



POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA W KIELCACH
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI
I INFORMATYKI

25-314 KIELCE, AL. TYSIĄCLECIA PAŃSTWA POLSKIEGO 7 Tel.: (041) 34 24 129 Fax/tel.: (041) 34 47 758 E-mail: weali@tu.kielce.pl

dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Katedra Energetyki, Energoelektroniki i Maszyn elektrycznych
e-mail: a.chojnacki@tu.kielce.pl
tel. (41) 342-47-61

Kielce, 21.08.2023 r.

WPŁYNEŁO
2023 -09- 04
dn.....

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Łukasza Sosnowskiego

„Regulacja przepływu energii w sieci nN za pomocą mobilnych i stacjonarnych zasobników energii”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Biczal
Promotor pomocniczy: dr inż. Janusz Jakubowski

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego, pismo z dnia 27 czerwca 2023 roku, w związku z powołaniem mnie na recenzenta przez Radę Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej na posiedzeniu w dniu 27 czerwca 2023 roku.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Ocenie podlega rozprawa doktorska „Regulacja przepływu energii w sieci nN za pomocą mobilnych i stacjonarnych zasobników energii”. Rozprawa obejmuje 145 stron tekstu i składa się z 6 rozdziałów podstawowych (111 stron), Wstępu (2 strony) oraz Bibliografii, liczącej 95 pozycji. Zawiera także dwa załączniki (17 stron). Rozprawę poprzedza Wykaz oznaczeń, symboli i skrótów wykorzystanych w pracy. Na stronach 5 i 6 Autor zamieścił streszczenie oraz słowa kluczowe w języku polskim i angielskim.

Rozdziały główne obejmują następujące zagadnienia:

1. Magazynowanie energii w świetle współczesnej literatury.
2. Cel i zakres pracy.

3. Regulacja przepływów energii w sieciach niskich napięć i poprawa niezawodności pracy sieci.
4. Wdrożenie zasobników energii w sieci Stoen Operator celem regulacji przepływów w sieci niskiego napięcia.
5. Analiza korzyści z zastosowania zasobników energii w sieci warszawskiego operatora systemu dystrybucyjnego.
6. Podsumowanie.

W załączniku *A* Autor zamieścił charakterystykę układu badawczego małego zasobnika energii w stacji SN/nN zrealizowanego przez Stoen Operator w ramach własnego projektu badawczego. Z kolei w załączniku *B* przedstawiona została konstrukcja kompletnej stacji SN/nN z zasobnikiem energii, wdrożonej w sieci Stoen Operator, zrealizowanej w ramach projektu POIS.01.04.01-00-003/18.

3. Ocena wyboru tematu rozprawy i jej zakresu

Problem magazynowania energii elektrycznej istnieje od chwili jej odkrycia. Tak więc można stwierdzić, iż badania w tym zakresie prowadzone są od kilkuset lat (1748 – naładowane szklane płytki Benjamina Franklina, 1800 – stos Volty). Tym bardziej dziwić może fakt, że w 2023 roku nadal występuje problem z jej efektywnym gromadzeniem. Niestety, magazynowanie energii to ogromne wyzwanie z czysto technologicznego punktu widzenia. Prawa fizyki sprawiają, że znacznie łatwiej energię wytworzyć, przesłać lub przetworzyć, niż bezpiecznie i bezstratnie zmagazynować. Waga tematu przechowywania energii elektrycznej wzrosła wraz z liczbą urządzeń oraz obiektów, których działanie jest uzależnione od jej stałej i stabilnej dostępności. Można tutaj wymienić przede wszystkim infrastrukturę krytyczną, samoloty, statki i łodzie, czy miejsca znacznie oddalone od sieci elektroenergetycznych. To w ich kontekście, w ostatnich kilkudziesięciu latach, rozwijały się zaawansowane technologie magazynowania energii.

Magazynowanie energii to temat, który coraz częściej poruszany jest także w kontekście transformacji energetycznej Polski. Dynamiczny rozwój nieemisyjnych źródeł produkcji prądu, głównie fotowoltaiki, stawia nowe wyzwania spółkom dystrybucyjnym. Rozwój OZE spowodował wiele problemów oraz zidentyfikował wiele barier w systemie elektroenergetycznym. Samoistne wyłączenia instalacji fotowoltaicznych, brak możliwości odbioru energii elektrycznej produkowanej przez OZE, przestarzała sieć niskiego napięcia, trudności techniczne utrzymania bezpieczeństwa pracy sieci przy dużym nasyceniu instalacjami prosumenckimi czy wreszcie odmowa wydania warunków przyłączeniowych dla nowych instalacji OZE stały się przyczyną poszukiwania rozwiązań, które mogłyby tym wszystkim problemom zapobiegać lub je ograniczyć. Wydaje się, że bez magazynów energii system elektroenergetyczny nie będzie w stanie przyjąć wytworzonej energii. Wskazuje to na konieczność budowy przemysłowych magazynów energii w określonych obszarach sieci dystrybucyjnych.

Zastosowanie magazynów energii niesie za sobą wiele korzyści, do których zaliczyć można między innymi:

- przesunięcie konsumpcji w czasie;
- stabilizację parametrów sieci;
- regulację napięcia;
- ograniczenie mocy zamówionej;
- poprawę niezawodności zasilania;

- możliwość przyłączenia większej ilości OZE bez inwestycji w infrastrukturę dystrybucyjną i przesyłową;
- optymalizację struktur sieci elektroenergetycznych;
- redukcję współczynnika mocy (kompensacja mocy biernej);
- świadczenie usług systemowych, bilansowanie mocy, rezerwa mocy, wyrównywanie obciążeń.

