

R E C E N Z J A

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

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 21.03.2023 r., dotyczące opracowania recenzji rozprawy doktorskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Zagrajka pod tytułem „Analiza koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego”.

Przedłożona rozprawa doktorska liczy łącznie 274 strony tekstu. W tej objętości wyróżniono 13 rozdziałów. Tą numeracją objęto zasadnicze treści rozprawy (rozdziały 1 do 9), bibliografię (rozdział 10), spis rysunków (rozdział 11), spis tabel (rozdział 12), załączniki (rozdział 13). W rozprawie zawarto również wymagane streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spis ważniejszych oznaczeń i skrótów.

3. Ocena aktualności tematyki rozprawy

Treści rozprawy skupiają się ściśle wokół tematu wykorzystania zasobów energii elektrycznej gromadzonych w pojazdach elektrycznych dla potrzeb funkcjonalnych systemu elektroenergetycznego. Temat ten stał się wyznacznikiem zawartości rozprawy, a w szczególności przeprowadzonych rozważań, przedstawionych koncepcji, wykonanych symulacji i wyciąganych wniosków.

Analizując struktury i funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego oraz powiązanych z nim urządzeń można zauważyć nowe trendy i potrzeby technologiczne w różnych aspektach ze względu na szereg czynników technicznych, ekonomicznych i środowiskowych. Jedną z wytycznych są kwestie klimatyczne, które zmieniły politykę energetyczną w wymiarze kontynentalnym i krajowym w kierunku niskoemisyjnej transformacji. Pojawił się nowy, ambitny cel redukcji emisji gazów cieplarnianych w horyzoncie 2050 r. Aby osiągnąć ten cel, m.in. w ostatnich latach następuje bardzo duży wzrost udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w tzw. miksie energetycznym energii elektrycznej wprowadzanej do systemów elektroenergetycznych. Przyłączanie tych źródeł do sieci i wykorzystanie zasobów naturalnych poprzez technologie wytwórcze jest niestety obciążone nowymi wyzwaniami stawianymi przed systemem elektroenergetycznym w postaci stabilnej i bezpiecznej pracy. Pojawia się zatem pojęcie „elastyczności systemu elektroenergetycznego” i potrzeba rozwijania tej własności. W tym obszarze intensywnie podjęto prace zmierzające do stabilizowania relacji podaży-popytu poprzez technologie magazynowania i zarządzanie popytem.

Jednocześnie wspomniane względy klimatyczne i ograniczenia emisyjne zaczęto również rozwiązywać w transporcie proponując pojazdy elektryczne (EV) jako alternatywę powszechnych pojazdów spalinowych. W ten sposób pojawia się możliwość synergii działań wynikających z czynników środowiskowych, wykorzystania produkowanej energii odnawialnej oraz możliwości kształtowania popytu na energię elektryczną. Pojawia się zatem w dużej skali jedna z najważniejszych technologii po stronie popytu, której wykorzystanie może zapewniać różne usługi pomocnicze dla stabilnej i bezpiecznej pracy systemu elektroenergetycznego. W tym zakresie zaczęły pojawiać się koncepcje i programy pilotażowe określane jako technologia pojazd-dom (V2H), pojazd-sieć (V2G) bądź szerzej jako pojazd do wykorzystania (V2X) w ramach coraz większej integracji z nowoczesnymi systemami zasilania i komunikacji.

Można zatem wnioskować, że integracja wielkoskalowa pojazdów elektrycznych z systemami elektroenergetycznymi może korzystnie wpłynąć na przejście na gospodarkę niskoemisyjną i stabilność systemu, ale stwarza również wyzwania dla skutecznej dystrybucji pojazdów elektrycznych ze względu na potencjalne obawy dotyczące prywatności użytkowników oraz trudności w radzeniu sobie z różnymi niepewnościami i dynamiczną mobilnością systemu. Ten wątek został szczególnie rozwinięty w przedmiotowej rozprawie doktorskiej.

Zainteresowanie tematem nie jest jednostkowe. Świadczy o tym liczba publikacji, które poruszają szerokie spektrum czynników towarzyszących technologii V2X. Można tu wyróżnić zainteresowania warstwą komunikacyjną, w tym interfejsów i protokołów komunikacji, warstwą konstrukcji pojazdów, w tym ich automobilnością i rozpoznawaniem możliwości samodzielnego przemieszczania się, a także warstwą energetyczną, w której można zaproponować wsparcie i współpracę z systemem elektroenergetycznym. Ten ostatni problem został przedstawiony w rozprawie ze szczególnym naciskiem na rozwiązania usług o charakterze systemowym, realizowanych za pośrednictwem pojazdów elektrycznych oraz rozliczeń tych usług.

