

dr inż. Przemysław Janik

Wrocław, 1.10.2014

**AUTOREFERAT**  
**przedstawiający dorobek i osiągnięcia naukowe**

**Życiorys naukowy****Dane osobowe:**

Imię i nazwisko: Przemysław Janik  
Data urodzenia: 4 lipca 1976  
Adres domowy: ul. Grunwaldzka 13, 50-370 Wrocław

**Wykształcenie:**

dr inż. 21 listopada 2005  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Elektryczny  
Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii  
Pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław  
Dyscyplina naukowa: Elektrotechnika  
Specjalność: Elektrotechnika Teoretyczna  
Tytuł pracy: Identyfikacja zakłóceń energii elektrycznej z zastosowaniem wybranych architektur sztucznych sieci neuronowych

mgr inż. 15 września 2000  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Elektryczny  
Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii  
Pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław  
Kierunek: Elektrotechnika  
Specjalność: Elektrotechnika Teoretyczna  
Tytuł pracy: Zastosowanie neuronowych sieci radialnych do wyznaczania parametrów sygnału

**Zatrudnienie:** Politechnika Wrocławska  
Wydział Elektryczny  
Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław  
tel. 713202901  
fax (071) 320 20 06,  
email: przemyslaw.janik@pwr.edu.pl

**Doświadczenie  
zawodowe:**

- Profesor wizytujący 2014 – obecnie  
Institute of Power Engineering  
Faculty 3 - Mechanical, Electrical and Industrial Engineering  
Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg  
Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus, Germany
- Adiunkt 2007 – obecnie  
Instytut Podstaw Elektrotechniki I Elektrotechnologii  
Wydział Elektryczny  
Politechnika Wrocławska  
Pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław
- Asystent 2006 - 2007  
Instytut Podstaw Elektrotechniki I Elektrotechnologii  
Wydział Elektryczny  
Politechnika Wrocławska  
Pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław
- Pracownik naukowy 2005  
Korporacyjne Centrum Badawcze ABB  
ul. Starowiślna 13A, 31-038 Kraków
- Pracownik naukowy 2001 - 2002  
Institute of Electrical Power Systems and High Voltage Engineering  
Faculty of Electrical and Computer Engineering  
Dresden University of Technology  
Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden, Germany
- Pełnione funkcje:** 2013- obecnie  
Koordynator Wymiany Międzynarodowej przy Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej
- 2012 - obecnie  
Kierownik Laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów
- 2010 - obecnie  
Opiekun anglojęzycznego Koła Naukowego Studentów *WindMill*
- 2009 - 2011  
Członek Rady Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej

## Dorobek i osiągnięcia naukowe

(numeracja literatury zgodna z załącznikiem nr 3)

### Przed doktoratem

Pierwsze doświadczenia związane z pracą naukową i prowadzeniem badań zdobyłem podczas pobytu stypendialnego w Uniwersytecie Technicznym Cottbus (BTU Cottbus) w Niemczech, w trakcie studiów magisterskich, w latach 1997-1998. Pracowałem jako student-asystent w zespole prof. Lappusa, zajmując się symulacją układów automatyki wykorzystujących algorytmy fuzji logicznej. Zdobyte doświadczenie pozwoliło na publikację pierwszego samodzielnego artykułu w periodyku *Praktyczny Elektronik* [69].

W czasie studiów magisterskich byłem rocznym stypendystą DAAD w BTU Cottbus (semestr V i VI) oraz półrocznym stypendystą landu Bawarii w TU München (semestr IX). Pobyt w Monachium zakończyłem półroczną praktyką zawodową w koncernie EADS.

Realizacja magisterskiej pracy dyplomowej w koncernie EADS (European Aeronautic Defence and Space Company) w Niemczech w roku 2000 związana była z analizą sygnałów radarowych z użyciem sztucznych sieci neuronowych. Realizacja powierzonego tematu o charakterze badawczym wymagała nowatorskiego i twórczego podejścia. Wyniki badań i analiz zostały opublikowane w materiałach międzynarodowej konferencji SPETO [66], sama praca magisterska została zredagowana w języku niemieckim.

Po uzyskaniu tytułu magistra rozpocząłem pracę na stanowisku asystenta w Katedrze Elektroenergetyki Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie w latach 2001-2002, a następnie badania kontynuowałem w Politechnice Wrocławskiej, w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, w ramach studiów doktoranckich, w latach 2002-2005. Zdobyte uprzednio doświadczenie znacząco ułatwiło prowadzenie badań poświęconych klasyfikacji zakłóceń jakości energii elektrycznej.

