

Gdańsk, 14.09.2024 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

Wpłynęło dnia 4.10.2024
Zarejestrowano pod nr 510-4-9/24
Podpis *dm*

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Mikruta

pt. **Zastosowanie modelowania numerycznego dla analizy warunków powstawania wyładowań niezupełnych w defektach układów izolacyjnych wysokiego napięcia z uwzględnieniem wpływu wybranych czynników fizykalnych i parametrów napięć probierczych**

Wstęp

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne podjętej w dniu 4 lipca 2024 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 10.07.2024. 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 2017 r. poz. 1789 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. Dz. U. 2023, poz. 742).

Przedstawiona recenzja składa się z następujących części:

1. Ogólna charakterystyka rozprawy
2. Charakterystyka tematu oraz tezy 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.: „**Zastosowanie modelowania numerycznego dla analizy warunków powstawania wyładowań niezupełnych w defektach**

układów izolacyjnych wysokiego napięcia z uwzględnieniem wpływu wybranych czynników fizykalnych i parametrów napięć probierczych” zawiera 224 strony podzielone na 8 rozdziałów (182 strony) wraz z załącznikiem A (Wyniki symulacji oraz pomiarów wnz przy napięciu AC) uzupełnionym bibliografią. Treść pracy poprzedzają dwa streszczenia (w języku polskim i angielskim), spis treści i obszerny 6 stronicowy wykaz oznaczeń. Spis literatury zawiera 293 pozycje krajowych i zagranicznych zestawionych alfabetycznie według nazwiska pierwszego autora. W spisie literatury doktorant jest współautorem w 5 pozycjach. Doktorant publikował w następujących czasopismach: *Energies* 2023, 2024, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 2024, *Proceedings of the XVII Conference Progress in Applied Electrical Engineering 2023*, *Zeszyty Naukowe WEiA PG* 2015.

Spis literatury zawiera część dorobku publikacyjnego, który w całości obejmuje 6 pozycji dotyczących oprócz tematyki rozprawy również udziału w opracowaniu monografii – *Wybrane problemy inżynierii i diagnostyki wysokonapięciowej we współczesnej elektroenergetyce*.

W przedstawionej do oceny pracy można wyróżnić 6 zasadniczych części zestawionych w 8 rozdziałach:

- krótki wstęp (rozdział 1), który w końcowej części zawiera tezę pracy, jej zakres oraz szczegółowo przedstawia treści poszczególnych rozdziałów,
- analiza stanu wiedzy zakresie określenia źródeł wyładowań niezupełnych (wnz) w układach elektroizolacyjnych z uwzględnieniem przebiegu procesów starzeniowych prowadzących do degradacji izolacji (rozdział 2) oraz szczegółowe omówienie przebiegu powstawania i rozwoju wnz z uwzględnieniem wpływu ładunku powierzchniowego, opóźnień, prawdopodobieństwa występowania wyładowania, generacji elektronów procesach jonizacji objętościowej i emisji powierzchniowej (rozdział 3),
- określenie możliwości modelowania wnz występujących w wewnętrznych inkluzjach gazowych – klasyczny model obwodowy, analityczny dipolowy, numeryczny polowy, modele z uwzględnieniem przepływu plazmy oraz również w przypadku występowania napięcia stałego (rozdział 4),
- omówienie na podstawie przeprowadzonych numerycznych symulacji wpływu poziomu napięcia, przenikalności materiału, kształtu, rozmiaru i położenia wtrąciny na poziom rozkładu natężenia pola elektrycznego w inkluzji gazowej (rozdział 5),
- przeprowadzenie porównania wyników pomiarów i symulacji dla wykonanych modeli z inkluzją gazową (rozdział 6),
- wykonanie i omówienie dodatkowych eksperymentów numerycznych dla wyznaczenia rozkładu pola elektrycznego oraz sekwencji czasowych wyładowań niezupełnych w trzech modelach kabli HVDC zakończone podsumowaniem rozprawy (rozdziały 7, 8).

Struktura pracy jest przejrzysta i logiczna. Kolejne rozdziały zachowują układ przyczynowo skutkowy i odzwierciedlają przyjętą metodykę badań. Najważniejsze informacje, kluczowe dla dowodu tezy pracy zawarto w rozdziałach 5 – 7. Wszystkie elementy pracy są przedstawione z dużą starannością i wyczerpująco interpretują uzyskane wyniki. Należy stwierdzić wysoki poziom wiedzy i umiejętności doktoranta w analizie dużych zasobów informacji i wyciąganiu na ich podstawie krytycznych wniosków.