Rozwiązanie konstrukcyjne pojazdu elektrycznego oparte na zasobniku energii wpisuje się w mobilny magazyn energii elektrycznej, gdzie wyzwaniem staje się sięgnięcie do zgromadzonej energii i wykorzystanie w systemie wg budowanych grafików. Autor rozprawy wyszedł naprzeciw wykazując rozwój zainteresowania i potencjału badawczego w świecie w tym obszarze poprzez przytoczenie liczby prac naukowych. Kilkukrotny wzrost liczby publikowanych prac na odcinku jednej dekady wpisuje się w pilne potrzeby poszukiwania nowych technologii wspierających prace systemu elektroenergetycznego.

Przedmiotowa rozprawa wpisuje się w ten dynamiczny nurt badań i zajmuje ważne miejsce w obszarze poszukiwania formuł i testowania rozwiązań praktycznych. Tym samym należy tematykę rozprawy uznać za aktualną i użyteczną, a z uwagi na przedmiot i zakres przedstawioną rozprawę można zakwalifikować do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Treści recenzowanej rozprawy można podzielić na zasadniczą, informacje dodatkowe i załączniki. Część zasadnicza została przedstawiona na 212 stronach w 9 rozdziałach.

Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do prezentowanego w rozprawie obszaru badań. W rozdziale tym Autor krótko zarysowuje technologię V2X oraz pochodne (V2G, V2B/V2H, V2V, V2L) podkreślając istotność technologii dla rozwoju nowego obszaru usług energetycznych. Dla zarysowania stanu elektromobilności w Polsce Autor zestawia dane i podział rejestrowanych pojazdów elektrycznych, co przybliży przede wszystkim tempo przyrostu liczby takich samochodów. Na tym tle zostaje wyjaśnione pojęcie „elastyczności systemu elektroenergetycznego” oraz stan formalny definicji prowadzących do pojęcia „usługi elastyczności”. Zarysowane kwestie pozwalają na postawienie również w tym rozdziale tezy oraz określenie celu i zakresu pracy.

Rozdział drugi został poświęcony przeglądowi zagadnień dotyczących technologii V2X. Na podstawie literatury przeglądem tym objęto aspekty techniczne, prawne i ekonomiczno-społeczne. W pierwszej kolejności Autor przedstawił rozwój prac naukowych związanych z wykorzystaniem elektromobilności, co jednocześnie pozwala na rozpoznanie zainteresowania tematyką środowisk naukowych i zespołów badawczo-rozwojowych. W dalszej kolejności została opisana problematyka integracji pojazdów elektrycznych z systemem elektroenergetycznym w aspektach technicznych (powiązanie z siecią, wpływ na pracę systemu, programy wykorzystania dla potrzeb systemowych oraz komunalno-bytowych), aspektach prawnych (definicje i formalizmy funkcjonalne w aktach prawa europejskiego i krajowego) oraz aspektach ekonomiczno-organizacyjnych (modele biznesowe, taryfowanie, wskaźniki efektywności ekonomicznej i zarządzanie energią).

W rozdziale trzecim Autor rozprawy przechodzi do opisu podjętych badań ankietowych. Celem tych badań było rozeznanie stanu wiedzy w tematyce pojazdów elektrycznych, a na tym tle ocena zainteresowania udziałem w programie szerszego wykorzystania EV w systemie elektroenergetycznym. Przeprowadzone badania zostały opisane wybiórczo w ramach rozdziału zasadniczej części rozprawy oraz uzupełniająco w załączniku 1.

Rozdział czwarty zawiera opis koncepcji mechanizmu rynkowego zwanego „Programem V2X” udostępniania pojemności baterii pojazdu elektrycznego, którego cel określony został jako poprawa parametrów pracy sieci elektroenergetycznej lub/i poprawa bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorcy końcowego. W rozdziale przedstawiono strukturę podmiotową (uczestnicy i ich role) i przedmiotową (model usługi świadczonej w ramach V2X i jej parametry) proponowanego rozwiązania. W dalszej części nakreślony został proces kontraktowania usług, propozycje zapisu oferty i jej weryfikację, a także podział usług kierowanych do odbiorców końcowych i operatorów systemu dystrybucyjnego (OSD).