Zadaniem badawczym było opracowanie metody klasyfikacji zdarzeń zakłóceńowych w zależności od ich typu, a nie identyfikacja parametrów poszczególnych zjawisk. Motywacją do badań była potrzeba automatyzacji analizy danych pochodzących z dynamicznie rozwijających się systemów monitorowania jakości energii. Badania uzyskały wsparcie KBN w ramach grantu promotorskiego *Charakterystyka zakłóceń jakości energii elektrycznej za pomocą zaawansowanych metod analizy sygnałów*. Do klasyfikacji zostało wykorzystane relatywnie nowe i mało znane narzędzie - sieci SVM (Support Vector Machines) - którego skuteczność i efektywność została wykazana w ramach badań porównawczych. Klasyfikator zbudowany na bazie sieci neuronowych o radialnych funkcjach bazowych był nieco mniej dokładny, niemniej najbardziej zbliżony w skuteczności do sieci SVM. Inne analizowane rozwiązania okazały się wyraźnie gorsze. Satisfakcjonujące rezultaty badań były podstawą opracowania rozprawy doktorskiej *Identyfikacja zakłóceń energii elektrycznej z zastosowaniem wybranych architektur sztucznych sieci neuronowych* [67]. Promotorem pracy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Tadeusz Łobos, a recenzowali ją - prof. dr hab. inż. Janusz Mindykowski i dr hab. inż. Jan Łżykowski. Obaj recenzenci uznali pracę za wyróżniającą. Wyniki badań były prezentowane i dyskutowane na wielu konferencjach międzynarodowych, m. in. PSP [60], SPETO [57], IMEKO [54], EPQU [54], PowerTech [53].

W toku licznych rozmów i dyskusji konferencyjnych ujawniła się potrzeba intensywnych badań nad metodami analizy zakłóceń jakości energii w sieciach elektroenergetycznych. Rozwijające się dynamicznie systemy monitoringu dostarczają ogromnych ilości danych. Z drugiej strony, gwałtowny wzrost liczby odbiorników nieliniowych i generatorów opartych o odnawialne źródła energii, głównie elektrowni

wiatrowych i systemów fotowoltaicznych, jest źródłem niepożądanych zakłóceń jakości energii. Dalszy rozwój energetyki odnawialnej zależy m. in. od właściwej oceny generowanych zakłóceń i ich wpływu na sieć.

#### Po doktoracie

Po złożeniu rozprawy doktorskiej, w roku 2005, rozpocząłem pracę w Korporacyjnym Centrum Badawczym ABB w Krakowie w obszarze związanym z zakłóceniami zwarciowymi i systemami zabezpieczeń elektroenergetycznych. Praca w korporacji uczyła efektywnego działania i współpracy w międzynarodowej grupie badawczej.

W roku 2006 podjąłem pracę naukową w Politechnice Wrocławskiej, na stanowisku asystenta, w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, a następnie, od 2007 roku, adiunkta. Uzyskałem wówczas możliwość kontynuowania i rozszerzenia badań poświęconych zastosowaniu nowoczesnych metod matematycznych do analizy i oceny zakłóceń jakości energii w sieciach elektrycznych z odnawialnymi źródłami energii.

W latach 2006 – 2009 brałem udział w projekcie badawczym *Nowe metody analizy i oceny jakości energii*. Głównym celem projektu było opracowanie nowych, dokładniejszych od dotychczasowych, algorytmów do analizy i oceny jakości energii elektrycznej. Badano wpływ nieliniowych odbiorników na poziom zakłóceń w sieci, a także wpływ generacji wykorzystującej odnawialne źródła energii na parametry jakościowe, mając na uwadze kompleksową ocenę zjawisk zachodzących w sieciach. Badania prowadziłem wykorzystując sygnały symulowane, głównie w środowisku Matlab, oraz sygnały zakłócenia zarejestrowane w rzeczywistych sieciach elektroenergetycznych. W tym czasie Laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów zostało wyposażone w przenośne rejestratory jakości energii, co stworzyło możliwość przeprowadzenia wielu pomiarów w obiektach przemysłowych, w których zbyt niska jakość energii przekładała się bezpośrednio na zakłócenie procesu technologicznego i straty ekonomiczne. Rejestracja rzeczywistych sygnałów i wskaźników jakości energii była istotna z poznawczego punktu widzenia, pogłębiając rozumienie praktycznych aspektów zjawisk zakłócenia. Głównymi propagatorami zakłóceń były odbiorniki nieliniowe. Chcąc wzbogacić spektrum analiz, nawiązana została współpraca z partnerem szwedzkim, T. Thiringerem, dysponującym pomiarami przebiegów przejściowych prądów i napięć w elektrowniach wiatrowych wyposażonych w generator indukcyjny z baterią kondensatorów kompensujących. Badania dotyczyły wyznaczania parametrów przebiegów przejściowych [42]. Szczegółowe wyniki badań z tego okresu można znaleźć w licznych artykułach publikowanych m. in. w materiałach konferencji ICCEP [41], [43], CIRED [45], PowerTech [46], SPETO [41], IASTED [40].