Na wzrastającą popularność magazynów energii mają wpływ także uwarunkowania społeczne oraz polityczne. W ostatnich kilku latach energia elektryczna stale drożeje, a konsumenci poszukują oszczędności. W związku ze zmianą prawa, zmieniły się zasady rozliczeń za zużytą energię w gospodarstwach domowych wyposażonych w instalacje fotowoltaiczne. W opracowaniach naukowych coraz częściej wskazuje się na zagrożenie nagłymi przerwami w dostawie energii elektrycznej (w tym blackoutami), spowodowane zmianami klimatycznymi, stanem sieci dystrybucyjnych i sektora wytwarzania energii. Prawdopodobieństwo przerw w dostawie energii wzrosło dodatkowo wraz z agresją Rosji na Ukrainę. Należy zwrócić także uwagę na fakt, iż z analizy zmian prawnych wprowadzanych przez polski rząd w zakresie elektroenergetyki wynika, że coraz silniej promuje on autokonsumpcję energii. Wszystkie te uwarunkowania sprzyjają rozwojowi magazynów energii.

Najczęściej rozważanym w literaturze problemem jest wybór pojemności magazynu energii. Tymczasem w ujęciu systemowym równie ważnym problemem jest lokalizacja magazynu. Ponadto sam magazyn nie posiada zdolności technologicznej do współpracy z siecią lub odnawialnym źródłem energii. W praktyce zagadnienie projektowania musi być traktowane kompleksowo, jako dobór całego systemu magazynowania energii, tj. zasobnika energii (najczęściej akumulatorów), urządzeń energoelektronicznych sprzęgających sieć prądu przemiennego z układami prądu stałego oraz urządzeń sterujących i zarządzających magazynowaniem i oddawaniem energii.

W powyższym kontekście (autor recenzji celowo przedstawił jedynie zarys problemu) tematyka rozprawy doktorskiej wydaje się aktualna i ważna. Wpisuje się ona w jeden z najbardziej aktualnych nurtów badawczych współczesnej elektroenergetyki polskiej (bezpieczeństwo oraz niezawodność eksploatacji sieci elektroenergetycznych, stosowanie rozwiązań proekologicznych). W rozdziale Cel i zakres pracy Autor bardzo szczegółowo i konkretnie uzasadnił przyczynę podjęcia tematu. W znacznym uproszczeniu, problem badawczy polega na wykorzystaniu mobilnych i stacjonarnych bateryjnych zasobników energii w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych niskich napięć w celu technicznej i ekonomicznej poprawy funkcjonowania sieci rozdzielczej, w tym przypadku sieci warszawskiej.

Praca składa się niejako z trzech części. Pierwsza (Rozdział 2) obejmuje zagadnienia dość dobrze znane, jak idea magazynowania energii, konstrukcje zasobników, sposoby sterowania zasobnikami energii, koszty magazynowania, czy też wykorzystanie samochodów elektrycznych jako mobilnych magazynów energii. Część druga (Rozdział 4) dotyczy regulacji przepływów energii w sieciach niskich napięć oraz poprawy niezawodności pracy tej sieci. Część ta jest swego rodzaju łącznikiem między rozważaniami teoretycznymi a analizami praktycznymi. W trzeciej części pracy, obejmującej rozdziały piąty, szósty i siódmy, przedstawione zostały wyniki własnych badań Autora. Jest to zdecydowanie najistotniejsza i najciekawsza część pracy. W rozdziale piątym Autor, na bazie metodyki przedstawionej w rozdziale czwartym, przeprowadził szereg analiz oraz obliczeń mających na celu opracowanie koncepcji zastosowania mobilnych oraz stacjonarnych magazynów energii na terenie warszawskiej dzielnicy Wawer. Dla wybranych

ciągów linii SN zaproponował lokalizację magazynów energii oraz wyznaczył ich pojemność. Dokonał także analizy zmian współczynnika SAIDI, jakie wystąpiły na skutek zainstalowania magazynów energii. W rozdziale szóstym Autor przedstawił korzyści jakie wynikają z zastosowania zasobników energii dla operatora systemu dystrybucyjnego.

Uważam, iż tematyka pracy jest istotna zarówno w wymiarze badawczo – naukowym, jak i użytecznym. Mimo dużej różnorodności opracowań naukowych z tego zakresu, wciąż poszukuje się lepszych i bardziej ekonomicznych rozwiązań w zakresie poprawy jakości oraz stabilności pracy sieci dystrybucyjnych energii elektrycznej.

Autor na podstawie przeprowadzonej analizy literatury oraz po uwzględnieniu wyników wstępnych analiz postawił w swojej rozprawie tezę: „Wykorzystanie mobilnych i stacjonarnych bateryjnych zasobników energii w dystrybucyjnych sieciach elektroenergetycznych niskich napięć przyczyni się do technicznej i ekonomicznej poprawy funkcjonowania warszawskiej sieci rozdzielczej.” Jako cele częściowe badań wskazał:

1. analizę literaturową zagadnień związanych z magazynowaniem energii;
2. przegląd dostępnych metod zarządzania i sterowania układami magazynowania energii oraz dostępnych konstrukcji zasobników energii;
3. opracowanie metody wyboru stacji transformatorowych, w których zabudowa stacjonarnych i mobilnych zasobników energii pozwoli na poprawę funkcjonowania warszawskiej sieci rozdzielczej;
4. badanie skuteczności oddziaływania zasobników energii na pracę stacji transformatorowej na wybranych przykładach aplikacyjnych.

Jest to precyzyjne przedstawienie celu pracy i problemu, który Autor postanowił rozwiązać. Informuje dokładnie o zamierzeniach Autora.

Podsumowując. Postawiony problem badawczy, teza oraz cele pracy są spójne i uzasadnione aktualnym stanem wiedzy oraz potrzebami elektroenergetyki, a także wpisują się w bieżące warunki funkcjonowania sektora elektroenergetycznego w Polsce.

