

Wrocław, 2023.05.10

Dr hab. inż. Waldemar Dołęga prof. uczelni
Katedra Energoelektryki
Wydział Elektryczny

Politechnika Wroclawska
50-370 Wrocław
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tel. (71) 3203465
fax (71) 3202656
e-mail: Waldemar.dolega@pwr.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Zagrajka
pt. „Analiza koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców
końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu
elektroenergetycznego”

”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej prof. dra hab. inż. Tomasza Stareckiego, przekazane pismem z dnia 21.03.2023 wraz z egzemplarzem rozprawy doktorskiej, a otrzymanym w dniu 27.03.2023.

1. Przedmiot rozprawy

Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, które jest jednym z podstawowych celów polityki energetycznej państwa, obejmuje zdolność systemu elektroenergetycznego do zapewnienia bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej oraz równoważenia dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię.

Poziom bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w znacznym stopniu zależy od właściwego funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), a to wymaga m.in. jego pełnej elastyczności, a więc zdolności systemu elektroenergetycznego do reagowania na zmiany zapotrzebowania i wytwarzania energii elektrycznej. Można to realizować w tradycyjny sposób m.in. przez: sterowanie źródłami energii elektrycznej, zarządzanie stroną popytową (DSM), zmianę struktury sieci przesyłowej i dystrybucyjnej czy zarządzanie energią elektryczną z magazynów energii. W kontekście intensywnego rozwoju elektromobilności można wykorzystać fakt, że każdy pojazd elektryczny stanowi mobilny magazyn energii elektrycznej. Posiada bowiem możliwość gromadzenia energii elektrycznej w baterii i wykorzystania jej w późniejszym czasie na potrzeby przemieszczenia się lub przesłania jej z powrotem do sieci elektroenergetycznej.

Problematyka wykorzystania baterii pojazdów elektrycznych na potrzeby systemów elektroenergetycznych jest od kilku lat w centrum zainteresowania różnych zagranicznych ośrodków naukowo-badawczych, czego efektem jest bardzo wiele publikacji z tego zakresu dotyczących różnych technologii: V2X (ang. *Vehicle-to-everything* – pojazd do wszystkiego), V2G (ang. *Vehicle-to-grid* – pojazd do systemu elektroenergetycznego), V2B/V2H (ang. *Vehicle-to-building/home* – pojazd do budynku/domu), V2V (ang. *Vehicle-to-vehicle* – pojazd do pojazdu) oraz V2L (*Vehicle-to-load* – pojazd do odbioru). Znajdują się wśród nich m.in. publikacje

dotyczące różnorodnych aspektów wykorzystania pojazdów elektrycznych w nowoczesnych rozwiązaniach systemów elektroenergetycznych w tym wykorzystania technologii V2X.

Problematyka elektromobilności stanowi również centrum zainteresowania różnych krajowych ośrodków naukowo-badawczych i rozwijana jest nie tylko na Politechnice Warszawskiej ale również m.in. na: Politechnice Wrocławskiej, Politechnice Gdańskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Mimo, że zagadnienia dotyczące elektromobilności wśród których znajdują się m.in. różnorodne aspekty wykorzystania baterii pojazdów elektrycznych w lokalnych systemach elektroenergetycznych są bardzo popularne w sferze naukowo-badawczej, to jednak waga, złożoność i wieloaspektowość problemu, ogromny postęp techniczny i technologiczny w zakresie rozwiązań pojazdów elektrycznych i infrastruktury technicznej powiązanej z nimi oraz krajowe uwarunkowania techniczne, ekonomiczne, prawne i społeczne w obszarze elektromobilności sprawiają, że istnieje potrzeba opracowania spójnej koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego, która może mieć zastosowanie w warunkach krajowych. Dlatego podjęcie tematu w ramach rozprawy doktorskiej przez Doktoranta było w pełni uzasadnione i właściwe. Doktorant znalazł we wspomnianym obszarze naukowo-badawczym własny obszar realizując oryginalny, wartościowy i ważny dla gospodarki kraju program badawczy pozwalający na stworzenie nowego spójnego rozwiązania umożliwiającego poprawę elastyczności systemu elektroenergetycznego zarówno na poziomie lokalnym jak i regionalnym poprzez realizację usług rozładowania pojazdów elektrycznych. Pozwala to na uwolnienie potencjału pojazdów elektrycznych jako mobilnego magazynu energii w procesach zasilania odbiorców końcowych, regulacji parametrów systemu elektroenergetycznego czy dostarczenia energii innemu pojazdowi.

Program realizowany przez Doktoranta dotyczy bezpośrednio ustawodawcy (Sejmu RP), organu administracji rządowej (Ministra Klimatu i Środowiska), regulatora (Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki) oraz przedsiębiorstw energetycznych: Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD) i Operatora Systemu Przesyłowego (OSP).

Przeprowadzone przez Doktoranta badania mogą być wykorzystane do realizacji usług elastyczności systemu elektroenergetycznego poprzez rozładowanie pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych. Ponadto mogą być wykorzystane do określenia regulacji i rozwiązań prawnych, organizacyjnych, technicznych i ekonomicznych w tym obszarze w przyszłości.

2. Przegląd treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy łącznie 274 stron, 94 tabel, 70 rysunków i 162 pozycji literaturowych. Składa się z 9-ciu rozdziałów zasadniczych poprzedzonych streszczeniem w języku polskim, streszczeniem w języku angielskim i spisem ważniejszych oznaczeń i skrótów oraz uzupełnionych bibliografią, spisem rysunków, spisem tabel i załącznikami.

