

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

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Dominiki Szcześniak

pt. „*Wpływ warunków starzenia estru naturalnego na jego właściwości w aspekcie wydłużenia czasu eksploatacji układu izolacyjnego transformatora energetycznego*”

1. Podstawa prawna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja sporządzona została na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej z dnia 16.09.2025 roku powołującej moją osobę na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominiki Szcześniak.

2. Tematyka i tezy rozprawy

Od wielu lat, obok olejów mineralnych, które są dobrze rozeznane w kontekście roli jaką pełnią w transformatorach energetycznych, rynek cieczy elektroizolacyjnych proponuje wiele alternatywnych rozwiązań, które zastąpić mogą oleje mineralne. Głównym powodem, dla którego oleje mineralne są zastępowane cieczami alternatywnymi, jest biodegradowalność tych drugich, rozumiana jako brak negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne w przypadku bezpośredniego kontaktu płynu z glebą czy wodą, np. podczas wycieku spowodowanego awarią transformatora. W przypadku estrów, które stanowią największą obecnie grupę cieczy alternatywnych stosowanych w transformatorach, ich poziom biodegradowalności, oceniony z użyciem normy OECD 301 osiąga blisko 90% w przypadku estrów syntetycznych oraz blisko 99% w przypadku estrów naturalnych. Tak samo określana biodegradowalność oleju mineralnego wynosi zaledwie 10%.

Oczywiście biodegradowalność, czy związana również z bezpieczeństwem eksploatacyjnym wysoka temperatura zapłonu estrów, nie mogą być jedynymi czynnikami decydującymi o ich zastosowaniu w transformatorze zamiast oleju mineralnego. Estrы, zarówno syntetyczne jak i naturalne, muszą spełniać też szereg kryteriów podstawowych w zakresie właściwości izolacyjno-chłodzących. Muszą więc, podobne jak olej mineralny, posiadać odpowiednie właściwości dielektryczne oraz charakteryzować się odpowiednią efektywnością w odprowadzaniu ciepła z

uzwojeń transformatora. Istotnym aspektem w kontekście zastosowania estrów zamiast oleju mineralnego w transformatorze jest także ich współpraca z izolacją stałą, rozumiana nie tylko jako poprawa wytrzymałości elektrycznej izolacji stałej poprzez jej impregnację cieczą izolacyjną, ale także jako wpływ na procesy starzeniowe izolacji stałej podczas wieloletniej eksploatacji transformatora. Badania światowe w zakresie zastępowalności olejów mineralnych estrami w sposób szeroki opisują właściwości dielektryczne estrów w zakresie ich wytrzymałości elektrycznej przy napięciu przemiennym, stałym czy udarowym. Realizowane jest to najczęściej jako porównanie właściwości estrów z właściwościami cieczy referencyjnej jaką jest olej mineralny, przy czym porównanie to odbywa się koniecznie w tych samych warunkach probierczych. Skromniejsze dane literaturowe dotyczą natomiast sfery eksploatacji estrów w transformatorach, gdzie dwa obszary wydają się szczególnie istotne zdaniem recenzenta. Pierwszy to bieżąca diagnostyka jednostek transformatorowych napełnianych estrami, zaś drugi to zachowanie się izolacji celulozowo-estrowej wraz z czasem eksploatacji, rozumianej jako postępujący naturalnie proces starzenia i jego wpływ na czas życia jednostki. Właśnie tym drugim, niezwykle ważnym z praktycznego punktu widzenia obszarem, zajęła się w swojej rozprawie doktorantka. Mgr inż. Dominika Szcześniak postanowiła ocenić w ramach swojej pracy potencjał estru naturalnego do spowolnienia procesu depolimeryzacji izolacji celulozowej bazując na znajomości odpowiednio hydrolitycznego i oksydacyjnego mechanizmu starzenia estrów. Uważam, że podjęta tematyka jest więc bardzo aktualna i ważna dla rozwoju nowoczesnych aplikacji uwzględniających estry jako ciecz izolacyjno-chłodzącą w transformatorach. Rozwój nowoczesnych, biodegradowalnych cieczy izolacyjnych do transformatorów postępuje i z każdym rokiem obserwujemy zwiększającą się liczbę jednostek napełnianych takimi cieczami. Mimo, że w skali kraju odsetek transformatorów z estrami naturalnymi jest marginalny, to jednak należy podkreślić, że odsetek ten w energetyce międzynarodowej jest mocno zauważalny, a w krajach azjatyckich sumaryczna moc transformatorów z tym medium izolacyjno-chłodzącym rośnie niemal wykładniczo.

