

Kraków, 20 lipca 2022 r.

Dr hab. inż. Tadeusz Olkusi, prof. AGH
Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Agaty Mielcarek

pt. *Długoterminowa niezawodność niezależnego systemu wytwórczego założonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii*
wykonanej pod opieką dr hab. inż. Bartosza Cerana

Podstawa wykonania recenzji

Recenzję wykonano na wniosek Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej z dnia 21.06.2022 r.

Przedmiot rozprawy

Instalacje fotowoltaiczne są obecnie najbardziej dynamicznie rozwijającymi się systemami energetycznymi w Polsce. Wpływa na to ma wiele czynników, między innymi, ogólne dążenie do wytwarzania tzw. czystej energii, czyli ekologicznego jej wytwarzania, szybkość montażu instalacji, niezależność od podwyżek cen energii, a także programy wsparcia polegające na dofinansowywaniu tego typu inwestycji. Instalacje fotowoltaiczne posiadają też wady, a jedną z najważniejszych jest zależność od warunków atmosferycznych. Dlatego tak ważne jest połączenie instalacji fotowoltaicznych z magazynem energii.

W niniejszej pracy Doktorantka przeprowadziła badania dotyczące wymiarowania systemu wytwórczego polegające na określeniu mocy zainstalowanej instalacji fotowoltaicznej oraz pojemności znamionowej magazynu energii. Badania te przeprowadziła w oparciu o dane meteorologiczne i dane obciążenia elektrycznego.

Ocena merytoryczna

Niniejsza rozprawa doktorska składa się z dziewięciu rozdziałów, wykazu stosowanych oznaczeń oraz spisu literatury. We wstępie Doktorantka wyjaśniła zasadę działania niezależnego systemu wytwórczego energii elektrycznej złożonego z instalacji fotowoltaicznej i magazynu energii w postaci akumulatorów elektrochemicznych. Wyjaśniła, że wymiarowanie systemu w perspektywie długoterminowej polega na wyborze konfiguracji o możliwie najkorzystniejszej wartości wskaźnika kryterium ekonomicznego przy jednoczesnym spełnieniu wymogu niezawodności. Wymagana wartość wskaźnika niezawodnościowego uwzględnia spadek wydajności komponentów w ciągu wielu lat pracy. W swoich badaniach modelowych uwzględniła wpływ pracy akumulatora, konkretnie zakres wykorzystywanej jego pojemności, na proces jego degradacji.

W rozdziale drugim przedstawiła tezę wraz z jej uzupełnieniem oraz cel i zakres pracy. Należy stwierdzić, że zarówno teza jak i cel pracy zostały opracowane jasno i klarownie, a zakres pracy przedstawiono w sposób wyczerpujący.

Rozdział trzeci rozpoczęto od przywołania definicji bezpieczeństwa energetycznego, niestety bez podania źródła. W dalszej części rozdziału omówiono wyzwania środowiskowe wpływające na rozwój energetyki odnawialnej, rozwój niezależnych systemów zasilających opartych o odnawialne źródła energii, raporty organizacji zajmujących się odnawialnymi źródłami energii oraz koszty energii, w domyśle elektrycznej (choć nie zostało to napisane), dla różnych technologii jej wytwarzania. Przedstawiła też trendy występujące obecnie w elektroenergetyce zarówno w Europie jak i na świecie.

W krótkim rozdziale czwartym wyjaśniła na czym polega niezawodność w elektroenergetyce i w jaki sposób wylicza się wskaźnik dyspozycyjności jednostki wytwórczej. Podała też przykłady najczęściej stosowanych wskaźników niezawodności wytwarzania energii elektrycznej.

Rozdział piąty obejmuje szeroki przegląd literaturowy sposobów wymiarowania systemów składających się z odnawialnych źródeł energii oraz przykłady stosowanych metod i założeń procesu wymiarowania. Na początku podano przykłady stosowanych metod wymiarowania hybrydowych systemów wytwórczych o dowolnej strukturze, a następnie pokazano przykłady stosowanych przez różnych badaczy założeń w ramach procesu wymiarowania systemów wytwórczych. W dalszej części omówiono metody wymiarowania niezależnych systemów złożonych z instalacji fotowoltaicznej i akumulatorów elektrochemicznych, co z punktu widzenia przeprowadzonych przez Autorkę badań jest najistotniejsze.

