

Dr hab. inż. Henryk Kocot, prof. PŚ
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów
Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej
Henryk.Kocot@polsl.pl
Tel. 32 237 26 40

Gliwice, 24 stycznia 2019 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Mateusza Andrychowicza

pt. „**Optymalizacja planowania pracy i rozwoju systemów dystrybucyjnych**”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Wydziału Elektrotechniki Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej z dnia 11 grudnia 2018 r. oraz pismo Dziekana Wydziału Pana prof. dr hab. inż. Michała Strzeleckiego z dnia 12 grudnia 2018 r.

2. Tematyka, tezy i cel rozprawy

Tematyka poprawy efektywności działania systemu elektroenergetycznego jest tematyką stale aktualną. W obecnej dobie zmian, jakie zachodzą w systemach elektroenergetycznych, dotyczących pojawienia się nowych typów źródeł o mało przewidywalnych stanach pracy, tematyka optymalizacji planowania pracy źródeł oraz rozwoju sieci nabiera dużego znaczenia. Tematyka przedstawionej do oceny rozprawy wpisuje się w ten nurt badań. Celem pracy jest, jak pisze Autor w punkcie 1.1 (str.11), opracowanie metody długoterminowego planowania pracy i rozwoju systemu dystrybucyjnego, przy uwzględnieniu aspektów operacyjnych takich jak rozpiętość mocy, straty mocy, poziomy napięcie oraz bilanse energii. W rozdziale 4 pojawia się jeszcze raz podrozdział zatytułowany cel pracy (4.1.1, str. 79), który nieco zawęża obszar badań rozpatrywanych w rozprawie do sieci średniego napięcia.

Problem badawczy rozważany w rozprawie obejmuje optymalizację trzech elementów: budowę nowych jednostek wytwórczych, budowę nowych zasobników energii oraz budowę nowych linii. Tak zapisane zadanie na pewno jest problemem naukowym, którego

WtH.

rozwiązanie nie jest problemem łatwym i należy w jego rozwiązanie zaangażować spory zasób wiedzy i umiejętności z zakresu elektrotechniki, ekonomii, matematyki. Uważam, że jest to problem badawczy adekwatny do wymagań dotyczących rozpraw doktorskich.

Teza pracy podana w punkcie 1.2. o treści *‘możliwe jest opracowanie nowej metody optymalizacji planowania pracy i rozwoju systemów dystrybucyjnych uwzględniając: alokację oraz dobór mocy nowobudowanych odnawialnych źródeł energii, alokację zasobników energii oraz budowę nowych połączeń w sieci’* jest zgodna z celem jaki wyznaczył sobie Doktorant.

Istotnym elementem zaproponowanej pracy jest, moim zdaniem, równoczesna optymalizacja źródeł oraz sieci. Spora liczba prac koncentruje się na optymalizacji doboru źródeł, głównie OZE, lub na rozwoju sieci pod kątem arbitralnie przyjętych mocy źródeł do niej przyłączanych (analizy przyłączeniowe). W przypadku braku zdolności przyłączeniowych, niespełnieniu kryteriów technicznych pracy sieci, następuje proces optymalizacji rozwoju sieci. Dwa oddzielne zadania i ich optymalizacja nie muszą prowadzić do rozwiązania optymalnego w sensie globalnym, a takie rozwiązanie jest celem do osiągnięcia przez Doktoranta.

Tak postawiony cel i tezę pracy uważam za ważną i aktualną, zarówno od strony naukowej jak i utylitarnej.

3. Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa zawiera 183 strony tekstu wraz bibliografią, załącznikami, spisem rysunków i tabel, wykazem autorskich publikacji oraz streszczeniami. Bibliografia obejmuje 103 pozycje, bez publikacji Autora, których liczba, zgodnie z wykazem wynosi 7. Całość pracy podzielona jest na 7 rozdziałów, przy czym można tu dokonać pewnego zebrania niektórych rozdziałów w grupy.

