownik pracy. Oprócz tego zapis w nauce Polskiej obejmuje trzy prace gdzie jest wykonawcą. Prace dotyczą radiowego systemu komunikacji i sterowania dla kopalni, fotowoltaiki i czujników, oraz zasilaczy optymalizowanych dla pojazdów hybrydowych i elektrycznych. W bazie danych Nauka Polska jest indeksowanych 11 prac w autorstwie i współautorstwie Doktoranta z lat 2005-2015.

Podsumowując, ogólny dorobek naukowo-techniczny Doktoranta, i ten bezpośrednio związany z pracą, jest znaczny i przekracza zwyczajowe wymagania dotyczące procedur realizacji doktoratu. Dorobek ten jest dobrze udokumentowany w domenie publicznej i dostępny w sieci Internet.

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Obszarem badawczym pracy jest ogólnie zastosowanie zaawansowanych układów i systemów elektronicznych w telekomunikacji bezprzewodowej, a w szczególności w telekomunikacji specjalistycznej. Jest to relatywnie szeroki obszar elektroniki i w ostatnim czasie dynamicznie rozwijający się i rozszerzający na praktycznie wszystkie obszary współczesnej infrastruktury cywilizacyjnej. Atrybut ‘specjalistyczna’ dotyczy takich obszarów, które wymagają spełnienia dodatkowych wymagań związanych z takimi warunkami technicznymi jak: szybkość transmisji, pewność transmisji, bezpieczeństwo w wielu różnych aspektach, niszowy charakter aplikacji, trudne warunki środowiskowe, praca w warunkach czasu rzeczywistego, wydzielenie z sieci publicznej sektorów krytycznych przy zachowaniu integracji z siecią publiczną dla sektorów ogólnokomunikacyjnych, optymalizacja energetyczna a w tym ograniczenia energetyczne, niedostępność dużych zasobów obliczeniowych i transmisyjnych, niskie koszty, liczba węzłów sieci, dopuszczalny czas bezczynności, itp. Jednym z takich obszarów w którym konieczne jest zastosowanie wielozadaniowej sieci telekomunikacyjnej ze specjalizowanymi sektorami jest kolej i transport kolejowy. Można tutaj wymienić niektóre wymagania na specjalizowaną sieć telekomunikacyjną obsługującą transport kolejowy. Jeśli spojrzeć na taką sieć nieco przyszłościowo, ale z założeniem że ta przyszłość częściowo jest realizowana już dzisiaj, to należy zauważyć że taka sieć jest częścią systemu IoT Internetu Rzeczy obsługującego także i ten obszar. Wymagania są tutaj następujące: obsługa obszaru całego kraju i ewentualnie współpraca i kompatybilność z analogicznymi systemami z zagranicą i krajami sąsiadującymi a ogólnie z systemem kolejowym UE, kompatybilność z systemami indywidualnych operatorów kolejowych wewnątrz kraju, wielowarstwowość operacyjna, jeśli system ma charakter nadzoru ogólnokrajowego - państwowego, zdolność identyfikacji taboru kolejowego i oceny jakości, zajętości, wielkości składów, kierunku poruszania się, trasy składów, zdolność do lokalizacji i śledzenie tej lokalizacji, i wiele innych jak efektywna transmisja i przetwarzanie danych na brzegu sieci oraz współpraca z chmurą. Podsumowując, te zadania systemu to identyfikacja sprzętu ruchomego, identyfikacja infrastruktury stałej, identyfikacja otoczenia, identyfikacja zagrożeń, ocena stanu sprzętu i infrastruktury,

lokalizacja, komunikacja, informacja, ostrzeżenie, automatyka i sterowanie, nadzór pasywny i aktywny, bezpieczeństwo, uruchamianie automatycznych akcji specjalnych bezpieczeństwa, itp. Stanowi to wielki zbiór zadań. Do rozprawy doktorskiej trzeba wybrać jakiś wąski, przydatny wycinek, o wystarczająco zaawansowanym charakterze badawczym, przyszłościowym aplikacyjnym i najlepiej rzeczywiście przydatnym. Na szczęście dla Doktoranta, a także i dla recenzenta, rozprawa doktorska te kryteria spełnia. Doktorant wybiera złożone zadanie dynamicznej lokalizacji obiektów ruchomych. Ponadto Doktorant analizuje dokładniej obszar transportu kolejowego i warunki pracy systemów infrastrukturalnych w tym obszarze, dostosowując swój obszar badawczy do niektórych z tych wymagań.