W rozdziale 1 (Wstęp) przedstawiono problematykę rozwoju elektromobilności i elastyczności systemu elektroenergetycznego, która stanowi obszar badawczy Doktoranta, oraz tezę, cel, zakres i strukturę rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 2 (Przegląd zagadnień dotyczących technologii V2X) dokonano syntetycznej ogólnej analizy prac badawczych z obszaru technologii V2X, V2G i V2B w okresie 2010-2022. Przeanalizowano dokładnie prace dotyczące aspektów technicznych technologii V2G w kontekście integracji pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi oraz technologii V2B w kontekście integracji pojazdów elektrycznych z budynkami biurowymi i mieszkalnymi. Ponadto szczegółowo omówiono aspekty prawne technologii V2G na

poziomie unijnym i krajowym. Dodatkowo przeanalizowano dokładnie prace dotyczące aspektów ekonomicznych i organizacyjnych technologii V2G.

W rozdziale 3 (Badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X) przedstawiono podstawowe informacje o realizowanym przez Doktoranta badaniu ankietowym dotyczącym elektromobilności i technologii V2G/V2X, zestawienie zadanych pytań w tym badaniu oraz odpowiedzi osób ankietowanych na wybrane zadane pytania i ich analizę.

W rozdziale 4 (Koncepcja programu usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci elektroenergetycznych) przedstawiono szczegółowo podstawowe informacje o programie V2X, strukturę podmiotową i przedmiotową tego programu oraz kontraktowanie usług i koszyk usług w ramach tego programu. Przy opisie struktury przedmiotowej programu V2X dużo uwagi poświęcono na zaprezentowanie modelu usługi V2X oraz procesowi świadczenia usług V2X dla usługobiorców. Przy opisie kontraktowania usług V2X dokładnie przedstawiono proces składania zarówno propozycji produktu przez usługobiorców jak i ofert na wykonanie usługi przez uczestników programu V2X. W ramach koszyka usług V2X zaprezentowano usługi świadczone zarówno dla odbiorcy końcowego jak i Operatora Systemu Dystrybucyjnego.

W rozdziale 5 (Algorytmy poszukiwania pojazdów do świadczenia usług V2X) przedstawiono obszar działania dostawcy usług V2X oraz zaprezentowano algorytmy poszukiwania pojazdów w ramach procedur ofertowania *early-bid* i ofertowania strefowego oraz uzupełniającego ofertowania strefowego z monitoringiem przyjazdu pojazdów elektrycznych uczestniczących w programie V2X.

W rozdziale 6 (Założenia do modelu ekonomicznego) przedstawiono podstawowe założenia dla modelu ekonomicznego programu usług rozładowania pojazdów elektrycznych. Zaprezentowano modele rozliczania usługobiorcy i uczestnika programu V2X, modele obliczania efektywności energetycznej dostawcy usług V2X oraz sposób obliczania kar zarówno dla usługodawców jak i usługobiorców.

W rozdziale 7 (Parametryzacja wybranej grupy usług V2X świadczonych dla odbiorców końcowych) przedstawiono podstawowe informacje o dwóch rodzajach usług harmonogramowanej - rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego oraz interwencyjnej - interwencyjne rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego. Omówiono dokładnie wyznaczenie: wolumenu energii elektrycznej dla wspomnianych grup usług V2X, prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia, prawdopodobieństwa realizacji wybranej grupy usług V2X, od strony uczestnika programu V2X oraz wartości ekonomicznych dla wspomnianych grup usług V2X.

W rozdziale 8 (Wyniki badań) przedstawiono szczegółowo walidację mechanizmów kontraktowania pojazdów elektrycznych uczestniczących w programie V2X oraz przeprowadzono analizę ekonomiczną realizacji usług V2X dla odbiorcy końcowego. W ramach walidacji przedstawiono: założenia, obszar działania dostawcy usług V2X, ofertowany produkt, wybrane przypadki wyboru pojazdów elektrycznych uczestniczących w programie V2X do świadczenia usługi V2X oraz dokonano podsumowania wyników symulacji. W ramach analizy ekonomicznej przedstawiono: cel i założenia, wyznaczenie zbioru pojazdów elektrycznych V2X, wyznaczenie wolumenu energii elektrycznej zabezpieczanego przez usługi V2X, rozliczenie usługobiorcy i usługodawcy, obliczenie efektywności gospodarczej dostawcy usług V2X, optymalizację stawek za udostępnienie energii elektrycznej w wybranych przypadkach oraz dokonano podsumowania analizy.

W rozdziale 9 (Wnioski końcowe) przedstawiono podsumowanie badań, osiągnięcia naukowe Doktoranta i przyszłe planowane prace badawcze Doktoranta w obszarze elektromobilności.

W rozdziale 10 (Bibliografia) przedstawiono obszerną bibliografię, która obejmuje 162 pozycje literaturowe. Znajdują się wśród nich: krajowe i unijne regulacje prawne, monografie,

podręczniki akademickie, artykuły, referaty, informacje statystyczne i informacje techniczne związane z przedmiotem badań realizowanym przez Doktoranta.

W rozdziale 11 (Spis rysunków) przedstawiono spis rysunków zamieszczonych w rozprawie doktorskiej, który obejmuje 70 pozycji.

W rozdziale 12 (Spis tabel) przedstawiono spis tabel zamieszczonych w rozprawie doktorskiej, który obejmuje 94 pozycje.

W rozdziale 13 (Załączniki) przedstawiono 6 załączników w których zaprezentowano: wyniki badania ankietowego; proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie *early-bid*; test poprawności planowania; proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie ofertowania strefowego, proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego oraz tabele realizowalności i opłacalności usług V2X w przeprowadzonych symulacjach ekonomicznych.