Mgr inż. Dominika Szcześniak oparł swoje rozważania na dwóch następujących hipotezach badawczych:

Hipoteza I: Warunki starzenia estru naturalnego w sposób decydujący mogą wpłynąć na strukturę chemiczną estru naturalnego, a co za tym idzie, również na jego właściwości istotne z punktu widzenia eksploatacji transformatora energetycznego. Przy czym procesy starzenia oksydacyjnego i hydrolitycznego estru naturalnego mogą w diametralnie różny sposób wpływać na te właściwości, w pierwszym przypadku całkowicie dyskwalifikując ciecz z dalszego użytkowania, a w drugim przyczyniać się nawet do wydłużenia czasu eksploatacji jednostki poprzez osuszanie układu izolacyjnego.

Hipoteza II: Istnieje możliwość poprawy stabilności oksydacyjnej estru naturalnego poprzez jego nanomodyfikację przy użyciu fulerenu C₆₀, który pełni rolę inhibitora procesu utleniania.

W pełni akceptuję obie hipotezy jako poprawne i wskazujące kierunek prac badawczych doktorantki. Jedynie w Hipotezie I sformułowanie „....mogą wpłynąć na strukturę chemiczną estru naturalnego...” zamieniłbym na „....mogą wpłynąć na zmianę struktury chemicznej...”, gdyż wydaje się, że zmiana dotyczy pewnego wybranego obszaru tej struktury a nie jej całości. Niemniej, jest to uwaga nie wpływająca, jak zaznaczyłem, na całkowicie pozytywny odbiór obu hipotez.

Aby udowodnić sformułowane hipotezy badawcze doktorantka zaplanowała szereg złożonych prac eksperymentalnych, wśród których należy wymienić:

- przeprowadzenie procesu starzenia hydrolitycznego estru naturalnego w celu analizy wpływu tego procesu na zmianę właściwości fizykochemicznych i elektrycznych estru;
- przeprowadzenie procesu starzenia oksydacyjnego estru naturalnego w celu analizy wpływu tego procesu na zmianę właściwości fizykochemicznych i elektrycznych estru;
- ocenę zmian struktury chemicznej estru naturalnego zachodzących w trakcie starzenia hydrolitycznego oraz oksydacyjnego przy wykorzystaniu badań spektrofotometrycznych widma absorbancji estru naturalnego oraz analizy zawartości kwasów tłuszczowych przed i po procesie starzenia;
- ocenę wpływu starzenia hydrolitycznego i oksydacyjnego na rozpuszczalność wody w estrze naturalnym oraz na krzywe równowagi zawilgocenia w układzie papier-ester;
- eksperymentalne porównanie procesu starzenia izolacji celulozowej impregnowanej odpowiednio olejem mineralnym i estrem naturalnym;
- ocenę wpływu procesu nanomodyfikacji estru naturalnego przy użyciu fulerenu C₆₀ na poprawę jego stabilności oksydacyjnej.

Tak więc podjęta przez doktorantkę tematyka rozprawy, przyjęte hipotezy badawcze, a także szczegółowo zaplanowany obszerny zakres prac badawczych wskazują jednoznacznie na oryginalne podejście do rozwiązania zagadnienia, które nie realizowane było dotychczas w takiej formie. Ponieważ praca dotyczy obszaru zastosowania cieczy izolacyjnych w transformatorkach energetycznych to bez wątpienia wpisuje się ona tematycznie w dyscyplinę Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Chciałbym również stwierdzić, że zaplanowany zakres prac charakteryzuje się oryginalnością na poziomie co najmniej krajowym.