4. Dobór metod badawczych

Do rozwiązania postawionego problemu Autor zaproponował połączenie trzech metod badawczych. Jako pierwszą wykorzystał metodę analizy i krytyki piśmiennictwa (kwerendę biblioteczną). Na jej podstawie określił aktualny stan wiedzy oraz wskazał w jakim zakresie podjęty problem jest inny od dotychczas znanych opracowań naukowych. W kolejnym kroku wykorzystał metodę statystyczną. Dla rozważanej sieci dystrybucyjnej (tutaj sieć dystrybucyjna warszawskiej dzielnicy Wawer) określił wskaźniki jakościowe, w tym przede wszystkim wskaźnik SAIDI. W ostatnim, najistotniejszym etapie prowadzenia badań wykorzystał metodę eksperymentalną, optymalizując lokalizację oraz pojemność magazynów energii w poszczególnych ciągach liniowych. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu określił korzyści jakie można uzyskać stosując zasobniki energii.

W odniesieniu do przyjętych metod badawczych oraz sposobu ich wykorzystania nie zgłaszam żadnych zastrzeżeń. Metody badawcze są właściwe, a ich wykorzystanie poprawne.

5. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Recenzowana rozprawa jest pracą o dobrym poziomie merytorycznym. Autor wykazał, że posiada umiejętność: formułowania i rozwiązywania problemów naukowych, przyjmowania uzasadnionych założeń i stawiania tez, wykorzystywania i rozwijania

właściwych podejść metodycznych, rozwiązywania postawionych zadań oraz przekonującej prezentacji uzyskanych rezultatów. Co prawda praca jest nieco chaotyczna i trzeba się bardzo koncentrować, aby nie zgubić głównego wątku, przy dużej liczbie dygresji wplatanych przez Autora, niemniej podkreślić należy, iż wykonał on mnóstwo pracy, realizując dysertację i zrealizował konkretną pracę badawczą. Śledząc drogę rozwoju oraz publikacje Doktoranta można wnioskować o Jego samodzielności i inicjatywie w podejmowaniu trudnych zadań. Na szczególną uwagę zasługuje dobry poziom prowadzonych rozważań, co dobrze rokuje Jego karierze naukowej i zawodowej.

6. Strona redakcyjna rozprawy

Praca ma postać książki i jest zredagowana oraz wydana w sposób dość staranny. Rysunki oraz tabele są dobrej jakości, a także są czytelne i zrozumiałe. Niestety w pracy zdarzają się bardzo liczne błędy stylistyczne oraz językowe, a także ortograficzne. Pojawiają się także błędy formatowania. Poniżej wymienię jedynie przykładowe:

- str. 5, wers 1 od góry, jest „stacjonarnych - zasobników”, powinno być „stacjonarnych zasobników”;
- str. 5, wers 5 od góry, jest „jaki biernej”, powinno być „jak i biernej”;
- str. 5, wers 9 od dołu, jest „...pod kątem jakości parametrów energii elektrycznej, niezawodność jej dostaw, efektywność energetycznej, wydajność i dynamiki procesów kompensacji stanów zakłóceńowych...”, powinno być „...pod kątem jakości parametrów energii elektrycznej, niezawodności jej dostaw, efektywności energetycznej, wydajności i dynamiki procesów kompensacji stanów zakłóceńowych...”;
- str. 5, wers 9 od dołu, jest „...pod kątem jakości parametrów energii elektrycznej”. Chodzi tutaj nie o jakość parametrów, ale o jakość energii i wartość parametrów (wskaźników) tą jakość opisujących, a więc powinno być „...pod kątem parametrów jakości energii elektrycznej” lub po prostu „...pod kątem odpowiedniej jakości energii elektrycznej”;
- str. 5, wers 3 od dołu, jest „...możliwości regulacji przepływami energii...”, powinno być „...możliwości regulacji przepływów energii...” lub „...możliwość sterowania przepływami energii...”;
- str. 7, numer strony rozdziału 4 w spisie treści jest po lewej stronie;
- str. 9, wers 8 od góry, jest „koszty magazynowania energii”, powinno być „kosztów magazynowania energii”;
- str. 9, wers 10 od góry, jest „...możliwości poprawy niezawodności poprawy sieci.”, powinno być „...możliwości poprawy niezawodności sieci.”;
- str. 10, wers 8 od góry, jest „...mające zdolność do adaptacji do oczekiwań jej użytkowników.”, powinno być „...posiadające zdolność adaptacji do oczekiwań jej użytkowników.”;
- str. 11, wers 5 od góry, jest „...w których źródła charakteryzują się dużą dynamiką ilości generowanej”. Generowanej czego?
- str. 12, wers 13 od dołu, jest „...pod kątem ... niezawodność jej dostaw, efektywność energetycznej, wydajność i dynamiki procesów...”, powinno być „...pod kątem ... niezawodności jej dostaw, efektywności energetycznej, wydajności i dynamiki procesów...”;
- str. 12, wers 13 od dołu, jest „...pod kątem jakości parametrów energii elektrycznej”. Chodzi tutaj nie o jakość parametrów, ale o jakość energii i wartość

parametrów (wskaźników) tą jakością opisujących, a więc powinno być „...pod kątem parametrów jakości energii elektrycznej” lub po prostu „...pod kątem odpowiedniej jakości energii elektrycznej”;

