

Poznań, 23.06.2022

dr hab. inż. Krzysztof WALCZAK, prof. uczelni
Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej

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

Wpłynęło dnia **27. 06. 2022**
Zarejestrowano pod nr
Podpis *dm*

Recenzja

**w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. Andrzeja Wetuli
adiunkta na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki
i Inżynierii Biomedycznej
Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika**

1. Podstawa formalna wykonania recenzji:

Podstawą wykonania recenzji było pismo Pana dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. Uczelni, Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie, z dnia 05.05.2022r. (pismo WEAlIB-b/511-2.3/22) powołujące się na uchwałę nr 35/2022 Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej z dnia 05.05.2022 w sprawie powołania mnie w skład komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego Panu dr. inż. Andrzejowi Wetuli w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Recenzję opracowano na podstawie przygotowanej przez Habilitanta dokumentacji, nadesłanej zarówno w formie papierowej, jak i elektronicznej. W skład przekazanej dokumentacji wchodzi następujące materiały:

- Wniosek Habilitanta do Rady Doskonałości Naukowej z dnia 12 listopada 2021 r.,
- Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora nauk technicznych (Załącznik nr 2),
- Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych (Załącznik nr 3),
- Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika (Załącznik nr 4) wraz z wykazem kopii dyplomów oraz wybranych oświadczeń związanych z dorobkiem naukowym, dydaktycznym oraz działalnością mającą na celu popularyzację nauki (Załącznik nr 4a),
- Kopie prac wchodzące w skład cyklu powiązanych tematycznie prac, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2b Ustawy (Załącznik nr 5),
- Oświadczenia autorów publikacji wieloautorskich, zawartych w cyklu, przedstawiające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie poszczególnych prac (Załącznik nr 6),

- Zestawienie danych bibliometrycznych wnioskodawcy (Załącznik 7), potwierdzonych Raportem oceny bibliometrycznej publikacji sporządzonym przez Oddział Informacji Naukowej Biblioteki Głównej Akademii Górniczo-Hutniczej,
- Monografia autorstwa dr. inż. Andrzeja Wetuli: „Systemy do bezkontaktowych pomiarów średnich i wysokich napięć w elektroenergetyce”, Wydawnictwo AGH, Kraków 2020, ISBN 978-83-66364-79-0.

Ocena osiągnięcia naukowego oraz istotnej aktywności naukowej została przeprowadzona zgodnie z wymogami określonymi w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. 2021r. poz.478).

2. Informacje ogólne o Kandydacie

Dr inż. Andrzej Wetula urodził się 23 listopada 1977 r. w Krakowie. W 2002 r. ukończył studia magisterskie na kierunku Elektrotechnika o specjalności Automatyka i Metrologia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. W 2009 r. obronił pracę doktorską, zatytułowaną „Miary wahania napięcia w sieci elektroenergetycznej wyznaczone z wykorzystaniem transformaty Hilberta” w dyscyplinie naukowej Elektrotechnika na tym samym Wydziale. Jej promotorem był dr hab. inż. Andrzej Bień, prof. AGH, a recenzentami byli: dr hab. inż. Wiesław Miczulski, prof. UZ oraz prof. dr hab. inż. Jan Rusek.

Kandydat w latach 2002-2009 pracował na stanowisku asystenta w Katedrze Metrologii na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej, a następnie w latach 2009-2012 w przekształconej Katedrze Metrologii i Elektroniki jako adiunkt. Po zmianie nazwy Wydziału, począwszy od 2012 r., został zatrudniony na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, gdzie pracuje do dziś.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe Pan dr inż. Andrzej Wetula przedstawił, zgodnie z art. 219 ust. 1.pkt.2b Ustawy, cykl powiązanych tematycznie prac zatytułowany „Pomiar napięć do celów badania jakości energii elektrycznej”, składający się z monografii, dwóch artykułów oraz czterech patentów, jak wyszczególniono poniżej:

- P1. Andrzej Wetula: „Systemy do bezkontaktowych pomiarów średnich i wysokich napięć w elektroenergetyce”. Monografia, Wydawnictwa AGH, Kraków 2020. ISBN 978-83-66364-79-0.
- P2. Dariusz Borkowski, Andrzej Wetula, Andrzej Bień: „Contactless Measurement of Substation Busbars Voltages and Waveforms Reconstruction Using Electric Field Sensors and Artificial Neural Network”. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 3, May 2015. JCR, IF 8,267, MNiSW: 200, liczba cytowań: 24. Udział wnioskodawcy 33%.
- P3. Andrzej Wetula, Andrzej Bień, Mrunal Parekh: „New Sensor for Medium- and High-Voltage Measurement”. MDPI Energies 2021, 14, 4654. JCR, IF 3,288, MNiSW: 140. Udział wnioskodawcy 33%.
- P4. Andrzej Bień, Dariusz Borkowski, Andrzej Wetula: „Sposób bezdotykowego pomiaru napięcia szyny fazowej oraz układ do bezdotykowego pomiaru napięcia szyny fazowej”. Patent krajowy P.402134, zgłoszony 19.12.2012, przyznany 14.11.2017. Udział wnioskodawcy 33%.
- P5. Andrzej Bień, Dariusz Borkowski, Andrzej Wetula: „Sposób kalibracji oraz układ kalibracji układu przetwarzania sygnałów w układzie do bezdotykowego pomiaru napięcia szyny

fazowej". Patent krajowy P.420374, zgłoszony 19.12.2012, przyznany 24.11.2017. Udział wnioskodawcy 33%.

