

Gdańsk, 14.09.2023 r.

dr hab. inż. Marek Olesz, prof. uczelni
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Politechnika Gdańska

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

21. 09. 2023

Wpłynęło dnia

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Konrada Franciszka Kochanowicza
pt. **Analiza możliwości wykorzystania pasów technologicznych elektroenergetycznych linii
przesyłowych do rozbudowy sieci dystrybucyjnych**

Wstęp

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne podjętej w dniu 6 lipca 2023 roku.

Niniejsza recenzja została opracowana w oparciu o nadesłany egzemplarz rozprawy doktorskiej przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Pana dr. hab. inż. Ryszarda SROKA, prof. AGH. Podstawą do jej opracowania jest uchwała Rady Dyscypliny: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, o której recenzenta poinformowano pismem przyjętym na Politechnikę Gdańską w dniu 12.07.2023. Opinię wykonano w oparciu o art.13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017r. poz. 1789 w związku z art. 179 ust.1 i ust.2 ustawy z dnia 3 lipca 2018r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018r. poz. 1669 z późn. zm.).

Przedstawiona recenzja składa się z następujących części:

1. Ogólna charakterystyka rozprawy
2. Charakterystyka tematu oraz tez rozprawy
3. Rozwiązanie postawionego problemu naukowego
4. Uwagi i kwestie dyskusyjne
5. Ocena rozprawy doktorskiej
6. Wniosek końcowy

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt.: „**Analiza możliwości wykorzystania pasów technologicznych elektroenergetycznych linii przesyłowych do rozbudowy sieci dystrybucyjnych**” zawiera 115 stron podzielonych na 8 rozdziałów uzupełnionych bibliografią. Treść pracy poprzedzają dwa streszczenia (w języku polskim i angielskim), spis



treści i wykaz ważniejszych oznaczeń. Spis literatury zawiera 114 pozycji krajowych i międzynarodowych zestawionych alfabetycznie według nazwiska pierwszego autora. W spisie literatury doktorant jest autorem lub współautorem w 3 pozycjach. Prace te doktorant w większości opublikował w następujących czasopismach Energies 2021, Przegląd Elektrotechniczny 2022, Zeszyty Naukowe WEiA PG 2019.

Spis literatury zawiera tylko część dorobku publikacyjnego, który w całości obejmuje 6 pozycji dotyczących oprócz tematyki rozprawy również zagadnień przesyłu energii elektrycznej w odniesieniu do linii kablowych, wykonywania tymczasowych połączeń linii napowietrznych oraz modelowania zjawiska ferorezonansu.

W przedstawionej do oceny pracy można wyróżnić 5 zasadniczych części zestawionych w 8 rozdziałach:

- krótki wstęp (rozdział 1), który w końcowej części zawiera propozycję tezy pracy, cel badań oraz szczegółowo przedstawia treści poszczególnych rozdziałów,
- analiza stanu wiedzy w odniesieniu do rozkładów pól elektrycznych i magnetycznych wokół linii WN, oddziaływania pola elektromagnetycznego i prądu na organizm człowieka, jak również szeregu innych oddziaływań prowadzących do indukowania się napięć i przepływu prądów przez impedancje wynikające z pracy normalnej i awaryjnej linii (rozdział 2),
- analiza możliwości lokalizacji linii dystrybucyjnych w pasach technologicznych linii przesyłowych w aspekcie wymagań norm i przepisów (rozdział 3) – odstępów izolacyjnych (temperatura, wiatr),
- metodyka i badania autora poziomo skumulowanych pól elektrycznych w zbliżonych względem siebie liniach przesyłowych i dystrybucyjnych (rozdział 4) prowadzące do określenia dopuszczalnych odległości zbliżenia linii,
- przedstawienie uproszczonej i dokładnej metody tworzenia modeli (rozdział 5) do badania skutków napięciowych i prądowych oddziaływań elektromagnetycznych linii przesyłowych na dystrybucyjne – budowanych (rozdział 6) i eksploatowanych (rozdział 7), zakończone podsumowaniem (rozdział 8).

2. Charakterystyka tematu oraz tezy rozprawy

Obecnie intensywność prac prowadzonych w związku z rozbudową systemu elektroenergetycznego wymaga wykonywania szczegółowych analiz oddziaływań środowiskowych, napięciowych i prądowych na istniejący system elektroenergetyczny lub inne obiekty budowlane.

