

Dr hab. inż. Dariusz Świsulski, prof. uczelni

Gdańsk, 26.05.2026

Wydział Elektrotechniki i Automatyki

Politechniki Gdańskiej

Katedra Metrologii i Systemów Informacyjnych

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
komórka organizacyjna Rada Dyscypliny AEEiTK
wpłynęło dnia 29.05.2026
RPD / 3273 / 26
nr wpływu RD.AEEiTK / 510.1.2026
załączniki podpis *JS*

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Maklesa pt.:

**„Zastosowanie nowoczesnych obwodów wejściowych w konstrukcji kontrolnych
liczników energii elektrycznej pracujących przy odkształconych przebiegach
napięcia i prądu”**

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka,
Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH, RD AEEiTK/510.1/2026 z 13.04.2026 r.,
zgodnie z uchwałą nr 16/2026, Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie
z dnia 9 kwietnia 2026 r.

1. Obszar problemowy

Tematyka konstrukcji liczników energii elektrycznej jest ważna i wymaga prowadzenia prac badawczych. Świadczy o tym duża liczba wykorzystywanych urządzeń. W Polsce do systemu elektroenergetycznego przyłączeni są odbiorcy energii elektrycznej posiadający łącznie około 20 milionów punktów poboru energii, z których ok. 17 milionów stanowią gospodarstwa domowe. Prawie połowa odbiorców końcowych energii elektrycznej posiada liczniki zdalnego odczytu. Z ograniczonego cyklu życia liczników wynika konieczność okresowej wymiany lub ponownej legalizacji.

Świsulski

Przez wiele lat powszechnie stosowane były analogowe liczniki indukcyjne. Postęp elektroniki umożliwił rozwój elektronicznych systemów do pomiaru energii elektrycznej. Początkowo dość proste, z czasem wykorzystują coraz bardziej zaawansowane rozwiązania, w tym układy cyfrowego przetwarzania sygnałów. Dlatego recenzent uważa podjętą w rozprawie tematykę, jako bardzo ważną i aktualną z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Opiniowana rozprawa jest udaną propozycją opracowania obwodów wejściowych liczników energii elektrycznej.

Sformułowana przez autora teza pracy brzmi: „Zastosowanie nowoczesnych konstrukcji obwodów wejściowych w licznikach energii elektrycznej umożliwia osiągnięcie niepewności pomiarowej poniżej 0,1% dla przebiegów sinusoidalnych, co stanowi podstawę do opracowania uniwersalnych liczników kontrolnych zdolnych do wiarygodnych pomiarów w warunkach silnie odkształconych sygnałów w szerokim zakresie napięcia, prądu i częstotliwości z niepewnością około 0,1%.”. Mimo, że w tezie użyto niesprecyzowanych pojęć „warunki silnie odkształconych sygnałów, czy „szeroki zakres napięcia, prądu i częstotliwości”, recenzent uważa tezę za prawidłowo zredagowaną.

Dążąc do udowodnienia tezy, doktorant sformułował następujące cele badawcze:

1. Analiza wymagań prawnych i metrologicznych rozliczeniowych liczników energii elektrycznej.
2. Szczegółowe określenie wymagań pomiarowych dla liczników rozliczeniowych oraz kontrolnych.
3. Analiza źródeł błędów pomiaru mocy i energii elektrycznej wraz z oceną ich wpływu na całkowitą niepewność pomiaru.
4. Zdefiniowanie modelu matematycznego oraz algorytmów pomiarowych mocy i energii.
5. Projekt i budowa modelu obwodów pomiarowych zapewniających niską niepewność pomiaru oraz szeroki zakres amplitudowo-częstotliwościowy przenoszonych sygnałów.
6. Przeprowadzenie badań układu w celu sprawdzenia osiągniętych parametrów metrologicznych.
7. Opracowanie metodyki pomiaru mocy i energii elektrycznej w obecności przebiegów odkształconych oraz określenie niepewności pomiaru.

Zdaniem recenzenta podane cele zostały prawidłowo określone, a ich realizacja pozwala na udowodnienie postawionej tezy.

Rozprawa należy do zakresu badań dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

2. Zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska zawiera streszczenia w języku polskim i języku angielskim, 7 rozdziałów i bibliografię łącznie na 132 stronach oraz 4 załączniki.

Rozprawa rozpoczyna się wykazem ważniejszych symboli i terminów użytych w tekście (29 symboli i 7 terminów).