Zagadnieniem naukowym rozpatrywanym w pracy jest opracowanie nowego rozwiązania sprzętu elektronicznego i oprogramowania implementującego obsługę niektórych z wymienionych powyżej potrzebnych funkcjonalności w nowej generacji specjalizowanych sieci telekomunikacyjnych przeznaczonych dla transportu kolejowego w ramach ogólnego systemu IoT. W szczególności opracowane rozwiązanie sprzętowo – programistyczne udoskonala i obsługuje urządzenia odniesienia służące do lokalizacji pojazdów szynowych. W tym zakresie Doktorant współpracuje z przemysłem nad udoskonaleniem rozwiązań istniejących i działających praktycznie na rynku. Autor stosuje w rozwiązaniu interfejs radiowy o niskiej mocy. Lokalizatory posiadają możliwość wymiany danych i informacji poprzez sieć co pozwala na optymalizację zużycia mocy.

Podsumowując, zagadnieniem naukowym jest minimalizacja zużycia energii elektrycznej w rozproszonym, usieciowionym poprzez sieć komórkową GSM/GPRS, autonomicznym a więc zasilanym bateryjnie sprzęcie funkcjonalnym obsługującym transport kolejowy. Minimalizacja zużycia energii jest wykonywana poprzez zastosowanie algorytmów zmniejszających czas użycia sprzętu komunikacyjnego, nadawczo – odbiorczego dużej mocy. Czas ten redukowany jest poprzez głębokie usypianie sprzętu, oraz redukcję liczby sesji transmisji danych, tak jednak aby niezbędna pełna informacja docierała do wyższej warstwy przetwarzania informacji w systemie nadzoru zlokalizowanego w chmurze.

Teza rozprawy związana jest z pokazaniem możliwości autorskiej optymalizacji sprzętowej i programistycznej istniejących rozwiązań dla systemu lokalizacji wagonów kolejowych we współpracy z przemysłem – w tym przypadku jest to firma Radionika. Teza jest przedstawiona bezpośrednio w postaci trzech sformułowań o możliwości realizacji znacznej oszczędności energetycznych w mobilnym kolejowym systemie lokalizacyjnym, stworzeniu modelu oceny oszczędności energetycznych, oraz integracji nowych funkcjonalności sieciowych umożliwiających dalsze oszczędności energetyczne. Wyraźne aplikacyjne cele pracy zostały sformułowane w postaci precyzyjnie podanej listy technicznej. Poziomem odniesienia dla potencjalnego sukcesu osiągniętego przez Doktoranta jest pracujący system funkcjonalny i jego parametry użytkowe, oraz ich założona poprawa po opracowaniu zakładanych w pracy doktorskiej modernizacji. Teza pracy i następnie cele są przedstawione w sposób odpowiedni i wystarczająco jasny, określający wyraźnie jakie zadania musi spełniać projektowany system i co zostanie uznane za dobry wynik związany z poziomem oszczędności energii.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Praca zawiera 77 pozycji literaturowych w tym 7 pozycji w autorstwie i współautorstwie Doktoranta. Jedną z tych pozycji autorskich jest patentem, przyznanym w roku 2015, dotyczącym metody komunikacji radiowej i aktywacji lokalizatorów pozycji. Cytowane prace Doktoranta zostały opublikowane w Wiadomościach Elektrotechnicznych SEP (2010), miesięczniku PAK Pomiary Automatyka Kontrola (2010), miesięczniku SEP Elektronika (06 i 09 2014), IFAC-PapersOnLine (2015), oraz Przegląd Telekomunikacyjny (2017). Współautorem wszystkich tych prac (z wyjątkiem IFAC) jest dr Cezary Worek – widać starszy kolega, bliski współpracownik i ekspert w zakresie wysokosprawnych układów przetwarzania energii – a więc w obszarze bliskim realizacji pracy doktorskiej. Cytowane prace Doktoranta dotyczą: cyfrowej platformy komunikacji radiowej dla inteligentnych systemów elektroenergetycznych, czyli w praktyce dla IoT, choć Autor nie używa w publikacji jeszcze często tej nazwy, automatyzacja pomiarów jakości cyfrowego toru radiowego, wzrostu efektywności zintegrowanych transceiverów radiowych w paśmie sub-GHz, budowa i optymalizacja stopni wejściowych modemów radiowych, budowa środowiska symulacyjnego i modelowanie zużycia energii w sieciach ruchomych ad-hoc o bardzo niskim cyklu pracy, aplikacje funkcjonalne sieci ZigBee w diagnostyce medycznej.