Szukając możliwości przeprowadzenia badań jakości energii w układach z bardzo nowoczesnymi, w owym czasie, turbinami wiatrowymi typu DFIG, napisałem projekt badawczy, który wygrał postępowanie konkursowe i został wsparty finansowo przez Niemiecką Centralę Wymiany Akademickiej DAAD. W roku 2007 odbyłem trzymiesięczny staż naukowy w Uniwersytecie Wojskowym Helmuta Schmidta w Hamburgu, w Katedrze Elektroenergetyki kierowanej przez prof. dr inż. Detlefa Schulza. Wybór tej uczelni był nieprzypadkowy. Prowadzono tam badania nad optymalnymi metodami sterowania siłowni DFIG, wykorzystując modele fizyczne a nie tylko symulacyjne. Moje badania *Ocena oddziaływania generatorów wiatrowych na sieć energetyczną z wykorzystaniem*

nowoczesnych algorytmów analizy sygnałów dotyczyły zakłóceń wprowadzanych do sieci przez generatory DFIG. Owoce intensywnej w sensie badawczym pracy były dwa referaty opublikowane w ramach prestiżowej konferencji PSCC [34] i kongresu HSI [35].

Dodatkowo, prowadziłem badania o bardzo praktycznym charakterze, wykonując analizy wpływu oświetlenia ulicznego na poziom harmonicznych w sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia. Badania prowadzone były w ramach zainicjowanej przeze mnie współpracy z zakładem energetycznym EnergiaPro Wrocław oraz ZE Koszalin i obok analizy rzeczywistych pomiarów [58], [63], dotyczyły ograniczenia zakłóceń harmonicznymi [50], [48]. Wyniki badań zostały pozytywnie przyjęte przez grono praktyków z energetyki zawodowej, biorących udział w dyskusjach.

Satysfakcjonujące rezultaty prowadzonych badań jakości energii oraz doświadczenia ze współpracy międzynarodowej otworzyły drzwi do współpracy z prof. Hortensją Amaris z Uniwersytetu Carlos III w Madrycie, w międzynarodowym projekcie badawczym *Rozdzielcze sieci elektroenergetyczne z rozproszoną generacją energii*, realizowanym w latach 2007 – 2010. Pełniąc rolę wykonawcy w pełni mogłem wykorzystać doświadczenia zdobyte wcześniej w badaniach zakłóceń powodowanych przez elektrownie wiatrowe. Zagadnienie, na którym koncentrowałem swoją działalność dotyczyło metod szybkiej detekcji zapadów napięcia. Problem szybkiej i bezbłędnej identyfikacji zapadów napięcia jest istotny z punktu widzenia operatora sieci dystrybucyjnej, warunkując właściwy moment załączenia układu *Dynamic Voltage Restorer DVR*, który podtrzymuje napięcie sieciowe w momencie wystąpienia zakłócenia. Szybkość i selektywność algorytmu były głównymi kryteriami oceny zaproponowanych rozwiązań. Filtry Kalmana porównane zostały z algorytmami fourierowskimi i transformata falkową. Wyniki badań były prezentowane w czasopiśmie [7] i materiałach konferencji ICHQP [33], PowerTech [28]. Innym zagadnieniem opracowywanym przeze mnie w ramach tego projektu było zastosowanie transformaty falkowej do oceny zakłóceń w sieciach z generatorami wiatrowymi [39].

Rok 2011 to początek współpracy badawczej z ABB. Badania prowadzone dla partnera przemysłowego mają charakter komercyjny, są ukierunkowane na rozwój określonego produktu i zostały objęte klauzulą poufności. Jestem współautorem 5 raportów.

W latach 2012-2013 uczestniczyłem w projekcie *Opracowanie wymagań technicznych dla małych źródeł energii elektrycznej zainstalowanych u drobnych odbiorców i zasad ich współpracy z siecią rozdzielczą niskiego napięcia*. Inicjatorem projektu był Tauron-Dystrybucja S.A., zainteresowany technicznymi aspektami przyłączenia małych źródeł, których upowszechnienie stymulowały zmiany w prawie energetycznym. Zajmowałem się m.in. analizą aktów normatywnych pod kątem stworzenia przejrzystej dla prosumenta procedury przyłączeniowej. W centrum mojej uwagi znalazły się generatory fotowoltaiczne, jako najbardziej przyjazne prosumantom i predystynowane do wykorzystania w warunkach zabudowy miejskiej. Rezultatem prac był raport [75] i załączek przyszłej monografii [1], poświęconej zagadnieniom mocowym małych instalacji fotowoltaicznych.