Pierwszy rozdział zawiera cel i zakres pracy. Wyjaśniono, że głównym celem rozprawy jest opracowanie metodyki projektowania analogowych obwodów wejściowych przyrządów pomiarowych mocy i energii elektrycznej, które mogą pracować w szerokim zakresie częstotliwości, przy zachowaniu zadanej niepewności pomiaru. W rozdziale 2 przedstawiono sformułowaną tezę pracy oraz podano 7 zadań badawczych, których realizacja jest konieczna do udowodnienia tezy.

Rozdział 3 zawiera aktualny stan wiedzy dotyczący pomiarów energii elektrycznej i budowy liczników energii elektrycznej. Przedstawiono wymagania prawne, którym podlegają liczniki energii elektrycznej. Omówiono dyrektywę MID (Measuring Instruments Directive), określającą najważniejsze wymagania stawiane przyrządom pomiarowym na rynkach Unii Europejskiej oraz planowanych w niej zmianach. Omówiono wymagania określone w polskim prawie, dotyczące systemu pomiarowo-rozliczeniowego. Wskazano na normy, które powinny być uwzględnione w trakcie projektowania i produkcji liczników energii elektrycznej. Przedstawiono budowę współczesnych liczników z naciskiem na rozwiązania stosowane w analogowych obwodach wejściowych i przetwornikach pomiarowych. Opisano praktyczne przykłady zastosowania algorytmów pomiarowych w używanych współcześnie licznikach. Zwrócono uwagę na wartości parametrów, oczekiwanych od współczesnych liczników, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami prawnymi.

Rozdział 4 zawiera analizę wpływu obwodów wejściowych liczników na dokładność pomiaru energii elektrycznej. Przedstawiono źródła błędów związanych z działaniem poszczególnych układów liczników, zarówno w części analogowej, jak i w układach cyfrowego przetwarzania sygnałów. Zwrócono uwagę na najważniejsze kwestie związane z szacowaniem niepewności pomiaru energii elektrycznej za pomocą liczników. Omówiono wyniki przeprowadzonych przez autora symulacji, których efektem było określenie wpływu na całkowitą niepewność pomiaru energii elektrycznej błędów przy pomiarze modułu i fazy mierzonego napięcia i prądu. Wyniki te zostały odniesione do wskazań zawartych w normach. Określono też wpływ na dokładność pomiaru energii przebiegów napięcia i prądu.

Przedstawiono wpływ na niepewność pomiaru zastosowanych w licznikach energii elektrycznej rozwiązań obwodów wejściowych, jak dzielniki napięcia. Przeprowadzono również symulacje mające na celu określenie ich kluczowych parametrów. Przedstawiono wyniki badań rzeczywistych obwodów pomiaru napięcia, które doktorant zastosował w zaprojektowanym przez siebie liczniku. Opisano wpływ rozwiązań dzielników napięcia na jego parametry, sposoby korekcji charakterystyk częstotliwościowych, wpływ zmian temperatury na układy pomiarowe, zmiany właściwości toru pomiarowego, związane z występującymi w nich przepięciami. W rozdziale tym opisano też wpływ boczników i przekładników prądowych wykorzystywanych w pomiarach prądu. Przeprowadzone analizy uzupełniono wynikami badań elementów rzeczywistych w zaprojektowanych przez autora układach. Porównano wyniki badań bocznika i trzech przekładników prądowych różnych typów, które stosowane są w licznikach energii elektrycznej przez różnych producentów. Rozdział zakończono opisem wpływu na niepewność pomiaru filtrów antyaliasingowych oraz pracy przy występowaniu sygnałów z dużymi odkształceniami.

W rozdziale 5 przedstawiono opracowany przez doktoranta projekt obwodów wejściowych oraz realizację modelu licznika. Autor porównał parametry czterech typów przetworników prąd-napięcie, działających na zasadzie kompensacji strumienia magnetycznego, różniących się metodą pomiaru strumienia magnetycznego w rdzeniu. Opisano zaprojektowany i wykonany przez doktoranta skompensowany transformatorowy przetwornik prądu i wyniki badania jego parametrów. Zaprojektowane przez autora obwody pomiarowe zostały wykorzystane w budowie licznika energii elektrycznej, pracującego w dużym zakresie mierzonych napięć i prądów i szerokim zakresie częstotliwości, umożliwiające pomiary z założoną niepewnością. Przeprowadzono badania licznika dla przebiegów silnie odkształconych o dużych amplitudach.