3. Dane bibliograficzne rozprawy

Rozprawa opracowana została w języku polskim i zawiera, łącznie ze spisem literatury, 124 strony. Praca podzielona jest na 11 rozdziałów poprzedzonych „Streszczeniem” oraz „Abstractem” stanowiącym odpowiednik streszczenia w języku angielskim, i zakończonych spisem literatury. Literatura obejmuje 166 pozycji, wśród których znajdują się najważniejsze pozycje dla obszaru badawczego, który reprezentuje doktorantka. Są to zarówno pozycje z wiodących czasopism naukowych jak i najważniejszych konferencji (głównie IEEE). Układ poszczególnych rozdziałów jak i ich podział jest logiczny. Liczne tabele i rysunki ilustrujące dokonania doktorantki są przedstawione czytelnie.

4. Charakterystyka i ocena rozprawy

Recenzowana praca doktorska została przygotowana w sposób klasyczny z wprowadzeniem i częścią teoretyczną jako pierwszą częścią rozprawy oraz z częścią eksperymentalną wraz z dyskusją i wnioskami jako drugą częścią rozprawy.

Część teoretyczna obejmuje rozdziały od 1 do 5. Poza wprowadzeniem zawiera ona kompendium wiedzy związanej z tematyką pracy. Doktorantka opisuje w sposób ogólny układ izolacyjny transformatora poświęcając najwięcej objętości tej części na prezentację estru naturalnego jako dielektryka ciekłego stosowanego w urządzeniach wysokich napięć (rozdział 2). W rozdziale 3 przedstawia z kolei problematykę starzenia izolacji ciekłej i stałej (celulozowej) z krótką charakterystyką problematyki starzenia izolacji celulozowej w środowisku izolacyjnego estru naturalnego. Rozdział 4 poświęcony jest natomiast metodom poprawy stabilności oksydacyjnej estru naturalnego jako zagadnieniu, które wymuszone jest najniższą stabilnością tego typu cieczy spośród wszystkich dostępnych na rynku cieczy transformatorowych. Uwzględniając fakt, że jednym ze sposobów poprawy stabilności oksydacyjnej jest domieszkowanie estru nanocząsteczkami, w rozdziale 5 doktorantka przedstawia fuleren, jako możliwy nanomodifikator służący temu celowi.

Opis teoretyczny, we wszystkich przypadkach, jest zaprezentowany w sposób bardzo wyważony. Doktorantka znakomicie rozeznała literaturę w każdym z obszarów, przedstawiając wszelkie spostrzeżenia w oparciu o najnowsze osiągnięcia w danej dziedzinie. Autorka rozprawy powołuje się zarówno na pozycje z czasopism najważniejszych dla obszaru cieczy dielektrycznych (w tym IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation) jak również na pozycje z najważniejszych konferencji w tym obszarze (np. IEEE ICDL). Świadczy to o bardzo dobrym rozeznaniu przez doktorantkę obszaru wiedzy, którym zajęła się w swojej pracy doktorskiej. Co dodatkowo ważne podkreślenia, język, jakim napisana jest rozprawa, jest na bardzo dobrym poziomie, a formułowane myśli mają charakter rozważań i analiz naukowych wykorzystujących,

kiedy potrzeba, tryb przypuszczający. Odniesienia literaturowe są częste i nieprzypadkowe. W każdym przypadku dana pozycja, do której odnosi się doktorantka jest krótko scharakteryzowana, co świadczy o wnikliwym przeanalizowaniu przez autorkę cytowanych pozycji. Szczególnie chciałbym podkreślić tu rozdział 5.2. „Zastosowanie fulerenu jako nanomodifikatora cieczy elektroizolacyjnych”, który jest doskonałym przeglądem zagadnienia. W części teoretycznej na uwagę zasługuje na pewno wiedza doktorantki z obszaru chemii dielektryków, który to obszar jest niezwykle delikatny i wymagający zrozumienia złożonych struktur międzycząsteczkowych i oddziaływania na nie wielu różnorodnych czynników.

Podsumowując, doktorantka w części teoretycznej udowodniła, że posiada ugruntowaną wiedzę teoretyczną z zakresu tematyki rozprawy, a więc i dyscypliny, której praca dotyczy i jest przygotowana do realizacji części praktycznej.