W roku 2011 Wydział Elektryczny Politechniki Wrocławskiej, korzystając ze środków Funduszu Nauki i Technologii Polskiej, przystąpił do budowy Międzyinstytutowego Laboratorium Systemów Energetyki Odnawialnej, w którego skład weszło Fotowoltaiczne Stanowisko Badawcze o mocy 15 kW. Stanowisko zostało wyposażone w rozbudowany system monitoringu. Dzięki niemu uzyskałem dostęp do długookresowych danych, które zostały wykorzystane do przeprowadzenia badań prezentowanych w monografii [1].

Dotychczasowa współpraca z Uniwersytetem Technicznym w Cottbus prowadzona na polu dydaktycznym została rozszerzona o zagadnienia badawcze w końcu roku 2012.

Bezpośrednią przyczyną była chęć monitorowania danych z instalacji fotowoltaicznej o mocy 110 kW, zainstalowanej w Cottbus. Uzyskane dane wzbogaciły rozważania prezentowane w monografii [1]. Równolegle zostałem poproszony o pełnienie funkcji promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim T. Porsingera. Doktorant zredagował rozprawę *Ein Beitrag zur Dimensionierung der Komponenten innerhalb von Microgrids*, poświęconą współpracy i wymiarowaniu komponentów mikro sieci. Ważnym aspektem pracy było uwzględnienie stacji ładowania samochodów elektrycznych jako obciążenia sieci. Badano różne profile użytkowników, łącznie z możliwością krótkotrwałego rozładowywania akumulatorów samochodów dostarczających energię do sieci.

Wartościowe rezultaty mojej współpracy z BTU Cottbus zaowocowały zaproszeniem do objęcia stanowiska profesora wizytującego na okres dwóch lat, licząc od semestru zimowego roku akademickiego 2014/15. Profesura poświęcona jest analizie współpracy energetyki odnawialnej z siecią elektroenergetyczną, stanowiąc naturalną kontynuację i rozszerzenie moich dotychczasowych zainteresowań badawczych.

Pragnąc dalej rozwijać współpracę międzynarodową w dziedzinie badań wziąłem udział w konkursie programu ERASMUS Thelxinoe, uzyskując grant na miesięczny pobyt w La Trobe University w Melbourne w Australii. Wyjazd przewidziany jest w semestrze letnim roku akademickiego 2014/15.

Aktualnie jestem głównym wykonawcą w projekcie Narodowego Centrum Nauki, *Nowe algorytmy przetwarzania sygnałów oraz globalne wskaźniki jakości energii w ocenie stanów pracy sieci z generacją rozproszoną*. Projekt jest realizowany od 2011 roku, a jego celem jest opracowanie metod oceny zakłóceń oraz globalnych wskaźników jakości energii dedykowanych monitoringowi pracy sieci elektroenergetycznych z udziałem generacji rozproszonej. Zakłada się wykorzystanie nowoczesnych technik przetwarzania sygnałów oraz rozszerzenie definicji wskaźników jakości energii. Aplikację oraz weryfikację opracowanych metod przewiduje się wykonać na podstawie rzeczywistych danych pochodzących z systemu monitoringu składającego się z zainstalowanych w sieci energetycznej rejestratorów oraz z centrum analiz wykorzystujących agregowane dane pomiarowe i nowo opracowane algorytmy.

Od roku 2012 jestem członkiem zespołu badawczego w projekcie finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju *Badanie skuteczności transmisji danych w technologii PLC w sieciach nN i SN*. Projekt poświęcony rozwojowi *smart meteringu* w ramach inteligentnych sieci realizowany jest z partnerem przemysłowym, grupą APATOR. Mój wkład wiąże się z wykonaniem pomiarów i analizą danych ukierunkowaną na poszukiwanie korelacji pomiędzy jakością energii elektrycznej a skutecznością transmisji PLC. Innym ważnym realizowanym zagadnieniem było stworzenie koncepcji i budowa przenośnego rejestratora dedykowanego do badań transmisji PLC. Urządzenie zostało zbudowane i wykonano już serię pomiarów i analiz. Szczegółowe wyniki badań zawierają raporty objęte klauzulą poufności [71], [75].

**Osiągnięcie habilitanta (jednotematyczny cykl publikacji):**

Osiągnięciem habilitanta stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego, określonym w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (DZ.U.nr 84, poz. 455) jest jednotematyczny cykl publikacji **Zastosowanie zaawansowanych algorytmów przetwarzania sygnałów i metod optymalizacyjnych do oceny współpracy sieci z odnawialnymi źródłami energii**. Cykl składa się z jednej monografii [1]\*, dwóch publikacji w czasopismach zarejestrowanych w bazie JCR [7], [8]\*, jednego artykułu z czasopisma zarejestrowanego w bazie ISI MJL [11]\*, oraz referatów konferencyjnych [28], [32], [46]\*.

