

dr hab. inż. Paweł Różga, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 20
90-537 Łódź
pawel.rozga@p.lodz.pl

Łódź, 01.04.2025

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia ...3.04.2025...

Zarejestrowano pod nr 510-14-5

Podpis 

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Anny Dąda

pt. „*Analiza wpływu wybranych nanowypełniaczy nieorganicznych
na parametry dielektryczne jednorodnych i modyfikowanych gradientowo
nanokompozytów epoksydowych dla zastosowań wysokonapięciowych*”

1. Podstawa prawna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja sporządzona została na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektrotechnika, Elektronika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, dr hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH z dnia 07.01.2025 roku.

2. Tematyka i teza rozprawy

Postęp w rozwoju materiałów izolacyjnych stosowanych w urządzeniach elektroenergetycznych wysokiego napięcia jest, w ostatnich latach, widoczny w dwóch obszarach. Pierwszym z nich jest rozwój takich materiałów, które są przyjazne środowisku (biodegradowalne) i spełniają kryteria w zakresie zrównoważonego rozwoju. Najczęściej są to materiały o charakterze innowacyjnym, pozyskiwane z surowców odnawialnych jak np. biokomponenty, czy pochodzących z recyklingu. Drugim obszarem są natomiast materiały stanowiące modyfikację już istniejących, a u źródła tej modyfikacji są, coraz częściej stosowane w różnych obszarach inżynierii, nanocząsteczki.

Przykładowo, ciecz dielektryczne domieszkowane nanocząsteczkami (głównie tlenkami metali i niemetalu) stanowią szeroki obszar badawczy, jakkolwiek obiecujące wyniki badań laboratoryjnych (poprawa właściwości starzeniowych i dielektrycznych) nie przeniosły się do tej pory na aplikacje praktyczne. Wynika to głównie z tendencji do aglomeracji nanocząsteczek w objętości cieczy, a więc braku jednorodności finalnego produktu jakim jest ciecz dielektryczna domieszkowana nanocząsteczkami. Klasyczne domieszkowanie poprzez dodanie i niejako rozpuszczenie nanocząsteczek w objętości cieczy w ostatnich latach jest zastępowane np. przez chemiczną modyfikację cieczy bazowej tak, że nanocząsteczki przyłączane są do cząsteczek cieczy, a następnie tak spreparowany materiał dodawany jest do produktu końcowego. Niestety, wykonanie



powyższego dla dużych objętości cieczy tj. setek czy tysięcy kilogramów, które są potrzebne do napełnienia transformatora olejowego, nie jest na obecnym etapie badań możliwe.

Nieco bardziej obiecujące wyniki, w kontekście powtarzalności i możliwości zastosowania nanocząsteczek w większych objętościach materiału domieszkowanego, są zauważalne w przypadku polimerowych materiałów kompozytowych, którymi to materiałami zajęła się właśnie w swojej rozprawie doktorantka. W wyniku domieszkowania nanocząsteczkami izolacyjnych materiałów polimerowych wytwarzane są tzw. nanokompozyty polimerowe, których właściwości potrafią być znacząco lepsze niż materiału wyjściowego, bez domieszkowania. Polimery bazowe, domieszkowane drobinami nieorganicznymi lub organicznymi o rozmiarach rzędu mikro lub nanometrów, uzyskują, w porównaniu z czystymi polimerami, poprawę szczególnie właściwości dielektrycznych, a przez to wpływają na poprawę właściwości izolacyjnych całego układu izolacyjnego, którego są częścią. Szczególnie, wspomniane już domieszkowanie matrycy polimerowej cząstkami o rozmiarach nanometrów, wskutek którego wytwarzane są nanokompozyty, pozwalają na poprawę właściwości tak zmodyfikowanego materiału w różnych obszarach, jak już wzmiankowane właściwości dielektryczne, ale także właściwości mechaniczne (uzyskanie materiału o zwiększonej twardości) czy właściwości cieplne / starzeniowe (wydłużenie czasu życia ze względu na możliwą pracę w wyższych temperaturach). Powyższe wskazuje bezsprzecznie, że obszar badań nad strukturami nanokompozytowymi to ważny kierunek dla elektrotechniki, a w szczególności dla obszaru wysokonapięciowej techniki izolacyjnej.