W kolejnym rozdziale Doktorant przedstawia algorytmy poszukiwania pojazdów, które będą świadczyć usługi V2X. Do tego celu wprowadza podział obszaru poszukiwań na strefy z wykorzystaniem siatki kwadratowej co finalnie pozwala na określenie macierzy zawierającej zbiór pojazdów zdolnych do świadczenia usług w danym obszarze. Dla

rozpatrywanego zbioru pojazdów Doktorant formułuje mechanizmy składania ofert w formie ofertowania wstępnego (early-bid) i ofertowania strefowego oraz dodatkowo przedstawia proces monitorowania przyjazdu pojazdów elektrycznych wraz z mechanizmem uzupełniającego ofertowania strefowego.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawił opis modelu ekonomicznego rozliczeń uczestników programu świadczenia usług przez EV na rzecz systemu elektroenergetycznego. Rozdział zawiera proponowane zasady rozliczeń, w tym równania opisujące stawki, wyznaczone opłaty, czynniki parametryzujące (odległość dojazdu do punktu rozładowania, wolumen energii, poziom naładowania baterii EV, inne) oraz sposób wyznaczania przychodów i kosztów wraz ze wskaźnikami oceny efektywności ekonomicznej. Ponadto, w odniesieniu do potencjalnych przypadków niezrealizowania kontraktowanych usług, również w rozdziale szóstym opisano metodykę wyznaczania kar i bonifikat, będącą uzupełnieniem prezentowanego modelu rozliczeń.

Rozdział siódmy zawiera opis parametryzacji wybranej, spośród proponowanych, usługi świadczonej w ramach programu V2X. Jest to usługa określona jako „rezerwowe zasilanie odbiorcy końcowego”. Usługę tą przedstawiono w dwóch wyróżnianych trybach, jako usługa harmonogramowana oraz usługa interwencyjna. W opisie określono zasady wyznaczania wolumenu energii elektrycznej pokrywanego w ramach usługi (z rozróżnieniem składników zapotrzebowania na energię elektryczną i moc), prawdopodobieństwa realizacji usługi w miejscu świadczenia (na które składa się prawdopodobieństwo działania punktu ładowania, prawdopodobieństwo dostępności punktu ładowania, prawdopodobieństwo przerwania świadczenia usługi i prawdopodobieństwo działania systemu teleinformatycznego) i prawdopodobieństwa realizacji usługi od strony uczestnika (złożone z prawdopodobieństwa chęci realizacji usługi oraz prawdopodobieństwa użytkowania EV). Również dla celów rachunku ekonomicznego w rozdziale siódmym Autor przedstawił metodykę wyznaczania stawek za pozyskanie energii elektrycznej z pojazdu EV oraz zasady przyjmowania współczynników premii z tytułu rozładowania baterii pojazdu elektrycznego.

W kolejnym rozdziale Doktorant obszernie przedstawił wyniki symulacji przeprowadzonych na podstawie sformułowanych zasad. W symulacjach, jako punkt odniesienia, do oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia przyjęto wartości wskaźników VoLL oraz VoLA. Efektywność ekonomiczną oceniano na podstawie wartości wskaźnika EBITDA. Każdorazowo Doktorant przedstawił wyniki dla usług harmonogramowania i usług interwencyjnych parametryzując poziom liczebności odbiorców końcowych w różnych grupach typu odbiorcy oraz poziom elektryfikacji transportu. Również wprowadzono przypadki symulacji zróżnicowane pod kątem wskaźnika niezawodności LOLE (przybliżającego wolumen energii oczekiwany do zabezpieczenia w ramach usługi) założony stopień wykorzystania usługi rezerwowego zasilania. W podrozdziałach przedstawiono również dyskusje uzyskiwanych wyników.

Treści zasadniczej części rozprawy zamyka rozdział dziewiąty zawierający wnioski końcowe i podsumowanie przeprowadzonych badań. W tym rozdziale Doktorant wskazał również osiągnięcia własne oraz nakreślił kierunki dalszych prac badawczych.

