

WPLYNĘŁO

dn.....2023 -09- 28.....

Łódź, 19.09.2023 r.

Prof. dr hab. Irena Wasiak
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22
90-537 Łódź

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Sosnowskiego
p.t. „Regulacja przepływu energii w sieci nN za pomocą mobilnych i stacjonarnych zasobników energii”

- opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej,
w piśmie z dnia 27.06.2023 r.

1. Wybór tematyki rozprawy

Recenzowana praca mieści się w obszarze elektroenergetyki i dotyczy zagadnień funkcjonowania sieci dystrybucyjnych średniego (SN) i niskiego napięcia (nN). Integracja odnawialnych źródeł energii (OZE) i związana z tym zmienność mocy generowanej i wprowadzanej do sieci, w połączeniu z rosnącymi wymaganiami odbiorców, stwarzają szereg problemów związanych z utrzymaniem bezpieczeństwa pracy sieci oraz wymaganego poziomu niezawodności zasilania i jakości napięcia zasilającego. W tych warunkach oczywiste jest poszukiwanie odpowiednich rozwiązań technicznych, których wdrożenie może przyczynić się do poprawy funkcjonowania sieci, zwiększenia jej elastyczności i zapewnienia wymaganej jakości dostawy energii elektrycznej odbiorcom.

W ostatnich latach wzrasta znaczenie magazynów energii jako środków wspomagających pracę sieci elektroenergetycznych i instalacji prosumenckich. Znajduje to odzwierciedlenie w obszernej krajowej i zagranicznej literaturze dotyczącej tematu, w której można znaleźć liczne przykłady możliwości zastosowania zasobników, jest widoczne w rosnącej ofercie rynkowej producentów systemów zasobnikowych, a także coraz częściej w działaniach operatorów sieci elektroenergetycznych i odbiorców indywidualnych. O wzroście znaczenia i promocji wykorzystania zasobników może również świadczyć nowelizacja ustawy Prawo energetyczne z 2021 r. oraz odpowiednie instrumenty wsparcia finansowego wprowadzone dla projektów i inwestycji z udziałem zasobników. Coraz więcej uwagi poświęca się także wykorzystaniu baterii pojazdów elektrycznych (EV) jako magazynów mobilnych, które w określonych warunkach mogą świadczyć usługi oddawania lub pobierania energii operatorom sieci elektroenergetycznych (usługi V2G, *Vehicle-to-Grid*).

Mgr inż. Łukasz Sosnowski w swojej rozprawie doktorskiej podjął się analizy możliwości wykorzystania zasobników energii do poprawy funkcjonowania warszawskiej sieci dystrybucyjnej Stoen Operator. Ze względu na przedstawioną powyżej aktualność i znaczenie zagadnienia, wybór tematyki rozprawy uważam za całkowicie uzasadniony.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Opiniowana praca obejmuje 145 stron, została zredagowana w 7 rozdziałach i uzupełniona 2 załącznikami. Spis literatury wykorzystanej w rozprawie obejmuje 95 pozycji.

a) Przedstawienie problemu i literatura

W pierwszym rozdziale rozprawy (*Wstęp*) Autor zamieścił krótkie omówienie zawartości pracy, a następnie zwrócił uwagę na transformację jakiej aktualnie podlega system elektroenergetyczny i przedstawił wizję inteligentnych sieci elektroenergetycznych w tym procesie, przy czym sieci inteligentne Autor definiuje jako sieci elastyczne, niezawodne, obserwowalne i sterowalne. Z podanych informacji nie wynika co jest przedmiotem pracy i jakie jest uzasadnienie wyboru tematu, czego zwyczajowo oczekuje się w rozprawach doktorskich.

Drugi rozdział pracy (*Magazynowanie energii w świetle współczesnej literatury*) zawiera przegląd możliwości zastosowania zasobników energii w sieciach elektroenergetycznych i u odbiorców końcowych. Autor słusznie uzasadnia potrzebę wykorzystania magazynów odwołując się do zmieniającej się struktury systemu elektroenergetycznego, problemów z integracją OZE oraz rosnących wymagań w zakresie jakości dostawy energii elektrycznej odbiorcom. Zagadnienia jakie zostały omówione w tym rozdziale obejmują: technologie magazynów energii, sterowanie przekształtnikami przyłączeniowymi zasobników oraz aspekty ekonomiczne wykorzystania magazynów. Odrębny podrozdział został poświęcony pojazdom elektrycznym jako mobilnym magazynom energii. Autor porusza zagadnienie wpływu niekontrolowanego ładowania EV na system elektroenergetyczny, dalej wskazuje na techniczną możliwość realizacji usług V2G i ograniczenia prawne w tym zakresie.