2. Charakterystyka tematu oraz tezy rozprawy

Doktorant podjął w rozprawie zagadnienie opracowania zaawansowanego, numerycznego modelu polowego pozwalającego na analizę występowania sekwencji wnz we wtrącinach gazowych znajdujących się w dielektrykach stałych poddanych oddziaływaniu napięcia przemiennego lub stałego. Wyładowania niezupełne są ważnym elementem diagnostyki układów izolacyjnych rzeczywistych pracujących w warunkach eksploatacyjnych, jak i badanych w laboratoriach, również w odniesieniu do układów modelowych zawierających sztucznie wprowadzone wewnętrzne uszkodzenia. Wyniki pomiarów pochodzące z tego rodzaju badań umożliwiają sformułowanie wytycznych do rozpoznawania defektów i oceny poziomu uszkodzeń wewnętrznych. Z uwagi na wpływ szeregu czynników (zewnętrznych oraz wewnętrznych, wynikających z konstrukcji układu izolacyjnego i jego struktury) na powstawanie wnz, wciąż poszukuje się wiedzy i algorytmów umożliwiających fizykalną interpretację wykonywanych eksperymentów. W związku z tym uważam, że opracowane w rozprawie zagadnienie daje szansę poprawy jakości interpretacji otrzymywanych wyników pomiarów (obrazy fazowo-rozdzielcze, parametry impulsów wnz oraz ich sekwencji czasowych) w zakresie określenia i prognozowania w czasie zjawisk zachodzących w defektach izolacji.

Teza pracy zawiera stwierdzenie, „Złożone modele polowe układów izolacyjnych z lokalnymi defektami pozwalają na odwzorowanie zjawisk i procesów fizykalnych zachodzących w inkluzjach gazowych, stanowiących źródła wyładowań niezupełnych w dielektrykach stałych. Wykonane przy ich zastosowaniu symulacje numeryczne powstawania i rozwoju wnz mogą wspomagać interpretację wyników pomiaru wnz na modelach i obiektach fizycznych oraz zrozumienie przyczyn i efektów zjawisk fizycznych, zachodzących w ich źródłach”.

Aktualność analizowanego zagadnienia potwierdza wynik wyszukiwania na podstawie słów związanych z tematem pracy w popularnej bazie IEEE Explore, gdzie w ostatnich 4 latach pojawiło się około 26 pozycji poruszających zagadnienie mechanizmu wnz, 51 prac związanych z zagadnieniem symulacji, a 91 – modelowania wnz. Prace te dotyczyły wyładowań we wtrącinach gazowych w większości w materiałach kompozytowych, kablach oraz w systemach GIS. Świadczy to o ważności poruszonego tematu w kontekście poszukiwań sposobu modelowania i symulacji pojedynczych uszkodzeń wewnętrznych o zdefiniowanej geometrii i ich weryfikacji pomiarami na obiektach rzeczywistych.

Mimo podanej liczby prac zawierających wyniki badań eksperymentalnych oraz opracowań cząstkowych brakuje opracowań, które rozwiązują zagadnienie powstawania wnz poprzez ich symulację weryfikowaną pomiarami rzeczywistymi. Autor przedstawił propozycję modelu symulacyjnego w którym pojawienie się wyładowania zależy od wyników analizy pola elektrycznego oraz prawdopodobieństwa wystąpienia wyładowania. Badania modelowe zgodnie z tematem i tezą pracy przeprowadził wyłącznie dla jednego rodzaju wnz mianowicie tych zachodzących w inkluzjach gazowych. Dodatkowo omówił efekty swoich dokonań dla dwóch podstawowych rodzajów napięcia – przemiennego (symulacja i pomiar) i stałego (tylko symulacja). Autor mimo szeregu zastosowanych uproszczeń uzyskał zbieżność

eksperymentalną i numeryczną dla większości zamodelowanych układów, szczególnie w zakresie niewielkich rozmiarów wtrącin gazowych. Dodatkowo uzyskał narzędzie prezentujące wpływ szeregu czynników na intensywność i liczbę wyładowań. Zakres pracy wskazuje na znaczną ilość czasu poświęconą poszukiwaniu narzędzi symulacyjnych i rozwiązania modeli eksperymentalnych, które umożliwiły wykonanie stosownych analiz teoretycznych, numerycznych i eksperymentalnych. Nowe możliwości symulacji i analizy, które uzyskał doktorant poprzez poszukiwanie dowodów na poprawność tezy pozwalają ocenić wysoko jego poziom wiedzy w zakresie pomiaru i analizy wyładowań niezupełnych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Podsumowując teza i temat rozprawy wpisuje się w obszar aktualnych w nauce o zasięgu światowym zagadnień pozostających w strefie badań podstawowych, których wyniki mogą jednak być skutecznie przeniesione w obszarach diagnostyki i eksploatacji systemów izolacyjnych.