Bardzo interesująca droga w kontekście nanokompozytów są tzw. funkcjonalne materiały gradientowe, które także stały się obszarem zainteresowania doktorantki. Materiały te są szczególnie ciekawe dla sfery wysokonapięciowej techniki izolacyjnej przez to, że charakteryzują się gradientową zmianą jednego z opisujących je parametrów, a więc mogą znaleźć zastosowanie w aplikacjach, gdzie wymagane jest dostosowanie materiału do panujących warunków pracy układu, właśnie ze względu na taki parametr. W układach izolacyjnych pracujących przy wysokim napięciu przemiennym takim kluczowym parametrem jest przenikalność elektryczna, która w strukturach mieszanych decyduje w dużej mierze o rozkładzie pola elektrycznego. Gdy materiał będzie posiadał gradientową zmienną przenikalność elektryczną, można go wykorzystać skutecznie w formowaniu pola elektrycznego w układzie izolacyjnym.

Z obu powyższych dwóch obszarów rozważań wynika, że doktorantka dobrze rozeznała obecne trendy w rozwoju nanokompozytów, a więc tematykę podjętą przez nią w rozprawie należy uznać za ważną dla elektrotechniki, a w szczególności dla jej specyficznej gałęzi, jaką jest materiałoznawstwo elektrotechniczne. Biorąc natomiast pod uwagę, że elektrotechnika stanowi nieodzowną część dyscypliny naukowej automatyka, elektrotechnika,



elektronika i technologie kosmiczne, nie ma wątpliwości, że sama praca i w obszar wspomnianej dyscypliny wpisuje się znakomicie.

Realizacja pracy doktorskiej mgr inż. Anny Dąda oparta była o dwie tezy sformułowane następująco:

Teza 1

Właściwości dielektryczne nanokompozytów epoksydowych są złożoną i nieoczywistą funkcją różnych czynników materiałowych i procesowych – zastosowanego nanonapełniacza, rozmiaru jego cząstek i procentowej zawartości wagowej, a także przebiegu procesu utwardzania i starzenia temperaturowego. Odpowiedni dobór i weryfikacja eksperymentalna tych czynników umożliwiają uzyskanie materiałów dielektrycznych o kontrolowanych parametrach, co może zostać zastosowane dla optymalizacji konstrukcji układów izolacji wysokonapięciowej.

Teza 2

Stosując metodę elektroforezy możliwe jest wytworzenie modelowych, kompozytowych układów izolacyjnych typu FGM, na bazie żywicy epoksydowej z nanonapełniaczami nieorganicznymi, o gradientowo modyfikowanej przenikalności elektrycznej, w odstępach międzyelektrodowych o wymiarach, które są charakterystyczne dla układów izolacji urządzeń wysokonapięciowych

Drogą do udowodnienia obu tez stały się przeprowadzone przez doktorantkę prace badawcze, na które składały się pomiary oraz analizy zmierzające do określenia wpływu różnych rodzajów nanonapełniaczy na właściwości dielektryczne wytworzonych nanokompozytów epoksydowych, jednorodnych i gradientowych. Zakres prac badawczych obejmował również weryfikację wpływu rozmiaru cząstek nanonapełniacza, jak i jego procentowego udziału wagowego. Doktorantka rozpatrzyła także w pracy wpływ procesu utwardzania termicznego na zmianę właściwości dielektrycznych uzyskanych nanokompozytów.