Jak wskazuje tytuł tego rozdziału, zamierzeniem Autora było przedstawienie stanu badań aplikacyjnych dotyczących wykorzystania zasobników w systemie elektroenergetycznym na podstawie literatury. Choć oczywiście cel ten jest właściwy, a lista pozycji bibliograficznych dość liczna, podane informacje są dość powierzchowne i nieusystematyzowane. Ponadto, wątpliwości może budzić wiarygodność i aktualność prezentowanych konkluzji, ponieważ literatura, na podstawie której są one formułowane pochodzi sprzed kilkunastu lat. Autor nie uwzględnił wielu aktualnych publikacji na temat wykorzystania zasobników w sieciach dystrybucyjnych, w tym takich, w których prezentowane są wyniki wieloletnich prac prowadzonych w krajowych ośrodkach badawczych. Szczegółowe uwagi na ten temat zamieszczono w p. 5 recenzji.

b) Cel i teza rozprawy

Teza rozprawy pojawia się na stronie 38 rozprawy w rozdziale 3 (*Cel i zakres pracy*) w brzmieniu: „*wykorzystanie mobilnych i stacjonarnych bateryjnych zasobników energii w dystrybucyjnych sieciach elektroenergetycznych niskich napięć przyczyni się do technicznej i ekonomicznej poprawy funkcjonowania warszawskiej sieci rozdzielczej*”. Teza ta dobrze określa obszar badawczy Doktoranta, ale nie wskazuje rozwiązaniem jakiego problemu/-ów zajmuje się w rozprawie, czego dotyczy i czym znamienne jest prezentowane przez niego rozwiązanie. W odczuciu recenzentki teza została sformułowana nadmiernie ogólnie i przez to, a także w kontekście wcześniejszych rozdziałów pracy, wskazujących na różne możliwości i korzyści zastosowania zasobników w sieciach elektroenergetycznych, wydaje się dość oczywista.

Cel pracy, przedstawiony w kolejnym podrozdziale (3.2), w większym stopniu wyjaśnia zamierzenie Autora. Jest nim opracowanie metody wyboru stacji transformatorowych SN/nN, w których zainstalowanie zasobników energii pozwoli na poprawę funkcjonowania warszawskiej sieci dystrybucyjnej, wyznaczenie pojemności zasobnika dla danej stacji oraz zbadanie oddziaływania zasobników na pracę stacji na wybranych przykładach aplikacyjnych. W dalszym ciągu brakuje wyjaśnienia, jakie ma być zadanie zainstalowanych zasobników, tj. do rozwiązania jakich problemów zostaną przeznaczone. Jest to istotne, gdyż to przeznaczenie właśnie definiuje pojemność (energię) i moc zasobnika, a ponadto, do realizacji konkretnego zadania dobiera się układ sterowania zasobnikiem. Wyjaśnienia nie stanowią wymienione na str. 38 „...problemy funkcjonowania operatora systemu dystrybucyjnego”, które - pomijając niepoprawne sformułowanie - są w istocie wymaganiami

jakie stawia się pracy każdej sieci dystrybucyjnej. W przekonaniu recenzentki zagadnienie badawcze nie zostało jasno sformułowane.