Tematyka cytowanych pozycji bibliografii jest związana dobrze z realizowaną pracą doktorską i dotyczy następujących grup tematycznych w zakresie rozwoju zaawansowanych technik kolejnictwa: badań i rozwoju techniki kolejowej, wymagań funkcjonalnych i europejskich przepisów dotyczących komunikacyjnej infrastruktury kolejnictwa, wielofunkcyjnej komunikacji mobilnej dla kolejnictwa, przeglądu czujnikowych sieci bezprzewodowych specjalizowanych dla kolejnictwa, budowy samo zasilającej się sieci ZigBee dla kolejnictwa, realizacja funkcjonalności w bezprzewodowych sieciach dla kolejnictwa takich jak – sygnalizacja, monitoring integralności składów pociągów, monitorowanie kolejowych towarów niebezpiecznych, wielofunkcyjne sieci autonomiczne dla kolejnictwa, maksymalizacja czasu życia radiowej infrastruktury kolejowej, itp. W zakresie specjalizowanych sieci radiowych Autor cytuje prace dotyczące niezawodności, protokołów zasilania, autonomiczności, zagadnienia autonomicznego gromadzenia energii, niskoenergetycznych protokołów komunikacyjnych, sieci samoorganizujących się ad-hoc, algorytmów klastrowania w sieciach heterogenicznych, itp. W zakresie optymalizacji użycia energii cytuje zagadnienia usypiania i wybudzania, oraz minimalno-energetycznej interogacji i zdalnego odczytu danych z czujników, itp. W zakresie układów elektronicznych cytowane są dostępne na Internecie noty techniczne np. ARM i Arduino, układów wbudowanych.

Podsumowując zakres cytowanej literatury wspierającej prowadzone w pracy doktorskiej badania, prace naukowo-techniczne i konstrukcyjne, sprzętowe i programistyczne jest właściwy i pokazuje dobre przygotowanie Autora do wykonania założonych zadań. Wnioski z przeglądu literatury dotyczą możliwości dalszej optymalizacji energetycznej istniejących rozwiązań radiowych systemów funkcjonalnych dla kolejnictwa.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Praca doktorska składa się z ośmiu rozdziałów. We wstępie Autor umiejscawia pracę w swoim środowisku badawczym. Pisze o współpracy z firmą przemysłową Radionika i swoim zadaniu w tej współpracy. Opisuje główne cechy zastanego rozwiązania firmowego i przyjęte wymagania modernizacyjne sprzętu i oprogramowania. Główny nurt modernizacji jest związany z zastosowaniem ultra-niskoenergetycznego nadajnika radiowego w urządzeniu lokalizacyjnym co umożliwia wymianę informacji w bezprzewodowej sieci ad-hoc. Wykorzystanie tego potencjału sprzętowego wymaga opracowania specjalizowanego synchronicznego, nisko energetycznego protokołu komunikacyjnego. Protokół z założenia umożliwia grupowanie wielu węzłów sieci w klastry i agregację danych z tych klastrów. Przesyłanie odbywa się rzadko z pojedynczego klastra klasy master. Oszczędzane są zasoby energii z baterii. Elementy lokalizacyjne są wyposażone w układy budzące. Tanie czujniki są mocowane do wagonów kolejowych lub do przewożonego towaru umożliwiające agregację przesyłanych danych.

Rozdział 2 zawiera przegląd literatury głównie dotyczącej bezprzewodowych sieci czujnikowych do zastosowań kolejowych. Cytowana literatura zawiera wiele odmiennych, lub uzupełniających się komplementarnych aspektów projektowania, budowy, testowania i eksploatacji takich systemów. Głównym zagadnieniem studiowanym przez Autora w literaturze jest minimalizacja zapotrzebowania na energię w czasie procesu lokalizacji wagonów kolejowych.

Rozdział 3 przedstawia zaprojektowany przez Autora sprzęt przeznaczony do realizacji wymienionego projektu realizowanego z firmą Radionika, jako modernizacja firmowego rozwiązania odniesienia. Opisano radiowy pod-system budzący oraz wybór pasma radiowego działania urządzenia, a także obsługujące oprogramowanie funkcjonalne.