Ponadto, doktorantka określiła sobie cele, których realizacja, jej zdaniem, miała przyczynić się do udowodnienia postawionych tez. Były nimi:

- wytworzenie jednorodnych nanokompozytów epoksydowych zawierających wybrane typy nanonapełniaczy w postaci TiO_2 , SiO_2 i Al_2O_3 , różne rozmiary nanocząsteczek oraz różny skład procentowy, wagowo;
- określenie wpływu procesu utwardzania oraz starzenia termicznego w różnych temperaturach na właściwości dielektryczne wytworzonych nanokompozytów;
- określenie wpływu nanonapełniaczy na przenikalność elektryczną, współczynnik strat dielektrycznych, rezystywność skrośną oraz wytrzymałość elektryczną wytworzonych nanokompozytów epoksydowych;
- opracowanie metody wytwarzania funkcjonalnych materiałów gradientowych o charakterze nanokompozytów z gradientowo zmodyfikowaną przenikalnością elektryczną na bazie

żywicy epoksydowej z dodatkiem nanonapełniaczy (TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 lub BaTiO_3) z wykorzystaniem metody elektroforezy;

- określenie wpływu rozmiaru cząstek wypełniacza, geometrii układu elektrod oraz natężenia zewnętrznego pola elektrycznego na zmiany wartości przenikalności elektrycznej w próbkach modelowych izolacyjnego materiału gradientowego;

- analiza przebiegu procesu wytwarzania modelowych próbek gradientowych na podstawie obserwacji prądu elektroforetycznego i temperatury próbki, podczas aplikacji napięcia stałego powodującego realizację procesu elektroforezy w objętości próbki.

Oceniając obie tezy należy uznać je za postawione prawidłowo.

Pewną uwagę chciałbym jednak sformułować w kontekście Tezy nr 1. Pierwsze zdanie tej tezy w brzmieniu „*Właściwości dielektryczne nanokompozytów epoksydowych są złożoną i nieoczywistą funkcją różnych czynników materiałowych i procesowych – zastosowanego nanonapełniacza, rozmiaru jego cząstek i procentowej zawartości wagowej, a także przebiegu procesu utwardzania i starzenia temperaturowego*” ma formę zdania twierdzącego i trudno traktować je do końca jako tezę badawczą. Uważam, że wplecenie przytoczonego stwierdzenia w drugie zdanie dałoby lepszy efekt o przykładowej postaci jak poniżej:

Odpowiedni dobór i weryfikacja eksperymentalna czynników materiałowych i procesowych – zastosowanego nanonapełniacza, rozmiaru jego cząstek i procentowej zawartości wagowej, a także przebiegu procesu utwardzania i starzenia temperaturowego – umożliwiają uzyskanie nanokompozytowych materiałów dielektrycznych o kontrolowanych parametrach, co może zostać zastosowane dla optymalizacji konstrukcji układów izolacji wysokonapięciowej.

W kontekście przyjętych celów nie mam natomiast żadnych uwag. Są one spójne i jasno odnoszą się do tez, z którymi są zbieżne. Cele są także nierozzerwalnie związane z przyjętą formułą eksperymentalnych prac badawczych.

Podsumowując, podjęta przez doktorantkę tematyka badawcza oraz sformułowane tezy i założone cele wskazują jednoznacznie na oryginalne podejście do rozwiązania zagadnienia, które, wedle wiedzy recenzenta, nie realizowane było dotychczas w formie, jaką zaplanowała doktorantka. Ponadto, na podkreślenie zasługuje fakt, że obszar tematyczny pracy posiada odniesienie do zagadnień praktycznych, jakimi są prace badawczo-rozwojowe nad materiałami izolacyjnym do urządzeń z izolacją wysokonapięciową. Chciałbym również stwierdzić, że zaplanowany zakres prac charakteryzuje się oryginalnością na poziomie co najmniej krajowym.

3. Dane bibliograficzne rozprawy i jej ogólna charakterystyka

Rozprawa opracowana została w języku polskim i zawiera łącznie 282 strony. Praca podzielona jest na 7 rozdziałów poprzedzonych kolejno spisem treści, wykazem oznaczeń i skrótów oraz krótkimi streszczeniami w języku polskim i angielskim. Pracę kończy natomiast bogata bibliografia składająca się łącznie z 304 pozycji uwzględniających zarówno prace fundamentalne dla tematyki rozprawy jak i najnowsze publikacje z czasopism z listy JCR oraz z konferencji tematycznych, w tym konferencji IEEE. Dysertacja uzupełniona jest załącznikiem przedstawiającym szereg wykresów prezentujących wyniki prac eksperymentalnych podzielonych na część dotyczącą próbek jednolitych i gradientowych.