- str. 12, wers 6 od dołu, duża przerwa w tekście. Podobne przerwy pojawiają się dość często, przykładowo na stronie 14 (13 wers od dołu), 15 (20 wers od góry), 17 (2 wers od dołu) i wielu innych;
- str. 13, wers 11 od dołu, jest „...pozwalają na uzyskanie wartości dodanej z ich zastosowania. Jest to przede wszystkim poprawa stabilności pracy sieci, poprawę niezawodności dostaw jak również mogą wpływać na parametry jakościowe.”, powinno być „...pozwalają na uzyskanie wartości dodanej z ich zastosowania. Jest nią przede wszystkim poprawa stabilności pracy sieci, poprawa niezawodności dostaw jak również wpływ na parametry jakościowe.”;
- str. 14, wers 4 od góry, jest „W artykule [5] w wyczerpujący wprowadzono ramy umiejscowienia...”, powinno być „W artykule [5] w wyczerpujący sposób wprowadzono ramy umiejscowienia...” lub lepiej „W artykule [5] w pełnym zakresie wprowadzono ramy umiejscowienia...”;
- str. 15, wers 1 od góry, jest „...badania autorów można z podzielić na...”, powinno być „...badania autorów można podzielić na...”;
- str. 15, wers 13 od góry, jest „Nie mniej...”, powinno być „Niemniej”;
- str. 15, wers 21 od góry, jest „...sieć dystrybucyjnej...”, powinno być „...sieci dystrybucyjnej...”;
- str. 16, wers 16 od dołu, jest „...stwarza obecnie wiele problemów natury nie tylko związanej z ich budową, ale także problemów eksploatacyjnych.”, powinno być „...stwarza obecnie wiele problemów związanych nie tylko z ich budową, ale także z eksploatacją.”;
- str. 18, wers 1 od góry, jest „...w sposób niezanieczyszczający środowisko”, powinno być „...w sposób niezanieczyszczający środowiska”;
- str. 21, wers 6 od góry, jest „Ma to ma istotne znaczenie...”, powinno być „Ma to istotne znaczenie...”;
- str. 22, wers 13 od góry, jest „...lub energii elektrycznej do postaci energii, która może...”, powinno być „...lub przetworzenie energii elektrycznej do postaci energii, która może...”;
- str. 23, wers 1 od dołu, jest „...na którym opierać się będzie w przyszłości stabilności sieci dystrybucyjnych.”, powinno być „...na którym opierać się będzie w przyszłości stabilność sieci dystrybucyjnych.”;
- str. 24, wers 10 od góry, jest „...potrzebne operatorowi sieci do określić dostępnej ilości możliwej do wykorzystania...”, powinno chyba być „...potrzebne operatorowi sieci do określenia dostępnej ilości energii elektrycznej możliwej do wykorzystania...”;
- str. 28, wers 5 od góry, jest „...która wiąże moc czynna ze zmianą częstotliwości.”, powinno być „...która wiąże moc czynną z częstotliwością.” lub „...która wiąże zmianę mocy czynnej ze zmianą częstotliwości.”;
- str. 28, wers 9 od góry, jest „...oraz założonej mocy...”, powinno być „...oraz z założoną mocą...”;
- str. 28, wers 10 od góry, jest „Zasobnik mierzy moc czynna i generuje bądź pobiera moc czynna tak, aby moc w węźle:”, powinno być „Zasobnik mierzy moc czynną i generuje bądź pobiera moc czynną tak, aby moc w węźle:”;

- Po wypunktowaniu na stronie 28 jest zbędna linia przerwy. W przypadku innych wypunktowań linia taka nie występuje.
- W ostatnim akapicie na stronie 28 brak jest wcięcia akapitowego. Sytuacja powtarza się jeszcze parokrotnie w pracy.
- str. 28, wers 4 od dołu, jest „Może też wystąpić konflikt pomiędzy realizacji założonych funkcji przez użytkownika zasobnie...”, powinno być „Może też wystąpić konflikt pomiędzy realizacją funkcji założonych przez użytkownika zasobnika...”;
- str. 29, wers 5 od góry, jest „Wariacja powyższego sposobu...”, powinno być „Wariacją powyższego sposobu...”, a w naukach technicznych raczej „Wariantem powyższego sposobu...”;
- str. 29, wers 7 od góry, jest „Zadaje się dopuszczalna prędkość...”, powinno być „Zadaje się dopuszczalną prędkość...”;
- str. 29, wers 10 od góry, jest „Można tu wymienić minimalizacje współczynnika...”, powinno być „Można tu wymienić minimalizację współczynnika...”;
- str. 29, wers 13 od góry, jest „...i optymalizacje kosztowa:”, powinno być „...i optymalizację kosztową:”;
- Na str. 30, w wersie 8 od dołu, znajduje się przekreślone słowo prądowym;
- str. 30, wers 6 od dołu, jest „...oceny wpływ kosztów...”, powinno być „...oceny wpływu kosztów...”;
- str. 32, wers 16 od dołu, jest „...liczbę cykl...”, powinno być „...liczbę cykli...”;
- str. 32, wers 11 od dołu, jest „...z pracą zasobników czasie.”, powinno być „...z pracą zasobników w czasie.”;
- str. 34, wers 5 od dołu, jest „Jednakże, wiele autorów...”, powinno być „Jednakże, wielu autorów...”;
- str. 39, wers 7 od góry, jest „...może pozwolić na dowolne kształtowanie ilości przepływającej energii oraz poprawa jakości pracy sieci rozdzielczej.”, powinno być „...może pozwolić na dowolne kształtowanie ilości przepływającej energii oraz poprawić jakość pracy sieci rozdzielczej.”;
- str. 39, wers 14 od góry, jest „porządzane”, powinno chyba być „pożądane”;
- Na stronie 39 w wypunktowaniu są dwa punkty pierwsze;
- str. 40, wers 12 od góry, w wypunktowaniu jest „opracowaniu sposobu wymiarowaniu tych zasobników;”, powinno być „opracowanie sposobu wymiarowania tych zasobników;”. Także w punkcie drugim i czwartym tego wypunktowania powinny znaleźć się formy „opracowanie metody” oraz przeprowadzenie eksperymentów”;
- str. 40, wers 9 od dołu, jest „...da wyniki pozytywny...”, powinno być „...da wynik pozytywny...”;
- str. 41, wers 3 od góry, jest „...z badać efekty wdrożenie tych urządzeń...”, powinno być „...z badać efekty wdrożenia tych urządzeń...”;
- str. 41, wers 9 od góry, jest „niezwodne”, powinno być „niezawodne”;
- W całej pracy Autor używa wielokrotnie, naprzemiennie zwrotów „mikroźródło” oraz „mikro źródło”, przy czym poprawna jest tylko forma pierwsza;
- str. 49, wers 11 od dołu, jest „...szczególnie z dla usług...”, powinno być „...szczególnie dla usług...”;
- str. 50, wers 19 od dołu, jest „...umożliwiający krótszych czas pracy...”, powinno być „...umożliwiający krótszy czas pracy...”;