Rozdział 4 przedstawia wyniki pomiarów i ocenę parametrów zbudowanego sprzętu radiowego dla realizacji pracy. Mierzono między innymi czułość, selektywność i zasięg transmisji.

Rozdział 5 przedstawia wyniki badań symulacyjnych nad projektowanym systemem. Celem jest opis modelu użycia energii. Zastosowano rozszerzone środowisko OMNeT++.

Rozdział 6 przedstawia zasady formowania sieci i protokół klastrowania. Opisano zastosowane algorytmy oraz sposób synchronizacji czasu. Przedstawiono analityczny model probabilistyczny.

Rozdział 7 przedstawia proces wyboru zmiennych parametrów protokołu sieciowego, zakładając kilka topologii odniesienia dla budowanej sieci. Dla wybranego zestawu parametrów dokonano analizy zapotrzebowania systemu na energię.

W rozdziale 8 podsumowano rezultaty osiągnięte w pracy. Porównano wyniki z założeniami tezy i celami pracy. Zakreślono kierunki dalszych prac badawczych i technicznych nad ciągłym rozwojem systemu.

Podsumowując, recenzent stwierdza że autor rozwiązał bardzo dobrze postawione zagadnienie, oraz użył do ich rozwiązania właściwej metody. Przyjął właściwie uzasadnione założenia modernizacji sprzętu we współpracy z przemysłem, dodając kilka elementów sprzętowych z oprogramowaniem i osiągając bardzo dobre wyniki w zmniejszeniu zapotrzebowania systemu referencyjnego na energię.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność pracy, i dorobek własny Autora polega na:

- autorskim udoskonaleniu referencyjnych urządzeń firmowych podlegających modernizacji w ramach realizowanego projektu zleconego,
- opracowanie autorskiego nisko-mocowego interfejsu radiowego,
- opracowaniu oprogramowania umożliwiającego realizację szeregu nowych funkcji w mobilnej sieci czujnikowej monitorującej ruch kolejowy,
- konstrukcji urządzenia lokalizacyjnego, kompatybilnego z wymagającymi warunkami pracy w środowisku kolejowym,
- uzyskanie w wyniku projektu znacznej redukcji zużycia energii przeznaczonej na komunikację z chmurą,
- opracowanie metody tworzenia lokalnej sieci ad-hoc obsługującej funkcjonalność projektowanego systemu, oraz zbudowanie jej modelu probabilistycznego,
- opracowanie metody synchronizacji czasu dla urządzeń lokalizujących,
- opracowaniu algorytmu sprawnej agregacji rozproszonych danych w celu zmniejszenia liczby wysokoenergetycznych instancji transmisyjnych,
- opracowanie podsystemu wybudzania lokalizatorów sygnałem radiowym (patent).

Podsumowując, oryginalność rozprawy polega na zbudowaniu przez Autora pełnego, sprzętowo – programistycznego, działającego systemu funkcjonalnego bazującego na zastanym referencyjnym rozwiązaniu przemysłowym.

Pozycja rozprawy do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową jest bardzo aktualna. Rozprawa sytuuje się w obszarze szybko rozwijającej się dziedzinie przemysłowego Internetu Przedmiotów i stanowi w ściśle zdefiniowanym wąskim zakresie jego rozwój.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Układ logiczny pracy jest następujący. Autor przedstawia motywację i tło realizacji pracy, definiuje tezy a następnie cele realizacji pracy, opisuje bardzo wymagające środowisko aplikacyjne jakim jest technika kolejowa, koncentruje się na systemie lokalizacyjnym i problemach odczytu danych oraz sprawności energetycznej, proponuje rozwiązanie ograniczające zużycie energii, projektuje innowacje sprzętowe i programistyczne, wykonuje działający system i dokonuje pomiarów, potwierdzając wypełnienie założeń. Recenzent uznaje taki układ pracy i sposób przedstawienia problemu a następnie uzyskanych wyników za prawidłowy.

