



**Politechnika Łódzka**

**Instytut Elektroenergetyki**



**Profesor dr hab. inż. Władysław Mielczarski**

**Instytut Elektroenergetyki I22, Politechnika Łódzka**

**90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny  
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika  
wpłynęło dnia 05.09.2022  
nr 29 zał. ....

## **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Dziendziel**

### **Tytuł rozprawy:**

**Wielotorowe, wielonapięciowe elektroenergetyczne linie napowietrzne  
wysokich i najwyższych napięć.**

#### **1. Podstawa formalna recenzji**

Formalną podstawą do wykonania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika podjęta na posiedzeniu w dniu 17 maja 2022r. o powołaniu profesora dr hab. inż. Władysława Mielczarskiego na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Dziendziel pt. „Wielotorowe, wielonapięciowe elektroenergetyczne linie napowietrzne wysokich i najwyższych napięć” przesłanie pismem RDAEE/43/22 z dnia 07 czerwca 2022r.

#### **2. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Przesłana praca liczy 154 strony i jest podzielona na osiem głównych rozdziałów. Pierwszym z rozdziałów pracy jest Wprowadzenie, w którym autorka po krótkim przedstawieniu systemu elektroenergetycznego i najważniejszych jego cech oraz krótkiego przeglądu literatury prezentuje genezę pracy wskazując na rosnącą rolę układów wielotorowych, wielonapięciowych linii napowietrznych (WWLN) oraz możliwości zastosowania tego typu linii w przyszłym rozwoju polskiego systemu elektroenergetycznego. Autorka wskazuje na główny cel pracy formułując go w czterech punktach obejmujących: (i) przeprowadzenie analiz korzyści związanych ze stosowaniem WWLN; (ii) opracowanie modelu matematycznego WWLN; (iii) wykonanie analiz zagrożeń dla pracy systemu po wprowadzeniu niesymetrycznych impedancyjnie linii przesyłowych oraz (iv) wskazanie akceptowalnych zakresów długości linii typu WWNL. Następnie autorka formułuje tezę pracy oraz





wskazuje na sześć faz działania zastosowanych do udowodnienia postawionej tezy pracy.

### 3. Zagadnienie naukowe, jego sformułowanie i waga

Praca zajmuje się analizą korzyści związanych z zastosowaniem WWLN, a w szczególności z opracowaniem modelu matematycznego dla parametrów wzdlużnych i poprzecznych. Rozważane są zagadnienie związane z niesymetrycznością impedancyjną tego typu linii, w szczególności kiedy zostaje uwzględniony tor o najniższym napięciu. Analizowane są akceptowalne długości WWLN ze względu na wprowadzaną przez konstrukcję takich linii asymetrię.

W szczególności istotne są przeprowadzone w pracy analizy modeli parametrów wzdlużnych i poprzecznych, a także rozkładu pola magnetycznego w otoczeniu linii wielonapięciowej. Ważne są analizy WWLN jako elementu systemu elektroenergetycznego, a w szczególności analizy natężenia pola magnetycznego, niesymetrii pojemnościowej i impedancyjnej, jak również analizy zwarciove.

Istotną wartość naukową mają pokazane w pracy możliwości symetryzacji, jak również praca WWLN w systemie elektroenergetycznych jako fragmentów tradycyjnych ciągów przesyłowych, a także z odejściami linii napowietrznych.

### 4. Cel i teza rozprawy

W pracy postawiono tezę, że wielotorowe, wielonapięciowe linie napowietrzne mogą tworzyć korzystne technicznie i akceptowalne społecznie rozwiązania konstrukcyjne dla dalszego rozwoju systemu elektroenergetycznego. W tezie pracy również wskazano, że negatywne efekty takich linii, jak niesymetria napięć i prądów mogą zostać znacznie zmniejszone poprzez odpowiedni dobór układu faz na konstrukcji wsporczej lub pojedyncze przepłyty przewodów roboczych.

Po sformułowaniu głównych tez pracy wskazano cztery fazy wykazywania poprawności tez, obejmujące: (a) przegląd stanu wiedzy w analizowanej dziedzinie, (b) opracowanie modelu matematycznego do wyznaczania rozkładu pola elektromagnetycznego w otoczeniu WWNL, (c) przeprowadzenie analiz porównawczych rozptyłów mocy i napięć węzłowych oraz porównaniu wielkości prądów zwarciowych w zależności od stosowanego modelu, a także (d) analizę możliwości symetryzacji parametrów WWNL.