Część eksperymentalna pracy obejmuje rozdziały od 6 do 11, przy czym w rozdziale 11 następuje podsumowanie pracy. Zdecydowanie rozdziały te należy uznać za najważniejszą część rozprawy. W nich to doktorantka opisuje kolejne kroki, które pozwoliły jej udowodnić sformułowane hipotezy badawcze. Przytoczone już wyżej hipotezy badawcze sformułowane są w rozdziale 6. Następnie, w rozdziale 7, mgr inż. Dominika Szcześniak dokładnie charakteryzuje metody badawcze oraz wykorzystaną aparaturę pomiarową, dzięki której określała charakterystyczne parametry cieczy izolacyjnych oraz papieru celulozowego. Oceniam ten rozdział jako bardzo wartościowy, gdyż wskazuje na ważność precyzyjnego podejścia do pomiarów tego typu, które, w odniesieniu do zakresu pracy, były przecież pomiarami krytycznymi dla uzyskania dowodu dla postawionych hipotez. W rozdziałach od 8 do 10 (z uwzględnieniem stosownego podziału na podrozdziały) przedstawione są natomiast wyniki poszczególnych etapów prac badawczych poprzedzone każdorazowo zdefiniowaniem celu i zakresu prac, a zakończone dyskusją oraz sformułowanymi wnioskami. Zakres prac wymieniony został przeze mnie już w p. 2 tej recenzji. Tu chciałbym zaznaczyć, że duże wrażenie zrobiło na mnie, jako czytelniku, bardzo płynne przeprowadzenie przez kolejne etapy badań i, przede wszystkim, uwypuklenie faktu, że kolejny etap wynika bezpośrednio z wniosków wypracowanych w etapie poprzednim. Innymi słowy, opis prac sprawia wrażenie, że po zakończeniu danego etapu oraz opracowaniu wyników i sformułowaniu wniosków przemyślenia doktorantki spowodowały, że pojawiły się etapy kolejne, wynikające z wątpliwości lub konieczności weryfikacji zaobserwowanych faktów czy spostrzeżeń. Generalnie, podobnie jak w części teoretycznej, chciałbym podkreślić wysoki poziom językowy pracy. Tekst jest jasny, a sformułowanie przejrzyste i nie wzbudzające wątpliwości. Doktorantka z pewnością poświęciła wiele czasu na przygotowanie części edytorskiej pracy. Ponadto, prezentacja graficzna i tabelaryczna wyników jest niezwykle dopracowana.

Jeśli chodzi natomiast o zawartość merytoryczną rozdziałów 7-11, to analiza tej zawartości pozwala na wypunktowanie najważniejszych osiągnięć autorki rozprawy. Osiągnięciami tymi moim zdaniem są:

- 1) Zrealizowanie kompleksowych i wyczerpujących prac badawczych nad wpływem procesu starzenia na właściwości estru naturalnego, w tym w szczególności:
 - wykonanie złożonych badań wpływu procesu starzenia hydrolitycznego na zmianę właściwości fizykochemicznych i elektrycznych estru naturalnego
 - wykonanie złożonych badań wpływu procesu starzenia oksydacyjnego na zmianę właściwości fizykochemicznych i elektrycznych estru naturalnego,
 - przeprowadzenie oceny wpływu procesu starzenia na zmianę w strukturze chemicznej estru naturalnego, w tym zmianę składu zawartości kwasów tłuszczonych,
 - przeprowadzenie badań nad wpływem starzenia hydrolitycznego i oksydacyjnego na rozpuszczalność wody w estrze naturalnym oraz na krzywe równowagi zawilgocenia w układzie papier-ester,
 - wykonanie złożonych porównawczych badań eksperymentalnych oceniających proces starzenia izolacji celulozowej impregnowanej odpowiednio olejem mineralnym i estrzem naturalnym,
 - realizacja badań nad wpływem procesu nanomodyfikacji estru naturalnego przy użyciu fulerenu C₆₀ na poprawę jego stabilności oksydacyjnej.
- 2) Zrozumienie, na podstawie zrealizowanego planu badawczego, złożonych zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących w estrze naturalnym pod wpływem starzenia wraz ze wskazaniem kluczowych czynników decydujących o postępie starzenia.
- 3) Wypracowanie umiejętności realizacji pomiarów parametrów fizyko-chemicznych i dielektrycznych cieczy elektroizolacyjnych.
- 4) Sformułowanie wniosków istotnych dla praktyki stosowania estrów naturalnych w transformatorach energetycznych w tym w szczególności wniosek, że starzenie hydrolityczne estru naturalnego nie stanowi zagrożenia dla układu izolacyjnego, podczas gdy starzenie oksydacyjne prowadzi do radykalnego pogorszenia zarówno właściwości fizykochemicznych jak i elektrycznych tej cieczy. W tym zakresie sugestia zmian w normie IEC 62975 w zakresie wartości kryterialnej liczby kwasowej jest warta szczególnego podkreślenia.
- 5) Wykazanie po raz pierwszy, że analiza składu kwasów tłuszczowych w estrze naturalnym z wykorzystaniem metody spektroskopowej (pomiarów widma absorbancji) oraz analizy profilu kwasów tłuszczowych, może wskazać na postęp degradacji cieczy