c) Rozwiązanie zagadnienia badawczego

Pierwsze zagadnienie, jakie jest przedmiotem badań Autora dotyczy koncepcji i metody wyboru stacji dla lokalizacji zasobników energii w sieci dystrybucyjnej; przedstawiono je w rozdziale 4.3. Dobór odbywa się na podstawie rankingu zasobników znajdujących się w danej pętli sieci SN. W rozprawie zamieszczone są zależności opisujące zbiór dostępnych zasobników, które - jak wyjaśnia Doktorant - są modyfikacją zależności zaprezentowanych w publikacji [Energies, 2021, DOI:10.3390/en14123673], dotyczącej wykorzystania baterii pojazdów EV do świadczenia usług V2G, której był współautorem. Doktorant zakłada analogię pomiędzy zasobnikami mobilnymi oraz zasobnikami stacjonarnymi. Zdaniem recenzentki można się zgodzić z takim stwierdzeniem co do technicznej możliwości wykorzystania magazynów, ale dostępność magazynów mobilnych EV i sposób ich pozyskiwania na potrzeby sieci są inne niż w przypadku magazynów stacjonarnych. Domyślnie zasobniki stacjonarne są własnością operatora i są dobierane do realizacji konkretnych zadań jako element sieci, natomiast zasobniki EV są własnością użytkownika pojazdu i są wykorzystywane są na zasadzie doraźnej usługi świadczonej operatorowi sieci. Ich rola jest raczej wspomagająca, a możliwości wykorzystania zależne od wielu czynników o charakterze losowym. O tych uwarunkowaniach Autor nie wspomina. W moim przekonaniu problem badawczy, którego rozwiązanie stanowią równania 17-25, wymaga dodatkowych wyjaśnień, zarówno w kontekście przyjętych założeń, jak i sposobu rozwiązania (szczegółowe uwagi w p. 3).

W dalszej części tego rozdziału Doktorant przedstawił uproszczoną metodę oceny stacji SN/nN z punktu widzenia lokalizacji zasobników energii, dostosowaną do potrzeb i możliwości operatora sieci dystrybucyjnej. Zaprezentowana metoda ma charakter ekspercki i polega na ocenie stopnia realizacji założonych celów zainstalowania zasobnika w określonej lokalizacji według zdefiniowanych kryteriów. Rozważane cele wykorzystania zasobników obejmują ważne dla operatora aspekty funkcjonowania sieci, związane z niezawodnością zasilania odbiorców i jakością dostarczanej energii. Kryteria oceny obejmują różne aspekty związane z instalacją systemu zasobnikowego w określonej stacji; Doktorant podzielił je na techniczne, użytkowe, organizacyjne i finansowe. Dla każdej z wymienionych grup wyznaczył współczynniki wagowe, określające wpływ grupy na osiągnięcie każdego z celów. Wynikiem ogólnej oceny jest sumaryczny wskaźnik wynikający ze stopnia spełnienia każdego z kryteriów, z uwzględnieniem jego wagi, umożliwiający stworzenie rankingu najbardziej korzystnych lokalizacji systemu zasobnikowego w rozpatrywanej sieci.

Zaprezentowana metoda została wykorzystana przy wdrożeniu magazynów energii w sieci dystrybucyjnej Stoen Operator w dzielnicy Wawer. Opis wdrożenia został przedstawiony w rozdziale 5 rozprawy (*Wdrożenie zasobników energii w sieci Stoen Operator celem regulacji przepływów w sieci niskiego napięcia*). Przyjęto, że celem działania zasobników zainstalowanych w stacjach SN/nN jest utrzymanie zasilania odbiorców w sytuacji awarii w sieci SN skutkującej wyłączeniem transformatora stacyjnego. Na podstawie analizy awaryjności sieci SN, Doktorant wybrał 8 ciągów liniowych charakteryzujących się najwyższymi wskaźnikami SAIDI i SAIFI, a następnie dla zdefiniowanych wcześniej kryteriów wyboru i przy zastosowaniu opracowanej metody oceny, dla każdego ciągu wybrał stację najbardziej korzystną dla lokalizacji zasobnika. Analiza i wybór ciągów liniowych nie budzą zastrzeżeń. Porównanie wskaźników SAIDI i SAIFI obliczonych przy założeniu zainstalowania zasobników w wybranych stacjach wskazuje na skuteczność metody wyboru lokalizacji zasobników z punktu widzenia poprawy niezawodności zasilania.

Doktorant przeprowadził też analizę statystyczną otrzymanych wyników dla każdej z pętli, porównując udziały realizacji każdego z założonych celów w ostatecznej ocenie wyboru stacji dla lokalizacji zasobnika. Obliczenia te pozwoliły na wstępną weryfikację doboru kryteriów, według których oceniana jest ta lokalizacja.