P6. Jerzy Nabielec, Andrzej Wetula: „Sposób i układ do laboratoryjnego pomiaru wysokiego napięcia”. Patent krajowy P.409067, zgłoszony 01.08.2014, udzielony 22.11.2016. Udział wnioskodawcy 50%.

P7. Jerzy Nabielec, Andrzej Wetula: „Sposób i układ do technicznego pomiaru wysokiego napięcia”. Patent krajowy P.409066, zgłoszony 01.08.2014, udzielony 22.11.2016. Udział wnioskodawcy 50%.

Powyższe prace wchodzące w skład osiągnięcia powstawały w latach 2015-2021, przyjmując w przypadku patentów ich datę przyznania. Z wyjątkiem monografii, poszczególne publikacje i patenty mają charakter współautorski (2 lub 3 autorów), przy czym przyjęto we wszystkich przypadkach regułę proporcjonalnego udziału każdego członka zespołu, w związku z tym udział habilitanta wyniósł od 33 do 50%. Oznacza to, że w przypadku publikacji i patentów udział średni habilitanta jest na poziomie 38,6%. Należy dodać, że do wniosku zostały dołączone oświadczenia autorów publikacji wieloautorskich, zawartych w cyklu, przedstawiające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie poszczególnych prac. Na podstawie oświadczeń można określić indywidualny wkład własny habilitanta, co wydaje się wystarczające do przeprowadzenia jednoznacznej oceny jego dorobku.

Dr inż. A. Wetula jako osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego, przyjął problematykę ujętą w tytule: „Pomiar napięć do celów badania jakości energii elektrycznej”. Przyjęta nazwa osiągnięcia ma wydźwięk bardzo ogólny, ale przy bliższym zapoznaniu się z dorobkiem Habilitanta można łatwo zauważyć, że w pracach przede wszystkim skupiono się na zagadnieniu pomiarów w układach wysokiego napięcia, co jest istotną informacją i nawet trochę budzi zdziwienie fakt, że nie zostało to w żaden sposób zaakcentowane w tytule. Pomiary w obecności wysokiego napięcia mają bowiem pewną swoją specyfikę, znacząco różną w porównaniu do pomiarów prowadzonych w układach niskiego napięcia, a przy tym stanowią duże naukowe wyzwanie, ponieważ uzyskanie np. założonej dokładności pomiaru parametrów jakościowych energii elektrycznej przy wysokim napięciu jest po prostu trudne. Oceniając wybór tematyki należy uznać, że jest ona obecnie bardzo istotna i wydaje się, że w najbliższym czasie będzie jeszcze zyskiwać na znaczeniu. Wynika to z kilku przesłanek. Po pierwsze, aktualnie obowiązujące *Prawo Energetyczne* wymusza na dystrybutorach energii elektrycznej utrzymywanie ciągłości zasilania oraz odpowiednich, zagwarantowanych w umowie, parametrów jakościowych dostarczanej energii. W praktyce oznacza to, że do niezbędnego minimum należy ograniczyć przerwy w dostawach energii do wszelkich odbiorców, zarówno te planowane, jak i nieplanowane, niezależnie od poziomu napięcia, którym operujemy. To z kolei wymusza na spółkach energetycznych poszukiwanie takich rozwiązań, które pozwalają na wiarygodny pomiar parametrów przesyłanej energii, nie tylko w stacjach energetycznych, ale również w głębi sieci oraz prostą i w miarę możliwości bezinwazyjną wymianę np. urządzeń pomiarowych, co skutkuje tym, że preferowane będą metody bezkontaktowe, czy też zdalne, o dużym stopniu mobilności. W wielu przypadkach zależy nam także na tym, aby urządzenia tego typu umożliwiały szybkie wykrycie stanu awaryjnego lub zakłócenieniowego i jego lokalizację, co ograniczy skutki powstałej awarii oraz skróci czas jej usuwania. Po drugie, wprowadzanie na szeroką skalę tzw. sieci inteligentnych (*Smart Grid*) będzie wymuszało zastosowanie rozwiązań bardzo autonomicznych, samowystarczalnych, z możliwością samokontroli i autokalibracji. Wszystkie te zagadnienia pośrednio lub bezpośrednio znajdują swoje odbicie w pracach prowadzonych przez Habilitanta, a zatem w moim odczuciu Jego osiągnięcia mają istotne znaczenie dla rozwoju dyscypliny naukowej, a przy tym także znaczne walory aplikacyjne.

Pierwszym zagadnieniem badawczym, którym Habilitant zajmował się w ramach swojej działalności, było opracowanie przetwornika średnich i wysokich napięć, którego istotną funkcją była możliwość autokalibracji. Prace nad opracowaniem urządzenia, co bardzo istotne prowadzone pod

kierownictwem Habilitanta, były realizowane w ramach projektu badawczo- rozwojowego zatytułowanego "Pomiarowy dzielnik wysokiego napięcia z autokalibracją" finansowanego z grantu NCBiR. Wyniki prac zostały ujęte w artykule konferencyjnym opublikowanym w bazie *IEEE Xplore*, który ze względów formalnych nie wszedł w skład osiągnięcia, oraz stały się podstawą opracowania dwóch patentów [P6 i P7]. Habilitant wprawdzie w zwięzły sposób opisał główne wnioski zawarte w przywoływanym referacie konferencyjnym, ale należy żałować, że nie załączono jednak jego kopii do wniosku, skoro autoreferat powołuje się na niego w sposób tak istotny.