Autor na podstawie doświadczeń zawodowych w firmie projektowej w rozprawie doktorskiej podjął zagadnienie określenia oddziaływań linii przesyłowej 400 kV w której pasie technologicznym znajduje się linia dystrybucyjna 110 kV lub 15 kV. Zaproponowane poziomy napięciowe oraz rozwiązania przestrzenne narzucone przez konstrukcje słupowe wybrano jako typowe dla obszaru Polski. Tematyka podjęta przez doktoranta jest ważna z technicznego i gospodarczego punktu widzenia, z uwagi na przeprowadzany w kraju obecnie proces transformacji energetycznej. Na skutek własnościowych uwarunkowań krajowych istniejące, wydzielone pasy technologiczne o znacznych wymiarach wytyczone dla linii przesyłowych

umożliwiałyby prowadzenie również linii dystrybucyjnych bez potrzeby uzyskiwania dodatkowych pozwoleń od właścicieli gruntów. Takie rozwiązanie tego rodzaju wymaga jednak analizy rozkładu pola elektrycznego i magnetycznego dla danej konfiguracji przestrzennej, a następnie po określeniu zbliżenia także analizy szeregu innych aspektów oddziaływania napięciowo – prądowego linii. Zaproponowane przez autora w rozprawie modele pozwalają określić w sposób szczegółowy oddziaływanie linii przesyłowej na dystrybucyjną nie tylko w zakresie poziomu wartości pola elektrycznego, ale także zmiany parametrów jakościowych energii elektrycznej oraz zagrożenia porażeniowego nawet na etapie prac budowlanych.

Teza pracy zawiera stwierdzenie, że intensyfikacja rozbudowy elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych może mieć miejsce w pasach technologicznych linii przesyłowych, co nawiązuje do tytułu pracy - „**Analiza możliwości wykorzystania pasów technologicznych elektroenergetycznych linii przesyłowych do rozbudowy sieci dystrybucyjnych**”.

Publikacje dotyczące podjętego tematu zazwyczaj koncentrują się wyłącznie na analizach pól elektromagnetycznych obliczając ewentualnie ich wpływ na rurociągi, linie telekomunikacyjne czy energetyczne. Mimo znacznej liczby tego rodzaju prac nie rozwiązują one zagadnienia zbliżenia całościowo w kontekście wzajemnych oddziaływań elektromagnetycznych. Autor rozwiązał zagadnienie kompleksowo poprzez opracowanie szeregu modeli z których wersja końcowa – dokładna umożliwia badanie wpływu geometrii pręseł, rezystywności gleby, rezystancji uziemienia poszczególnych stanowisk słupowych, na zjawiska towarzyszące ważnym zagadnieniom, jak:

- montaż sekcji odciągowej linii, analizy napięć dotykowych w zależności od miejsca wystąpienia zwarcia (etap projektowania i budowy)
- analiza poziomu napięcia fazowego i współczynnika asymetrii w liniach eksploatowanych,
- analiza zagrożenia porażeniowego w liniach budowanych i eksploatowanych w różnych warunkach pracy linii pozostających w zbliżeniu.

Tego rodzaju podejście umożliwia przeprowadzenie szeregu analiz numerycznych i na podstawie uzyskanych wyników pozwala na określenia miejsc występowania zagrożeń. Ma to istotne znaczenie w procesie weryfikacji projektu pod kątem poprawności przyjętych rozwiązań technicznych. Każdy model nawet o znacznym stopniu złożoności zawiera jednak szereg uproszczeń, które mogą wpływać na wyniki obliczeń. Dotyczy to zarówno obliczeń rozkładów pola elektrycznego i magnetycznego metodą ładunków symulowanych jak i analizy oddziaływań prądowych i napięciowych w dalszej części rozprawy. Obecne opomiarowanie systemu elektroenergetycznego umożliwia rejestrację parametrów napięciowo - prądowych, które po odpowiednich analizach mogłyby uwiarygodnić proponowane rozwiązania. O ile konieczne jest wykonywanie obliczeń z uwagi na brak możliwości wykonania pomiarów dla: linii niewybudowanej lub eksploatowanej ale pracującej w stanie ekstremalnego zwisu, to jednak weryfikacja proponowanych modeli dla dowolnego stanu pracy linii podniosłaby wiarygodność przedstawianych rozważań.