I tak po wstępie, w którym nakreślono cel pracy, postawiono tezę do udowodnienia oraz zaprezentowano strukturę pracy, następują rozdziały 2 i 3, które tworzą część wprowadzającą do tematyki pracy, a w szczególności opisują obecny stan wiedzy na przedstawiany temat oraz prezentują przegląd metod optymalizacyjnych. Z punktu widzenia całości pracy rozdziały te są niewątpliwie ważne, jednak - zdaniem recenzenta - są zbyt obszerne, zawierają w niektórych fragmentach wiedzę ogólnie dostępną i niekonieczną do realizacji pracy: m.in. opis zadań Operatora Systemu Przesyłowego (OSP) (str.21-25), podział i szczegółowa budowa elektrowni wiatrowej (str. 31-32), czy opis systemów wsparcia produkcji energii elektrycznej w Odnawialnych Źródłach Energii (OZE) funkcjonujących w różnych krajach europejskich (str.39-41). Istotnym elementem tego wprowadzenia jest natomiast przegląd metod wykorzystywanych do optymalnej alokacji źródeł OZE, alokacji zasobników energii oraz rozwoju infrastruktury sieciowej. Ten przegląd jest bezpośrednio związany z rozprawą i wskazuje na brak metod i narzędzi do łącznej optymalizacji tych elementów składowych.

WTH.

Druga, zasadnicza część pracy zgrupowana jest w rozdziałach 4-6. I tak rozdział czwarty zawiera sformułowanie problemu badawczego, z opisem modelu optymalizacyjnego, funkcji celu, z szczegółowym opisem jej składników, oraz nałożone ograniczenia techniczne.

Rozdział piąty przedstawia założenia do analizy scenariuszowej, poprzez podanie możliwych do budowy trzech rodzajów jednostek wytwórczych (paneli fotowoltaicznych, elektrowni wiatrowych, biogazowni) wraz z podaniem ich mocy znamionowych (trzy poziomy z typoszeregu); rodzajów i parametrów zasobników energii; oraz danych linii tworzących aktualną sieć elektroenergetyczną oraz potencjalne, możliwe do realizacji połączenia. Po podaniu założeń Autor proponuje rozważyć 5 scenariuszy rozwoju, przy czym scenariusze te tworzą cały proces badawczy, ponieważ rozpoczynają się od prostych działań (optymalizacji) tj. tylko rozwoju źródeł, poprzez dobór źródeł i zasobników energii, a kończą na pełnej optymalizacji źródeł, zasobników i rozwoju sieci. Ten ostatni piąty scenariusz rozwojowy jest głównym elementem całej pracy i obejmuje rozwój kompleksowy, który jest treścią tezy i celu pracy. Taki dobór scenariuszy symulacyjnych wydaje się być trafny, gdyż umożliwi pokazanie wpływu poszczególnych składników funkcji celu na globalny koszt funkcjonowania badanego podsystemu. W rozdziale tym Doktorant opisuje również działania – wyniki, będące skutkiem optymalizacji w poszczególnych scenariuszach.

W rozdziale szóstym Autor przedstawia wyniki przeprowadzonych symulacji dla poszczególnych scenariuszy. Wyniki te przedstawione zostały w postaci sumarycznych mocy zainstalowanych w źródłach OZE, sumarycznych pojemności zasobników oraz w przypadkach w których optymalizowano sieć w postaci sumarycznych długości linii. Innym wynikowym wskaźnikiem prezentowanym w pracy są struktury generowanej energii, profile zapotrzebowania i ewentualnych ograniczeń produkcji energii, struktura kosztów analizowanego systemu, koszty całkowite rozwoju analizowanego systemu dystrybucyjnego. Ten ostatni wskaźnik pokazuje jednoznacznie na wpływ, w tym przypadku korzystny, rozwoju sieci w kontekście rozwoju źródeł. Nawet z jednego wykresu (rysunek 6.21) można wnioskować o korzyściach wynikających z łącznej optymalizacji rozwoju źródeł i sieci, gdyż przedstawione tu wyniki pokazują, że rozwój samych źródeł (scenariusz 1), czy nawet źródeł z zasobnikami (scenariusz 2), charakteryzują się łącznym większym kosztem niż rozwój tych elementów z rozwojem sieci łącznie (scenariusz 5). Gdyby do kosztów rozwoju źródeł dodać jeszcze rozwój sieci suma funkcji celu tych dwóch procesów optymalizacyjnych da na pewno większy wynik niż łącznej optymalizacji. Ten wniosek jednoznacznie potwierdza słuszność podjętych w rozprawie działań.