Do pozostałej części rozprawy (część dodatkowa) zaliczono rozdział dziesiąty zatytułowany Bibliografia, który zawiera pozycje literaturowe przywołane w rozprawie. W rozdziale tym przytoczono łącznie 162 pozycje o różnym charakterze (przede wszystkim artykuły i referaty, ale również książki, monografie, opracowania, raporty, akty prawne i regulacje).

Rozdziały jedenasty i dwunasty zawierają spis rysunków i spis tabel.

Rozdział trzynasty, numerowany w spisie treści rozprawy, zawiera 6 załączników, w których przedstawiono uzupełniające dla treści rozprawy informacje w zakresie badań ankietowych, propozycji składowych mechanizmu ofertowego, poprawności planowania, realizacji procesu kontraktowania pojazdów elektrycznych oraz zestawienie podsumowujące realizowalność i opłacalność symulowanej usługi rezerwowego zasilania.

Przyjęta struktura rozprawy doktorskiej, w tym wyróżnione rozdziały jest ściśle związana z realizacją postawionego celu pracy oraz służy udowodnieniu sformułowanej tezy.

5. Ocena osiągnięć naukowych Autora rozprawy

Przedstawiona w recenzowanej rozprawie koncepcja wykorzystania wolumenu energii elektrycznej gromadzonego w zasobnikach pojazdów elektrycznych dla wsparcia pracy systemu elektroenergetycznego jest rozwiązaniem innowacyjnym. Jak do tej pory nie wprowadzono jeszcze komercyjnego rozwiązania o tym charakterze. Oznacza to, że podjęte rozważania wybiegają w przyszłość i w znacznej mierze stanowią autorskie rozwiązanie Doktoranta.

Aktualność tematu, wskazana w pkt. 3 niniejszej recenzji, budowana przez pryzmat przyczynków rozwoju technologii, wzrostu zainteresowania badawczego, wytycznych regulacji środowiskowych czy też poszukiwania zasobów magazynowych w systemie elektroenergetycznym nie wyczerpuje potencjału naukowego, tym samym zrealizowane przez Doktoranta prace wzbogacają tematykę rozwiązań typu V2X.

Wkład Doktoranta w rozwój tematu należy odnotować przez pryzmat opublikowanych w ogólnodostępnej literaturze o zasięgu światowym ostatnich prac:

- Zagrajek K., "A survey data approach for determining the probability values of vehicle-to-grid service provision", *Energies*, 2021, 14, (21), pp. 7270, doi:10.3390/en14217270;
- Zagrajek K., Paska J., Sosnowski Ł., Gobosz K., Wróblewski K., "Framework for the introduction of vehicle-to-grid technology into the polish electricity market", *Energies*, 2021, 14, (12), doi:10.3390/en14123673;

przytoczonych w bibliografii rozprawy w pozycjach [152] i [154]. Publikacje te, wraz z pozostałymi publikacjami Doktoranta, uzupełniają treści rozprawy stawiając propozycję rozwiązań możliwych do rozwijania na krajowym rynku energii elektrycznej. Rozwijają one niepublikowane opracowanie wewnętrzne przytoczone w bibliografii w pozycji [138].

Odnosząc się do wkładu w zasadniczych treściach rozprawy można przyjąć, że początkowe rozdziały 1 i 2 są wprowadzeniem i studium ilustracyjnym stanu wiedzy w zakresie technologii V2X. Rozpoznanie tematu wykorzystania pojazdów elektrycznych pozwala na postawienie tezy o możliwości wykorzystania energii zgromadzonej w pojazdach elektrycznych w drodze sformalizowanego programu świadczenia usług przy zachowaniu opłacalności ekonomicznej dla uczestników tego rozwiązania.

Po sformułowaniu tezy badawczej oraz nakreśleniu podjętych zagadnień Doktorant przechodzi do opisu zrealizowanych działań, co ma miejsce w pozostałych rozdziałach rozprawy, a w szczególności w rozdziałach 3 do 8 oraz załącznikach (rozdział 13). Oznacza to, że znacząca część rozprawy stanowi wkład autorski Doktoranta w podjęte zagadnienie badawcze.

Rozpoczynając zagadnienie Doktorant od strony formalnej zweryfikował możliwości wprowadzenia rozwijanej koncepcji na krajowym rynku energii. Podsumowaniem tego

przygotowania do całościowego spojrzenia na zagadnienie jest tabela 2.2 umieszczona na końcu rozdziału 2.