Aktualność tematu potwierdza wynik wyszukiwania na podstawie słów związanych z tematem pracy w popularnej bazie IEEE Explore, gdzie w ostatnich 4 latach pojawiło się około 170 pozycji poruszających tylko niektóre z zagadnień przedstawionych w rozprawie. Świadczy to o ważności analizowanego zagadnienia w kontekście zagadnień projektowych

i eksploatacyjnych w zakresie pomiaru składowych pola elektromagnetycznego, symulacji i analizy wpływu linii na obiekty znajdujące się w ich pobliżu.

Podsumowując teza i temat rozprawy wpisuje się w zapotrzebowanie rynku w aspekcie konieczności szczegółowych analiz wpływu linii na istniejące obiekty infrastruktury technicznej.

3. Rozwiązanie postawionego problemu naukowego

Autor w celu rozwiązania problemu naukowego postawił sobie szereg szczegółowych zadań:

- analiza możliwości posadowienia linii dystrybucyjnych w pasie technologicznym linii przesyłowej o napięciu 400 kV,
- określenie wartości pól dopuszczalnych w otoczeniu linii prowadzące do wstępnego ustalenia odstępów izolacyjnych
- zaproponowanie modeli do badania skutków napięciowych i prądowych oddziaływań linii przesyłowej na dystrybucyjne – w sposób uproszczony i zaawansowany,
- opisanie problemów polegających na niebezpieczeństwie wystąpienia porażenia prądem przy realizacji montażu metodą naciągową przewodów w linii dystrybucyjnej przy pracującej przesyłowej.
- określenie skutków oddziaływania linii przesyłowej na dystrybucyjną – poprzez ustalenie dla różnych odległości zbliżenia wartości napięcia fazowego i współczynnik asymetrii oraz zagrożenia porażeniowego w czasie wykonywania prac eksploatacyjnych.

Wymienione prace wykonano i opisano w p. 2 – 8, z których najważniejsze dla udowodnienia tezy są rozdziały 5 - 8. Wyniki zrealizowanych prac są ważne dla projektantów, wykonawców oraz służb eksploatujących linie elektroenergetyczne.

Pracę czyta się ją z dużym zainteresowaniem szczególnie w zakresie rozdziałów 4 – 8 w których doktorant konsekwentnie analizował i dowodził zaproponowaną tezę. Rozdziały te są rozbudowane objętościowo i wyczerpująco przedstawiają zagadnienia obliczeń skumulowanego pola elektrycznego w układzie zbliżonych linii 400 kV (warianty W1 i W3 – linie 1 - torowe) i W2 i W4 linie 2 - torowe i 110 kV (warianty W1 i W2) oraz 15 kV (wariant W3 i W4) w różnych układach kolejności faz. Wyniki analiz przedstawione w postaci nomogramów dopuszczalnego poziomu pola elektrycznego na granicy pasa technologicznego umożliwiają określenia warunku koniecznego związanego z ustaleniem odległości między liniami. Po ustaleniu odległości i konfiguracji linii autor przedstawia w rozdziale 4 model uproszczony, którym analizuje osobno oddziaływania pojemnościowe (napięciowe) i indukcyjne (prądowe) w aspekcie napięć dotykowych. W dalszej części rozdziału pokazano model złożony pozwalający obliczyć wyżej wymienione zależności w układzie narażeń napięciowo – prądowych przy zróżnicowanych geometriach poszczególnych pręseł.

Zastosowany model złożony wykorzystano następnie do badania montażu sekcji odciągowej na linii dystrybucyjnej, a w kolejnym rozdziale 7 do rozkładu napięć fazowych, asymetrii i napięć dotykowych.

Rozprawa doktorska na potrzeby udowodnienia postawionej tezy po koniecznych wprowadzeniach teoretycznych opisuje prawidłowo, w sposób przejrzysty i logiczny przeprowadzony eksperyment symulacyjny. W treści rozdziałów 4 – 5 brakuje odniesienia do weryfikacji zaproponowanych modeli, aczkolwiek lektura pracy [106], której współautorem

jest doktorant wskazuje, że zagadnienie analizy rozkładu pola elektrycznego weryfikowano pomiarowo.