3. Ocena merytoryczna treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest bardzo wartościowym, innowacyjnym, oryginalnym i niezwykle dopracowanym w każdym elemencie opracowaniem naukowym zarówno pod względem poznawczym jak i praktycznym, zawierającym obszerne i ciekawe wyniki badań analitycznych i symulacyjnych.

Prawidłowo uzasadniono cel badań polegający na opracowaniu koncepcji programu usług udostępnienia pojemności baterii pojazdu elektrycznego dla potrzeb odbiorców końcowych oraz wykonaniu analizy efektywności gospodarczej przedsiębiorstwa energetycznego zajmującego się zarządzaniem takim programem.

Właściwie sformułowano tezę badawczą rozprawy w brzmieniu: „Do zabezpieczenia dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych można wykorzystać energię zgromadzoną w akumulatorach pojazdów elektrycznych, tworząc odpowiedni program świadczenia usług V2X oraz kompleksową metodykę oceny opłacalności ekonomicznej zarówno dla odbiorcy, właściciela pojazdu elektrycznego, jak również przedsiębiorstwa energetycznego, w której mogą być wykorzystane wskaźniki operacyjnej efektywności gospodarczej EBIT i EBITDA oraz wskaźniki wartości energii niedostarczonej VoLL lub VoLA.” którą w pełni udowodniono.

Właściwie określono zagadnienia naukowe do realizacji w ramach rozprawy doktorskiej które obejmują:

- „Opracowanie koncepcji programu świadczenia usług rozładowania pojazdów elektrycznych, w celu planowanego i nieplanowanego zaspokajania potrzeb energetycznych odbiorców końcowych;
- Utworzenie modeli matematycznych oceny poziomu wykonania usługi rozładowania pojazdu elektrycznego, a także jej rozliczenia z punktu widzenia odbiorcy końcowego i użytkownika pojazdu;
- Parametryzacja usług udostępnienia pojemności baterii EV, z uwzględnieniem elementów probabilistycznych dostępności pojazdów elektrycznych w obszarze działania operatora usług;
- Opracowanie algorytmów poszukiwania pojazdów elektrycznych do świadczenia usług rozładowania EV;
- Opracowanie metodyki obliczania opłacalności przedsięwzięcia, polegającego na wprowadzeniu w danym obszarze programu usług rozładowania EV, z wykorzystaniem wskaźników określających operacyjną efektywność gospodarczą przedsiębiorstwa, tj. EBIT i EBITDA.”

Tak więc, zarówno cel, teza rozprawy oraz zagadnienia naukowe realizowane w jej ramach zostały dostatecznie jasno sformułowane przez Doktoranta.

Niezwykle cenna jest realizacja w ramach rozprawy doktorskiej wszystkich pięciu wspomnianych zagadnień naukowych, które są bardzo istotne z punktu widzenia kształtowania regulacji i rozwiązań prawnych, organizacyjnych, technicznych i ekonomicznych w tym obszarze zarówno obecnie jak i w przyszłości.

Problem naukowo-badawczy przedstawiony przez Doktoranta w rozdziale 1 (Wstęp) został rozwiązany w rozdziałach: 4 (Koncepcja programu usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci elektroenergetycznych), 5 (Algorytmy poszukiwania pojazdów do świadczenia usług V2X), 6 (Założenia do modelu ekonomicznego), 7 (Parametryzacja wybranej grupy usług V2X świadczonych dla odbiorców końcowych) oraz załącznikach: 2 (Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie *early-bid*), 3 (Test poprawności planowania), 4 (Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie ofertowania strefowego) i 5 (Proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego). Następnie został zweryfikowany na drodze symulacji w rozdziale 8 (Wyniki badań) i załączniku 6 (Tabele realizowalności i opłacalności usług V2X w przeprowadzonych symulacjach ekonomicznych). Cała realizacja problemu naukowo-badawczego została podsumowana w rozdziale 9 (Wnioski końcowe).

Rozwiązanie problemu poprzedziły wszechstronna analiza zagadnień prawnych, technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych dotyczących technologii V2X przedstawiona w rozdziale 2 (Przegląd zagadnień dotyczących technologii V2X) oraz badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X przedstawione w rozdziale 3 (Badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X) i załączniku 1 (Wyniki badania ankietowego).

Doktorant przeprowadził złożone i bardzo liczne badania analityczne i symulacyjne za pomocą programu MS Excel, które umożliwiły Mu realizację wszystkich wspomnianych zagadnień naukowych i ich właściwą weryfikację obliczeniową.

Opracowana przez Doktoranta koncepcja usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako element powiększający zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego jest rozwiązaniem nowatorskim i ma dużą wartość zarówno poznawczą jak i praktyczną. Może być wykorzystana w różnych obszarach przez ustawodawcę, regulatora, właściwy w sprawach elektroenergetyki organ administracji rządowej oraz przedsiębiorstwa energetyczne (operatora systemu przesyłowego, operatorów systemów dystrybucyjnych) w procesie kształtowania odpowiednich regulacji i rozwiązań prawnych, technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych dotyczących usług elastyczności systemu elektroenergetycznego z wykorzystaniem pojazdów elektrycznych.

Lista głównych elementów złożonej pracy badawczej realizowanej w ramach rozprawy doktorskiej przez Doktoranta wiąże się bezpośrednio, ze wspomnianymi już wcześniej zagadnieniami naukowymi, które warunkowały osiągnięcie celu pracy.