W kontekście bibliografii, należy wskazać 5 współautorskich publikacji doktorantki, w których jest ona pierwszą autorką.

Generalnie układ rozprawy nie wzbudza wątpliwości. Poszczególne rozdziały stanowią spójną całość. Ich podział jest logiczny. Tabele i rysunki ilustrujące dokonania doktorantki są czytelne i przygotowane z dużą starannością, co chciałbym wyraźnie zaznaczyć. Ponadto, chciałbym również podkreślić ponadprzeciętny styl i aspekt edytorski pracy.

4. Charakterystyka szczegółowa poszczególnych rozdziałów i ocena rozprawy

Recenzowana praca doktorska podejmuje istotny dla elektroenergetyki temat właściwości dielektrycznych jednorodnych i gradientowo modyfikowanych kompozytów epoksydowych z nanowypełnierzami nieorganicznymi.

W pracy wyodrębnić można jednoznacznie część teoretyczną, w której opisano zagadnienia wprowadzające w tematykę pracy oraz część eksperymentalną, w której doktorantka opisuje metodologię prowadzenia badań, przedstawia wyniki oraz przeprowadza ich dyskusję formułując wnioski.

Część teoretyczna obejmuje rozdziały 2 i 3.

W rozdziale 2 zdefiniowane zostało przez doktorantkę pojęcie nanodielektryka wraz z wyjaśnieniem szczegółów dotyczących jego struktury, właściwości oraz obszarów możliwych zastosowań. Szczególną uwagę poświęcono pojęciu interfazy jako obszaru granicznego pomiędzy cząstką nanowypełniacza, a matrycą polimerową. Interfaza została opisana z uwzględnieniem poziomu oddziaływania atomowego i opis ten oceniam jako bardzo mocną stronę części teoretycznej pracy. Rozdział ten zawiera również omówienie potencjalnych zastosowań nonokompozytów w obszarze wysokonapięciowych układów izolacyjnych. Rozdział 2 kończy opis wybranych typów nanocząsteczek wraz z krytyczną analizą wyników prac badawczych nad ich zastosowaniem w nanokompozytach. Interesującym zagadnieniem tej części jest przedstawienie

funkcjonalnych materiałów gradientowych wraz ze sposobem ich wytwarzania z wykorzystaniem zjawiska elektroforezy.

Rozdział 3 definiuje natomiast podstawowe zjawiska, pojęcia i wielkości charakteryzujące dielektryki. Rozdział ten jest akademickim opisem mogącym stanowić, z powodzeniem, bazę dla studentów mających poznać te pojęcia na kursie wprowadzającym np. do techniki wysokich napięć.

Przedstawiając część teoretyczną pracy doktorantka udowodniła więc, że **posiada ugruntowaną wiedzę teoretyczną z zakresu tematyki rozprawy, a więc i dyscypliny naukowej, której praca dotyczy i jest przygotowana do realizacji części praktycznej.**

Za najważniejszą część rozprawy należy uznać oczywiście rozdziały od 4 do 7, w których doktorantka przedstawia kolejne kroki, jakie zrealizowała zmierzając do udowodnienia sformułowanych tez.

W pierwszej kolejności, w rozdziale 4, przedstawione zostały przez doktorantkę techniki i procedury zastosowane do wytwarzania próbek nanokompozytowych. Doktorantka opisała zarówno metody wytwarzania próbek jednorodnych jak i gradientowych, przy czym szczególny nacisk położyła na opis kluczowych etapów procesu ich produkcji. Rozdział jest krótki, acz treściwy. Metody i aparatura pomiarowa wykorzystana do określania parametrów dielektrycznych otrzymanych próbek zostały opisane w rozdziale 5, łącznie z metodologią wykonywania poszczególnych pomiarów, w tym sposobem przygotowania próbek, podnoszenia napięcia itp. Kolejno opis dotyczył spektroskopii impedancyjnej, której celem było określenie charakterystyk stałej dielektrycznej ϵ_r oraz współczynnika strat dielektrycznych $\tan\delta$ w szerokim zakresie częstotliwości; pomiarów prądów polaryzacji i depolaryzacji, na podstawie których określono rezystywność skrośną ρ_v badanych materiałów; pomiarów wyładowań niezupełnych, które umożliwiły ocenę jakości wykonania próbek z punktu widzenia możliwości wystąpienia w strukturze materiału defektów o charakterze inkluzji gazowych; pomiarów napięcia przebicia próbek, zmierzających do wyznaczenia ich wytrzymałości elektrycznej wyrażonej w kategorii natężenia pola elektrycznego tj. kV/mm. Część z próbek poddano także obrazowaniu za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej celem oceny jakości rozproszenia nanocząsteczek w matrycy polimerowej. Opisy są w pełni wystarczające do zrozumienia idei pomiarów jak i ewentualnego ich powtórzenia przez osoby trzecie.