Zarówno sformułowane tezy jak i sposób ich wykazywania są w pełni poprawne pod względem naukowym.

### 5. Zakres recenzowanej pracy



Recenzowana praca składa się z siedmiu rozdziałów, z tym że kluczowe dla oceny pracy są rozdziały od nr 3 do 7. W pracy jest pokazana bibliografia oraz dwa załączniki dotyczące uproszczenia modelu matematycznego oraz geometrii analizowanych linii wielonapięciowych.

Układ prezentacji pracy jest poprawny. Po wprowadzeniu i pokazaniu charakterystycznych cech WWLM następuje przedstawienie modeli tych linii i ich parametrów. W szczególności prezentowane są parametry wzdlużne jak i parametry poprzeczne oraz rozkład natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu linii wielonapięciowych.

Kolejno prezentowana i analizowana jest praca WWLN jako elementu systemu elektroenergetycznego biorąc pod uwagę rozkłady natężenia pola elektromagnetycznego, niesymetrii pojemnościowej i oddziaływującej na tę niesymetrię parametrów oraz niesymetrii impedancyjnej, a także przedstawiana jest analiza zwarciova w funkcji długości linii oraz układu przewodów fazowych.

W pracy prowadzona jest analiza możliwości symetryzacji poprzez wybór układu przewodów fazowych oraz zastosowania przeplotów fazowych w torze prądowym przy stałej długości linii i wpływu przeplotów na zwiększenie długości linii.

Kolejno prezentowana jest praca WWLN jako elementu systemu elektroenergetycznego uwzględniając rolę WWLN jako fragmentów tradycyjnych ciągów liniowych oraz z uwzględnieniem odejść w postaci tradycyjnych linii napowietrznych oraz praca wielonapięciowych linii w rzeczywistym otoczeniu sieciowym.

## 6. Ocena stanu wiedzy w dyscyplinie naukowej

W pracy pokazana jest ocena stanu wiedzy w dyscyplinie naukowej oparta na kompleksowej analizie bibliografii na którą składają się: (a) dwadzieścia dwie książki, monografie i rozprawy doktorskie, (b) siedemdziesiąt dwa artykuły i referaty konferencyjne oraz (c) czternaście raportów, broszur technicznych i norm. Zakres analizowanej bibliografii oraz sposób przedstawienie stanu wiedzy w pracy wskazuje na znajomość dyscypliny naukowej oraz elementów technicznych prezentowanego w pracy zagadnienia.

## 7. Uzyskane wyniki i wnioski z prowadzonych badań naukowych

Prowadzone w ramach wykonywania pracy badania pozwoliły na wyciągnięcie wielu bardzo istotnych z punktu widzenia pracy naukowej i badanej dziedziny wniosków, z których w szczególności należy wskazać wpływ



umiejscowienia toru o najniższym napięciu na konstrukcji wsporczej na kształtowanie się rozkładu pola magnetycznego w otoczeniu WWLN, wpływ niesymetrii pojemnościowej na wartości napięcia kolejności zerowej, wpływ doboru przewodów fazowych na wartości napięcia zerowego występującego w torze o najniższym napięciu, wpływ wskaźników niezrównoważenia na długość linii, wskazanie najkorzystniejszej konstrukcji pod względem ograniczenia wskaźników asymetrii, wskazanie na możliwość redukcji niesymetrii i niezrównoważenia w zależności od kątów napięć fazowych, wpływ sposobu prowadzenia toru prądowego III na niesymetrię na końcu linii oraz wpływu układu trójkątnego na znaczną redukcję wskaźnika  $\alpha_2$ , wskazanie, że model odwzorowania asymetrii jest wystraczający przy krótkich liniach WWLN i nie powoduje błędów do poziomu 5%, wskazanie możliwości zwiększenia maksymalnej długości linii przy zachowaniu dopuszczalnych poziomów asymetrii, wskazanie że pełny przepływ w badanym torze prądowym pozwala na eliminację niesymetrii w tym torze, analiza topologii otoczenie sieciowego i jej wpływ na poziom asymetrii, wskazanie, że najmniejszym stopniem asymetrii geometrycznej charakteryzują się WWLN o pionowym układzie torów prądowych.

W podsumowaniu można stwierdzić, że zaprezentowane wyniki analiz w pełni potwierdzają przyjęte w pracy tezy.