Drugie zagadnienie jakie Autor prezentuje w rozprawie dla udowodnienia przyjętej tezy dotyczy wykorzystania zasobników energii w celu zmiany rozprywu mocy w sieciach dla redukcji obciążenia

szczytowego i kształtowania obciążenia stacji. Doktorant wykorzystał w tym celu wyniki projektów badawczych jakie zostały zrealizowane przez spółkę Stoen Operator, a których był kierownikiem. W ramach pierwszego z nich „*Badanie technicznych możliwości wyrównania profilu obciążenia stacji przy użyciu zasobnika bateryjnego*”, zbudowano bateryjny zasobnik energii o mocy 30 kW i pojemności 30 kWh, który następnie zainstalowano w wybranej stacji SN/nN. Wdrożenie systemu zasobnikowego poprzedzone zostało modernizacją stacji, polegającą na zainstalowaniu źródła fotowoltaicznego oraz odpowiednich układów pomiarowych.

Idea pracy zasobnika energii w celu wyrównywania obciążenia sieci jest znana, natomiast interesujące mogą być wyniki praktycznej realizacji projektu, w tym dobór pojemności, wpływ zasobnika na sieć zasilającą, sterowanie pracą zasobnika, ograniczenia, etc. Zagadnienia te zostały przedstawione zdawkowo, a ilustracja wyników pracy stacji z zasobnikiem, w postaci 6 rysunków zamieszczonych w Załączniku A, jest dosyć skromna. Szkoda, że Autor mając bezpośredni dostęp do badanego obiektu i zapewne dysponując wieloma wynikami pomiarów nie pokusił się o szerszą analizę i bardziej czytelną prezentację wyników przeprowadzonych badań.

O drugim z projektów pt. „*Budowa sieci inteligentnej SMART GRID na terenie Warszawy poprzez zastosowanie stacjonarnego systemu magazynowania energii jako elementu stabilizacji pracy sieci*” Doktorant wspomina w rozdziale 6. W stacji zainstalowano stacjonarny zasobnik energii o mocy 70 kW i pojemności 62,3 kWh, którego celem – jak wynika z informacji podanych w załączniku B - jest wyrównywanie obciążenia sieci w czasie pracy normalnej w połączeniu z systemem elektroenergetycznym oraz wyspowe zasilanie odbiorców w czasie nieplanowanych przerw w zasilaniu. Prezentowane rozwiązanie jest interesujące i z pewnością nowatorskie dla funkcjonowania sieci operatora. Można wskazać na kilka zagadnień, które byłyby istotne z punktu widzenia tematyki rozprawy doktorskiej (w szczególności algorytmy sterowania zasobnikiem), ale nie zostały one omówione w rozprawie.

Zdaniem recenzentki zamieszczony w rozprawie opis projektów jest raczej informacją o zrealizowanych wdrożeniach. Pokazuje możliwości oddziaływania zasobników na pracę stacji, ale trudno na podstawie podanych informacji wnioskować o skuteczności tego oddziaływania, co - jak zapowiedział w Autor w punkcie 3.3. pracy – było jednym z celów rozprawy. Ponadto, z opisu nie wynika jaki problem naukowy został przez Doktoranta rozwiązany w ramach realizacji tych projektów.

W kolejnym rozdziale pracy (*Analiza korzyści z zastosowania zasobników energii w sieci warszawskiego operatora systemu dystrybucyjnego*) Autor wskazuje na główne problemy warszawskiej sieci dystrybucyjnej i zadania operatora, w których realizacji może pomóc zastosowanie magazynów energii. Wydaje się, że te zagadnienia, a w szczególności treści podrozdziałów 6.2 i 6.3 powinny znaleźć się we wcześniejszych fragmentach pracy, gdyż stanowią uzasadnienie dla zdefiniowania celów zastosowania zasobników w sformułowaniu zagadnień badawczych.

W podsumowaniu rozprawy Autor przedstawił ogólne przemyślenia na temat zastosowań zasobników energii i sformułował wnioski z przeprowadzonych badań.

d) Oryginalność rozprawy i możliwość praktycznego wykorzystania

Przedstawione w rozprawie wyniki badań Doktoranta wykazały możliwości i korzystny wpływ zastosowania zasobników energii w sieci dystrybucyjnej Stoen Operator. Za oryginalne osiągnięcie Autora można uznać opracowanie koncepcji i na jej podstawie metody wyboru stacji SN/nN dla lokalizacji zasobników energii oraz wykazanie jej przydatności dla zastosowania zasobników w celu zwiększenia niezawodności zasilania odbiorców w sieci Stoen Operator. Zaletą zaproponowanej metody jest jej prostota i względna łatwość praktycznego zastosowania oraz kompleksowość oceny wyboru stacji z punktu widzenia operatora sieci.

e) Redakcja i strona formalna pracy

Strona formalna rozprawy budzi szereg zastrzeżeń dotyczących zarówno jasności tekstu, jak również staranności zapisu wzorów oraz jakości rysunków. Opis przedstawianych zagadnień jest w wielu miejscach nadmiernie zwięzły, niejasny lub niekompletny. Widoczne są uchybienia językowe.