Rozdział 6 jest rozdziałem najobszerniejszym i stanowi niejako *clue* dysertacji, gdyż zgromadzone w nim zostały wszystkie wyniki wraz z ich interpretacją, zarówno dla próbek jednorodnych jak i gradientowych. Zgodnie z informacjami z rozdziału 5 analizowanymi parametrami były kolejno przenikalność elektryczna, współczynnik strat dielektrycznych, rezystywność skrośna, wyładowania niezupełne (występowanie i poziom), wytrzymałość elektryczna, a także, w wybranych przypadkach, morfologia powierzchni próbek. Wyniki

zobrazowane są graficznie w sposób przejrzysty. Dyskusja uwzględnia natomiast wpływ różnych czynników na zmiany wspomnianych parametrów wraz z próbą wyjaśnienia przyczyn tych zmian oraz odpowiedzialnych za nie mechanizmów.

Wnioski z przeprowadzonych prac wraz z rekomendacjami dalszych działań zostały przedstawione w rozdziale 7. W prezentacji wniosków doktorantka uwzględniła zarówno kwestie teoretyczne, jak i te związane z potencjalnym zastosowaniem wyników w praktyce. **Dyskusja i wnioski zostały przedstawione klarownie, w sposób jednoznaczny wskazując na osiągnięcie celów i udowodnienie tez.**

Z analizy materiału zawartego w rozdziałach od 4 do 7 wynikają najważniejsze osiągnięcia doktorantki. Osiągnięciami tymi, moim zdaniem, są:

- 1) Opracowanie i przeprowadzenie procedury wytwarzania nanokompozytów, o wysokiej jakości potwierdzonej m.in. niewielkim odsetkiem próbek ($<7\%$), w których wystąpiły wylądowania wewnętrzne w inkluzji gazowej wewnątrz próbki.
- 2) Opracowanie metodyki badawczej pomiarów parametrów dielektrycznych próbek nanokompozytów umożliwiającej doktorantce zrealizowanie założonego programu badawczego i osiągnięcie założonych celów.
- 3) Zrozumienie i wyjaśnienie fizyki zjawisk zachodzących w materiałach kompozytowych w kontekście zmian ich parametrów wynikających z domieszkowania materiału bazowego nanocząsteczkami różnego typu i rozmiarów.
- 4) Wypracowanie umiejętności realizacji pomiarów parametrów dielektrycznych materiałów kompozytowych w środowisku wysokiego napięcia.
- 5) Przeprowadzenie wnikliwej analizy otrzymanych wyników w kontekście udowodnienia, że charakterystyki dielektryczne nanokompozytów są funkcją wielu zmiennych (czynników) zarówno o charakterze materiałowym (wpływ rodzaju i rozmiaru cząstek napelnacza oraz jego zawartości wagowej) jak i procesowym (wpływ stopnia usieciowania żywicy epoksydowej na kolejnych etapach cyklu jej temperaturowego utwardzania).
- 6) Opracowanie i zastosowanie metody elektroforezy do wytwarzania gradientowych układów izolacyjnych typu FGM, charakteryzujących się zmienną wartością przenikalności elektrycznej w objętości nanokompozytu epoksydowego.