- str. 53, wers 7 od góry, jest „...determinowana będzie skutkami awarii występującymi w sieci...”, powinno być „...determinowana będzie skutkami awarii występujących w sieci...”;
- W tabeli 5 jest „Efekty wizerunkowy OSD”, powinno być „Efekty wizerunkowe OSD”;
- str. 59, wers 5 od dołu, jest „Oznacza to konieczność wyznaczenie wartości...”, powinno być „Oznacza to konieczność wyznaczenia wartości...”;
- str. 60, wers 1 od góry, jest „...prawdopodobieństwo nieobecność pracownika...”, powinno być „...prawdopodobieństwo nieobecności pracownika...”;
- str. 71, wers 5 od góry, jest „...gdzie znajduje nadal...”, powinno być „...gdzie znajduje się nadal...”;
- str. 74, wers 1 od dołu, jest „nie izolowane”, powinno być „nieizolowane”;
- str. 78, wers 10 od góry, jest „...w tym 3 stacji napowietrzne”, powinno być „...w tym 3 stacje napowietrzne”;
- str. 83, wers 2 od dołu, jest „Pozwala ta ograniczyć...”, powinno być „Pozwala to ograniczyć...”;
- str. 91, wers 5 od góry, jest „Widać na tych rysunkach nim marginalny udział...”, powinno być „Widać na tych rysunkach marginalny udział...”;
- str. 105, wers 13 od góry, jest „wzór (???)”;
- str. 108, wers 5 od góry, jest „w załączniku nr 2.”, powinno być prawdopodobnie „w załączniku B”. Nie ma załącznika nr 2;
- str. 112, wers 18 od dołu, jest „...zmniejszenia długości przerw w napięciu...”, powinno być „...zmniejszenia długości przerw beznapięciowych...” lub „...zmniejszenia długości przerw w zasilaniu odbiorców...”;
- str. 112, wers 15 od dołu, jest „...są najczęściej skutkiem awarii w sieci lub zwarcim nieprzemijającym.”, powinno być „...są najczęściej skutkiem awarii w sieci lub zwarcia nieprzemijającego.”;
- str. 112, wers 13 od góry, jest „...wyspowe zasilanie fragmentu siec...”, powinno być „...wyspowe zasilanie fragmentu sieci...”;
- str. 113, wers 8 od góry, jest „...zasobnik zasilić sieć dużym prądem.”, powinno być „...zasobnik zasila sieć dużym prądem.”;
- str. 113, wers 10 od góry, jest „...utrzymując jest w granicach dopuszczalnych”, powinno być „...utrzymując jego wartość w granicach dopuszczalnych.”;
- Na stronie 113, drugi akapit od dołu napisany jest mniejszą czcionką niż reszta pracy;
- str. 115, wers 8 od góry, jest „mają zatem charaktery badawczy...”, powinno być „mają zatem charakter badawczy...”;
- str. 115, wers 16 od góry, jest „...analiza aktów pranych pokazuje...”, powinno być „...analiza aktów prawnych pokazuje...”;
- str. 117, wers 1 od dołu, jest „...wprowadzenie stosownych regulacji, które powinny one zawierać:”, powinno być „...wprowadzenie stosownych regulacji, które powinny zawierać.”;
- Brak konsekwencji przy formatowaniu wypunktowań w pracy. I tak na stronach 22, 30, 31, itd. Autor kończy poszczególne punkty średnikami. Na stronach 28, 29 i wielu innych punkty kończą się przecinkami. W jeszcze innych przypadkach (np. strona 17) brak jest zupełnie znaku kończącego punkty.

- Brak jest konsekwencji w cytowaniu literatury w tekście. Najczęściej Autor podaje pozycje literaturowe w kolejności ich występowania w Bibliografii. Zdarzają się jednak przypadki, że cytowane są one w kolejności losowej, np. [27, 18] (str. 21), [87, 34] (str. 29), [92, 56, 77] (str. 30) i wiele innych;
- Brak jest konsekwencji w rozpoczynaniu nowego akapitu od wcięcia akapitowego. Generalnie Autor rozpoczyna nowy akapit wcięciem. W niektórych przypadkach akapity rozpoczynają się jednak od marginesu;
- Praca jest napisana w języku polskim. Autor nie pofatygował się, aby w tym języku były również tabele oraz opisy rysunków. Prowadzi to do sytuacji w której Autor wykorzystuje podwójne nazewnictwo wielu wskaźników i parametrów, polskie i anglojęzyczne.
- W Bibliografii Autor stosuje różne style dla poszczególnych pozycji literaturowych. W jednym przypadku tytuły publikacji są pisane czcionką prostą, a w innym kursywą. Raz Autor podaje pełne imię, a raz pierwsze litery imienia (np. pozycje 3, 4, 5, 11, 15, 16, 21, 28, 43, 44, 56, 59, 62, 66, 73 i inne). W niektórych pozycjach wieloautorskich jedne imiona są podawane w całości, a przy innych jest tylko pierwsza litera (np. pozycje 39, 45, 49 i inne). W pozycji 49 jest przykładowo Dukat Piotr, ale już Pawlicki B.