elektroizolacyjnej, co stanowi istotny wkład w rozwój metod diagnostycznych estrów naturalnych do zastosowań w transformatorach energetycznych.

- 6) Wykazanie, że istnieje możliwość poprawy stabilności oksydacyjnej estru naturalnego poprzez jego nanomodyfikację przy użyciu fulerenu, przy czym nie wpływa to negatywnie na inne właściwości estru.

Powyższe osiągnięcia potwierdzają jednoznacznie kompetencje doktorantki do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jednocześnie osiągnięcia te stanowią o wartości naukowej rozprawy doktorskiej oraz oryginalności rozwiązanego zagadnienia naukowego. Doktorantka udowodniła postawione w pracy hipotezy spełniając tym samym kryteria pracy doktorskiej.

5. Uwagi, pytania, zagadnienia dyskusyjne

Praca, jak wzmiankowałem wyżej, jest napisana w bardzo dobrym stylu. Autorka zadbała nie tylko o warstwę merytoryczną, ale także o styl i język. Pozytywny odbiór pracy wzmacniają wysokiej jakości wykresy prezentujące wyniki badań. W związku z powyższym nie wnoszę uwag o charakterze edycyjnym.

Nie mam także zasadniczych uwag co do warstwy merytorycznej pracy. Poniżej zaprezentowane pytania i uwagi dyskusyjne mają raczej charakter dyskusji naukowej z doktorantką w zakresie zaaplikowanej metodologii czy sformułowanych wniosków.

- 1) Przedstawiając ester naturalny jako ciecz elektroizolacyjną doktorantka nie wzmiankuje w żadnym miejscu swojej pracy normy IEC 62770: 2024 „Fluids for electrotechnical applications - Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment”. Rozumiem, że ideą pracy było odniesienie się raczej do właściwości eksploatacyjnych, niemniej przy prezentacji właściwości estru naturalnego w odniesieniu do oleju mineralnego i innych cieczy elektroizolacyjnych (podrozdział 2.3.5) byłoby korzystnym zestawienie wymagania normatywne dla cieczy danego rodzaju. Proszę o komentarz doktorantki w tym zakresie.
- 2) Co podyktowało wybór temperatur 90 °C i 120 °C jako temperatur procesu starzenia? Czy autorka rozważała wyższe temperatury, a jeśli tak to dlaczego ich nie zastosowała? Pytanie wynika z faktu, że literatura przytacza prace badawcze, w których proces przyspieszonego starzenia wykonuje się np. w temperaturze 150 °C. Taką temperaturę sugeruje m.in. grupa robocza CIGRE D1.76 TF 2.
- 3) Czy doktorantka uważa, że założony czas eksperymentu jest wystarczający, czy też dłuższy proces prowadzenia starzenia mógłby przyczynić się do wypracowania dodatkowych wniosków?