4. Ocena struktury rozprawy doktorskiej, podziału treści i poprawności językowej

Praca napisana jest w sposób niezwykle staranny, jasny i zrozumiały przy użyciu bardzo dobrego języka naukowo-technicznego. Doktorant używa właściwej terminologii i zrozumiałych zwrotów technicznych. Przedstawia problematykę bardzo płynnie. Liczba błędów gramatycznych i edycyjnych (literówek) jest bardzo mała. Błędy interpunkcyjne nie występują. Szata graficzna pracy jest właściwa. Praca jest bardzo dobrze zilustrowana, zawiera 70 rysunków i 94 tabele.

Struktura pracy oraz podział treści na rozdziały jest właściwa i została przedstawiona w punkcie 2 recenzji (Przegląd treści rozprawy).

Na początku rozprawy doktorskiej w rozdziale 1 zasygnalizowano obszar badawczy realizowany przez Doktoranta obejmujący z jednej strony problematykę rozwoju elektromobilności, a z drugiej zagadnienie elastyczności systemu elektroenergetycznego.

Ponadto przedstawiono tezę, cel, zakres i strukturę rozprawy doktorskiej. Stanowi to naturalne miejsce, gdzie powinno nastąpić umiejscowienie własnych zamierzeń Doktoranta, które chce zrealizować w ramach rozprawy doktorskiej.

Rozdziały 2, 3 i załącznik 1 mają walor poznawczy i analityczny i stanowią podbudowę teoretyczną dla realizowanych badań nakreślając różnorodne zagadnienia dotyczące technologii V2X. Przeprowadzone badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X i ich wyniki zostały wykorzystane przy tworzeniu spójnej koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego.

Przedstawiona we wspomnianych rozdziałach szeroka i dogłębna analiza źródeł literaturowych w zakresie prac naukowo-badawczych oraz stanu wiedzy w obszarze integracji pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi jest właściwa i nie budzi zastrzeżeń. Ponadto badania ankietowe dotyczące technologii V2G/V2X, ich wyniki, wszechstronna analiza i wnioski z nich wynikające są również właściwe i nie budzą jakichkolwiek zastrzeżeń.

Rozdziały 4, 5, 6, 7, 8 i załączniki 2, 3, 4, 5 i 6 dotyczą bezpośrednio zaproponowanego przez Doktoranta rozwiązania problemu naukowo-badawczego i przeprowadzonych badań. Doktorant przedstawił w nich: koncepcję programu usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci elektroenergetycznych; proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie *early-bid*; proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie ofertowania strefowego; proces kontraktowania pojazdów elektrycznych w mechanizmie uzupełniającego ofertowania strefowego; test poprawności planowania; algorytmy poszukiwania pojazdów do świadczenia usług V2X; założenia do modelu ekonomicznego; parametryzację wybranej grupy usług V2X świadczonych dla odbiorców końcowych oraz założenia i wyniki zrealizowanych symulacji z wykorzystaniem programu MS Excel obejmujących walidację mechanizmów kontraktowania pojazdów elektrycznych uczestniczących w programie V2X, analizę ekonomiczną realizacji usług V2X dla odbiorcy końcowego oraz analizę realizowalności i opłacalności usług V2X w przeprowadzonych symulacjach ekonomicznych.

Problem naukowo-badawczy postawiony przez Doktoranta został w pełni rozwiązany przy użyciu właściwej metodyki. Przyjęte i zastosowane przez Doktoranta założenia są uzasadnione i właściwe.

Praca została zakończona (rozdział 9) wnioskami końcowymi w ramach których przedstawiono ciekawe podsumowanie związane z realizacją pracy doktorskiej, zaprezentowano osiągnięcia własne Doktoranta oraz nakreślono kierunki dalszych prac związanych z rozwojem technologii V2X. Przedstawione przez Doktoranta kierunki określają przyszłe obszary Jego aktywności naukowo-badawczej, dla których przedstawiona przez Doktoranta ciekawa, wartościowa, innowacyjna i oryginalna rozprawa doktorska stanowi początek tej aktywności.

W rozdziale 10 przedstawiono obszerną bibliografię do rozprawy doktorskiej, która obejmuje 162 pozycje literaturowe. Znajdują się wśród nich: krajowe i unijne regulacje prawne, monografie, podręczniki akademickie, artykuły, referaty, informacje statystyczne i informacje techniczne związane z przedmiotem badań realizowanym przez Doktoranta. Pozycje te są właściwie dobrane i odpowiednie w stosunku do tematyki rozprawy doktorskiej. Ponadto w zdecydowanej większości są to aktualne publikacje opracowane w ciągu ostatnich 5 lat w okresie 2018-2022, w zdecydowanej większości napisane w języku angielskim i opublikowane w renomowanych czasopismach branżowych znajdujących się na liście JCR. Publikacje mają właściwy opis bibliograficzny i zamieszczone są w kolejności alfabetycznej. W tekście znajdują się odwołania do zamieszczonych publikacji, a Doktorant cytuje je obszernie, prawidłowo i we właściwych miejscach rozprawy doktorskiej. Świadczy to

jednoznacznie o ich dobrej znajomości przez Doktoranta i wskazuje na właściwą realizację przez Doktoranta analizy źródeł literaturowych.

Rozprawa doktorska opracowana przez Doktoranta jednoznacznie wskazuje, że Doktorant w bardzo dobrym stopniu opanował umiejętność redagowania rozpraw i tekstów naukowych. Lektura rozprawy jest ciekawa i interesująca. Doktorant bardzo dobrze czuje się w tematyce dotyczącej elektromobilności i wykorzystania technologii V2X w elektroenergetyce. Doktorant ma bardzo dużą wiedzę w tych obszarach i potrafi to przedstawić w sposób jasny i zrozumiały w tekście. Z powodzeniem można więc Doktoranta określić mianem eksperta we wspomnianych obszarach.