W rozdziale szóstym wyjaśniono na czym polegają procesy degradacyjne modułów fotowoltaicznych i akumulatorów elektrochemicznych oraz wytłumaczono ich wpływ na niezawodność wytwarzania energii elektrycznej w systemach złożonych z tych komponentów. Słusznie zauważono, że czynnikami powodującymi degradację modułów fotowoltaicznych są: temperatura otoczenia, wilgoć, nasłonecznienie i wstrząsy mechaniczne. Czynniki te wywołują degradację poprzez korozję, przebarwienia, rozwarstwienia i pęknięcia. Jeśli chodzi o degradację akumulatora wyróżniono takie czynniki jak: liczba cykli pracy, wartość temperatury pracy, poziom naładowania i rozładowania, przedział ładowania i rozładowania, czas, warunki przechowywania i napięcie ładowania.

Rozdział siódmy jest najważniejszym rozdziałem w pracy, gdyż zawiera część badawczą. Przedstawiono w nim modelowanie niezależnego systemu złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii. Omówiono dane wejściowe opracowywanego modelu, z dużym naciskiem na dane meteorologiczne i dane obciążenia. Wyjaśniono również sposób wyznaczania mocy generowanej przez instalację fotowoltaiczną. Przedstawiono również algorytm służący do bieżącej aktualizacji wartości energii zgromadzonej w akumulatorze. W dalszej części wyznaczono bilanse energetyczne i zwiualizowano bilans pokrycia zapotrzebowania na moc i energię w układzie, a także bilans mocy i energii generowanej przez instalację fotowoltaiczną. Następnie opisano sposób zliczania cykli pracy akumulatora, wzrostu rezystancji ładowania i rozładowania oraz spadku pojemności. Przedstawiono również sposób wyznaczania wskaźnika niezawodnościowego i ekonomicznego. Na zakończenie opisano proces symulacyjny prowadzący do wyboru najlepszej konfiguracji systemu, mocy zainstalowanej instalacji fotowoltaicznej i pojemności znamionowej magazynu energii.

Rozdział ósmy zawiera wyniki przeprowadzonych analiz. W pierwszej kolejności przedstawiono szczegółowe wyniki symulacji dla dwóch spośród sześciu analizowanych zakresów pracy akumulatora i odpowiadających im modeli tempa spadku dostępnej pojemności. W recenzowanej pracy przedstawiono dwa skrajne warianty charakteryzujące się najszybszym i najwolniejszym tempem degradacji, czyli odpowiednio dopuszczalną pracę w zakresie 25 – 100% i 65 – 75% dostępnej pojemności. Przeprowadzono też analizę porównawczą wyników badań uwzględniających degradację komponentów układu podczas eksploatacji i nieuwzględniającą tego faktu. Przeprowadzono również analizę wrażliwości mającą na celu określenie, które czynniki mają największy wpływ na zmianę uzyskanych wyników. Wzięto pod uwagę zmiany obciążenia, natężenia promieniowania słonecznego,

parametrów ekonomicznych i dopuszczalnej wartości wskaźnika niezawodności na wyniki wymiarowania rozważanego systemu.

Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Mielcarek ma charakter oryginalnej pracy naukowej i zawiera istotne elementy poznawcze. Nowatorski charakter oraz oryginalność prezentowanych badań polega na przeprowadzeniu w ramach modelu analizy pracy systemu w dłuższej perspektywie czasowej z uwzględnieniem degradacji o tempie zależnym od przyjętego trybu pracy.

Niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana bardzo starannie zarówno pod względem merytorycznym jak i edytorskim. Zawiera 88 rysunków i 18 tabel oraz obszerny, składający się ze 105 pozycji, spis literatury.

W związku z powyższym stwierdzam, że praca ta spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Tadeusz Olkuski, prof. AGH