Zestawione osiągnięcia potwierdzają jednoznacznie kompetencje doktorantki do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jednocześnie osiągnięcia te stanowią o wartości naukowej rozprawy doktorskiej oraz oryginalności rozwiązanego zagadnienia naukowego.



5. Uwagi, pytania, zagadnienia dyskusyjne

Praca, co zaznaczono wyżej, jest bardzo dobrze przygotowana od strony edytorskiej. Wyniki uzyskane przez doktorantkę są znakomicie zobrazowane graficznie, co znacząco ułatwiło zapoznanie się z pracą i podążanie za myślami autorki. Ponadto, praca odznacza się więcej niż poprawnie przygotowaną stroną stylistyczną. Nie zanotowałem również rażących błędów logicznych, interpunkcyjnych czy ortograficznych. W związku z powyższym w części uwag i dyskusji skupiłem się na kwestiach merytorycznych, stanowiących najistotniejszy element dyskusji naukowej z doktorantką. Poniżej przedstawiam więc pytania i uwagi, o których wyjaśnienie proszę.

- 1) Na str. 20 pracy doktorantka formułuje zdanie o treści „W obszarze badań wysokonapięciowej izolacji elektrycznej, w odniesieniu do mieszanin *polimer-nanocząstki* o interesujących właściwościach dielektrycznych, terminy *nanokompozyt* i *nanodielektryk* są zwykle używane zamiennie” i w kolejnych zdaniach takie też nazewnictwo stosuje. Czy stosowanie sformułowania nanodielektryk tylko w odniesieniu do nanokompozytów nie jest zbyt dużym uproszczeniem? Czy nanodielektrykiem nie będzie też nanociecz, a więc ciecz dielektryczna domieszkowana nanocząsteczkami? Badania w zakresie nanociecz są również obszernym zakresem badań, w których nanocząsteczki są wykorzystywane do poprawy właściwości dielektrycznych i termicznych cieczy bazowej. Proszę o wypowiedzenie w tym zakresie swojego zdania.
- 2) W rozdziale 2.2 doktorantka wskazuje wiele możliwych obszarów zastosowań nanokompozytów. Czy doktorantka mogłaby krótko rozwinąć kwestie możliwości powtarzalnego, przemysłowego ich wytwarzania, aby uzyskiwać materiał finalny o identycznych, zakładanych możliwościach. Brakuje mi komentarza w tym zakresie w tekście dysertacji, we wskazanym rozdziale.
- 3) W rozdziale 4, przy wskazywaniu jakich nanocząstek i o jakich rozmiarach użyto do wytwarzania próbek kompozytów jednorodnych brakuje mi następujących informacji:
 - czy weryfikowano i jeśli tak, to w jaki sposób, rozmiary nanocząstek?
 - co zadecydowało o wyborze właśnie tych rodzajów i rozmiarów, a nie innych?
- 4) Na str. 82 doktorantka wzmiankuje dwa układy elektrod: płaska-płaska oraz płaska-ostrze. Rozumiem po części ideę tak przyjętego nazewnictwa, niemniej, w znanej mi nomenklaturze wysokonapięciowej stosuje się raczej nazewnictwo typu układ elektrod ostrze-płyta czy płyta-płyta. Nie jest to uwaga krytyczna do autorki, ale stwierdzenie faktu do ewentualnego rozważenia w przyszłości.
- 5) Na rys. 4.4 i 4.5 pojawia się nazewnictwo „elektroda o niskim potencjale” i „elektroda o wysokim potencjale”. Uważam, że sformułowanie pierwsze jest niepoprawne. Patrząc na schemat układu wydaje się, że jedna z elektrod miała po prostu potencjał równy 0, albowiem

była uziemiona. Wydaje mi się również, że sam schemat nie do końca oddaje rzeczywistość pomiarową. Czy napięcie stałe posiadało biegunowość dodatnią czy ujemną? Proszę o wyjaśnienie.