Przedmiotem opisanego i opatentowanego osiągnięcia był dzielnik z autokalibracją. Jak zwraca na to uwagę sam Habilitant, pierwotna koncepcja dzielnika nie jest jego autorstwa i wywodzi się z zaprezentowanej w 1936 roku przez von Pfriema metody dwuczujnikowej, zwanej też metodą korekcji „w ciemno”. Wykorzystuje ona porównanie wartości wyjściowych z dwóch czujników o różnych właściwościach dynamicznych do przestrojenia korektora w taki sposób, aby uzyskać wierne odtworzenie sygnału wejściowego na wyjściu układu. Metoda ta została oryginalnie opracowana przy założeniu, że czujniki można modelować jako elementy inercyjne pierwszego rzędu, właściwości dynamiczne obu torów pomiarowych są liniowo zależne a właściwości statyczne znane. Pewną wadą rozwiązań dotychczas stosowanych był wpływ zmian parametrów elementów pasywnych dzielnika (np. na skutek starzenia, czy zmian warunków środowiskowych) na jego przekładnię, a tym samym dokładność pomiaru napięcia. Jak pokazują wyniki badań prowadzonych przez Habilitanta, wpływ ten może być znaczny, a błąd wynikający z nieuwzględnienia tych zmian może sięgać nawet do ok. 20%. W celu wyeliminowania tego problemu Habilitant zaproponował i następnie zrealizował rozwiązanie, które pozwala na pracę dzielnika napięcia w trybie autokalibracji. W dużym uproszczeniu można stwierdzić, że proponowana modyfikacja metody zakłada wprowadzenie dodatkowego równoległego przetwornika o znanych parametrach i zwieraniu jednego z trzech elementów głównego toru dzielnika w celu wyznaczenia spadków napięć na poszczególnych elementach pomiarowych. To z kolei pozwala na wyznaczenie przekładni dzielnika, eliminując ze wzorów wartości parametrów poszczególnych elementów pasywnych, a tym samym eliminując wpływ ich zmienności. Rozwiązanie to uzyskało ochronę patentową [P6] oraz jako rezultat wspomnianego projektu zostało wdrożone do komercyjnego zastosowania przez firmę PPHU EKO-ENERGIA sp. z o.o., członka konsorcjum.

Rozwiązanie powyższe, pomimo niewątpliwie nowatorskiego podejścia, okazało się posiadać pewne wady, wśród których, jak wskazuje sam Habilitant, było występowanie błędu metody, spowodowanego tym, że pomiar napięcia na pewnych elementach układu wiąże się z przepływem prądu przez przetwornik mierzący to napięcie, co zaburza rozkład napięć w całym układzie pomiarowym. Odpowiedzią na tę niedoskonałość układu pomiarowego było opracowanie nowszej wersji dzielnika, w której specjalny dodatkowy układ kompensuje problemowy wpływ prądu, tym samym poprawiając dokładność pomiaru kosztem zwiększenia złożoności układu pomiarowego. To rozwiązanie również doczekało się uzyskania ochrony patentowej [P7].

Podsumowując opisane wyżej osiągnięcie należy stwierdzić, że ma ono duże walory aplikacyjne i jest z pewnością innowacyjne. Habilitant w obu przytoczonych rozwiązaniach miał istotny udział (50%) i był odpowiedzialny za opracowanie koncepcji, jak i realizację prototypowej konstrukcji oraz przeprowadzenie badań weryfikacyjnych. W związku z powyższym należy uznać, że opisane wyżej wynalazki stanowią znaczące osiągnięcie wspierające wniosek habilitacyjny.

Dalsze badania Habilitanta związane z tematyką pomiarów wysokiego napięcia zostały skierowane na rozwój metod zapewniających większą elastyczność i mobilność, czyli tzw. metod bezkontaktowych. Obecnie można zauważyć duże zainteresowanie firm energetycznych tego typu rozwiązaniami, ponieważ metody bezkontaktowe są wygodne w użyciu (łatwo można tego typu czujniki przyłączać do pracujących i będących pod wysokim napięciem elementów sieci elektroenergetycznej) oraz możliwe do zastosowania w głębi sieci. Pomiar tego typu umożliwia szybkie wykrywanie awarii (np. zwarcć) w sieci i dalej ich precyzyjną separację oraz lokalizację, eliminując tym

samym długie przestoje w dostawie energii elektrycznej, co z kolei wpływa na poprawę wskaźników niezawodności sieci.

Zaproponowane przez Habilitanta rozwiązanie jest stosunkowo proste i bazuje na czujniku pola, który sprzęga się pojemnościowo z obiektem pod potencjałem, działając w pewnym sensie jak pojemnościowy dzielnik napięcia, w którym człon wysokonapięciowy stanowi przerwa powietrzna. Zaproponowana metoda pomiarowa nie jest nowym pomysłem, jednak na drodze do jej powszechnego wykorzystania stoi wiele problemów natury metrologicznej, których rozwiązanie pozwoliłoby na uzyskanie odpowiedniej dokładności i niezależności układu pomiarowego od warunków zewnętrznych. W swoim osiągnięciu Habilitant skupił się na następujących zagadnieniach związanych z zastosowaniem bezkontaktowego czujnika polowego do pomiaru wysokiego napięcia:

- opracowanie sposobu kalibracji systemu i odtwarzania napięć,
- optymalizacja rozmieszczenia czujników pola elektrycznego w celu poprawy dokładności pomiaru,
- opracowanie konstrukcji czujników pola i ocenę jej wpływ na właściwości pomiarowe systemu,
- opracowanie założeń i analiza możliwości stworzenia konstrukcji systemu pomiarowego z autokalibracją.