Doktorant nadmiernie swobodnie posługuje się pojęciami, które są jednoznacznie zdefiniowane w elektroenergetyce w różnych kontekstach, zmieniając ich znaczenie. Utrudnia to zrozumienie prowadzonego wywodu, co jest męczące dla czytelnika i prowokuje szereg pytań. Widoczny jest brak staranności w edycji rozprawy, występują błędy gramatyczne i interpunkcyjne. Wybrane uwagi edytorskie i językowe przedstawione zostały w p. 4 recenzji.

W podsumowaniu tej części recenzji mogą stwierdzić, iż podstawowym mankamentem pracy, utrudniającym jej ocenę, jest brak wymaganej w rozprawach doktorskich precyzji językowej widoczny w opisie różnych poruszanych zagadnień, a przede wszystkim w sformułowaniu zagadnienia badawczego (lub zagadnień), przyjętych założeń i sposobu rozwiązania.

3. Uwagi i pytania merytoryczne

Poniżej przedstawiam główne uwagi merytoryczne jakie nasunęły mi się po lekturze rozprawy.

1. Autor często posługuje się w rozprawie pojęciem niezawodności pracy sieci w rozumieniu „...zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości i bezpieczeństwa dostaw” (str.10, akapit 2). Jest to sformułowanie nieprecyzyjne i mylące. Niezawodność należy rozumieć jako ciągłość dostawy energii odbiorcom, jakość energii odnosi się do parametrów napięcia zasilającego, a jakość dostawy energii odbiorcom obejmuje ciągłość dostawy, jakość energii oraz jakość relacji handlowych pomiędzy dostawcą a klientem. Pojęcia jakości energii elektrycznej i niezawodności jej dostawy są jednoznacznie zdefiniowane w elektroenergetyce, a jakość dostawy energii jest wymaganiem odnoszącym się ogólnie do systemu elektroenergetycznego, a nie tylko do sieci inteligentnych, jak napisano. Przykładem niepoprawnego użycia ‘wskaźników jakościowych’ może być także rozdział 6.2, którego tytuł brzmi „Poprawa wskaźników jakościowych dostarczanej energii”, a treść całkowicie dotyczy przerw w zasilaniu.
2. Szereg niejasności występuje w Tabeli 1 na stronie 15. Jeśli w kolumnie pierwszej wymienione są funkcje zasobnika (?), to jak rozumieć funkcję „efektywność energetyczna”, czy „zarządzanie siecią”? O jakich parametrach mowa w pozycji 2w, 3k (w-wiersz, k-kolumna)? Czego dotyczą wahania, o których mowa w pozycji 2w, 4k? Jaka jest funkcja zasobników w obszarze zarządzania siecią i lokalizacji u odbiorców końcowych (3w, 5k) opisana jako „agregacja małych magazynów”?
3. W podrozdziale 2.2 Autor omówił dostępne technologie zasobników energii. Sposób prezentacji sugeruje, iż różne technologie magazynów mogą być traktowane jako alternatywne, a dopiero w konkretnych zastosowaniach ujawniane są wady i zalety wybranej technologii. Tymczasem można wyraźnie wskazać rodzaje magazynów, które ze względu na swoje cechy są predestynowane do realizacji określonych celów. W literaturze rozróżnia się zasobniki mocy, charakteryzujące się relatywnie dużą mocą i krótkim, rzędu minut, czasem działania oraz zasobniki energii, których najważniejszą cechą jest pojemność energetyczna, a czas działania może wynosić kilka godzin. W moim odczuciu w pracy brakuje zestawienia podstawowych cech różnych technologii zasobnikowych, (z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego) z którego wynikałoby uzasadnienie wyboru zasobników bateryjnych do zastosowań będących przedmiotem pracy.
4. Rozdział 3.4. rozprawy zatytułowano „Podejście nowatorskie w pracy”, przy czym treść tego podrozdziału zawiera tylko krótką zapowiedź zawartości pracy. Proszę o uzasadnienie w jakim sensie lub aspekcie zastosowane podejście jest zdaniem Autora nowatorskie. W tym samym podrozdziale znajduje się zdanie, iż „Opracowane zostaną wymagania dla zastosowania zasobników w miejskiej sieci elektroenergetycznej, umożliwiającym spełnienie m.in. funkcji regulacyjnych w systemie...”. O jakie funkcje regulacyjne chodzi i gdzie w rozprawie znajdują się te wymagania?