5. Główne osiągnięcia Doktoranta

Lista istotnych własnych osiągnięć naukowych Doktoranta uzyskanych w ramach rozprawy doktorskiej zawiera 10 elementów wymienionych w rozdziale 9 (Podsumowanie), podrozdziale 9.2 (Osiągnięcia naukowe autora) na stronach 210 i 211 rozprawy doktorskiej. Należą do nich: utworzenie koncepcji programu usług udostępnienia pojemności baterii pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych; utworzenie modelu realizacji usługi V2X uwzględniającego elementy probabilistyczne; opracowanie algorytmów poszukiwania pojazdów elektrycznych, mogących świadczyć usługi V2X, opartych o wydzielone strefy na obszarze siatki kwadratowej; opracowanie mechanizmów kontraktowania uczestników Programu V2X, w tym zaproponowanie koncepcji trzech mechanizmów: ofertowania wstępnego, ofertowania strefowego, uzupełniającego ofertowania strefowego; zbudowanie modelu ekonomicznego rozliczenia odbiorców końcowych za zrealizowane usługi V2X, uwzględniającego wskaźniki z zakresu niezawodności systemów elektroenergetycznych VoLL i VoLA, które przyjęto jako wartości referencyjne stawek za dostarczoną kWh energii; zbudowanie modelu ekonomicznego rozliczenia użytkowników pojazdów elektrycznych realizujących usługi V2X, z uwzględnieniem jednej stawki bazowej równej cenie ładowania w ogólnodostępnych stacjach ładowania oraz powiększanej o współczynniki wynikające z prawdopodobieństw dostępności pojazdów w danym przedziale czasowym; wykonanie parametryzacji grupy usług V2X dotyczących zapewnienia rezerwowego zasilania odbiorców końcowych za pomocą pojazdów elektrycznych; walidacje stworzonych algorytmów w badaniach symulacyjnych oraz analizy zaproponowanych modeli ekonomicznych, mając na uwadze parametry usług V2X; optymalizacje stawek referencyjnych za udostępnianą energię elektryczną dla odbiorców końcowych oraz określenie rynku usług rozładowania pojazdów elektrycznych w projektowanych rynkach usług elastyczności.

W ocenie Recenzenta lista ta jest właściwa i odzwierciedla w pełni znaczne osiągnięcia Doktoranta.

Głównym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie spójnej i nowatorskiej koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego, która ma duży potencjał wdrożeniowy i może stanowić ogromną pomoc dla ustawodawcy, regulatora, właściwych organów administracji rządowej, operatorów systemów dystrybucyjnych i operatora systemu przesyłowego w procesie określenia regulacji i rozwiązań w tym obszarze w przyszłości.

6. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

1. Str. 10 – W spisie treści brak jest punktu 7.4. Wyznaczanie prawdopodobieństwa realizacji wybranej grupy usług V2X, od strony Uczestnika Programu V2X. Po punkcie 7.3

Wyznaczanie prawdopodobieństwa realizacji usługi V2X w miejscu jej świadczenia pojawia się od razu punkt 7.4.1. Metoda „ankietowa”.

2. Str. 20, 21, 26 – Doktorant nadużywa słów pochodzących bezpośrednio z języka angielskiego, co w niektórych przypadkach brzmi niewłaściwie i sztucznie, np. do określenia korzyści zamiast słowa „korzyść” używa słów *benefit* i *profit*; zamiast słowa „koncepcja” używa słowa *koncept*.

3. Str. 23-35 – W rozdziale 2 Przegląd zagadnień dotyczących technologii V2X Doktorant przeprowadził przegląd literatury z ostatnich lat dotyczący technologii V2X opierając się w zasadzie tylko na źródłach zagranicznych, bez przedstawienia prac realizowanych w kraju z wyjątkiem prac realizowanych na Politechnice Warszawskiej w których uczestniczył jako członek zespołu. Tymczasem problematyka wykorzystania technologii V2X jest popularna w kraju i rozwijana w wielu krajowych ośrodkach naukowo-badawczych m.in. na: Politechnice Wrocławskiej, Politechnice Gdańskiej czy Akademii Górniczo-Hutniczej, czego efektem są nie tylko ciekawe publikacje w renomowanych i uznanych, zagranicznych i krajowych czasopismach naukowych, ale również wartościowe rozprawy doktorskie.

Proszę o przedstawienie przesłanek, które zadecydowały o ograniczeniu analizy literaturowej tylko do prac badawczych realizowanych zagranicą i publikowanych w wybranych czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych. Ponadto proszę o podanie przykładów dotyczących wykorzystania technologii V2X opracowanych w kraju oraz wybranych krajowych publikacji dotyczących tej problematyki.

4. Str. 23 – W tabeli 2.1. Liczba prac naukowych dotyczących technologii V2X, V2G, V2B w portalu ScienceDirect w latach 2010 – 2022 Doktorant podał m.in. łączną liczbę prac naukowych dotyczących technologii: V2X, V2G I V2B. Proszę o wyjaśnienie czego dotyczy łączna liczba prac i jakiego okresu, w sytuacji gdy Doktorant podał sumę z lat 2010-2022 dla prac naukowych dotyczących technologii: V2X, V2G I V2B.