Strona redakcyjna pracy nie budzi większych zastrzeżeń, choć jak zwykle w tego typu pracach zdarzają się drobne błędy. Są to przykładowo błędy językowe np. na str. 10 Autor napisał ‘*Problemy z dokładnym prognozowaniem wielkość produkcji...*’; redakcyjne np. we wzorze 4.42 (str. 108) pojawia się kwadrat napięcia a powinno być tylko napięcie (w pierwszej potędze), w opisie wielkości pod tym wzorem również pojawia się U^2 a wyjaśnienie jest, że jest to napięcie znamionowe, podobnie pod wzorami 4.35-4.39 (str.

WTH.

106); błędy logiczne np. na str. 95 jest zdanie 'Iloraz ilości zasobników oraz pojemności pojedynczego zasobnika określa sumaryczną pojemność zasobników w węźle' – raczej iloczyn tych wielkości (dla wielkości policzalnych powinno się też stosować liczba zamiast ilość). Autor odwołując się w tekście do rysunków stosuje opis np. *Rysunek 2.1* pisany z dużej litery. W języku polskim nie jest to poprawna konstrukcja, a myślę, że wynika z zastosowanego automatu edytora tekstu. Jednak nie robi tego w każdym przypadku np. na str. 120 i 121 jest użyta poprawna konstrukcja: słowo rysunek pisane jest z małej litery.

Podsumowując, ogólna ocena rozprawy jest w moim odczuciu pozytywna.

4. Uwagi dyskusyjne i komentarze

1. Uwaga ta dotyczy wyznaczania strat mocy w liniach. Nasuwają się tu dwa problemy, pytania.

1a. Na str. 105 Doktorant dokonuje linearyzacji funkcji strat w zależności od obciążania linii. Sama idea linearyzacji nie budzi tu żadnych zastrzeżeń, tym bardziej, że jako metodę rozwiązania całego zadania optymalizacyjnego Autor wybiera programowanie liniowe. We wzorach 4.35-4.39 podaje Autor liniowe funkcje opisujące straty i podsumowuje (wzór 4.40), że straty w linii są sumą tych 5 składowych. W opisie pod wzorami poszczególne funkcje składowe f_1 - f_5 są natomiast zapisane jako liniowe funkcje w poszczególnych przedziałach obciążenia. Jeszcze inaczej wygląda to na rys. 4.12 gdzie Autor podaje, że w poszczególnych przedziałach obciążenia wypadkowa funkcja opisująca straty mocy to suma składowych wcześniejszych np. dla przedziału trzeciego $PF^{\text{straty}}=f_1+f_2+f_3$. Zapis ten na pewno nie jest jednoznaczny.

1b. Na rysunku 4.12 (str. 107) pokazano zależność względnych strat mocy w funkcji względnego obciążenia w postaci ciągłej oraz zlinearyzowanej. Obciążenie linii oraz straty odniesione są do przepustowości linii. Na tym rysunku podane są też funkcje opisujące liniową zależność w poszczególnych przedziałach, przy czym można domniemywać, że są to funkcje opisane wyżej. Liniowe funkcje f_1 - f_5 opisują straty bezwzględne natomiast tu są wielkości niemianowane, czy w związku z tym we wzorach 4.35-4.39 wielkość przepływu mocy linią PF ma być bezwzględna czy względna ?