\*(numeracja wg Załącznika 3 „WYKAZ OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH”)

Monografia

- 1 Janik P.: **Photovoltaic power generation assessment based on advanced signal processing and optimisation techniques**, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2014

Publikacje w czasopismach zarejestrowanych w bazie JCR

	UP <sup>1</sup>	LC <sup>2</sup>	IF <sup>3</sup>
7 Janik P., Rezmer J., Leonowicz Z., Waclawek Z., Łobos T., Amaris H., Ortega C.: <b>Methods for fast detection of voltage sags as a crucial prerequisite for reliable operation of dynamic voltage restorer</b> . Przegląd Elektrotechniczny., 2010, R. 86, nr 1, s. 35-37.	20%	2	0.242
8 Łobos T., Rezmer J., Janik P., Amaris H., Alonso M., Alvarez C.: <b>Application of wavelets and Prony method for disturbance detection in fixed speed wind farms</b> . International Journal of Electrical Power & Energy Systems., 2009, vol. 31, nr 9, s. 429-436.	20%	11	1.613

Publikacja w czasopiśmie zarejestrowanym w bazie ISI MJL

	UP	LC	IF
11 Łobos T., Janik P., Waclawek Z.: <b>Recognition of disturbances patterns correlated to equipment</b> , Przegląd Elektrotechniczny., 2007, R. 83, nr 11, s. 75-78.	60%	-	-

Publikacje w materiałach konferencyjnych

	UP	LC
28 Amaris H., Alvarez C., Alonso M., Florez D., Łobos T., Janik P., Rezmer J., Waclawek Z.: <b>Computation of voltage sag initiation with Fourier based algorithm, Kalman filter and wavelets</b> , 2009 IEEE Bucharest PowerTech Conference Proceedings, Bucharest, Romania, June 28-July 2, 2009, s. 1-6. <b>Web of Science</b>	20%	4

<sup>1</sup> Udział Procentowy, uzgodniony ze współautorami publikacji

<sup>2</sup> Liczba Cytowań - Ośrodek Inf. Naukowo Technicznej Politechniki Wrocławskiej

<sup>3</sup> Impact Factor - w roku publikacji

- |    |  |     |   |
|----|--|-----|---|
| 32 | Janik P., Rezmer J., Ruczewski P., Waclawek Z., Łobos T.: <b>Adaptation of SVD and Prony method for precise computation of current components in networks with wind generation</b> , 2nd International Conference on Clean Electrical Power Renewable Energy Resources Impact, Capri, Italy, 9th-11th June 2009, s. 624-629, <b>Web of Science</b> | 20% | - |
| 46 | Łobos T., Rezmer J., Janik P., Waclawek Z.: <b>Prony and nonlinear regression methods used for determination of transient parameters in wind energy conversion system</b> , 2007 IEEE Lausanne PowerTech, Lausanne, Switzerland, 1-5 July 2007, s.6  | 40% | - |

### Omówienie osiągnięcia w postaci jednotematycznego cyklu publikacji

Wybrany jednotematyczny cykl publikacji jest wynikiem części badań prowadzonych przeze mnie w dziedzinie zastosowań metod sztucznej inteligencji, technik optymalizacyjnych oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów w elektrotechnice. Przedstawione prace dotyczą zastosowań w obszarze oceny i parametryzacji jakości energii elektrycznej ze szczególnym uwzględnieniem generacji ze źródeł odnawialnych – wiatru i słońca - rozpatrywanej jako źródła niepożądanych zakłóceń. Prace poświęcone zastosowaniu technik neuro-fuzzy można uogólnić do wszystkich typów źródeł zakłóceń, ponieważ dotyczyły one próby korelacji różnych parametrów jakościowych z czułością odbiorników na quasi dowolne konfiguracje zakłóceń. W szczególności można je wykorzystać do oceny zależności między generatorami wiatrowymi czy słonecznymi, a odbiornikami.

Dynamiczny rozwój energetyki odnawialnej obserwowany w ostatnich latach jest stymulowany przez regulacje prawne, wyraźne wsparcie ekonomiczne oraz nowe rozwiązania techniczne. Szczególna rola została przypisana prosumentowi, który zyskał możliwość instalowania małych jednostek wytwórczych, mogących zaspokoić potrzeby własne a nadwyżki przesyłać do sieci publicznej. Największe znaczenie praktyczne dla prosumenta ma wykorzystanie energii wiatru i wody do produkcji elektryczności, niemniej związane jest to z wprowadzaniem do sieci niepożądanych zakłóceń. Rozwiązanie tego problemu jest ważne dla dalszego rozwoju energetyki odnawialnej. Cykl publikacji poświęcony jest próbie znalezienia nowych sposobów, metod i technik poprawiających ocenę zjawisk zakłóceń w sieciach z generatorami wykorzystującymi energię odnawialną, a generalnie ocenę jakości energii.