5. Str. 24 – W ramach analizy aspektów technicznych dotyczących integracji pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi w kontekście technologii V2X/G Doktorant bardzo ogólnie omawia problemy dotyczące jakości energii elektrycznej. Te problemy są bardzo ważne, rodzą negatywne skutki i powinno się im poświęcić więcej uwagi, dlatego proszę o szersze przedstawienie wpływu ładowania pojazdów elektrycznych na pracę systemu elektroenergetycznego w kontekście jakości energii elektrycznej.

6. Str. 55-56 – W tabeli 4.1. Podmioty i ich role w Programie V2X przedstawiono podmioty, ich role w programie V2X, potencjalnych graczy i uwagi Doktoranta. Niestety zaproponowane przez Doktoranta rozwiązania są niemożliwe do realizacji w obecnych uwarunkowaniach prawnych i mają charakter raczej koncepcji (wizji) Doktoranta. Proszę o przedstawienie jakie zmiany należy wprowadzić i w jakich konkretnych dokumentach prawnych i technicznych: ustawach, aktach wykonawczych do ustaw (rozporządzeniach), instrukcji ruchu i eksploatacji sieci przesyłowej, instrukcjach ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej i innych, aby Program V2X mógł właściwie funkcjonować.

7. Str. 75 – W ramach analizy koszyka usług V2X Doktorant stwierdza, że warunkiem brzegowym do realizacji usług V2X świadczonych na rzecz OSD jest powstanie ram prawnych w obszarze usług elastyczności sieci, gdyż tylko one mogą stanowić dla OSD zewnętrzną pomoc w procesie bilansowania i zarządzania systemem elektroenergetycznym dystrybucyjnym. Proszę o przedstawienie jakie zmiany należy wprowadzić i w jakich konkretnych dokumentach prawnych: ustawach i aktach wykonawczych do ustaw (rozporządzeniach), aby usługi V2X świadczone na rzecz OSD mogły być realizowane.

8. Str. 79 – W ramach analizy usług świadczonych dla OSD Doktorant stwierdza, że implementacja usług V2X wymaga nie tylko utworzenia katalogu usług elastyczności, ale także korekt w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej. Ponadto stwierdza, że poza działaniami w obszarze prawnym OSD powinien także dokonać istotnych

działań modernizacyjnych, aby uwolnić potencjał świadczenia usług V2X jako zasobów elastyczności, np. poprzez dostosowanie terenu wokół stacji SN/nN i wyposażenie go w punkty ładowania V2X. Proszę o przedstawienie jakie zmiany należy wprowadzić w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, aby usługi V2X świadczone na rzecz OSD mogły być realizowane. Ponadto proszę o wyjaśnienie jak Doktorant wyobraża sobie dostosowanie terenu wokół stacji SN/nN i wyposażenie go w punkty ładowania V2X w sytuacji, gdy w kraju jest użytkowanych 271571 stacji elektroenergetycznych SN o zróżnicowanych rozwiązaniach technicznych i konstrukcyjnych. Znajdują się wśród nich stacje: prefabrykowane (betonowe i metalowe, kontenerowe, zagłębione i podziemne), wnetrzowe (wolnostojące, wbudowane, prefabrykowane budynkowe i wieżowe), kontenerowe (tymczasowe i przemieszczalne) oraz słupowe. Przy czym najczęściej w kraju użytkuje się stacje słupowe i stacje prefabrykowane kontenerowe. W zdecydowanej większości stacji nie ma możliwości lokalizacyjnych i technicznych dostosowania terenu stacji do realizacji usług V2X i wyposażenia go w punkty ładowania.

9. Str. 80 – W ramach analizy usług interwencyjnych Doktorant wyróżnia usługę *Rezerwowe zasilanie stacji elektroenergetycznej SN/nN* która polega na udostępnieniu pojemności baterii uEV w celu zapewnienia źródła zasilania dla wybranego obszaru systemu dystrybucyjnego, w czasie planowanych przerw w dostawie energii elektrycznej lub w czasie ogłoszenia przez OSD ograniczeń sieciowych. Proszę o wyjaśnienie w świetle mojego komentarza dotyczącego rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych stacji elektroenergetycznych SN/nN (uwaga 8) jakie warunki techniczne muszą być spełnione, aby możliwość realizacji wspomnianej usługi zaistniała.

10. Str. 102–103 - W ramach opisu modelu rozliczenia usługobiorcy Doktorant podaje zależność (6.4) służącą do obliczenia opłaty za gotowość, zależną od kosztu przemieszczenia się pojazdu świadczącego s -tą usługę V2X w celu jej realizacji ($K_{TEV,s}$), z kolei wspomniany koszt zależy m.in. od średniej odległości jaką przebywają uczestnicy programu V2X w odniesieniu do swoich pojazdów elektrycznych podczas świadczenia s -tej usługi V2X ($L_{uEV,s}$). Określenie średniej odległości $L_{uEV,s}$, realizowane w oparciu o wskazanie rejestratora parametrów jezdnych pojazdów elektrycznych, stanowi ogromne wyzwanie dla dostawcy usług V2X, ze względu na złożony i trudny sposób pozyskiwania danych i ich właściwą agregację, szczególnie przed uruchomieniem Programu V2X. W tym względzie niewiele poprawia się w czasie normalnego funkcjonowania Programu V2X. Czy Doktorant nie dostrzega tutaj zagrożenia dla opracowanego modelu rozliczenia usługobiorcy ?

11. Str. 107–108 - W ramach opisu modelu rozliczenia Uczestnika Programu V2X Doktorant podaje zależność (6.11) służącą do obliczenia wynagrodzenie dla V2Xus w odniesieniu do n -tego uEV świadczącego usługi V2X w trybie obowiązkowym, z kolei aby obliczyć wspomniane wynagrodzenie należy znać m.in. jednostkowy koszt degradacji baterii EV, wynikający z wykorzystania pojemności baterii w procesach świadczenia usług V2X (K_{DEG}). Proszę o wyjaśnienie jak jest wyznaczany przez Doktoranta jednostkowy koszt degradacji baterii EV K_{DEG} .