2. Drugi problem dotyczy struktury sieci. Czy w procesie optymalizacji może dojść do wybrania takich nowych linii, które dadzą zamkniętą strukturę sieci ? Wydaje się, z punktu widzenia optymalizacji, że można by tak dobrać parametry potencjalnych linii i miejsca powstawania nowych źródeł, aby doprowadzić do takiej sytuacji. Czy w modelu zaproponowanym przez Doktoranta znajdują się jakieś mechanizmy zabezpieczające przed taką sytuacją ? W przeciwnym wypadku pojawia się problem wyznaczania rozptyłu mocy, który nie może już być wyznaczony tylko na bazie bilansu mocy w węzłach, a tak postępuje chyba Doktorant (rys. 4.10, str. 103). Pojawia się tu w takim razie drugi problem czy metoda

nadaje się do całej sieci dystrybucyjnej, w tym sieci o napięciu 110 kV, która w naszym kraju pracuje jako zamknięta, czy tylko do sieci otwartych ?

3. W rozpatrywanym przykładzie sieci średniego napięcia Autor przyjął stosunkowo małe odległości między poszczególnymi węzłami, szczególnie dla potencjalnych nowych połączeń (wszystkie 500 m). Na stronie 114 natomiast Autor napisał, że dla każdego węzła przyjęto zróżnicowane współczynniki nasłonecznienia i warunków wiatrowych. Czy w takich małych systemach te różnice są rzeczywiście takie znaczne, czy był to raczej pewien zabieg, aby pokazać możliwości algorytmu ?

4. W rozprawie Doktorant przedstawia wyniki dla jednej struktury sieci i danych wytwórców i zasobników energii. Przeprowadzone analizy i wyniki dla różnych scenariuszy, przy czym scenariusz był tu pewnym wyborem zmiennych decyzyjnych (co było optymalizowane) pokazują dużą czułość rozwiązania ze względu na zmienne decyzyjne, przykładowo wspomniane już wcześniej rozwiązanie z potencjalnym rozwojem sieci. Zwykle w tego typu analizach, przy stosunkowo płaskiej funkcji celu, (a tak, chociażby ze względu na to ostatnie rozwiązanie można przypuszczać, że jest w tym przypadku) dokonuje się analizy czułości rozwiązania ze względu na przynajmniej wybrane dane wejściowe. Czy Autor wykonywał takie analizy, choćby tylko dla niektórych danych ? Jeżeli tak, to czy któryś z parametrów kosztowych zmiennych optymalizowanych miał jakiś szczególny wpływ na otrzymane rozwiązanie ?

Przestawione wyżej uwagi mają w większości charakter dyskusyjny i pozostają bez wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy. Wszystkie ewentualne nieścisłości należy uznać za zrozumiałe, biorąc pod uwagę złożoność problemu badawczego, i zostaną z pewnością wyjaśnione podczas publicznej obrony rozprawy.

5. Podsumowanie

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (art.13) wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jestem przekonany o tym, że opiniowana rozprawa spełnia to wymaganie. Sposób rozwiązania problemu naukowego przedstawiony w rozprawie daje ponadto możliwość jego praktycznego wykorzystania.

Jako najważniejsze osiągnięcie rozprawy uważam zaproponowanie i zaimplementowanie nowej metody łącznej optymalizacji rozwoju źródeł, głównie o dużej nieokreśloności produkcji, miejsc i liczby przyłączenia zasobników energii oraz rozwoju sieci elektroenergetycznej.

Doktorant w rozprawie konsekwentnie realizuje jej cel udowadniając postawioną we wstępie tezę. Prowadzony wykład jest w miarę jasny i czytelny oraz zawiera wszystkie istotne elementy: genezę, tezę, przegląd aktualnej wiedzy, sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników, podsumowanie oraz wykaz literatury.

WTH.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa mgr inż. Mateusza Andrychowicza pt. „*Optymalizacja planowania pracy i rozwoju systemów dystrybucyjnych*” odpowiada wymaganiom ustawowym stawianym przed rozprawami doktorskimi (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. – Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 ze zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