Przeprowadzone rozpoznanie formalne rozwiązania pozwala Doktorantowi na postawienie koncepcji i jej rozwój, co jest realizowane w kolejnych rozdziałach. Jako kolejny racjonalny krok należy wskazać rozpoznanie akceptacji ewentualnych posiadaczy pojazdów elektrycznych (rozd. 3 oraz załącznik 1 w rozdz. 13). Przygotowana, ogłoszona i opracowana wynikowo przez Doktoranta ankieta buduje potencjalny obraz nastawienia użytkowników pojazdów względem rozwiązań V2X oraz towarzyszących korzyści ale również ograniczeń i kar. Przeprowadzona ankieta świadczy o chęci osadzenia prezentowanej koncepcji w realiach społecznych. Ma ona wymiar praktyczny i wspiera realizowaną ścieżkę badawczą Autora.

Rozdziały 4, 5 i 6 wraz z załącznikami stanowią trzon opracowanej koncepcji realizacji i rozliczeń usług V2X. W rozdziałach tych przedstawione zostały autorskie rozwiązania mechanizmu rynkowego określonego jako Program V2X. Warto zauważyć, że prezentowane w rozprawie rozważania stanowią rozwojowo już kolejne propozycje po opublikowanych przez Doktoranta. Należy odczytywać to jako chęć uzupełniania i poprawiania budowanych rozwiązań, co jest cechą badacza i daje szansę uzyskania coraz to bardziej dopracowanych i nowszych rozwiązań.

Przedstawiony w rozdziale 4 opis Programu V2X rozpoczęty słowniczkiem definicji, a następnie postawionymi funkcjonalnościami, strukturą użytkową, potencjałem oferty usług i ukierunkowaniem na uczestników świadczy o dobrym rozumieniu przez Doktoranta rozpatrywanego zagadnienia i umiejętnością przekrojowego spojrzenia na opracowywaną koncepcję. Takie spojrzenie ma wartość praktyczną ale i porządkową, która sprzyja systematycy pracy naukowej. W niniejszym przypadku wpisuje się w opracowaną koncepcję usług V2X.

Z uwagi na wspomniany brak komercyjnych stosowanych rozwiązań tego typu mechanizmów rynkowych Doktorant opracował proces kontraktowania usług V2X prezentując założenia dotyczące przeznaczenia usług, ich zróżnicowania, harmonogramu czasowo-rzeczowego świadczenia usług oraz rozliczeń. W dziedzinie rozliczeń usług został opracowany szereg warunków związanych z określaniem wolumenów energii dostępnych w bateriach pojazdów i korygowanych wynikowo w procesie fizycznego dostarczania energii do usługobiorców. Z uwagi na mobilny charakter zasobników energii elektrycznej Doktorant zaproponował stosowne miary o charakterze probabilistycznym oraz opracował algorytmny lokalizacji pojazdów elektrycznych w terenie względem punktów ładowania/rozładowania. Przedstawione rozwiązania pozwalają na wykonanie symulacji zbliżających testowaną koncepcję do wyników osiągniętych przy funkcjonowaniu w realiach użytkowych rozwiązania.

Koncepcja ofertowania i rozliczeń ilościowych została opatrzona propozycjami rozliczeń wartościowych, co pozwoliło Doktorantowi na finalne odniesienie się do postawionej tezy. Przyjęte w koncepcji założenia dotyczące wielostronnych aspektów powiązania ze sobą wskaźników niezawodnościowych (LOLE), wartościowania energii w sytuacjach kryzysowych (VoLL, VoLA), symulacji opartych na spektrum potencjalnych odbiorców usług oraz wysyceniu rynku usługodawców pozwoliły na przygotowanie i wykonanie odpowiednich obliczeń oraz wyprowadzenie stosownych wniosków. Nakład pracy o charakterze koncepcyjnej oraz umiejętność organizacji narzędzi i warsztatu analitycznego doprowadziły do zrealizowania postawionych celów i udowodnienia tezy pracy. Uzyskane i przedstawione efekty wypełniają założony zakres i wychodzą naprzeciw potrzebom techniczno-rynkowym transformacji energetycznej. Świadczą również o dobrym

przygotowaniu i umiejętnościach budowy koncepcji i realizacji rozwiązań problemów analitycznych, a także wskazują umiejętności zgłębienia postawionego zadania.