Najważniejsza pozycja cyklu, monografia *Photovoltaic power generation assessment based on advanced signal processing and optimisation methods* [1], przedstawia rozważania dotyczące relatywnie małych fotowoltaicznych jednostek wytwórczych. Prezentuje wyniki ostatnio prowadzonych przeze mnie badań. Rozpatrywane systemy fotowoltaiczne mogą być instalowane przez prosumentów w warunkach ścisłej zabudowy miejskiej, nie zaburzając funkcjonalności budynków i infrastruktury. Możliwa jest duża rozpiętość mocy, od małych instalacji domków jednorodzinnych do kilkadziesiąt razy większych systemów umieszczonych na budynkach przemysłowych, halach produkcyjnych, magazynach. Ponadto, obserwuje się wyraźny trend wykorzystania elementów fotowoltaicznych zintegrowanych architektonicznie z budynkami (ang. *building integrated photovoltaics*). Kolorystyka, kształt, orientacja względem słońca mają służyć przede wszystkim estetyce, kwestia maksymalizacji produkcji energii ma drugorzędne znaczenie. Mając na uwadze wspomniane powyżej uwarunkowania rozwoju instalacji fotowoltaicznych,

w pracy wykorzystano rzeczywiste wyniki pomiarów instalacji 15 kW i 110 kW, reprezentatywnych dla terenów silnie zurbanizowanych.

Nowym trendem jest łączenie małych jednostek wytwórczych i grup odbiorców w mikrosystemy, w znacznym stopniu niezależne od zasilania z sieci publicznej. Zaleta takiego rozwiązania polega na lokalnym wykorzystaniu energii przy uniknięciu strat przesyłowych oraz pominięciu konieczności kosztownej rozbudowy sieci dystrybucyjnej, w celu obsłużenia nowych odbiorców.

Mimo niewątpliwych zalet, powszechne wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych napotyka na trudności związane m. in. z dużymi, krótko i długookresowymi wahaniami produkcji energii. Immanentne wahania związane są z porami roku, cyklem dobowym, zachmurzeniem, itp. Stoją one w sprzeczności z pożądaną przewidywalnością i sterowalnością generacji energii. Niezbędne staje się więc wskazanie nowych metod służących określeniu charakterystyki wytwórczej jednostek, opisowi wahań, precyzyjnemu określeniu zakłóceń. Nowe metody służące określeniu charakteru zmienności są istotne nie tylko z technicznego punktu widzenia, ale stanowią narzędzie do elastycznego kształtowania cen energii w zależności od wartości wskaźników jakościowych.

Kolejnym ważnym zagadnieniem jest korelacja produkcji energii z wartościami irradancji. Właściwe połączenie tych dwóch wielkości umożliwia identyfikację awarii systemu fotowoltaicznego oraz pozwala określić wysokość rekompensaty za niewyprodukowaną energię w okresie odłączenia generatora od sieci dystrybucyjnej na polecenie operatora, np. w wyniku awarii lub przeciążenia linii. W przypadku, gdy rozmieszczenie paneli tworzy skomplikowany wzór, a pomiar irradancji możliwy jest tylko w jednym miejscu, wskazanie poprawnej zależności jest zadaniem trudnym. Panele zintegrowane z fasadą o skomplikowanych, obłych kształtach są przykładem takiej sytuacji.

W monografii przedstawiono szkic rozwiązań sformułowanych powyżej problemów.

Rozdział 1 zaznajamia czytelnika z trendami rozwoju sieci elektroenergetycznych umieszczając na tym tle cel i przedmiot prowadzonych badań.

Rozdział 2 przedstawia szczegółowo koncepcje transformaty falkowej, ukazanej od strony operacji *liftingu* w dziedzinie czasu. Będzie ona wykorzystana jako skuteczne narzędzie w analizie dobowych krzywych mocy.

Rozdział 3 wspomina o metodzie MUSIC, rozpatrywanej jako komplementarne narzędzie do wykrywania składników częstotliwościowych w sygnale, istotnych w obliczeniach mocy czynnej i biernej przebiegów odkształconych.

W rozdziale 4 zawarto najważniejsze elementy teorii optymalizacji, prezentując metody właściwe dla problemów różniących się z matematycznego punktu widzenia. W obliczeniach prezentowanych w dalszych rozdziałach wykorzystano *trust region reflective algorithm* i metody ewolucyjne, ze względu na ich adekwatność do rozpatrywanych zagadnień.

Rozdział 5 omawia pomiar i obliczenia mocy sygnałów sinusoidalnych. Ze względu na podstawowe znaczenie dziennych krzywych mocy dla opisu pracy generatora fotowoltaicznego zagadnienia te zostały opisane szczegółowo.