12. Str. 113 - W ramach opisu modelu efektywności ekonomicznej Dostawcy Usług V2X Doktorant formułuje zadanie optymalizacyjne zgodnie z zależnością (6.25) jako minimalizację wskaźnika EBIT (Min EBIT). Wskaźnik EBIT oznacza zysk operacyjny przedsiębiorstwa energetycznego (Dostawcy Usług V2X) z uwzględnieniem amortyzacji urządzeń i praw niematerialnych. Dlaczego Doktorant stosuje minimalizację, a nie maksymalizację tego wskaźnika ?

13. Str. 120 – Przy wyznaczaniu zapotrzebowania na energię elektryczną oraz moc dla UH-RZOK Doktorant wykorzystuje metodę wskaźnika zapotrzebowania na moc (k_z) przedstawioną zależnością (7.1). Jest to jedna z form opisujących wspomnianą metodę. Metoda ta jest prosta i wygodna, uzależnia moc zapotrzebowaną od mocy zainstalowanej i

współczynnika zapotrzebowania mocy. Niestety metoda ta została opracowana w latach 70-tych ubiegłego wieku i opiera się na danych z tego okresu, które przy obecnym poziomie rozwoju technicznego i technologicznego są nieaktualne i mało wiarygodne. Dotyczy to wartości wskaźników zapotrzebowania na moc dla grup charakterystycznych (dla wybranych gałęzi przemysłu), wskaźników równoczesności obciążeń poszczególnych grup odbiorników czy wskaźników jednoczesności mocy czynnej. Ponadto stosowanie metody (k_c) napotyka na takie trudności jak: zakwalifikowanie odbiorników do grupy charakterystycznej, co jest w wielu przypadkach niejednoznaczne; charakter pracy odbiorników tego samego rodzaju zależy od wielu czynników (gdzie pracują, w jakim procesie technologicznym są wykorzystane itd.); w miarę postępu technicznego, wprowadzania efektywniejszych procesów technologicznych i poprawy organizacji pracy zmieniają się wskaźniki zużycia energii oraz obciążenia. Dlatego stosowanie tej metody może być wykorzystane co najwyżej do zgrubnego oszacowania poziomu mocy zapotrzebowanej dla odbiorców końcowych (EndUS). Natomiast dokładne oszacowanie wymaga zastosowania przez Doktoranta innej bardziej wiarygodnej metody obliczania zapotrzebowania na moc.

14. Str. 120 – W opisie parametrów we wzorze (7.1) Doktorant określił parametr ZOD jako licznosc grupy odbiorników należących do jednego rodzaju podczas gdy powinna to być liczba odbiorników należących do jednorodnej grupy. Zastosowanie w tym przypadku słowa „licznosc” Recenzent uważa za niewłaściwe pod względem stylistycznym.

15. Str. 135–136 - W ramach opisu metodyki wyznaczania współczynników premii dla usługodawców Doktorant podaje wartości współczynnika premii z tytułu rozładowania pojazdu elektrycznego uczestniczącego w Programie V2X ($A_{M,s}$) dla usługi UH-RZOK zgodnie z zależnością (7.29) oraz dla usługi UI-RZOK zgodnie z zależnością (7.30). Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób określono wartości tych współczynników dla usług UH-RZOK i UI-RZOK.

16. Str. 137 - W ramach opisu stawek dla usługi harmonogramowej: rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego w tabeli 7.5 Doktorant określił wartości współczynników ($A_{M,UH-RZOK}$). Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób określono wartości tych współczynników.

17. Str. 179-180 – Tytuł tabeli 8.20 znajduje się na stronie 179 podczas gdy jej zawartość - na stronie następnej. Recenzent uważa, że opis „Tab. 8.20. Przeciętny roczny wolumen energii elektrycznej dostarczony przez 1 uEV dla poszczególnych grup EndUs – Poziom VII liczebności EndUs, Poziom D elektryfikacji transportu” należało umieścić na stronie 180 rozprawy doktorskiej.

Przedstawione powyżej uwagi szczegółowe i dyskusyjne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktoranta, które w odczuciu Recenzenta są znaczne.

7. Uwagi redakcyjne

Usterki redakcyjne w rozprawie doktorskiej dotyczą błędów gramatycznych i edycyjnych (literówek), błędy interpunkcyjne nie występują. Liczba tych usterek jest bardzo mała.

Błędy gramatyczne wiążą się z niewłaściwą formą: w zdaniu (str. 29) „...w tym magazynowanie energii przy użyciu pojazdów elektrycznych...”, które powinno brzmieć „...w tym magazynowania energii przy użyciu pojazdów elektrycznych...”; w zdaniu (str. 32) „...moc zainstalowana takiego magazynu jest też maksymalną moc dwukierunkowego punktu ładowania...”, które powinno brzmieć „...moc zainstalowana takiego magazynu jest też maksymalną mocą dwukierunkowego punktu ładowania...”; w zdaniu (str. 60) „...wykorzystuje się podejście probabilistyczne, która wymusza na V2Xsp poszukiwanie...”, które powinno brzmieć „...wykorzystuje się podejście probabilistyczne, które wymusza na