Na podstawie lektury tekstu rozprawy i zawartych w niej informacji można stwierdzić, że Doktorant wykazał się:

- rozpoznaniem i wiedzą teoretyczną oraz formalną w zakresie technologii pojazdów elektrycznych oraz rynku energii elektrycznej w Polsce,
- umiejętnością przygotowania, opisu i prezentacji koncepcji programu usług udostępnienia pojemności baterii pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych,
- uwzględnieniem w opracowanym modelu elementów probabilistycznych związanych z dostępnością pojazdów oraz punktów ładowania,
- przygotowaniem algorytmu poszukiwania pojazdów elektrycznych opartego na wydzielonych strefach w obszarze siatki kwadratowej,
- umiejętnością kompleksowego opracowania mechanizmów kontraktowania uczestników sformułowanego Programu V2X, z wyróżnieniem: ofertowania wstępnego, ofertowania strefowego i uzupełniającego ofertowania strefowego,
- umiejętnością zbudowania i rozwiązania wraz z interpretacją modelu ekonomicznego dla rozliczenia usługi rezerwowego zasilania odbiorcy końcowego z udostępnionych zasobów energii zgromadzonych w bateriach pojazdów,
- umiejętnością wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników, a w szczególności rozumieniem potrzeb prowadzenia badań i poszukiwania odpowiedzi.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki wypełniają postawiony w rozprawie cel oraz pozwalają na dowiedzenie postawionej tezy.

6. Kwestie dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej nasunęło się kilka spostrzeżeń, które traktuję jako kwestie dyskusyjne. Poniżej zestawiono kilka kwestii o charakterze ogólnym.

1. W przedmiotowej rozprawie doktorskiej, zgodnie z tytułem, przedstawia się i analizuje koncepcję dostępu i wykorzystania energii elektrycznej zgromadzonej w baterii samochodu elektrycznego do wsparcia pracy systemu elektroenergetycznego. To wsparcie określa się w kategorii „elastyczności”, a dokładniej zwiększenia elastyczności systemu. Pojawia się tu pytanie o rozumienie „elastyczności systemu”. Przytoczone na str. 17 definicje opierają się w ogólności na ujęciu procesów bilansowania systemu. Procesy te są realizowane już od początku funkcjonowania złożonych systemów elektroenergetycznych. Zatem jakie odcinki czasu wyróżniają dziś „elastyczność systemu” i czy wykorzystanie mobilnych zasobników energii, jakimi są samochody elektryczne daje realne wsparcie funkcjonowaniu systemu elektroenergetycznego?
2. Teza rozprawy doktorskiej stawia na zabezpieczenie dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych poprzez wykorzystanie energii zgromadzonej w bateriach pojazdów. Można tutaj rozważyć rozumienie funkcji „dostaw”. Jeżeli w tej funkcji uwzględnić udział infrastruktury, to kwestia dostaw nie jest tylko problemem bilansowania ale również sprawności pracy sieci. Warto zatem zwrócić uwagę, że nie tylko fakt naładowanej baterii decyduje o możliwości zbilansowania odbiorcy. Ta

sytuacja może być adekwatna wówczas, gdy zasilanie z baterii realizowane jest dla systemów wydzielonych i bliskich odbiorcy końcowemu. Czy zatem ewentualne rozwiązanie V2H/V2L nie jest tu szczególnie efektywne?