Wymienione powyżej błędy nie obejmują równie licznych drobnych niedociągnięć, jak brak kropek, przecinków, itp. Jest to niestety olbrzymia liczba niedociągnięć językowych i redakcyjnych, jak na pracę doktorską, która jest przecież opracowaniem naukowym.

Jak już wspomniano, rozprawa doktorska zawiera wykaz literatury liczący 95 pozycji. Uważam, iż jest to znaczna liczba publikacji. Pozytywnie wypada także ocena jakościowa źródeł. Znaczną część publikacji stanowią materiały anglojęzyczne, co sugeruje, iż Autor dokonał bardzo dokładnej kwerendy bibliotecznej obejmującej publikacje krajowe, ale także międzynarodowe. Przedstawione pozycje literaturowe pochodzą w większości z ostatnich dziesięciu lat oraz są poprawnie dobrane do tematyki pracy. Są one cytowane w sposób prawidłowy, we właściwych miejscach rozprawy.

7. Uwagi szczegółowe i krytyczne

W ocenianej pracy doktorskiej zauważyć można systematyczne podejście do tematyki rozprawy. Autor stopniowo wprowadza czytelnika w tematykę pracy, rozpoczynając od informacji podstawowych (ogólne informacje o magazynach energii), poprzez opis przyjętej metody badawczej, a skończywszy na opisie własnych badań teoretycznych i praktycznych (rozdział 5 – Wdrożenie zasobników energii w sieci Stoen Operator celem regulacji przepływów w sieci) oraz badań doświadczalnych (rozdział 5 i rozdział 6 – Analiza korzyści z zastosowania zasobników energii w sieci warszawskiego operatora systemu dystrybucyjnego). Oceniając pozytywnie rozprawę doktorską oraz zaprezentowane w niej wyniki, chciałbym zwrócić uwagę na kwestie dyskusyjne oraz mankamenty:

1. Tytuł rozprawy nie do końca oddaje jej treść. Sugeruje on bowiem, iż głównym celem stosowania magazynów energii będzie regulacja i wyrównanie obciążeń w sieciach dystrybucyjnych. Tymczasem w zaproponowanej metodzie badawczej „Wpływ na kształt lokalnego profilu zapotrzebowania na moc” jest tylko jednym z sześciu zaproponowanych kryteriów lokalizacji magazynów energii, natomiast w części praktycznej decydującym kryterium (w zasadzie jedynym) jest ciągłość dostaw energii do odbiorców, reprezentowana przez wskaźnik SAIDI.

2. Teza pracy została udowodniona jedynie połowicznie. Autor wykazał, że wykorzystanie magazynów energii „przyczynia się do technicznej poprawy funkcjonowania sieci dystrybucyjnej”. Nie znalazłem w pracy żadnej analizy ekonomicznej związanej z kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi oraz spodziewanymi zyskami związanymi z wykorzystaniem magazynów energii. W podrozdziale 2.5 Autor zamieścił co prawda rozważania dotyczące kosztów magazynowania energii, są to jednak rozważania bardzo ogólne, bazujące na dostępnej literaturze (nie są to badania własne Autora). Nie da się na ich podstawie stwierdzić, czy rozwiązania zaproponowane w rozdziale 5 i 6 są uzasadnione ekonomicznie. Uważam w związku z tym, że część tezy dotycząca „ekonomicznej poprawy funkcjonowania sieci” nie została udowodniona.
3. Autor w pracy opisuje liczne zalety magazynów energii. Nie wspomina za to nawet słowem o ich wadach. Czy w opinii Autora takie nie istnieją?
4. W różnych częściach pracy Autor pisząc o „magazynach energii” ma na myśli raz dowolny magazyn energii (magazynowanie energii jako ogólny proces), a innym razem wprost magazyn bateryjny (ogniwa elektrochemiczne). Biorąc pod uwagę, że niektóre sformułowania są prawdziwe dla zasobników bateryjnych, a niekoniecznie dla magazynów innego rodzaju, prowadzi to do pewnego zamieszania w wywodach Autora.
5. Na stronie 11 można znaleźć zapis: „W przyszłości podstawowymi elementami systemów elektroenergetycznych będą pracujące niezależnie, ale mogące również ze sobą współpracować, regionalne lub lokalne małe systemy elektroenergetyczne.” Skąd Autor ma pewność, że tak będzie? Ponad sto lat temu okrzyknięto, że prąd stały to przeżytek i zostanie bardzo szybko zupełnie wyeliminowany przez prąd przemienny. Dziś obserwujemy powrót technologii bazujących na prądzie stałym, chociażby w zakresie przesyłu energii, czy też jej magazynowania.
6. Na stronie 20 Autor napisał „W produkcji seryjnej znajdują się niewielkie cewki nadprzewodzące, przeznaczone dla lokalnych odbiorców energii, umożliwiające zgromadzenie 6 MJ energii, co pozwala oddawać przez okres około 9 s moc rzędu 450 kW przy stratach w pozostałym okresie.” Co Autor ma na myśli pisząc „przy stratach w pozostałym okresie”?
7. Na stronie 31 Autor napisał „unikaniem ładowania/rozładowania dwa razy dziennie.” Dlaczego akurat dokładnie dwa razy? Czy nie powinno tutaj być „unikaniem ładowania/rozładowania częściej niż dwa razy dziennie.”?
8. Na stronie 32 Autor napisał: „...ale również generuje koszty związane z pracą zasobników w czasie.” Jest to dość dziwne sformułowanie. Czy Autorowi chodziło po prostu o koszty eksploatacyjne zasobników w kolejnych latach eksploatacji?
9. Podpis rysunku 5 jest niewłaściwy. Sugeruje, że to wiatr zależy od mocy.
10. W zależności (4) powinno być mnożenie zamiast dodawania.
11. Na stronie 42 Autor napisał: „Zgodnie z obowiązującymi przepisami [51]...” Przypuszczam, że chodzi tu o Rozporządzenie [52], a nie [51].
12. Czy w zależności (15) na pewno chodzi o moce pozorne S ? Czy nie powinny tutaj być moce bierne Q ?
13. Czy zależność (18) jest poprawna? Jeżeli założymy, że wolumen energii elektrycznej wymagany do zasilenia kluczowych odbiorców stanowi tylko pewną część całkowitego wolumenu energii elektrycznej stacji, to wyrażenie $E_d' - E_{E-B}$ przyjmuje wartość ujemną.