Wyniki prowadzonych prac zostały ujęte w monografii [P1], artykułach [P2, P3] oraz wsparte ochroną patentową [P4 i P5].

Zgodnie z przedstawioną dokumentacją, koncepcja bezkontaktowego pomiaru napięcia z wykorzystaniem czujnika pojemnościowego została przedłożona przez Habilitanta już w roku 2012, w którym wraz ze współautorami przygotował wniosek patentowy [P4]. W tym samym roku opracowana została również koncepcja sposobu kalibracji układu, co potwierdza zgłoszenie patentowe [P5]. Oba zgłoszenia uzyskały ochronę w 2017 roku, a Habilitant miał w nich udział w 33%. Same zgłoszenia patentowe są w pewnym sensie osiągnięciem, ale dosyć zwięzły ich opis nie pozwala na ocenę samej koncepcji naukowej zawartej w zgłoszeniach, stąd przy analizie tej części dorobku Habilitanta będę starał się oprzeć przede wszystkim na zawartości wymienionych wyżej artykułów i monografii.

W publikacji [P2] wskazano na możliwość zastosowania czujników pojemnościowych do pomiaru napięć w układzie trójfazowym w pobliżu szyn na stacji elektroenergetycznej średniego napięcia. Zastosowanie tego typu rozwiązania w zakresie pomiarów przy napięciu średnim ma szereg zalet w stosunku do stosowanego powszechnie układu z wykorzystaniem przekładnika napięciowego. Jednym z nich jest oczywiście wspomniana separacja galwaniczna układu pomiarowego względem elementów będących pod napięciem, ale także bardzo mocno zwraca się uwagę na szersze pasmo przenoszenia czujnika pojemnościowego względem układu indukcyjnego przekładnika, co przy wyższej zawartości harmonicznych na tym poziomie napięcia sieci jest często sprawą istotną z punktu widzenia dokładnego pomiaru, szczególnie parametrów jakościowych energii. Pewnym problemem zastosowania układu czujników pojemnościowych w układzie trójfazowym jest wpływ poszczególnych faz na mierzony sygnał, a tym samym konieczność odtworzenia poszczególnych napięć fazowych na bazie rejestracji sygnału pochodzącego od kilku czujników (w artykule użyto ich pięć). Do realizacji tego zagadnienia Habilitant proponował wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej, co jest jego pomysłem autorskim. W pracach wykonano analizę dla kilku wariantów sieci, a najlepsze rezultaty otrzymano dla sieci liniowej (*Linear Network*, *LINN*), uzyskując błąd pomiaru RMS na poziomie 0,2% w stanie ustalonym i 1% przy zmianach dynamicznych. Zastosowana metoda chociaż ma swoje wady (np. stosunkowo długi czas uczenia się sieci i wrażliwość na nagłe zmiany – zapady – napięcia) jest z pewnością oryginalnym osiągnięciem. Warto nadmienić, że wyniki badań zostały opublikowane w wysokopunktowanym czasopiśmie (200 pkt wg MNiSW), a sama publikacja charakteryzuje się istotną cytawalnością (23 cytowania wg WOS). Udział Habilitanta w tym osiągnięciu wyniósł 33% i był bardzo

istotny, ponieważ polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania sieci neuronowej do rekonstrukcji przebiegów napięć, skonstruowaniu czujników polowych do pomiaru napięcia, przygotowaniu i przeprowadzeniu testów.

Monografia [P1], która stanowi objętościowo największą publikację wchodzącą w skład wniosku habilitacyjnego, jest kontynuacją prac dotyczących rozwoju metody bezkontaktowego pomiaru napięcia z wykorzystaniem czujników polowych. W monografii skupiono się przede wszystkim nad zagadnieniami:

- kalibracji systemu pomiarowego na stanowisku pracy, z wykorzystaniem naturalnych lub generowanych pobudeń oraz cyklicznej autokalibracji,
- konstrukcją czujników pola elektrycznego, w szczególności wpływem zastosowanego wzmacniacza w części analogowej na działanie systemu pomiarowego jako całości oraz wpływem ekranowania czujników na właściwości systemu pomiarowego,
- zagadnieniem optymalnego rozmieszczenia czujników w otoczeniu przewodów pod napięciem,
- innowacyjną autorską konstrukcją czujnika napięcia przeznaczonego do instalacji na przewodzie pod napięciem.

Na wstępie należy podkreślić, że monografia stanowi bardzo istotne uzupełnienie wcześniej przedstawionych osiągnięć, chociaż w większości nie ukazuje zupełnie nowych koncepcji Autora a jest raczej metodycznym rozwinięciem wcześniej prezentowanych idei, czego zabrakło np. w zgłoszeniach patentowych, z racji charakteru tego typu dokumentów. Poszczególne wątki zawarte w rozprawie uzasadniają także w sposób naukowy przyjęte rozwiązania i stanowią cenny wkład w dalsze prace, które Habilitant może w przyszłości prowadzić.