3. W szerokim rozumieniu, bliskim treściom rozprawy, bateria pojazdu elektrycznego staje się magazynem energii. Jak można ocenić sprawność usługi V2X i jej konkurencyjność w wymiarze technicznym i ekonomicznym względem innych technologii magazynowania? Jaki poziom dojrzałości można przyjąć w przypadku takich rozwiązań i jak wyglądałaby krzywa rozwoju takiej technologii magazynowania?
4. Można spodziewać się, że rozwój usług V2X będzie stawał wobec realiów rynkowych, którym poddawane są mechanizmy wykorzystywane na rynkach energii. Na ile można spodziewać się, że będzie to mechanizm konkurencyjny? Jak duże koszty społeczne związane z rozwojem i utrzymaniem technologii (rozwój infrastruktury ładowania, wzmacnianie sieci dystrybucyjnych, zakup pojazdów, recykling baterii, podaż pierwiastków chemicznych wykorzystywanych w bateriach, itd.) należałoby ponieść aby uruchomić tego typu przedsięwzięcie?
5. Praktyka biznesowa zwykle wyróżnia beneficjenta danego mechanizmu. W przypadku prezentowanej koncepcji oraz w myśl postawionej tezy i wykonanych analiz odniesiono się do odbiorcy, właściciela pojazdu elektrycznego oraz przedsiębiorstwa energetycznego. Który z tych podmiotów będąc uczestnikiem Programu V2X jest głównym beneficjentem? Czy z ekonomicznego punktu widzenia jest możliwe, aby wszyscy uczestnicy odnieśli korzyści bądź czyim kosztem miałby być realizowany taki Program? Czy mogą istnieć podmioty poza programem i czy nie będą one obciążane kosztem tego typu rozwiązań.
6. Bardzo ważny element związany z potencjalną podatnością (chęcią) realizacji usługi V2X został w rozprawie wyrażony w kategoriach prawdopodobieństwa. Jest to właściwa kwalifikacja tego czynnika. Między innymi w celu kwantyfikacji zostały wykorzystane wyniki ankiet przeprowadzonych przez Doktoranta. Pojawia się pytanie o świadomość ankietowanych dotyczącą podejmowanych obowiązków związanych ze świadczeniem usług V2X. W tym temacie występuje wiele aspektów, jednym z nich jest uczenie się zachowań zwanych w rozprawie „dynamiką poruszania się Uczestników Programu V2X” i wykorzystywanie ich w algorytmach (s. 129). Czy tego typu informacji nie należy traktować jako sensytywne? Czy nie stanowią one ograniczeń mogą być objęte limitowaniem np. w ramach RODO?
7. Przedstawiona koncepcja wykorzystania pojazdów elektrycznych we wsparciu pracy systemu elektroenergetycznego reprezentuje pewien schemat usług. Do jakiego systemu zarządzania usługami można zaliczyć tą koncepcję: scentralizowanego czy zdecentralizowanego? Co o tym decyduje?

Poza kwestiami ogólnymi nasuwa się kilka kwestii o charakterze szczegółowym. Poniżej wymieniono wybrane.

- i. Jaka jest sprawność wykorzystania baterii pojazdu elektrycznego jako zasobnika w systemie elektroenergetycznym?
- ii. Na ile można uznać za reprezentatywny dobór respondentów i ich odpowiedzi w procesie ankietowania?

- iii. Czy mix energetyczny oparty na OZE wiążący usługę V2X nie doprowadzi do „uziemia” (unieruchomienia) pojazdów elektrycznych?
- iv. W tezie i funkcji celu (6.25) używa się wskaźnika EBIT (Earnings Before Interest and Taxes). Po co wprowadzono ten wskaźnik, skoro praktycznie wykorzystano tylko wskaźnik EBITDA (Earnings Before Interest and Taxes, Depreciation and Amortization)?
- v. W rozprawie pojawiają się różne przedziały czasu dla określania wielkości mocy i energii. Nie zawsze są one przechodnie. Przykładowo równanie (4.3) odnosi się do wielkości chwilowych, a równanie (4.4) sumuje w przedziałach godzinowych. Dla odmiany przykładowo profil zapotrzebowania z rys. 8.10 jest określany w przedziałach godzinowych a realizacja usługi przedstawiona poprzez wykorzystanie energii z baterii pojazdu (rys. 8.11) i mocy (rys. 8.12) w przedziałach 15-minutowych. Jaki jest wspólny mianownik dla tych wielkości?
- vi. Dlaczego ograniczono obszar działania V2Xsp do powiatu i dlaczego definicja klastra (związanego z jednostkami samorządu terytorialnego) była w tym zakresie inspiracją (s. 81)?
- vii. Jak należy odczytywać rysunki 5.2, 5.3 i 5.4? Gdzie są ich łączniki? Podobna sytuacja dotyczy rysunków 5.6 do 5.9 oraz 5.11 i 5.12.
- viii. Co Autor chciał przekazać i czego zabrakło w zdaniu na str. 166 (początek w czwartej linijce od góry)?

Zgłoszone kwestie mają na celu wyjaśnienie czytelnikowi i rozwinięcie prezentowanych treści rozprawy doktorskiej.