6. W początkowej, nienumerowanej części rozdziału 4 Autor przedstawia znane w literaturze zależności matematyczne, na podstawie których wyznacza się rozprędy prądów w sieciach zamkniętych wysokiego napięcia. Nie jest jasne, jakie jest uzasadnienie dla przywołania tych równań, czy i w jaki sposób podane zależności zostały wykorzystane w opracowaniu algorytmu sterowania zasobnikiem zainstalowanym w wybranej stacji operatora Stoen Operator, o czym pisze Autor w dalszej części tego rozdziału. Opis jest ogólny i powierzchowny. Ponadto, uwagę zwraca szereg błędów merytorycznych i edytorskich znajdujących się w tych równaniach, a przede wszystkim nieprawidłowy zapis liczb zespolonych (także równanie 15 na str. 48).
7. W rozdziale 4.1, poświęconym regulacji mocy czynnej zasobnika zainstalowanego w wybranej stacji operatora Stoen Operator, Autor stwierdza, iż na potrzeby badawcze został opracowany i wdrożony system sterowania zasobnikiem. Opis sterowania jest zdawkowy, zdaniem recenzentki brakuje w nim właściwego schematu blokowego zastosowanego algorytmu.
8. W tekście rozdziału 4.1 (str.49) znajduje się stwierdzenie „...o przepływie mocy decydują wielkości zadane P i Q wynikające z trybu, w jakim układ pracuje (zdalny, lokalny).” Proszę o wyjaśnienie na czym polega zdalny i lokalny tryb pracy zasobnika.
9. W zamieszczonych w rozdziale 4.3 zależnościach 17-22, które dotyczą opisu zbioru zasobników stacjonarnych i mobilnych, „znajdujących się w obszarze danej pętli”, zastosowano oznaczenia charakterystyczne dla realizacji usług V2G przez pojazdy elektryczne (EV), co jest mylące i rodzi dodatkowe pytania. Przykładowo, rozróżnienie pomiędzy trybem świadczenia usługi M_n (tryb awaryjny lub planowy) jest uzasadnione w przypadku zasobników EV ze względu na inny sposób kontraktowania, ale jakie jest uzasadnienie takiego rozróżnienia w przypadku zasobników stacjonarnych? Jaki sens mają współrzędne geograficzne, czy oznaczają numer stacji, czy też w przypadku zasobników EV ich położenie w obrębie obszaru działania operatora? Jak rozumieć dobór lokalizacji magazynów energii, skoro położenie magazynów jest już określone współrzędnymi geograficznymi? Ponadto, w zależnościach są błędy i nieścisłości, które przedstawiam w p. 5.
10. Na str. 53, akapit 2, Autor pisze: „Główną ideą proponowanej metody jest wyznaczenie właściwej, z punktu widzenia OSD ilości zasobników w stacjach SN/nN...” Proszę o wyjaśnienie co oznacza właściwa liczba zasobników i jakie jest kryterium tego wyznaczenia?
11. W opisie metody oceny lokalizacji i funkcjonowania układów zasobnikowych w sieci dystrybucyjnej, przedstawionej w rozdziale 4.3, Autor stwierdza (str. 57), iż zdefiniowano 11 celów, jakie mogą zostać osiągnięte na skutek zainstalowania zasobnika, odwołując się do Tabeli 5. Tabela ta nosi tytuł „Kryteria oceny wyboru stacji” i zawiera tylko 6 celów, które powtarzają się także w tabelach 12-15 na str. 60 i 61. Czy więc oceniana jest realizacja 6 celów, jak wskazano w Tabelach, czy jedenastu, jak napisano? W dalszej części pracy zdefiniowano kryteria dla oceny stopnia realizacji założonych celów, które zamieszczono w Tabelach 6-9 noszących podobnie brzmiący tytuł „Kryteria oceny lokalizacji”. W przedstawionym opisie odczuwa się swego rodzaju „bałagan językowy” z powodu braku jasnego rozróżnienia celów zastosowania zasobnika i realizacji tych celów w określonej lokalizacji, dla oceny której definiowane są odpowiednie kryteria.
12. W jaki sposób ocenia się stopień spełnienia celów (Tabela 16), a w szczególności celu C5 i C6, w opracowanej przez Doktoranta metodzie wyboru stacji dla lokalizacji zasobników?
13. Opracowana metoda wyboru stacji dla lokalizacji zasobników została wdrożona w sieci Stoen Operator w celu poprawy niezawodności zasilania odbiorców. Czy i w jaki sposób można zastosować tę metodę w przypadku, gdy zadaniem zasobnika jest np. ograniczenia obciążeń