3. Rozwiązanie postawionego problemu naukowego

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

- analiza literaturowa mechanizmów wnz w dielektrykach oraz modeli ich opisujących,
- zaproponowanie modelu wtrącimy w dielektryku stałym i przeprowadzenie analiz rozkładu pola elektrycznego z uwzględnieniem parametrów geometrycznych i przenikalności elektrycznej materiału,
- wykonanie pomiarów wnz w zaproponowanym modelu i porównanie ich z wynikami symulacji modelu numerycznego,
- dodatkowe symulacje wnz w kablach HVDC potwierdzające uniwersalny charakter i poprawność zaproponowanego modelu.

Wymienione prace wykonano i opisano w p. 2 – 7, z których najważniejsze dla udowodnienia tezy są rozdziały 5 - 7. Wyniki zrealizowanych prac mogą w przyszłości po udostępnieniu odpowiednich opracowań być pomocne w interpretacji wnz uzyskiwanych w złożonych układach wysokonapięciowych, gdzie występuje dominująca generacja z jednego określonego geometrycznie defektu.

Pracę czyta się z dużym zainteresowaniem szczególnie w zakresie rozdziałów 5 – 6 w których doktorant konsekwentnie analizował i dowodził zaproponowaną tezę. Rozdziały te są rozbudowane objętościowo i wyczerpująco przedstawiają zagadnienia obliczeń rozkładu pola elektrycznego przeprowadzonych w programie COMSOL dla układu płaskiego i walcowego (kabel) z uwzględnieniem wpływu napięcia probierczego ($0,5 \div 2,5 U_0$), zmiany przenikalności elektrycznej ($1,3 \div 10$), rozmiaru wtrąciny (średnice 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 mm), położenia i spłaszczenia inkluzji w kierunku równoległym i prostopadłym do linii pola elektrycznego (5 pozycji). Dodatkowo autor rozszerzył przeprowadzone symulacje o krytyczne zagadnienie występowania inkluzji w pobliżu końca elektrody w typowych układach do badania wytrzymałości elektrycznej materiałów stałych. Przeprowadzone obliczenia dają ogólne rozeznanie dotyczące poziomu rozkładu pola elektrycznego w miejscu występowania ich krytycznych wartości, co będzie intensyfikować wnz w ich występujące. Modele są bardzo

uproszczone, nie mniej jak okaże się z dalszej części analizy mogą być wystarczające dla poprawy wnioskowania diagnostycznego.

Na podstawie modelowych analiz pola elektrycznego zaproponowano koncepcję modelu symulacyjnego opierającego się na określeniu pola elektrycznego i jego porównaniu do wartości krytycznej przy obliczeniu prawdopodobieństwa wystąpienia elektronu inicjującego. Po wystąpieniu określonych wyżej warunków symulowano przebieg wnz, które po ograniczeniu pola w szczelinie gasło, a przewodzący gaz wracał stanu podstawowego przed wyładowaniem. Mimo zastosowanych uproszczeń podanych szczegółowo w pracy, należy pogratulować doktorantowi determinacji w uruchomieniu środowiska umożliwiającego podejście symulacyjne w zagadnieniu wnz, gdzie wprowadzono takie parametry jak: czas opóźnienia zapłonu, przewodność powietrza, ciśnienie, temperaturę co istotnie poszerza możliwości poznawcze i zastosowanie praktyczne.

Niezmiernie ważnym dla dowodu tezy są prace laboratoryjne zawierające weryfikację modelu symulacyjnego na podstawie wykonanych praktycznych pomiarów. W tej części pracy przedstawiono metodykę badań, opracowano koncepcję próbki dla której zmierzono charakterystyki częstotliwościowe przenikalności elektrycznej, współczynnika strat dielektrycznych i rezystywności skrośnej użytych do budowy materiałów - folii i szkła. Autor zastosował model składający się z dwóch warstw szkła pomiędzy którymi umieszczał, odpowiednio przygotowany zestaw, 6 warstw folii polietylenowej. Wątpliwości co do powtarzalności tego modelu wynikającej z operacji jego demontażu i ponownego montażu oraz powstawania różnych lokalizacji mikro szczelin między warstwami folii zawarto w dalszej części recenzji (p. 4.1).