Monografia liczy sobie 125 stron i jest stosunkowo obszerna, ale nie wszystkie jej fragmenty wymagają dogłębnej analizy na potrzeby niniejszej recenzji. Z punktu widzenia oceny prac badawczych pod kątem uzyskanych osiągnięć naukowych, przede wszystkim chciałbym się skupić na tych elementach, które stanowią wkład w rozwój dyscypliny.

W pierwszych rozdziałach monografii zaproponowano dwa modele obliczeniowe układu pomiarowego (impedancyjny oraz oparty o równania różniczkowe), które następnie zweryfikowano eksperymentalnie. Uzyskane na tej drodze błędy odtworzenia napięcia były na poziomie nie przekraczającym 1%, co należy uznać za bardzo dobry wynik. Modele te stały się następnie punktem wyjścia do późniejszych badań i analiz i ich przemyślana koncepcja z pewnością zadecydowała o wiarygodności otrzymanych dalszych wyników.

Pierwszym istotnym wątkiem analizowanym z wykorzystaniem opracowanego modelu teoretycznego było zagadnienie optymalizacji położenia poszczególnych czujników w celu zwiększenia dokładności uzyskiwanych wyników. Zaproponowane rozwiązanie pozwoliło Autorowi uzyskać poprawę współczynników uwarunkowania $R(L)$ do poziomu znacząco wyższego niż przytaczane w dostępnej literaturze. Na uwagę zasługuje również fakt, że stworzony model teoretyczny był na tyle uniwersalny, że pozwolił na analizę nie tylko sytuacji standardowego ułożenia przewodów poszczególnych faz, czyli w układzie płaskim, ale także dowolnych innych wariantów, co z pewnością należy uznać za osiągnięcie Habilitanta.

Bezkontaktowy pomiar napięcia posiada bezsprzecznie wiele zalet, ale ma także jedną wadę, a mianowicie możliwość zmiany przekładni układu na skutek zmiany sprzężenia między czujnikiem a linią elektroenergetyczną. W odpowiedzi na ten problem Habilitant w dalszych rozważaniach zaproponował metodę autokalibracji, która nawiązuje w swojej koncepcji do wcześniej przedstawionego i opatentowanego sposobu kalibracji. Zakłada ona skonstruowanie specjalnego układu, który pozwala na kontrolowaną chwilową zmianę parametrów układu pomiarowego, dzięki czemu otrzymuje się dodatkowe dane pozwalające na obliczenie odpowiednich napięć w układzie

a tym samym korektę przekładni układu. W rozważaniach teoretycznych Autor wskazuje także na możliwość obliczania zmian pojemności układu, co byłoby równoznaczne z oceną zmian zwisu przewodów linii (położenia względem czujnika oraz ziemi). Pomysł chociaż teoretycznie realny wymagałby jednak weryfikacji praktycznej i oceny, jak zmiana zwisu wpływa na zmiany parametrów sprzężenia i czy uzyskana rozdzielczość metody daje możliwość dokładnej oceny tego parametru i porównania z wartościami kryterialnymi. Niemniej jednak sam algorytm autokalibracji jest bardzo cennym osiągnięciem aplikacyjnym, który otwiera duże możliwości dla tego typu techniki pomiarowej w obszarze zastosowań przemysłowych.

Bardzo ważnym osiągnięciem zaprezentowanym w monografii było przedstawienie koncepcji nowej konstrukcji czujnika różnicowego montowanego bezpośrednio na przewodzie fazowym, z zapewnieniem separacji galwanicznej w postaci dielektryka. Takie rozwiązanie łączy w sobie zalety czujnika bezkontaktowego, czyli możliwości instalacji w układzie pod napięciem, a przy tym zapewnia wysoką czułość i stałość parametrów sprzężenia. Tego typu układy zdają się być przyszłością elektroenergetyki, czego potwierdzeniem jest fakt, że uznane w świecie firmy (np. Megger oferujący od niedawna urządzenie Metrysens MS5000-GS) wprowadzają na rynek urządzenia o podobnych właściwościach. Zaproponowane rozwiązanie Habilitant poddał analizie symulacyjnej oraz przeprowadził testy laboratoryjne, które opisano nieco szerzej w dodatkowej publikacji [P3], wchodzącej w zakres wniosku habilitacyjnego. Uzyskana dla tego prototypu dokładność pomiaru była na tyle obiecująca, że po rozwiązaniu problemu zasilania oraz komunikacji zewnętrznej, z pewnością taka konstrukcja znalazłaby bardzo praktyczne zastosowanie. Uważam zatem, że przedstawiona konstrukcja jest znaczącym i aplikacyjnym osiągnięciem Habilitanta, wartym dalszego rozwoju.

Podsumowując całość dokonań Habilitanta, przedstawionych w przedłożonym wniosku, stwierdzam, że mają one istotne walory naukowe i w wielu miejscach noszą znamiona innowacyjności. Przy tym mają bardzo duży potencjał praktyczny i mogłyby stać się podstawą ważnych wdrożeń w zakresie metrologii elektroenergetycznej. Analiza osiągnięć Pana dr. inż. A. Wetuli pozwoliła także na zyskanie przeświadczenia, że ma on predyspozycje do samodzielnej pracy naukowej. Bardzo dobrze radzi sobie z nowoczesnymi narzędziami symulacyjnymi i analitycznymi, a przy tym posiada praktyczne umiejętności w realizacji opracowanych koncepcji teoretycznych.