4. Uwagi i kwestie dyskusyjne

Część symulacyjna zawarta w rozdziałach 4 – 65 stanowi zasadniczą część pracy (50% objętości pracy), dla której pokazano rozkłady pól elektrycznych na granicy pasa technologicznego, poziomy napięć dotykowych i prądów rażeniowych oraz poziomy napięcia i jego asymetrii w linii dystrybucyjnej przy różnych konfiguracjach i warunkach pracy linii przesyłowej (praca normalna, zwarcie).

Na podstawie wykonanych obliczeń autor udowodnił tezę pracy dla typowego układu linii 400 kV i 110 kV oraz podał szereg wniosków pomocnych w projektowaniu, realizacji i eksploatacji linii elektroenergetycznych. Lokalizacja linii 110 kV jest poprawna tylko dla zbliżeń nie przekraczających 5 – 10 km w zależności od rodzaju danych wejściowych. W przypadku linii SN o napięciu 15 kV lokalizacja w pasie technologicznym, aczkolwiek możliwa z punktu widzenia rozkładu pola elektrycznego, jest niemożliwa na skutek znacznych odchyżeń napięć fazowych. Generalnie czynności przy budowanych i eksploatowanych liniach dystrybucyjnych powinny być wykonywane w trybie pracy pod napięciem, co wynika z obliczeń autora przedstawionych w rozdziałach 6 i 7.

W analizie treści rozdziału pracy nasunęły się następujące uwagi:

4.1. W rozdziale 4 podano autorski sposób wyznaczania odległości układu przestrzennego pomiędzy liniami podany – nomogramy uwzględniające odległości zbliżenia oraz wysokość zawieszenia przewodów w celu uzyskania dopuszczalnej przepisami wartości pola elektrycznego na granicy pola technologicznego. Czy autor brał pod uwagę podobne analizy z punktu widzenia rozkładu pola magnetycznego, gdzie oczekiwane natężenie pola magnetycznego na granicy pasa nie powinno przekraczać 60 A/m. Nasuwa się również pytanie, czy nomogramy podają największe wartości pola w pionach obliczeniowych przy poruszaniu się wzdłuż przęsła z uwzględnieniem wpływu konstrukcji słupowych. Jeśli tak, to czy możliwe jest uwzględnienie konstrukcji np. z poprzecznikami izolacyjnymi.

4.2. Jaki jest wpływ zmiany liczby odcinków w modelowaniu typowego przęsła przewodu oraz konstrukcji kratowej? Dlaczego ostatecznie przyjęto 13 odcinków dla przęsła i 352 elementy konstrukcji kratowej dla każdego słupa? Jak odwzorowywano w metodzie konstrukcję słupa SN?

4.3. Czy obliczenia natężenia pola elektrycznego metodą ładunków symulowanych zostały jakkolwiek zweryfikowane pomiarowo? Obliczenia pozwalają na uwzględnienie stanów katastrofalnych oraz uwzględniają otoczenie linii. Jakiego błędu należy się spodziewać przy takich obliczeniach względem realizowanych pomiarów dla ustalonej wartości napięcia i obciążenia linii?

4.4 W treści rozdziału 5 opisującego metodę uproszczoną i złożoną obliczania prądów rażeniowych i napięć dotykowych autor wprowadził rezystancję ciała ludzkiego R_{CZ} dla której nie podano wartości. Przepisy dotyczące linii napowietrznych uwzględniają oprócz R_{CZ} cztery poziomy rezystancji dodatkowych wynikających z rezystancji obuwia oraz rezystywności gruntu. Prowadzi to do zwiększenia rezystancji człowieka o wartości 0, 1750, 4000 lub 7000 Ω i tym samym zmniejszenia prądów rażeniowych. Rezystancja ciała człowieka

określana jest na podstawie badań Biegelmeiera według raportu Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej IEC, nr 479-1 „Działanie prądu elektrycznego na ludzi” (nowelizacji raportu IEC wydanego w 2002 roku przez ESF Vienna – Electrical Safety w Austrii), który podaje impedancję ciała człowieka na drodze ręka–ręka w formie kwantyli prawdopodobieństwa 5%, 50% i 95%.

4.5 W modelu zaawansowanym podaje się dla odcinka zbliżenia szereg parametrów dla których jak się wydaje nie uwzględnia się konstrukcji słupów i ich wpływu na lokalną zmianę pojemności i indukcyjności własnych i wzajemnych. Jeśli tak, to przy jakich długościach pręseł, a w zasadzie pododcinków można tej konstrukcji nie uwzględniać w modelach cząstkowych typu π ?