Autor po dodatkowych analizach modelu obwodowego i analizie ładunku oraz liczby impulsów przedstawił szereg interesujących wniosków potwierdzonych przez obserwacje innych autorów. Mimo pewnych mankamentów modelu rzeczywistego i symulacyjnego, które mogą być w przyszłości poprawione należy jednak stwierdzić, że wyniki uzyskane na tym etapie są bardzo dobrze rokujące na przyszłość. Temat dotyczący wnz w aspekcie fizykalnym i symulacyjnym jest złożony, a wykonane prace pomiarowe weryfikujące model symulacyjny wskazują na skuteczne opracowanie narzędzia do obrazowania powstawania i rozwoju wnz.

Autor dodatkowo przeprowadził analizę numeryczną dla kabla HVDC podając wyniki natężenia pola elektrycznego dla dwóch wtrącin zlokalizowanych w pobliżu żyły roboczej i powrotnej oraz średniego ładunku wnz i czasu pomiędzy kolejnymi wyładowaniami biorąc pod uwagę wymiary kabla (wynikające z jego napięcia znamionowego) oraz temperaturę. Wydaje się, że stabilność uzyskanych poziomów wnz jest sprzeczna z wiedzą pomiarową – w przypadku napięć stałych zastosowanie uproszczonego modelu nie uwzględnia występowania istotnego wpływ ładunku przestrzennego i powierzchniowego.

4. Uwagi i kwestie dyskusyjne

W analizie treści rozdziałów pracy, szczególnie tych dotyczących bezpośrednio wykonania prac modelowych i symulacyjnych nasunęły się następujące uwagi, podane poniżej. Uwagi te wynikają głównie z konieczności przedstawienia dodatkowej wiedzy i doświadczenia doktoranta w części dotyczącej wykonanych pomiarów i symulacji w celu sprecyzowania stosowanych procedur i algorytmów. Na podane uwagi 4.1. - 4.8. oczekuję odpowiedzi, które

są istotne dla stwierdzenia poprawności wykonanych pomiarów i poprawnego określenia napięć krytycznych dla poszczególnych rozwiązań izolacyjnych.

4.1. Czy próbka modelowa jest powtarzalna? Ile wykonano układów o określonych wymiarach – jeden, czy kilka? Czy obserwowano wyładowania w kolejnych sekwencjach pomiarowych dla tej samej próbki po zakończonym czasie obserwacji? Nasuwa się pytanie o kontrolę siły dociskającej układ modelowy i w związku z tym powtarzalność uzyskiwanych rozkładów wnz i ich charakterystycznych parametrów (ładunek średni, maksymalny) – czy autor wykonywał tego rodzaju próby i w związku z ich wynikami zaproponował optymalną metodykę badań gwarantującą powtarzalne wyniki pomiarów w kolejnych eksperymentach?

4.2. Czy wykluczono istnienie szczelin pomiędzy warstwami folii poprzez kontrolowany docisk mechaniczny? Czy wykonano badania weryfikujące poprawność konstrukcji układu modelowego bez dodatkowych wtrącin powietrznych? Jeśli tak, to jakie zmierzono napięcie początkowe wyładowań dla takiego układu?

4.3. W związku z pytaniami 4.1 i 4.2 wydaje się, że w pracy zabrakło procedury opisującej szczegółowo sposób wykonywania pomiarów. Na stronie 124 przedstawiono etapy montażu próbki modelowej, a na str. 125 podano sposób podnoszenia napięcia i odczytu wnz, natomiast zabrakło informacji dodatkowych akceptujących montaż wykonanego układu (np. sprawdzenie grubości folii - czy uzyskiwano powtarzalne wyniki, jaki zaobserwowano rozrzut, metoda wykonania powtarzalnych otworów w foliach), weryfikujących powtarzalność próbek zawierających tę samą wtrącinę oraz sprawdzających brak wnz w układzie bez wtrąciny.

4.4. Jakie zmiany poziomu ładunku wyładowań niezupełnych obserwował doktorant w czasie pomiarów? Czy ich charakter potwierdzał koncepcję zaproponowanego modelu w którym prawdopodobieństwo wystąpienia wyładowania nie zależy od dodatkowych czynników, takich jak np. ładunek powierzchniowy i przestrzenny, zmieniających rozkład pola pierwotnego?

4.5. Czy doktorant próbował wykonywać pomiary wnz przy napięciu stałym chociażby w układzie wykonanej próbki modelowej? Jeśli tak to, czy obserwacje ładunku można określić jako zbieżne jakościowo w porównaniu z uzyskanymi wynikami badań symulacyjnych.

4.6. Czy jednoznacznie określone przez stałą wartość (tabela 6.6) oraz w rozdziale 3 parametry warunkujące powstanie i przebieg wnz opisują poprawnie losowy przebieg wyładowań? Wyjaśnienie podane w p. 3.6 zawiera opis pewnych uproszczeń, które zastosowano, aby prawdopodobnie zachować kompromis pomiędzy złożonością modelu, a realnym czasem wykonania obliczeń. Czy faktycznie czas obliczeń w pewien sposób narzucał wprowadzone rozwiązanie modelowe?