- 6) Pomiary wytrzymałości elektrycznej próbek nanokompozytów wskazały na wytrzymałość elektryczną oscylującą w przedziale 45-50 kV/mm. W tym kontekście brakuje mi w pracy kilku komentarzy w odniesieniu do otrzymanych wartości:
 - a) Czy wartości te są bliskie wartościom referencyjnym, i mam na myśli tu zarówno dane literaturowe jak i wartości wytrzymałości elektrycznej charakteryzujące produkty / materiały komercyjne? Pytanie wynika z faktu, że dla innych materiałów dielektrycznych stałych istnieją wytyczne w zakresie ich wytrzymałości. Przykładowo, preszpan izolacyjny o wysokiej gęstości i o grubości $< 1,6$ mm powinien charakteryzować się wytrzymałością elektryczną nie mniejszą niż 45 kV/mm;
 - b) Podczas pomiarów zastosowano szybkość podnoszenia napięcia 1 kV/s, co, prosto licząc, powoduje przebicie próbki po ok. 45 sekundach. Przytaczana w pracy norma mówi w p. 10.1, że normatywna wytrzymałość elektryczna materiału izolacyjnego powinna bazować na napięciach przebicia wyznaczonych tak, że podczas procedury pomiarowej do przebicia dochodzi pomiędzy 10-tą a 20-tą sekundą od momentu podania napięcia do układu. Jakkolwiek doświadczenia w tym zakresie są znane recenzentowi tylko w odniesieniu do materiałów celulozowych. Czy dla materiałów kompozytowych takie warunki także są zdefiniowane przy weryfikacji wytrzymałości elektrycznej badanych próbek? Powyższe nie jest formalnym zarzutem, a jedynie przyczynkiem do dyskusji. Ważne jest bowiem, aby w porównawczych badaniach eksperymentalnych trzymać się jednej zasady pomiaru.
 - c) W toku czytania pracy umknęła mi informacja o grubości badanych próbek. Zakładam, że skoro źródło przemiennego napięcia probierczego charakteryzowało się napięciem znamionowym równym 60 kV, to próbki musiały mieć grubość około 1 mm, aby tego napięcia nie przekroczyć. Proszę o potwierdzenie.
- 7) W dysertacji brak jest opisu błędów i niedokładności pomiarów, wynikających z zastosowanych metod, instrumentów pomiarowych i samego układu pomiarowego. Poproszę o komentarz w tym zakresie.
- 8) Badania eksperymentalne doktorantki bazowały na wielokrotnej rejestracji różnych wielkości fizycznych. Czy w związku z tym doktorantka podjęła próbę określenia powtarzalności i ewentualnie odtwarzalności otrzymanych wyników pomiarowych, stosując przy tym standardowe w analizie statystycznej metody wnioskowania statystycznego oparte na testach istotności? Ponadto, czy doktorantka rozważała wpływ czynników metrologicznych, które mogłyby je zakłócać?

6. Ocena ogólna rozprawy i wniosek końcowy

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam jak najbardziej pozytywnie. Na tę ocenę składają się przede wszystkim:

- oryginalna tematyka rozprawy, w której poruszone zostało zagadnienie ważne dla obszaru elektrotechniki, w szczególności dla obszaru materiałoznawstwa elektrotechnicznego,
- podejście do rozważanego zagadnienia tj. zaprojektowanie eksperymentu oraz jego organizacja i wykonanie, w tym spójny i metodologicznie poprawny sposób realizacji badań eksperymentalnych,
- obszerność części eksperymentalnej pracy tj. mnogość wykonanych pomiarów i analiz, w tym wyjaśnienie natury fizycznej zachodzących zmian w odniesieniu do poszczególnych parametrów charakteryzujących badane nanokompozyty,
- opracowanie i zweryfikowanie metody wytwarzania gradientowych układów izolacyjnych typu FGM.

Zamieszczone uwagi i komentarze zawarte w pytaniach do doktorantki nie umniejszają w żadnym stopniu osiągnięcia oraz wartości ocenianej rozprawy.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Anny Dąda pt.: *„Analiza wpływu wybranych nanowypełniaczy nieorganicznych na parametry dielektryczne jednorodnych i modyfikowanych gradientowo nanokompozytów epoksydowych dla zastosowań wysokonapięciowych”* spełnia wymagania obowiązującej ustawy w stopniu wystarczającym i może zostać dopuszczona do publicznej obrony.