Rozdział 6 zawiera porównanie zaprojektowanych przez doktoranta układów obwodów pomiarowych z rozwiązaniem stosowanym w licznikach energii elektrycznej. Przedstawiono metodę szacowania niepewności pomiaru stanowiska laboratoryjnego używanego do badań opracowanych liczników. W wykonanej analizie założono zarówno pomiary przebiegów sinusoidalnych, jak i odkształconych. W wyniku porównania przedstawiono najważniejsze zalety zaproponowanego przez autora rozwiązania. Wskazano również na możliwości wykorzystania badanych rozwiązań w zastosowaniu do liczników kontrolnych służących do sprawdzania liczników rozliczeniowych. W rozdziale tym przedstawiono również wyniki badań w warunkach odbiegających od wymagań podanych w normach. Szczególną uwagę poświęcono analizie dokładności pomiarów mocy i energii czynnej w obecności przebiegów

silnie odkształconych. W rozdziale zaproponowano również zestaw przebiegów testowych służących do oceny zdolności toru pomiarowego do przenoszenia sygnałów o dużej zawartości harmonicznych.

W rozdziale 7 omówiono wnioski końcowe i kierunki dalszych prac. Potwierdzono osiągnięcie celów prowadzących do udowodnienia tezy pracy. Wskazano na oryginalne elementy zawarte w pracy, inne ważne poruszone zagadnienia oraz plany dalszych badań z zakresu omawianej tematyki.

Bibliografia rozprawy obejmuje 173 pozycje. 46 pozycji to dyrektywy, normy, ustawy i rozporządzenia, 61 strony internetowe. Pozostałe 66 pozycji to książki i artykuły, w tym 5 artykułów jest autorstwa lub współautorstwa doktoranta. Jedynie 11 książek i artykułów zostało wydanych w ostatnich 5 latach. Niektóre pozycje zawierają niepełny opis bibliograficzny, np. dla publikacji w wydawnictwach zbiorowych nie podano zakresu stron.

Do rozprawy załączono płytę CD z 4 dodatkami: załącznik 1 zawiera kody źródłowe symulacji i obliczeń, załącznik 2 – dokumentację układu pomiarowego do badania przetworników prąd-napięcie, załącznik 3 – opis projektu jednofazowego licznika kontrolnego zbudowanego z wykorzystaniem przekładnika prądowego i załącznik 4 – dokumentację wejściowych obwodów pomiarowych licznika energii elektrycznej z transformatorowym przetwornikiem prądu zmiennego o zakresie pomiaru prądu od 1 mA do 80 A.

Na podstawie przedstawionej treści pracy można stwierdzić, że określone w rozdziale 2 cele badawcze zostały zrealizowane, a teza pracy została udowodniona. Przeprowadzono analizę wymagań stawianych stosowanym współcześnie licznikom energii elektrycznej, zarówno rozliczeniowym, jak i kontrolnym. Opracowano algorytmy mające zastosowanie w pomiarach mocy i energii elektrycznej. Zdefiniowano wymagania stawiane dla liczników energii elektrycznej czynnej, rozliczeniowym i kontrolnym. Przeprowadzono analizę źródeł niedokładności, które wpływają na całkowitą niepewność przy pomiarach mocy i energii elektrycznej. Zaprojektowano i zbudowano układ do pomiaru mocy i energii elektrycznej, pozwalający na uzyskanie założonej niepewności pomiarów w szerokim zakresie częstotliwości sygnałów, dla dużych zmian amplitudy. Przeprowadzono badania zaprojektowanych i wykonanych rozwiązań i porównano ze stosowanymi wcześniej rozwiązaniami w licznikach energii elektrycznej.

Na podstawie przedstawionego omówienia treści rozprawy można stwierdzić, że doktorant w dobrym stopniu wykazał się umiejętnością formułowania zagadnień naukowo-badawczych i technologicznych na podstawie analizy stanu wiedzy dostępnej

w wykorzystanych pozycjach literatury. Sformułowany problem konstrukcji kontrolnych liczników energii elektrycznej, pracujących przy odkształconych przebiegach napięcia i prądu został rozwiązany właściwymi metodami badawczymi dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wykonane liczne badania symulacyjne i praktyczne zaprojektowanych i wykonanych układów potwierdziły zalety zaproponowanych rozwiązań. Rozprawa posiada charakter teoretyczno-praktyczny. Doktorant wykazał się zaawansowaną wiedzą z elektrotechniki, elektroniki, metrologii, cyfrowego przetwarzania sygnałów.