14. We wzorach (17) oraz (18) występują symbole n_{cs} oraz N_{uEV}^{REQ} , które nie zostały objaśnione. Bardzo proszę o ich interpretację.
15. Moje wątpliwości budzi zależność (23). Występujące tam zmienne $SOC_{akt,n}^{E-BH} \left(f_{offIN}^{E-B} \right)$ oraz $SOC_{min,n}$ wyrażamy w wartościach względnych lub w %. Z kolei $E_{US_{BESS,n}}$ i c_n w kWh. W objaśnieniu do zależności (24) Autor podaje, że $DIST_{E-B,n}^{HIST}$ wyraża się w km. Skoro tak to w nawiasie głównym wzoru (23) otrzymujemy odejmowanie różnych jednostek (% – km – % lub 1 – km – 1).
16. Co w zależności (23) oznacza symbol η_d ?
17. Na stronie 57 Autor napisał: „W niniejszym opracowaniu zdefiniowano jedenaście takich celów, które zostały przedstawione w tabeli 5.” Z kolei na stronie 59 czytamy: „...dokonał oceny wpływu grup kryteriów na osiągnięcie każdego z jedenastu celów.” W tabeli 5 przedstawionych jest tylko 6 celów.
18. W zależności (28) występuje wskaźnik W_{sr} . Ponieważ wskaźnik ten wyznacza się zarówno dla mocy czynnej, biernej, jak i pozornej, a także dla różnych obciążeń (podstawowych, średnich, chwilowych) powinno się w objaśnieniu podać jego pełną nazwę, czyli „średni stopień obciążenia stacji mocą pozorną”. W literaturze krajowej wskaźnik ten najczęściej oznacza się symbolem m_S , a nie W_{sr} .
19. Jeżeli Autor zdecydował się na badania ankietowe, to czy nie korzystniejsze dla jakości uzyskanych wyników byłoby zastosowanie metody AHP? Metoda ta pozwala na przynajmniej częściowe wyeliminowanie „błędów” ankietowych i elementów niewiedzy lub stronniczości osób ankietowanych.
20. Bardzo proszę o interpretację prawdopodobieństw zawartych w tabeli 11 oraz przedstawienie metodyki wyznaczenia wartości $P(A)$ na podstawie tych danych.
21. Na stronach 55-63 Autor rozważa między innymi kwestię doboru pojemności zasobników energii. Wykorzystuje w tym celu zamiennie dwa parametry. Przykładowo w zależności (23) podstawą określenia pojemności baterii jest odległość jaką muszą pokonać służby eksploatacyjne, aby dojechać do miejsca awarii. Z kolei w zależności (28) jako podstawowy parametr, od którego zależy pojemność zasobnika, występuje czas podtrzymania zasilania. Brak jest jakiegokolwiek komentarza na temat ewentualnego związku tych dwóch parametrów. Czy Autor sprawdzał jaka jest korelacja pomiędzy tymi parametrami? Czy w przypadku aglomeracji miejskiej można mówić o znacznej korelacji?
22. Według tabeli 19 w Warszawie znajduje się łącznie 101% sieci SN.
23. Na stronie 73 Autor prezentuje dane z roku 2017. Biorąc pod uwagę, że aktualnie jest rok 2023, dane te są dość stare i zapewne w dużej mierze nieaktualne. Dodatkowo Autor napisał, że „Do 2020 roku dynamika wzrostu liczby mieszkańców będzie podobna do obecnie występującej.” Rok 2020 już był i można było sprawdzić dane, zamiast pisać o prognozach.
24. Na stronie 107 Autor napisał w Podsumowaniu, że: „Przedstawiona w tym rozdziale metodyka doboru lokalizacji zasobników stacjonarnych i mobilnych pozwoli Stoen Operator na właściwe sieciowo i kosztowo rozmieszczenie magazynów energii.” Analiza w ujęciu sieciowym została przeprowadzona. Nie ma natomiast w pracy analizy kosztowej. Oczywiście jest ona dość pracochłonna, ale wykorzystując jedną z metod oceny opłacalności inwestycji (przykładowo metodę kosztów rocznych) na podstawie kosztów inwestycyjnych związanych z zakupem i instalacją magazynów energii oraz ich kosztów eksploatacyjnych związanych z obsługą i konserwacją, można wyznaczyć średnie koszty roczne

proponowanego rozwiązania. Z kolei wykorzystując zmiany wskaźników SAIDI oraz dostępne w literaturze ekonomiczne równoważniki kosztów niedostarczonej energii można wyznaczyć spodziewany roczny zysk z inwestycji. Analiza taka dawałaby wynik przybliżony, ale na jej podstawie otrzymalibyśmy ogólną informację o opłacalności rozważanej inwestycji.