Niestety pewnym zgrzytem autoreferatu okazała się jego strona edytorska. W kilku miejscach zdarzyło się bowiem Autorowi powoływać się na niewłaściwe rysunki (np. pkt 4.7.4), czy wzory (np. pkt. 4.7.3). Również część opisowa poszczególnych osiągnięć bywała niewystarczająca (np. opis patentów). Stosując w kilku miejscach zbytne uproszczenia rozmyciu uległ uzyskany efekt, przez co można było odnieść wrażenie, że dane osiągnięcie ma niższą rangę, niż w rzeczywistości. Wszystkie te potknięcia nie obniżają mojej oceny merytorycznej, ale lektura autoreferatu pozostawiła wrażenie pewnego niedopracowania.

Reasumując, uważam, że osiągnięcia naukowe zaprezentowane w monografii, 3 artykułach i 4 patentach są istotne z punktu widzenia poznawczego i naukowego oraz wnoszą wymierny wkład w dyscyplinę naukową Automatyka, elektronika i elektrotechnika.

4. Ocena aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej w szczególności zagranicznej

Dokumentacja dołączona do wniosku nie zawiera danych na temat działalności naukowej Habilitanta przed uzyskaniem stopnia doktora. Bazując jednak na temacie pracy doktorskiej można stwierdzić, że w dużej mierze jest ona powiązana z zagadnieniem oceny jakości energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej, uwzględniając przy tym wpływ zakłóceń i sposobów ich oceny. Wydaje się zatem, że dalsze prace dr. inż. A. Wetuli prowadzone już po doktoracie były niejako kontynuacją i rozszerzeniem podjętych wcześniej wątków.

Analizując dorobek po uzyskaniu doktoratu, poza tymi zagadnieniami, które zostały ujęte w samym wniosku, można zauważyć, że zainteresowania Pana dr inż. A. Wetuli skupiały się wokół takich problemów jak:

- projektowanie, optymalizacja i wdrażanie systemów sterowania,
- pomiar impedancji harmoniczných w rzeczywistej sieci WN,
- ocena jakości energii elektrycznej, w tym zagadnienia określania błędów pomiaru mocy i energii w typowych rozwiązaniach sieciowych, a także wyznaczanie nowych miar zakłóceń niskoczęstotliwościowych,
- nowe rozwiązania w zakresie układów izolatorów galwanicznych sygnałów dolnopasmowych,
- pomiary w inteligentnych systemach energetycznych,
- testowanie i walidacja aktywnych systemów bezpieczeństwa i jazdy autonomicznej,
- rozpoznawanie gestów 3D dla przemysłu motoryzacyjnego.

Wszystkie wymienione wyżej zagadnienia należą do tematów bardzo aktualnych, charakterystycznych dla mocno rozwijanych obecnie technologii inteligentnych, czyli mających duży wpływ na bieżący rozwój dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika.

W momencie składania wniosku dorobek publikacyjny Habilitanta obejmował w sumie 21 pozycji, w tym 18 publikacji, 2 monografie autorskie i 1 monografię współautorską. Spośród wymienionych artykułów 12 jest indeksowanych w bazie *Web of Science Core Collection*, a 6 z nich posiada współczynnik *Impact Factor*. Ponieważ Habilitant nie przedstawił swojego udziału procentowego w publikacjach współautorskich, za wyjątkiem 2 artykułów wskazanych jako osiągnięcie naukowe, stąd można jedynie wskazać sumaryczną wartość współczynnika siły oddziaływania dla wszystkich Jego artykułów, która wynosi $IF = 10,619$. We wniosku nie ma także informacji o sumarycznej liczbie punktów przyznawanych przez MNiSW oraz o dorobku Habilitanta przed uzyskaniem tytułu doktora, wszystkie artykuły i publikacje ujęte w dokumentacji są datowane na okres po doktoracie. Zgodnie z opracowaniem przygotowanym przez Bibliotekę Główną AGH łączna sumaryczna liczba cytowań publikacji w *Web of Science Core Collection* jest równa 56 (w tym 52 bez autocytowań). Indeks Hirscha w tej bazie wyniósł natomiast 5. Pomimo wykazanych braków informacyjnych we wniosku, wskazane wyżej parametry bibliometryczne można uznać za zadowalające.

Bardzo istotne miejsce w dorobku Habilitanta zajmują patenty. Łącznie posiada on 11 udzielonych patentów, w tym 10 krajowych i 1 zagraniczny (USA). We wszystkich patentach Pan dr inż. A. Wetula był współautorem, a jego proporcjonalny udział wahał się w zakresie od 20 do 50%. Cztery spośród wymienionych patentów były bezpośrednio związane z tematem ujętym we wniosku habilitacyjnym, wchodząc w zakres cyklu tematycznie powiązanych prac. Pozostałe dotyczyły różnych zagadnień z zakresu izolowanych galwanicznie układów do pomiaru prądu, optycznych transponderów energii elektrycznej oraz metod monitorowania pracy urządzeń elektrycznych. Oceniając tę część dorobku Habilitanta należy stwierdzić, że jest on znaczący.