### 8. Przydatność uzyskanych wyników w praktyce

Zagadnienie jakim zajmuje się praca jest nie tylko ważne, ale wręcz kluczowe dla dalszego rozwoju systemów energetycznych i transformacji energetycznej polegającej na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii na dużą skalę. Uwarunkowania geograficzne często powodują, że źródła odnawialne są ulokowane w znacznej odległości od odbiorów energii. Zagadnienie to jest bardzo istotne dla rozwoju polskiego systemu elektroenergetycznego, gdzie głównym producentem energii odnawialnej będą farmy wiatrowe morskie, a odbiorcy energii znajdują się na południu kraju, poniżej linii równoleżnikowej na poziomie miast Poznań-Warszawa.

Wykorzystanie energii z morskich farm wiatrowych, których moc ma osiągnąć 5900MW do roku 2035, a następnie 12000MW do roku 2050 będzie powodowało konieczność budowy wielu linii wysokonapięciowych, głównie o napięciu 400kV. Konieczny będzie również rozwój sieci 220kV oraz 110kV dla transportu energii z dużych farm fotowoltaicznych, jak i farm wiatraków lądowych.

Ponieważ nowe linie dla transportu odnawialnej energii będą przebiegać przez tereny na których już istnieje rozbudowana sieć o napięciu 220kV oraz napięciu 110kV, to powstanie znacznej ilości nowych linii będzie utrudnione ze względu na brak terenów oraz konieczność skrzyżowań się wielu linii wysokiego



napięcia. Na istotę zagadnienia jakie jest podejmowane w pracy może wskazywać przykład pokazujący, że na rozmieszczenie równoległe trzech linii: 400kV, 220kV oraz 110kV dla których potrzeba przy zachowaniu odpowiednich odstępów około 3000m, podczas gdy poprowadzenie tych trzech linii w konstrukcji WWLN zajmuje około 100m.

Sformułowanie zagadnienia naukowego podane na str. 11 pracy jest w pełni poprawne, a linie WMLN są kluczowe dla dalszego rozwoju systemu elektroenergetycznego, transportu energii ze źródeł odnawialnych oraz zmniejszenie wpływu linii wysokonapięciowych na środowisko, jak i zmniejszenie potrzebnych dla tych linii terenów.

### 9. Uwagi dyskusyjne

Praca jest napisana poprawnym językiem zarówno od strony technicznej, jak i naukowej. Zdarzają się drobne błędy czy sformułowania kolokwialne, a są one bardzo rzadkie i niewielkie, nie mające wpływu na ocenę prezentowanej pracy.

Pewną wadą redakcyjną jest podanie szesnastu głównych wniosków z wykonanej pracy bez ich pogrupowania i pokazania wspólnych elementów, jednak nie ma to wpływu na pozytywną ocenę pracy.

Prosiłbym aby na obronie pracy doktorantka ustosunkowała się do dwóch zagadnień. Nie są one, co prawda w ścisłym zakresie pracy ale wiążą się z pracą i wynikają z zaciekawienia recenzenta, po jej przeczytaniu, na tle własnego doświadczenia jako inżyniera pracującego w Grupie Regulacyjno-Rozruchowej Elektromontażu:

1. Czy i w jaki sposób zastosowanie WWNL jako tradycyjnych ciągów liniowych (jak np. Rys. 6.1, str. 105) czy z odejściami tradycyjnych linii napowietrznych (jak np. Rys. 6.4 str. 108) będą wpływały na pracę zabezpieczeń odległościowych i czy będzie wymagało to zmiany nastawień tych zabezpieczeń czy być może wymuszało zmianę konstrukcji zabezpieczeń odległościowych?
2. W jaki sposób trzeba będzie prowadzić prace konserwacyjne, w sposób bezpieczny, pod napięciem, w liniach o kilku napięciach umieszczonych na wspólnej konstrukcji wsporczej?



### 10. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Dziendziel pt. „Wielotorowe, wielonapięciowe elektroenergetycznej linii napowietrzne wysokich i najwyższych napięć” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na wysoki poziom wiedzy teoretycznej z dyscypliny Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki, a także na umiejętność prowadzenia pracy naukowej przez Kandydatkę do stopnia naukowego doktora.

Przedstawione uwagi polemiczne i dyskusyjne w żaden sposób nie podważają przedstawionej oceny poziomu pracy.

Przedłożona rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony".

Profesor dr hab. inż. Władysław Mielczarski

Łódź, dn. 02.08.2022r.