V2Xsp poszukiwanie...”; w zdaniu (str. 63) „Usługobiorca przesyła propozycję produktu do Dostawcy Usług V2X (V2Xsp) w celu weryfikacji możliwości realizacji takiej usługi co najmniej 24 godziny, lecz nie później niż 8 godzin przed godziną rozpoczęcia usługi.”, które powinno brzmieć „Usługobiorca przesyła propozycję produktu do Dostawcy Usług V2X (V2Xsp) w celu weryfikacji możliwości realizacji takiej usługi co najmniej na 24 godziny, lecz nie później niż 8 godzin przed godziną rozpoczęcia usługi.”; w zdaniu (str. 77 przypis 10) „Usługa może być świadczona w przypadku, gdy EndUs jest przedsiębiorstwo zarządzające flotą pojazdów elektrycznych...”, które powinno brzmieć „Usługa może być świadczona w przypadku, gdy EndUs to przedsiębiorstwo zarządzające flotą pojazdów elektrycznych...”; w zdaniu (str. 86) „...V2Xsp przechodzi o drugiego etapu selekcji...”, które powinno brzmieć „...V2Xsp przechodzi do drugiego etapu selekcji...”; w zdaniu (str. 107) „Jednakże powinny stanowić one dodatkowy, niezależny od składnik.”, które powinno brzmieć „Jednakże powinny stanowić one dodatkowy, niezależny składnik.”; w opisie wielkości i parametrów używanych we wzorach (7.3)-(7.7) (str. 121) „...średnio miesięczny wolumen energii elektryczny dostępny w pojazdach elektrycznych V2X...”, które powinno brzmieć zamiast „...średnio miesięczny wolumen energii elektrycznej dostępny w pojazdach elektrycznych V2X ...”; w opisie wielkości i parametrów używanych we wzorach (7.3)-(7.7) (str. 121) „...średni wolumen energii elektryczny dostępny w pojazdach elektrycznych V2X...”, które powinno brzmieć zamiast „...średni wolumen energii elektrycznej dostępny w pojazdach elektrycznych V2X ...”; w opisie wielkości i parametrów używanych we wzorach (7.31)-(7.33) (str. 136) „...minimalna wartość prawdopodobieństwa dostępności pojazdów elektrycznych, wynikające z braku ich używania ...”, które powinno brzmieć zamiast „...minimalna wartość prawdopodobieństwa dostępności pojazdów elektrycznych, wynikająca z braku ich używania ...”; w opisie wielkości i parametrów używanych we wzorach (7.31)-(7.33) (str. 136) „...maksymalna wartość prawdopodobieństwa dostępności pojazdów elektrycznych, wynikające z braku ich używania ...”, które powinno brzmieć zamiast „...maksymalna wartość prawdopodobieństwa dostępności pojazdów elektrycznych, wynikająca z braku ich używania ...”; w zdaniu (str. 168) „Wskaźnik ten był również wykorzystywany w innych pracach naukowych...”, które powinno brzmieć „Wskaźnik ten był również wykorzystywany w innych pracach naukowych...”; w opisie pozycji literaturowej [113] (str. 220) „...na potrzeby obliczania opłaty mocowej na...”, które powinno brzmieć „...na potrzeby obliczania opłaty mocowej...”.

Błędy edycyjne pojawiają się na str. 19 („...pojemności baterii EV...”, a powinno być „...pojemności baterii EV...”).

Ponadto błędy edycyjne wiążą się z przesunięciem tekstu: w opisie wielkości i parametrów używanych we wzorze 4.5 „...do pokrycia zamówionego zapotrzebowania na energię elektryczną;...” zamiast „...do pokrycia zamówionego zapotrzebowania na energię elektryczną;...”

Przedstawione powyżej uwagi redakcyjne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktoranta, które w odczuciu Recenzenta są znaczne.

8. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Zagrajka stanowi niezwykle wartościowe i oryginalne opracowanie, które przedstawia rozwiązanie ważnego dla funkcjonowania sektora elektroenergetycznego w kraju obecnie i w przyszłości problemu naukowego dotyczącego wykorzystania rozwoju elektromobilności w poprawie elastyczności Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

Przedstawiona przez Doktoranta koncepcja usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako element powiększający zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego poparta wszechstronnymi badaniami zarówno analitycznymi jak i symulacyjnymi jest bardzo wartościowa i interesująca, a wnioski przedstawione przez Doktoranta są ciekawe, spójne i logiczne. Mają dużą wartość poznawczą i praktyczną, bowiem opracowana przez Doktoranta koncepcja usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako element powiększający zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego może stanowić ogromną pomoc dla ustawodawcy, regulatora, właściwych organów administracji rządowej, operatorów systemów dystrybucyjnych i operatora systemu przesyłowego w procesie określenia regulacji i rozwiązań w tym obszarze w przyszłości.

Recenzowana rozprawa wykazuje ponadto bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w obszarze nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz umiejętność samodzielnego tworzenia metodyki badań oraz prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska opracowana przez mgra inż. Krzysztofa Zagrajka spełnia w pełni wymagania stawiane rozprawom doktorskim i określone w art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.), jest wybitnie dobra i zasługuje na wyróżnienie.

W związku z tym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej, osiągnięte wyniki, duży potencjał wdrożeniowy i możliwości jej wykorzystania w różnych obszarach przez ustawodawcę, regulatora, właściwy w sprawach elektroenergetyki organ administracji rządowej oraz przedsiębiorstwa energetyczne (operatora systemu przesyłowego, operatorów systemów dystrybucyjnych) w procesie kształtowania odpowiednich regulacji i rozwiązań prawnych, technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych dotyczących usług elastyczności systemu elektroenergetycznego z wykorzystaniem pojazdów elektrycznych stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy.



Waldemar DOŁĘGA