We wniosku Habilitant udokumentował również powstanie z Jego udziałem trzech wynalazków, do których należą:

1. „Układ pomiarowy z światłowodową transmisją mocy elektrycznej i sygnałów mierzonych”, autorów: Michał Szyper, Andrzej Bień, Edward Wojnar, Andrzej Wetula, który uzyskał nagrody: brązowy medal na III Międzynarodowej Wystawie Wynalazków IWIS 2009 w Warszawie, złoty medal na The Belgian and International Trade Fair For Technological Innovation Eureka!, Bruksela oraz srebrny medal na Seoul International Innovation Fair,
2. „Sposób i układ do synchronizacji i przesyłania informacji w rozległym systemie pomiarowo-sterującym”, autorów: dr inż. Jerzy Nabielec, dr inż. Andrzej Wetula, nagrodzony brązowym medalem na międzynarodowych targach wynalazczości INST Taipei 2014,

3. "Pomiarowy dzielnik napięcia z autokalibracją", urządzenie opracowane w ramach projektu finansowanego przez NCBiR, którego kierownikiem był dr inż. Andrzej Wetula, a następnie wdrożone przez konsorcjanta i wielokrotnie prezentowane na targach branżowych.

Powyższe innowacyjne osiągnięcia, poparte przyznaniem nagród na krajowych i międzynarodowych targach i wystawach, należy uznać za ważny aspekt dokonań Habilitanta wspierający Jego wniosek.

Dorobek naukowy dr. inż. A. Wetuli w zakresie uczestnictwa w różnego rodzaju projektach badawczych należy również ocenić pozytywnie. Habilitant był kierownikiem jednego projektu badawczo-rozwojowego finansowanego ze środków NCBiR oraz wykonawcą czterech innych finansowanych z następujących źródeł: NCN, NCBiR, NFOŚiGW i Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Za bardzo istotny element rozwoju naukowego dr. inż. A. Wetuli należy uznać uczestnictwo w międzynarodowych projektach badawczych KIC-INSTINCT (*ICT Solutions for Active Distribution and Customer Integration*) oraz KIC-ASS (*Active Substation*).

Habilitant ma w swoim dorobku referaty wygłoszone na konferencjach krajowych (10) i międzynarodowych (3). Jest aktywnym recenzentem w uznanych czasopismach naukowych np. serii *IEEE Transactions*, *MDPI*, *Metrology and Measurement Systems* (16 recenzji). Jest także członkiem międzynarodowej organizacji *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.

Pan dr inż. A. Wetula przedstawił również we wniosku udokumentowany dorobek w zakresie współpracy międzynarodowej oraz działań w kooperacji z przemysłem. Wśród najważniejszych wymienić należy następujące aktywności, ułożone w kolejności chronologicznej. W roku 2008 odbył tygodniowy staż w Uniwersytecie św. Cyryla i Metodego w Skopje (Macedonia Północna), podczas którego zmodernizował laboratorium naukowo badawcze w zakresie metrologii elektrycznej. W roku 2013 na Akademii Morskiej w Gdyni wygłosił referat pod tytułem "Transformacja Hilberta w analizie sygnałów energetycznych". W latach 2013-2014, w ramach wymienionych wyżej projektów międzynarodowych KIC-ASS oraz KIC-INSTINCT, Habilitant przeprowadził w zagranicznych ośrodkach tematyczne warsztaty. Z kolei w latach 2014-2016 był zatrudniony w firmie Delphi Poland sp. z o.o. (obecnie Aptiv Services Poland S.A.), w ramach której odpowiedzialny był za opracowanie algorytmów, przygotowanie prototypów oprogramowania, opracowanie i weryfikację modeli Matlab/Simulink oraz generację kodu na ich podstawie. W ramach firmy prowadził również wewnętrzną działalność dydaktyczną, odpowiadając za szkolenie i prowadzenie młodych pracowników. Od roku 2017 Habilitant pracuje w firmie Merit Poland sp. z o.o., stanowiącej firmę wydzieloną z Delphi Poland. W ramach firmy dr inż. A. Wetula odpowiada za opiekę nad dwoma doktorantami w ramach doktoratów wdrożeniowych. W roku 2021 Habilitant podjął współpracę z KTH Sztokholm w zakresie badań nad rozwojem nowego czujnika napięcia, które wchodzi w skład osiągnięcia ujętego we wniosku. Współpraca z KTH była kontynuacją prac prowadzonych wcześniej w ramach projektów KIC-ASS oraz KIC-INSTINCT. Kooperacja zaowocowała opublikowaniem artykułu [P3].

Chociaż trudno nie zauważyć aktywności Habilitanta w zakresie podejmowania współpracy z innymi ośrodkami badawczymi, to w jego dorobku zabrakło jednak dłuższego stażu naukowego. Pewną rekompensatę tego braku może stanowić fakt kilkuletniego zatrudnienia w przemyśle, co z pewnością pozwoliło mu nabyć nowe kompetencje i zyskać pewne unikalne doświadczenie.

Za swoją działalność naukową dr inż. A. Wetula otrzymał łącznie 3 nagrody lub wyróżnienia. W roku 2011 był to List Gratulacyjny Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wynalazek zatytułowany „Układ pomiarowy z światłowodową transmisją mocy elektrycznej i sygnałów mierzonych”. Z kolei w roku 2013 otrzymał Nagrodę Rektora AGH indywidualną II stopnia za osiągnięcia naukowe a w latach 2010, 2016 i 2021 trzykrotnie Nagrodę Rektora AGH indywidualną III stopnia, również za osiągnięcia naukowe.