Poziom wydawniczy rozprawy jest bardzo wysoki. Język jest poprawny, ilustracje, tablice i wzory przejrzyste.

3. Oryginalne osiągnięcia

Realizując postawione cele badawcze i zadania doktorant uzyskał wiele oryginalnych i ważnych wyników naukowych, potwierdzonych na drodze analiz i symulacji, jak i badania rzeczywistych układów własnej konstrukcji. Do ważniejszych osiągnięć doktoranta zaliczam m.in.:

1. Opracowanie układów obwodów wejściowych liczników umożliwiających pomiar prądów i napięć w szerokim zakresie pasma częstotliwości i w dużym zakresie amplitudy sygnałów wejściowych, umożliwiających pomiar z mniejszą niepewnością pomiaru w porównaniu do stosowanych wcześniej rozwiązań.
2. Opracowanie rozwiązania pozwalającego na zwiększenia zakresu pomiarowego sygnałów wejściowych z wykorzystaniem przetworników analogowo-cyfrowych pracujących równolegle.
3. Opracowanie metody testowania właściwości obwodów pomiarowych liczników energii elektrycznej z wykorzystaniem przebiegów silnie odkształconych.

Przedstawione w rozprawie oryginalne wyniki naukowe potwierdzone symulacjami oraz badaniami zaprojektowanych i zrealizowanych układów pomiarowych zostały opisane przez doktoranta w 3 autorskich i 2 współautorskich (z promotorem rozprawy) publikacjach naukowych. Trzy z tych publikacji zamieszczono w czasopiśmie w bazie Web of Science (Przegląd Elektrotechniczny).

Należy również zwrócić uwagę, że wyniki przeprowadzonych przez autora badań zostały wykorzystane w jego pracy zawodowej, przy projektowaniu nowych konstrukcji liczników energii elektrycznej.

Uwzględniając oryginalne wyniki badań naukowych uważam, że mgr inż. Piotr Makles zrealizował i rozwiązał sformułowane cele badawcze w stopniu wyróżniającym i uzasadnił postawioną tezę.

Zaproponowane przez doktoranta rozwiązania mogą być zastosowane w licznikach kontrolnych. Wprowadzenie w seryjnie produkowanych licznikach rozliczeniowych wymaga jeszcze dalszych prac. Związane jest to m.in. z komplikacją układu i koniecznością zastosowania większej liczby przetworników analogowo-cyfrowych, co wiąże się ze zwiększeniem kosztów. We wskazanych w Rozdziale 7 rozprawy kierunkach dalszych prac autor wymienił badania nad możliwością zastosowania zaprojektowanego przetwornika w seryjnie produkowanych licznikach rozliczeniowych. W trakcie dyskusji w czasie obrony rozprawy będę prosił doktoranta o wskazanie warunków zastosowania proponowanych rozwiązań w licznikach rozliczeniowych oraz kierunków rozwoju tego typu liczników.

4. Podsumowanie

W punkcie 1 recenzji stwierdzono, że wybór tematyki rozprawy nie budzi zastrzeżeń. Na podstawie punktu 2, gdzie omówiono zawartość rozprawy i punktu 3, gdzie przedstawiono główne osiągnięcia, można stwierdzić, że praca stanowi oryginalne rozwiązanie przez autora problemu, wykazuje jego wiedzę w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowej.

Mając na względzie zawartą w niniejszej recenzji pozytywną ocenę merytoryczną rozprawy mgr. inż. Piotra Maklesa, w szczególności uzyskane osiągnięcia naukowe stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania Prawa o szkolnictwie wyższym i nauki z dnia 20 lipca 2018 roku w dziedzinie inżynierjno-technicznej w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Jednocześnie wnoszę o przyjęcie rozprawy przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

5. Wniosek o wyróżnienie

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym. W rozprawie rozwiązano ważny i aktualny problem modyfikacji obwodów wejściowych kontrolnych liczników energii elektrycznej pracujących przy odkształconych

przebiegach napięcia i prądu, umożliwiającym pomiar z mniejszą niepewnością pomiaru w porównaniu do stosowanych wcześniej rozwiązań.

Doktorant wyróżniał się w działalności naukowej w trakcie realizacji rozprawy doktorskiej, czego efektem są 3 autorskie i 2 współautorskie publikacje naukowe. Dlatego w przypadku przyjęcia przez komisję obrony rozprawy doktorskiej zgłaszam wniosek o jej wyróżnienie.



Dariusz Świsulski