25. Czy na podstawie analiz przeprowadzonych w rozdziale 5 Autor jest w stanie stwierdzić, iż wykorzystanie samochodów EV jako mobilnych zasobników energii jest uzasadnione? W większości rozważanych przypadków Autor stwierdził, że wymagana pojemność zasobnika jest zbyt duża, aby można było wykorzystać zasobnik mobilny. Możliwość taka pojawiła się jedynie w dwóch przypadkach. Dodatkowo Autor na stronie 119 stwierdza, że „Zastosowanie pojazdów elektrycznych jako mobilnych zasobników energii jest trudne technicznie i utrudnione na bazie obowiązujących regulacji prawnych”. Czy w takim razie jest sens, aby OSD inwestował w dwukierunkowe ładowarki z funkcją zwrotu energii do sieci dystrybucyjnej, czy od razu powinien inwestować w zasobniki stacjonarne? Jaka jest opinia Autora?
26. Na stronie 112 Autor napisał: „Takie przerwy są najczęściej skutkiem awarii w sieci lub zwarcia nieprzemijającego.” Czy w ujęciu ogólnym zwarcie nieprzemijające to nie awaria?
27. Na stronie 113 Autor napisał, że: „Dodatkowo zmagazynowanie energii lokalnie i podłączenie samochodu EV bezpośrednio do stacji SN/nN, pozwoli na ograniczenie strat związanych z dystrybucją.” Jeżeli rozważymy tylko straty obciążeniowe w liniach i transformatorach, to rzeczywiście tak będzie, ze względu na przyłączenie samochodu EV w pobliżu miejsca odbioru energii. W mojej opinii do problemu należy jednak podchodzić kompleksowo. Nie można w tej sytuacji pominąć strat ładowania oraz rozładowania baterii, a także strat samorozładowania. Dodatkowo energia służąca do naładowania zasobnika, jest do niego dostarczana za pomocą sieci dystrybucyjnych, powodując straty przesyłowe (pomijając sytuację ładowania baterii z lokalnej instalacji, np. PV). Czy w sytuacji uwzględnienia wszystkich strat energii powyższe stwierdzenie Autora będzie prawdziwe? Czy Autor prowadził takie badania?
28. Na stronie 119 Autor napisał: „Wraz ze spadkiem cen urządzeń i wdrożeniem zmian prawnych w zakresie możliwości stosowania zasobników przez OSD opłacalność inwestycji będzie rosła.” A jak jest na chwilę obecną? Czy aktualnie inwestycja związana z wykorzystaniem magazynu energii jest opłacalna? Czy taka inwestycja zwróci się przed upływem technicznego okresu eksploatacji magazynu? Koszty są w tym przypadku dość znaczne. To nie tylko koszt zakupu zasobnika, ale także układu energoelektronicznego sprzęgającego sieć z zasobnikiem i sterującego jego pracą, koszt modernizacji sieci i przebudowy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i sterowniczej. Nie można zapominać o kosztach eksploatacyjnych i zawodnościowych magazynów energii. Jak każde urządzenie techniczne muszą być one nadzorowane oraz konserwowane i niestety, co jakiś czas się uszkadzają.
29. Streszczenie pracy jest skopiowane wprost ze strony 12 i nie oddaje treści dysertacji.
30. Z treści pracy wynika, że projekty opisane w załącznikach A oraz B są autorstwa Doktoranta. Czy tak jest rzeczywiście?

31. Z treści pracy wynika, że Stoen Operator eksploatuje obecnie kilka magazynów energii i Doktorant na bieżąco je nadzoruje. Jakie są doświadczenia z eksploatacji tych magazynów? Czy są to jak dotąd układy bezawaryjne? Czy wystąpiły jakieś problemy eksploatacyjne?

Autor rozprawy zrealizował obszerną pracę badawczą. Jej wykonanie wymagało znacznych umiejętności badawczych i organizacyjnych. Autor rozprawy wykazał się także umiejętnością opracowywania sprawozdań i raportów z prac badawczych. Wykazane powyżej w recenzji niedociągnięcia oraz uchybienia tylko nieznacznie umniejszają wartość merytoryczną całego opracowania. Pewne nieścisłości pojawiły się zapewne na etapie redagowania pracy. Z kolei przedstawione uwagi i sugestie mają przede wszystkim charakter polemiczny i dyskusyjny. **Podsumowując, ogólna ocena rozprawy jest pozytywna.**

8. Podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Uzyskane w rozprawie wyniki, oparte w przeważającej części na badaniach własnych Autora, są wartościowe zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i użytecznego. Autor zaprezentował w swojej rozprawie doktorskiej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jako jego wkład w dyscyplinę naukową elektrotechnika (Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne) zaliczam przede wszystkim:

- analizę zagadnienia eksploatacji zasobników energii w sieciach elektroenergetycznych;
- przegląd konstrukcji zasobników energii;
- opracowanie kryteriów oraz metody badawczej na podstawie których możliwe jest określenie optymalnej lokalizacji magazynów energii w sieci elektroenergetycznej oraz wyznaczenie ich pojemności;
- realizację projektów opisanych przez Autora w załącznikach do dysertacji, a dotyczących wdrożenia w sieci Stoen Operator układów magazynowania energii;
- wykonanie pomiarów rozpyłów mocy w sieci nN dla stacji SN/nN wyposażonej w zasobnik energii oraz technologię V2G.

Sposób prowadzenia badań oraz uzyskane rezultaty możliwe do wykorzystania w praktyce, potwierdzają znaczną wiedzę Doktoranta w jego dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i przedstawiania jej wyników. Postawioną w pracy tezę uważam za częściowo udowodnioną. Wszystkie cele pracy zostały osiągnięte.

Na podstawie powyższych rozważań stwierdzam, iż w mojej ocenie recenzowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone przez obowiązującą ustawę (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, ze zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365, w Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455, Dz. U. z 2016 r. poz. 882, Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) – ustawa znowelizowana) w związku z art. 179 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.), a także Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668) w zakresie dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (zawierającej dyscyplinę elektrotechnika). **Wnioskuje o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.**

Chyrad. Anly.