Mając na względzie wymienione powyżej dokonania uważam, że z punktu widzenia wymagań formalnych kryterium dotyczące wykazania istotnej aktywności naukowej Habilitanta realizowanej w więcej niż jednej uczelni czy instytucji naukowej zostało spełnione.

5. OCENA DOROBKU DYDAKTYCZNEGO, ORGANIZACYJNEGO ORAZ POPULARYZATORSKIEGO

W ramach działalności dydaktycznej Pan dr inż. A. Wetula prowadził/prowadzi wykłady, ćwiczenia, laboratoria i projekty w zakresie takich zagadnień jak: Otwarte oprogramowanie w systemach wbudowanych o pomiarowych, Elektronika w systemach samochodowych, Programowanie systemów elektroniki samochodowej, Procesory sygnałowe i ich zastosowania, Systemy pomiarowe, Cyfrowa technika pomiarowa, Metrologia, Podstawy informatyki, Pomiaru w procesach przetwarzania energii, Telepomiaru oraz Metody numeryczne.

W ramach zamawianych studiów podyplomowych dla KGHM Polska Miedź SA Habilitant wygłosił wykłady na temat pomiarów wskaźników jakości energii elektrycznej. Regularnie także wygłasza prelekcje na temat pomiarów jakości energii elektrycznej, które prowadzone są w języku angielskim, dla studentów zagranicznych (projekt dydaktyczny KIC-SENSE). Wykłady te odbywają się w ramach cyklicznego kursu pt. "Power Quality", zaliczanego jako przedmiot na jednym z kierunków oferowanych przez uczelnię wyższą KTH Sztokholm. Dr inż. A. Wetula wygłaszał także wykłady oraz prowadził zajęcia laboratoryjne w języku angielskim dla studentów specjalności "Smart Grid", na kierunku elektrotechnika, II stopień, w ramach przedmiotu „Low Frequency Conducted Disturbances and Electromagnetic Compatibility”.

Od roku 2012 Habilitant pełni rolę koordynatora międzynarodowego projektu dydaktycznego KICSENSE (*Smart Electric Networks and Systems Engineering*). Projekt ten prowadzony jest pod auspicjami KIC-InnoEnergy a w ramach projektu organizowane są tygodniowe kursy w tematyce "Power Quality", z udziałem wykładowców spoza Polski. Kursy były przeznaczone dla uczestników studiów międzynarodowych prowadzonych w ramach projektu i były zorganizowane w porozumieniu z KTH Sztokholm. W ramach każdego z kursów Habilitant oprócz pełnienia funkcji koordynatora przeprowadził także wykłady na temat pomiarów jakości energii elektrycznej.

W ramach opieki naukowej nad studentami dr inż. A. Wetula był promotorem czternastu zakończonych prac magisterskich i pięciu inżynierskich, a obecnie jest promotorem dwóch prac magisterskich i dwóch inżynierskich będących w przygotowaniu. Sprawuje także opiekę naukową nad dwoma doktoratami wdrożeniowymi zatytułowanymi: *Nowe metody rozpoznawania gestów (3D) bez użycia kamer, w aplikacjach w branży motoryzacyjnej* oraz *Testowanie funkcji jazdy autonomicznej samochodu w warunkach*, oba realizowane na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH.

Działalność dydaktyczna Pana dr. inż. Andrzeja Wetuli była kilkakrotnie nagradzana. I tak w roku 2009 oraz 2017 otrzymał Nagrodę zespołową Rektora AGH II stopnia za osiągnięcia dydaktyczne, a w roku 2019 Wyróżnienie dla najlepszych dydaktyków wydziału EAIIB.

We wniosku zabrakło niestety jakichkolwiek informacji dotyczących działalności organizacyjnej Habilitanta na rzecz uczelni, którą reprezentuje.

Podsumowując można stwierdzić, że dr inż. A. Wetula jest dobrze ocenianym i zaangażowanym dydaktykiem. W swojej działalności akademickiej nie stroni od współpracy międzynarodowej, a wykłady w języku angielskim nie są dla niego trudnością. Na uwagę zwraca także fakt zaangażowania w proces dydaktyczny w przemyśle, w tym w opiekę nad dwoma doktoratami wdrożeniowymi oraz prowadzenie szkoleń wewnętrznych w firmach, w których dodatkowo jest zatrudniany. We wniosku zabrakło jedynie wykazania większego zaangażowania organizacyjnego na rzecz uczelni, co jednak nie umniejsza w sposób znaczący sumarycznej oceny.

6. WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe w postaci jednotematycznego cyklu 7 prac zatytułowane: „Pomiar napięć do celów badania jakości energii elektrycznej” oraz ogólny dorobek naukowo-badawczy z całokształtem działalności zawodowej Pana dr. inż. Andrzeja Wetuli, wskazują na Jego znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika oraz spełniają wymagania dla kandydatów do stopnia naukowego doktora habilitowanego określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (tj. Dz. U. z 2021 r. poz. 478). **W związku z tym pozytywnie opiniuję wniosek o nadanie Panu dr. inż. Andrzejowi Wetuli stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.**

Krzysztof Walczak