szczytowych lub poprawa profilu napięciowego? W jaki sposób wyznaczana jest moc i pojemność zasobnika w tym przypadku?

4. Wybrane uwagi redakcyjne i językowe

1. Str. 9, akapit 6 – „Wytwórca/prosument, będąc przyłączonym na każdym poziomie napięć..”, instalacje prosumenckie przyłączane są na poziomie nN.
2. Str. 10, akapit 2: „... ISE dają możliwość wzajemnego połączenia wszystkich użytkowników, nie tylko odbiorców, ale także odnawialnych źródeł energii i lokalnej generacji” – ani źródła, ani generacja nie są użytkownikami energii.
3. Str. 12, akapit 3: „Przemiana ta (w modelu funkcjonowania sektora energetycznego – przyp. recenzentki) spowoduje zmianę przepływu wytwarzanej energii z układu scentralizowanego do charakteru rozproszonego i zlokalizowanego jak najbliższej odbiorcy”. Zdanie niezrozumiałe, chodzi o zmianę struktury SEE, a nie zmianę przepływu energii.
4. Str. 14, akapit 1: „Działanie to (lokalizacja i parametry zasobników energii – przyp. recenzentki) oparto o podejście probabilistyczne, które obejmuje uwzględnienie stochastycznej natury elementów systemu”. Stochastyczne może być natura obciążenia, a nie elementów systemu.
5. Str. 14, akapit 2: „W sieci inteligentnej pojawił się dodatkowy rodzaj użytkowników, a mianowicie prosumenci...”. Istnienie prosumentów nie jest uwarunkowane powstaniem sieci inteligentnej.
6. Str. 16, akapit 1: Sformułowanie „pokrycie nadmiaru produkcji..” jest nieprawidłowe.
7. Str. 18, akapit 1: „...układy hybrydowe oparte o mieszanki technologiczne” – określenie niepoprawne.
8. Str. 29, akapit 1: „Bardziej zaawansowane algorytmy zasobnika... minimalizacja współczynnika migotania światła”. Zjawisko migotania światła jest konsekwencją wahań napięcia w węzłach sieci. Algorytmy zasobnika mogą dotyczyć kompensacji wahań napięcia, a nie współczynnika migotania.
9. Str. 30, akapit 4: „...przedstawiono technikę optymalizacji algorytmu genetycznego...”. Optymalizacja nie dotyczy algorytmu, tylko algorytm dotyczy optymalizacji.
10. Str. 39, akapit 2: Sformułowanie „kształtowanie ilości przepływającej energii” jest nieprawidłowe. Kształtować można przebieg obciążenia.
11. Str.43: Niekompletne objaśnienia zmiennych w równaniach 3, 5, błędne równanie 4.
12. Str. 44: Oznaczenie zmiennej kątowej w równaniach 6 i 7 oraz 8 i 9 jest różne.
13. Str. 48, akapit 3: „, moc określona jest na bazie następującej kolejności...”- niepoprawny język.
14. Str. 53, akapit 1: „Zmiana wielkości zasobnika wpływa na jego parametry pracy”. Jak Autor rozumie wielkość zasobnika i parametry pracy zasobnika?
15. Str. 53, wzory 17, 18: Brak wyjaśnienia wielkości N^{REQ}_{UEV} , η_{CS} , E_{BESS} .
16. Str. 53, akapit 2: „...ilość zasobników..” jest wyrażeniem niepoprawnym, winno być liczba zasobników. Podobnie liczba węzłów, a nie „ilość węzłów” (str.43).
17. Str. 55, wzór 23: Jeśli $DIS^{HS}_{E-B,n}$ jest wyrażone w km, to postać wzoru jest nieprawidłowa.
18. Str. 97 i dalej w rozdziale 5.5: Sformułowanie „odbiorcy afektowani awarią” w znaczeniu ‘dotknięci awarią’ jest nieprawidłowe, znaczenie słowa afektowany jest inne.
19. str. 11, akapit 2: Czy rzeczywiście powołanie się na pozycję [74] w odniesieniu do problemu integracji pojazdów elektrycznych z siecią zasilającą jest właściwe? Podobnie str. 21, akapit 2: Czy rzeczywiście pozycja [63] literatury dotyczy wpływu EV na stabilność pracy sieci i jakość energii? Wątpliwości budzi też prawidłowość następujących cytowań: str. 12, akapit 3 - pozycja [1], str. 42, akapit 1 – pozycja [51], str. 30, akapit 3 - pozycje [56] i [78].