Rozdział 6 jest kontynuacją poprzedniego, omawiając tematykę mocy dla przebiegów odkształconych. Zawarto propozycję kompensacji za pomocą kondensatora liniowego. Prezentowany sposób doboru pojemności nie zapewnia pełnej kompensacji, ale gwarantuje lepsze wyniki, niż podejście uwzględniające tylko składową podstawową. Ze względu na prostotę wydaje się odpowiedni dla małych instalacji prosumenckich.

Rozdział 7 zamyka część teoretyczną, przynosząc opis dwóch instalacji fotowoltaicznych o mocach 15 kW i 110 kW, które zostały wykorzystane w badaniach. Panele były tego samego typu, podłączone do przekształtników tego samego producenta, co umożliwiło porównywalność analiz. Obie instalacje wyposażono w rozbudowane systemy monitoringu i akwizycji danych. Na szczególną uwagę zasługuje sferyczny rejestrator kierunkowych komponentów irradiancji, analizowanych w rozdziale 9.

Rozdział 8 wprowadza w praktyczną analizę wahań mocy. Początkowe rozważania dotyczą wyboru optymalnego okna pomiarowego, rozumianego jako kompromis między stratą danych przez uśrednianie a koniecznością magazynowania dużej ilości informacji. Wykorzystano technikę *resamplingu*, umożliwiającą porównanie krzywych mocy z systemów o różnym okresie akwizycji danych. Następnie przedstawiono propozycje aproksymowania krzywej dobowej, celem redukcji danych i zapewnienia prostego wskaźnika jakościowego. Najprostszą aproksymacją było poszukiwanie środka ciężkości krzywej dobowej. Ten wskaźnik jakościowy pozwalał na znakomitą redukcję danych, do dwóch współrzędnych na dobę, ale prowadził do utraty informacji o przebiegu.

Inną propozycją było poszukiwanie parametrów krzywej „dzwonowej” najlepiej opisującej dobowy przebieg mocy w sensie minimalizacji błędu średniokwadratowego. Do znalezienia trzech parametrów opisujących dobowy przebieg wykorzystano dwie różne techniki optymalizacyjne.

Kolejną propozycją była ocena dobowej krzywej mocy z wykorzystaniem transformaty falkowej, umożliwiająca separację detali (szybkich zmian) od aproksymacji (wolnych zmian). Wyznaczenie parametrów detali takich jak wartości skrajne, wariancja, odchylenie standardowe, całka detalu po czasie, pozwalały na precyzyjny opis wahań krzywej mocy. Wartości te można traktować jako propozycję nowych wskaźników jakościowych do opisu pracy generatora fotowoltaicznego.

Rozdział 9 zawiera propozycję monitoringu systemu fotowoltaicznego z wykorzystaniem korelacji między sferycznymi komponentami irradiancji i dobową krzywą mocy. Wartości współczynników wagowych zostały wyznaczone z wykorzystaniem technik optymalizacyjnych. Proponowany system monitoringu może być wykorzystywany do identyfikacji awarii generatora fotowoltaicznego, czy też określenia wysokości rekompensat za wymuszone przestoje. Innym ważnym zastosowaniem sferycznych komponentów irradiancji jest pomoc przy projektowaniu rozbudowy instalacji fotowoltaicznej. Umożliwia odpowiedź na pytanie jak zmieni się profil produkcji po dodaniu paneli o konkretnej orientacji geograficznej. W uzasadnionych przypadkach celowa będzie nawet rozbudowa instalacji na ścianach północnych.

Rozdział 10 i 11 zawierają wnioski i propozycję dalszych badań. Wykorzystane narzędzia i metody pozwoliły osiągnąć planowane cele badawcze. Zaproponowano nowe metody oceny pracy generatora fotowoltaicznego. Rysuje się też potrzeba dalszych badań uwzględniających przebiegi mocy biernej, pomiary z instalacji zintegrowanej z budynkiem, przebiegi dłuższe niż krzywa dobową.

Kolejne pozycje cyku dotyczą wykorzystania zaawansowanych metod przetwarzania sygnałów i technik optymalizacyjnych do detekcji i analizy zakłóceń w sieciach elektroenergetycznych z generacją wiatrową. Częstym i powszechnym zjawiskiem w tych sieciach są zapady napięcia i zakłócenia przejściowe. Mają one swą przyczynę w zwarciach, operacjach łączeniowych, rozruchu dużych silników, itp. Estymacja parametrów sygnału jest warunkiem wstępnym poprawy jakości energii i zapewnienia funkcjonalności *fault-ride-*

through (pracy w czasie zwarcia) w elektrowniach z generatorami asynchronicznymi, a tym samym poprawy stabilności napięciowej w sieci.