Podsumowując, autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników pracy badawczej. Do formy redakcyjnej pracy recenzent nie ma zastrzeżeń. Praca jest napisana zwięźle i jasno. Fragmenty opisowe, przegląd literatury i przedstawienie tła i szerszego obszaru badawczego są zarysowane skrótowo ale wystarczająco. Natomiast opis prac własnych projektowych, konstrukcyjnych i pomiarowych są odpowiednio obszerne. Rysunki są czytelne, wykonane w jednakowym stylu.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa była ustawiona przez warunki realizacyjne w bardzo konkretny sposób, określone w znacznej mierze przez zamówienie przemysłowe i realizowany projekt zamawiany. Nie mogła być zbyt innowacyjna, ani zbyt zachowawcza. To oczywiście nie jest wadą tej pracy. Po prostu taki charakter mają prace wykonywane na zlecenie przemysłu i dokładnie konsultowane na każdym etapie wykonywania. Być może taki wąski dopuszczalny margines działania badawczego w jakiś sposób mógł ograniczyć własną, w innym przypadku mniej ograniczoną, inwencję Autora.

7. Pytania do Autora pracy

Rozwiązania własnościowe mają wady i zalety. Jednak niezaprzeczone zalety posiadają rozwiązania wysoce standaryzowane, a szczególnie te korzystające z powszechnych standardów przemysłowych. Praca ewidentnie lokuje się w obszarze przemysłowego Internetu Przedmiotów IIoT. Dodatkowo jest umiejscowiona w obszarze brzegowym IIoT. Te obszary brzegu, a następnie mgły i chmury, są znormalizowane już obecnie w znacznym stopniu, choć oczywiście ze względu na względną nowość tematyki, te standardy ewoluują. Grupa istotnych zagadnień dotyczy wykorzystania w takiej pracy, na przykład, standaryzowanych rodzajów pracy IoT jak tryb oszczędzania energii PSM, rozszerzonego czasu braku odbioru sygnału eDRX, zwiększenia zasięgu CE, także niezawodnych, wysokowydajnych, niskoenergetycznych i oszczędnych sygnałowo protokołów z klasy podobnej np. do NB-IoT, IETF 6LoWPAN, eMTC ulepszonej komunikacji M2M. W technice 3GPP dostęp można kontrolować poprzez ustawianie klas. Sieć wysyła mapę bitową o rozszerzonym dostępie EAB. Wąskopasmowy oszczędny IoT nie zagraża usługom szerokopasmowym. Dla urządzeń bateryjnych wprowadzono bardzo uproszczoną w porównaniu z LTE 1 klasę modemów LTE 0. Standaryzowany jest tryb głębokiego uśpienia PSM. Dostępna jest także klasa LTE M1, niezależnie od NB-IoT. Standaryzowana jest funkcja redukcji mocy eDRX pozwalająca na oczekiwanie na dane w uśpieniu obecnie do ok. 3 godzin. Dalsze udoskonalenia i standaryzacje są oznaczone jako feMTC i eNB-IoT. Komentarza wymagałby powszechnie stosowany protokół XMPP i MQTT-SN optymalizowany do obsługi M2M, sieci czujnikowych i aplikacji mobilnych, tym bardziej że Mosquito jest brokerem MQTT o otwartym kodzie oprogramowania, a więc tanim i gotowym do zastosowania. Dostępne są proste, niektóre komunikatowe, protokoły jak SMCP wersja CoAP dla zastosowań wbudowanych, STOMP, XMPP, XMPP-IoT, AMQP, LLAP – lekki tekstowy protokół automatyki, itp. Komentarza wymaga standard RESTful i protokół multicast CoAP o bardzo niewielkiej nadmiarowości, oszczędny, obsługujący urządzenia IoT o bardzo ograniczonych zasobach.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Rozprawa doktorska bazuje na projekcie naukowo-technicznym realizowanym na zlecenie i we współpracy z czołową firmą produkującą sprzęt radiowy dla kolejnictwa. W trakcie realizacji pracy sprzęt firmowy został unowocześniony w kierunku przygotowania

go do współdziałania z systemem IoT. Odrębną kwestią jest popularyzacja tego rozwiązania poprzez wprowadzenie do produkcji przez firmę. Jednak z punktu widzenia uczelnianego praca jest wzorem przydatności dla nauk technicznych i potencjalnie także dla przemysłu. Z jednej strony porusza aktualne zagadnienia badawcze i techniczne, a z drugiej posiada znaczny praktyczny potencjał aplikacyjny, możliwy do wykorzystania natychmiast.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z nadmiarem
- e/ **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**

Wnioskuje o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów procesu doktoryzowania.

W przypadku pozytywnego przebiegu obrony, a w tym prezentacji i otwartej dyskusji jestem skłonny wnioskować o przyznanie doktorantowi wyróżnienia.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'R. Kuczyński', written in a cursive style.