20. str. 16, akapit 2: W zdaniu „niewiele badań dotyczyło analizy innych korzyści z wdrożenia ESS w sieciach dystrybucyjnych...” Autor odwołuje się do literatury z 2011 i 2012 roku (pozycje [12] i [84]). Czy to stwierdzenie jest aktualne w roku 2023?
21. Str. 24 i str. 33: Nie podano źródeł rysunków 3 i 5. Ponadto, na rys. 5 przedstawiona jest prognozowana generacja mocy w zależności od poziomu wiatru, a nie odwrotnie.
22. Str. 46: Rysunek 9 jest mało nieczytelny. Podobnie: str. 66, rys 12; str. 72, rys.14; str. 132, rys.24.
23. Str.113, akapit 4: Zdanie niedokończone.
24. Str. 131, tab.34: W zestawieniu parametrów technicznych magazynu brakuje SOC_{min} i SOC_{max} .

5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Sosnowskiego świadczy niewątpliwie o dużej aktywności zawodowej Doktoranta w obszarze wykorzystania systemów magazynowania energii na potrzeby operatora sieci dystrybucyjnych i jego zaangażowaniu w innowacyjną działalność Stoen Operator. Zakres tematyczny rozprawy jest dość szeroki, gdyż obejmuje zarówno różne zastosowania zasobników, jak i różne ich rodzaje (zasobniki mobilne i stacjonarne) oraz różne aspekty wykorzystania: techniczne, prawne i organizacyjne. Taka różnorodność tematyczna niewątpliwie utrudnia syntetyczne, a przy tym klarowne opracowanie zagadnienia i może obniżyć jego jakość, co jest widoczne w rozprawie. Tym niemniej należy docenić zamierzenie Doktoranta i uzyskany efekt podstawowy, jakim jest pokazanie przedsiębiorstwu Stoen Operator celowości, możliwości i uwarunkowań zastosowania zasobników energii w nadzorowanej przez niego sieci. Doktorant wykazał się wiedzą inżynierską i dobrą znajomością funkcjonowania warszawskiej sieci dystrybucyjnej w różnych jej aspektach.

Ustawa z dnia 10 marca 2023 Prawo o szkolnictwie wyższym (DU z dnia 20 kwietnia 2023 r.) w artykule 187, ust. 1-2, stanowi, iż przedmiotem rozprawy doktorskiej jest „...oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej..”. Zdaniem recenzentki rozprawa nie wnosi nowej wiedzy w sensie naukowym, ale Doktorant wykazał, że prezentowane przez niego rozwiązanie w postaci metody wyboru stacji SN/nN dla lokalizacji i doboru zasobników, będące wynikiem własnych badań, może być wdrożone w przedsiębiorstwie Stoen Operator S.A. i może pomóc w jego funkcjonowaniu.

Ustawa formuluje też pod adresem doktoranta wymaganie wykazania się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, w czym mieści się umiejętność prezentowania ich założeń, metod i wyników. Przedstawione w recenzji uwagi budzą wątpliwości czy to wymaganie jest spełnione.

Konkludując uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Sosnowskiego wymaga wprowadzenia poprawek, w tym odpowiednich wyjaśnień i uzupełnień oraz oczywistej korekty błędów merytorycznych i formalnych.