- 4) Analizując kwestię wpływu zmiany rozpuszczalności wody w estrze po starzeniu hydrolitycznym i oksydacyjnym na krzywe równowagi zawilgocenia w układzie papier – ester autorka formułuje wniosek, że „wzrost rozpuszczalności wody w estrze w wyniku obu procesów starzenia prowadzi do zmian w rozkładzie zawilgocenia w układzie izolacyjnym transformatora”. Dalej pisze także, że „przy tym samym poziomie zawartości wody w estrze po procesie oksydacji oraz w estrze po hydrolizie możliwe są zupełnie inne poziomy zawilgocenia izolacji celulozowej”. A zatem pojawia się pytania jak, zdaniem doktorantki, uwzględnić ten fakt w praktyce oceny stanu zawilgocenia izolacji stałej transformatora? Czy jest możliwe, aby rozróżnić oba procesy i sformułować realną diagnozę?
- 5) Proces starzenia papieru w estrze i oleju mineralnym uwzględnił odpowiednio daną ciecz i zaimpregnowane nią próbki papieru. Czy doktorantka nie rozważała umieszczenia w naczyniu także miedzi, którą stosuje się typowo w ocenie wpływu starzenia na właściwości papieru?
- 6) W pracy podano wartość zawilgocenia papieru po procesie suszenia na poziomie 0,2%. Jest to dla recenzenta imponująco niska wartość. Czy wartość ta dotyczy papieru po wysuszeniu czy już po procesie impregnacji?
- 7) Czy doktorantka jest w stanie podać, w celach czysto informacyjnych, jakie było zawilgocenie oleju mineralnego oraz estru naturalnego, wyrażone w [ppm], przed rozpoczęciem starzenia w procesie z papierem izolacyjnym?
- 8) Doktorantka wskazuje w swojej pracy, że „w przypadku nanocieczy na bazie estru naturalnego i fulerenu, nie zauważono tworzenia się aglomeratów fulerenu w estrze, jak również po wieloletnich obserwacjach nie spostrzeżono pojawienia się osadu na dnie butelek, w których nanociecze były przechowywane”. Czy w związku z powyższym doktorantka uważa, że fuleren 60 ma potencjał do aplikacji w rzeczywistych rozwiązaniach? Czy jednak jego koszt jest niewspółmierny do uzyskiwanych efektów?

6. Wniosek końcowy

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam jednoznacznie pozytywnie. Na tę ocenę składają się przede wszystkim wymienione w rozdziale 4 mojej recenzji osiągnięcia doktorantki, w tym osiągnięcia natury praktycznej. Uwagi i pytania dyskusyjne zawarte w rozdziale 5 niniejszej recenzji w żadnym stopniu nie umniejszają osiągnięciom doktorantki oraz wartości ocenianej rozprawy. W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dominiki Szcześniak pt.: *„Wpływ warunków starzenia estru naturalnego na jego właściwości w aspekcie wydłużenia czasu eksploatacji układu izolacyjnego transformatora energetycznego”* spełnia wymagania

obowiązujących przepisów i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.



6. Wniosek o wyróżnienie

Uwzględniając eksperymentalny charakter pracy doktorskiej, szeroki zakres badań wykonanych przez doktorantkę, staranność przy redagowaniu rozprawy, ponadprzeciętny sposób prezentacji wyników, wysoki poziom merytoryczny ich dyskusji, a także jakość zaprezentowanych wniosków wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominiki Szcześniak. Poza wyżej wymienionymi aspektami pracy, które należało podkreślić, chciałbym również wskazać na dwa istotne naukowo, ale także ważne dla praktyki inżynierskiej wnioski, które wypracowała doktorantka w tok realizacji badań naukowych tj.:

- 1) Wskazanie konieczności uwzględnienia w normie IEC 62975 zmian w zakresie wartości kryterialnej liczby kwasowej dla estru naturalnego.
- 2) Wykazanie, że na podstawie analizy składu kwasów tłuszczowych w estrze naturalnym z wykorzystaniem metody spektroskopowej oraz analizy profilu kwasów tłuszczowych, można ocenić postęp degradacji cieczy elektroizolacyjnej.

Ponadto, doktorantka wykazuje się znaczącą aktywnością publikacyjną będąc współautorką 2 prac w czasopiśmie Energies (w tym w jednej pracy jako pierwsza autorka) oraz 3 prac w Przeglądzie Elektrotechnicznym (we wszystkich jako pierwsza autorka). Przedstawiła także referat na międzynarodowej konferencji IEEE ICDL, gdzie została wyróżniona za najlepszą prezentację młodego naukowca.