4.6. Czy autor w jakikolwiek sposób – publikacje, własne badania, próbował zweryfikować skuteczność zastosowanej metody przez np. analizę wyników pomiarów jakości energii elektrycznej oraz rejestracje dla stanów nieustalonych dla istniejących linii 400 kV i 110 kV?

Pomimo podanych wyżej uwag niewątpliwie należy stwierdzić, że doktorant wykonał szeroki zakres prac symulacyjnych pozwalających zbudować właściwe modele umożliwiające określenie oddziaływań prądowych i napięciowych w linii dystrybucyjnej zbliżonej do linii przesyłowej. Metoda opracowana przez doktoranta jest uniwersalna – może być zastosowana do dowolnych konfiguracji przestrzennych układu słupów, przewodów z uwzględnieniem właściwości gruntu i rezystancji uziemienia konstrukcji w wydzielonych podobszarach.

5. Ocena rozprawy doktorskiej

Analizując szczegółowo zawartość pracy stwierdzam, że autor w sposób jednoznaczny sformułował problem naukowy, a następnie przez zastosowanie opracowanych przez siebie metod symulacyjnych właściwie go rozwiązał. Udowodnienie tezy jest jednoznaczne, a sposób zastosowany przez doktoranta świadczy pozytywnie o wysokich umiejętnościach w zakresie rozwiązywania problemów projektowych i eksploatacyjnych o dużym stopniu złożoności. Analizując dokonania w obszarze zainteresowań doktoranta stwierdzam, że uzyskane wyniki opublikowano w dwóch publikacjach o zasięgu światowym, które mają charakter unikalny i wskazują duży potencjał badawczy w omawianym temacie Katedry Elektrotechniki i Elektroenergetyki AGH.

Rozprawę doktorską oceniam wysoko z uwagi na podejście kompleksowe do zagadnienia, zaproponowanie odpowiednich modeli i wykonanie szerokiego zakresu obliczeń prowadzących do interesujących wniosków. Na ich podstawie autor podał szereg ogólnych wytycznych dla rozwiązań projektowych i eksploatacyjnych linii 400 kV i 110 kV pracujących w zbliżeniu. Sformułowanie tezy pracy i jej udowodnienie wskazuje na dużą wiedzę autora i jego znajomość zagadnień modelowania matematycznego i ich analizy. Autor bardzo dobrze opanował technikę pisania prac naukowych, o czym świadczy stosunkowo niewielka liczba błędów stylistycznych i interpunkcyjnych.

6. Wniosek końcowy

Przedstawiona recenzja rozprawy doktorskiej Konrada Franciszka Kochanowicza pt. **Analiza możliwości wykorzystania pasów technologicznych elektroenergetycznych linii**

przesyłowych do rozbudowy sieci dystrybucyjnych pozwala na stwierdzenie, że autor w sposób prawidłowy i oryginalny rozwiązał przedstawione zagadnienie naukowe. Uważam, że recenzowana praca doktorska spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w obowiązujących przepisach, a w szczególności w art. 13 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2004 r. (Dz. U. nr 65, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami).

Przedstawiona do oceny pracy potwierdza umiejętność rozwiązywania problemów naukowych oraz opanowania przez autora wiedzy w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne (wg Rozporządzenia MNiSW z 2018 r.) i w związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Konrada Franciszka Kochanowicza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Doktorant jest współautorem i głównym autorem pozycji „Ograniczanie zasięgu oddziaływania pól elektromagnetycznych wytwarzanych przez elektroenergetyczne linie przesyłowe” (Przegląd Elektrotechniczny nr 10/2022) oraz współautorem pozycji „Reduction of Environmental Impact of Electrical Field Generated by High Voltage Power Transmission Lines” (Energies 2021, 14, 6388). Z uwagi na fakt opracowania oryginalnych autorskich nomogramów pozwalających wstępnie ustalić warunki zbliżenia linii, a następnie modeli umożliwiających szczegółowe obliczenia wpływu napięcia i prądu linii przesyłowej na pracę linii dystrybucyjnej wnioskuję o wyróżnienie pracy, która spełnia ona warunek konieczny wg wymagań AGH (minimom dwie publikacje związane z tematem rozprawy znajdują się na liście JCR).

dr hab. inż. Marek Olesz, prof. uczelni
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Politechniki Gdańskiej