7. Ocena redakcji rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska została przygotowana i zredagowana w bardzo staranny sposób. Prezentowane treści dobrze wprowadzają w problem, a jednocześnie nie „przytłaczają” nadmiarem informacji na wstępie pracy. Sama rozprawa jest bardzo obszerna, co wymaga dość uważnego śledzenia treści szczególnie w dalszej części pracy oraz ewentualnego sięgania do używanych oznaczeń. Pomocą w tym zakresie jest spis oznaczeń i skrótów umieszczony na początku pracy oraz oznaczenia przypominane w tekście rozprawy. Użyte terminy są zgodne z nomenklaturą zagadnienia.

Podział treści pomiędzy rozdziałami jest w miarę wyrównany, jedynie rozdział 8, w którym przedstawiono wyniki badań, jest bardziej obszerny. Z tego tytułu można było pokusić się o nakreślenie na początku tego rozdziału pewnego schematu myślowego odwzorowującego parametryzację analiz i prezentacji wyników.

Uzupełnieniem treści rozprawy oraz wykonanych prac jest rozdział 13, zawierający w formie podrozdziałów załączniki. Takie rozwiązanie pozwala łatwo sięgnąć do tych dodatkowych treści w miarę potrzeb i rozszerzenia informacji zawartych w tekście zasadniczej części rozprawy.

Jak wspomniano redakcja jest staranna, a w treści rozprawy można znaleźć nieliczne błędy w przekazie. Przygotowane rysunki i tabele są czytelne, choć nie jest zawsze jasny klucz używania kolorów i wyróżnień.

Literatura zestawiona w rozdziale Bibliografia jest wystarczająca dla przedstawienia tła, wykonanych prac i ugruntowania rozprawy. Przywoływane pozycje są dobrze opisane,

aktualne i pochodzą z wysoko pozycjonowanych publikacji, co potwierdza aktualną wartość przedmiotu rozprawy. Osobiście uważam jednak, że dla oddania historii rozwoju wykorzystania pojazdów elektrycznych w odniesieniu do wsparcia zasilania odbiorcy końcowego oraz funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego warto wspomnieć publikacje profesorów Jacka Malko i Jana Popczyka z pierwszej dekady XXI wieku. Można domniemywać, że nie są one pozycjonowane w popularnych przeglądarkach baz danych, ale rozpoznanie korzeni zagadnienia w wymiarze krajowym jest zobowiązujące przy tak dobrym opracowaniu tematu.

Przygotowana redakcja rozprawy świadczy o dobrym warsztacie Doktoranta.

8. Podsumowanie i wniosek końcowy

1. Oceniając zawartość przedstawionej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Doktorant w sposób wystarczająco jednoznaczny sformułował oryginalny problem naukowy, który następnie rozwiązał przy użyciu metod naukowych.
2. Postawiony cel rozprawy był konsekwentnie realizowany i zostały osiągnięte oczekiwane wyniki o charakterze naukowym, jak i praktycznym. Przekaz pracy Doktoranta potwierdza sformułowaną tezę rozprawy.
3. Doktorant wykazał się odpowiednim opanowaniem wiedzy teoretycznej i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.
4. Po analizie treści rozprawy uważam, że przedłożona rozprawa Pana mgr. inż. Krzysztofa Zagrajka pt.: „Analiza koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 187 ustęp 1 i ustęp 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późniejszymi zmianami).
5. **Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Krzysztofa Zagrajka do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

Maksymilian Puzgodski

WNIOSEK O WYRÓŻNIENIE
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

Opierając się na przedstawionych do recenzji treściach rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Krzysztofa Zagrajka, w tym biorąc pod uwagę innowacyjny i zarazem kumulatywny zakres wykonanych prac, a w szczególności sformułowaną koncepcję, przedstawione zasady i formuły rozliczeń, przygotowane modele i wykonane symulacje oraz wyciągnięte wnioski, a także uwzględniając ich wartość dla debatowania nad wsparciem funkcjonowania systemu elektroenergetycznego w nowych warunkach funkcjonowania wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej pt. „Analiza koncepcji usług rozładowania pojazdów elektrycznych na potrzeby odbiorców końcowych (V2X) jako elementu powiększającego zasoby elastyczności systemu elektroenergetycznego”.

Wniosek ten obok sporządzonej recenzji dołączam do dokumentacji gromadzonej w ramach procedowanego przewodu doktorskiego.

Maksymilian Przygodzki