4.7. Treść pracy wykazuje, że doktorant dobrze opanował metodykę obliczania rozkładów pól elektrycznych. W modelu zaproponowanym w pracy oprócz wyznaczenia wartości pola elektrycznego we wtrącinie konieczne jest obliczenie prawdopodobieństwa zaistnienia wnz. Czy brak wystąpienia wnz zwiększa, czy zmniejsza szanse na powstanie wnz w następnej obserwacji, kiedy ma miejsce wystąpienie wartości pola elektrycznego przekraczającego poziom pola krytycznego? Czy w stosowanym oprogramowaniu COMSOL wykorzystywano obszar o określonej przewodności tylko dla obszar wtrąciny podczas wyładowania? Autor dla modelu, jeśli wprowadził tam parametr przewodności wtrąciny, mógł przeanalizować warunki jej wpływu na rozkład pola. W opisie zagadnień fizycznych nie podano też dynamiki zmiany

przewodności od wartości wysokiej do niskiej (wnz) i odwrotnie. Wydaje się, że szacowany czas tych procesów istotnie wpływa na poziom uproszczenia stosowanego modelu.

4.8. Czy rysunki oznaczone numerami 5.8 (wpływ napięcia) i 5.9 (wpływ przenikalności elektrycznej) przedstawiają wykresy linią ciągłą uzyskaną wyłącznie na podstawie kilku określonych pomiarowo wartości? Przypuszczam, że wykres na rys. 5.13 powstał na podstawie wyników obliczeń dla wybranych 5 wartości średnicy inkluzji. Jeśli tak, to skąd pochodzi wynik dla średnicy $d=0,1$ mm? Dlaczego w pracy nie oznaczono na wykresach punktów pochodzących z faktycznie wykonanych obliczeń – podobnie jak na wykresie $E(U_0)$ i $E(\epsilon)$ – str. 75 i 76.

Pomimo podanych wyżej uwag, niedyskredytujących przedstawionych osiągnięć, niewątpliwie należy stwierdzić, że doktorant wykonał szeroki zakres prac pomiarowych i symulacyjnych zmierzających do weryfikacji zaproponowanego modelu oraz do określenia wpływu jego parametrów na powstawanie i rozwój wyładowań niezupełnych.

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 problemu naukowego o dużym stopniu złożoności. Analizując dokonania w obszarze zainteresowań doktoranta stwierdzam, że uzyskane wyniki opublikowano w trzech publikacjach o zasięgu światowym, które mają charakter unikalny i wskazują na duży potencjał badawczy w omawianym temacie Katedry Elektrotechniki i Elektroenergetyki AGH.

6. Wniosek końcowy

Przedstawiona recenzja rozprawy doktorskiej Pawła Mikruta pt. **Zastosowanie modelowania numerycznego dla analizy warunków powstawania wyładowań niezupełnych w defektach układów izolacyjnych wysokiego napięcia z uwzględnieniem wpływu wybranych czynników fizykalnych i parametrów napięć probierczych** 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 Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20.07.2018 r. (Dz. U. 2023, poz. 742).

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 11 października 2022 r. – Dz. U. 2022, poz. 2202) i w związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Pawła Mikruta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Doktorant jest głównym autorem i współautorem następujących pozycji:

- **P. Mikrut** and P. Zydrón, "Numerical modeling of PD pulses formation in a gaseous void located in XLPE insulation of a loaded HVDC cable," (*Energies*, vol. 16, p. 6374, 2023).
oraz współautorem w kolejnych, dwóch pozycjach:
- A. Dąda, P. Błaut, **P. Mikrut**, M. Kuniewski, and P. Zydrón, "Control of Dielectric Parameters of Micro- and Nanomodified Epoxy Resin Using Electrophoresis (*Energies*, vol. 17, no. 5: 1095, 2024)
- M. Florkowski, M. Kuniewski, and **P. Mikrut**, "Effects of mechanical transversal bending of power cable on partial discharges and dielectric-loss evolution," (*IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 2024).

Z uwagi na fakt opracowania oryginalnych autorskich modeli umożliwiających szczegółowe obliczenia sekwencji wnz i ich parametrów potwierdzonych weryfikacją eksperymentalną wnoszę o wyróżnienie pracy, która spełnia ona warunek konieczny wg wymagań AGH (minimum dwie publikacje związane z tematem rozprawy znajdują się na liście JCR).



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