Praca *Application of wavelets and Prony method for disturbance detection in fixed speed wind farms* [8], omawia na wstępie problemy związane z pracą farm wiatrowych po wystąpieniu zwarcia lub zapadu napięcia w sieci. Klasycznym rozwiązaniem jest odłączenie generatora asynchronicznego od sieci, co ma zapobiec jego uszkodzeniu. Działanie to wyklucza jednak ciągłą dostawę energii, zgodnie z wytycznymi instrukcji ruchu i eksploatacji sieci. Wprowadzenie funkcjonalności *fault-ride-through* wymaga wyznaczenia parametrów zakłóceń. W artykule omówiono opracowany model fragmentu sieci elektroenergetycznej z generacją wiatrową. Modelowano wiele następujących po sobie zwarć w różnych punktach sieci, które były następnie analizowane z wykorzystaniem modelu Prony'ego i transformaty falkowej. Połączenie tych dwóch narzędzi przyniosło satysfakcjonujące rozwiązanie głównego problemu polegającego na wykrywaniu zwarć i zapadów napięcia. Dodatkowo analizowano zakłócenia łączeniowe.

Artykuł *Computation of voltage sag initiation with Fourier based Algorithm, Kalman Filter and Wavelets* [28] dotyczy także problemu wykrywania początku zapadu. Wprowadzono inne metody analizy, filtry Kalmana oraz algorytm oparty na transformacie fourierowskiej, porównując ich wyniki z rezultatami metody bazującej na transformacie falkowej. We wstępie omówiono urządzenia DVR (Dynamic Voltage Restorer) pozwalające na podtrzymanie napięcia w trakcie zapadu czy zwarcia. Od poprawnego wykrycia zapadu zależy skuteczność działania DVR. W odróżnieniu od poprzedniej pracy wykorzystano sygnały pochodzące ze sprzętowego generatora zapadów, a nie z symulacji. Wyniki uzyskane różnymi metodami zostały porównane i wnikliwie przeanalizowane.

Pracę *Methods for fast detection of voltage sags as a crucial prerequisite for reliable operation of dynamic voltage restorer* [7] należy uznać za podsumowanie tematyki związanej z wykrywaniem początku zapadu. Schematycznie przedstawiono elektrownię wiatrową z przyłączonym układem DVR. Wyniki wykrywania początku zapadu przedstawiono w formie tabelarycznej.

Elektrownie wiatrowe z generatorem asynchronicznym były powszechnie instalowane ze względu na niski koszt i prostotę rozwiązania, co miało duże znaczenie dla prosumenta poszukującego jednostek tanich o relatywnie małej mocy. Brak przekształtnika wiąże się z generacją mocy biernej, rosnącej wraz ze zwiększającą się siłą wiatru i mocą czynną. Kompensacja była realizowana przez załączanie baterii kondensatorów, której pojemność zmienia się w zależności od poziomu mocy biernej. Częste operacje łączeniowe skutkowały występowaniem zakłóceń przejściowych.

W pracy *Adaptation of SVD and Prony Method for precise computation of current components in networks with wind generation* [32] przedstawiono model elektrowni wiatrowej z generatorem indukcyjnym wyposażonej w baterię kondensatorów kompensujących. Uwzględniono różne prędkości wiatru, a tym samym różne wartości mocy biernej przed kompensacją. Wyznaczanie parametrów sygnałów prądowych w stanach przejściowych po załączeniu kompensatora realizowano z wykorzystaniem metody SVD (Singular Value Decomposition) realizującej rozkład na wartości własne macierzy. Przedstawiono szczegóły algorytmu, którego dokładność porównano z wynikami otrzymanymi za pomocą modeli Prony'ego. Można stwierdzić, że obie metody dostarczały zadowalających rezultatów wyznaczania parametrów przebiegów przejściowych.

Publikacja *Prony and nonlinear regression methods used for determination of transient parameters in wind energy conversion system* [46] również była poświęcona problemowi wyznaczania parametrów zakłóceń przejściowych po załączeniu baterii kondensatorów. Opracowany model elektrowni zawierał dwustopniową kompensację, co odpowiadało układowi rzeczywistym. Tym razem do wyznaczenia parametrów prądu w stanie przejściowym użyto parametrycznego modelu sygnału prądowego, złożonego z dwóch składowych sinusoidalnych, przy czym jednej tłumionej wykładniczo. Do wyznaczenia wartości parametrów modelu wykorzystano podejście optymalizacyjne z użyciem metody regresji nieliniowej. Badano sygnały symulowane i pochodzące z pomiarów w rzeczywistym obiekcie. Wyniki porównano do obliczeń prowadzonych za pomocą modelu Prony'ego. Obie metody dostarczyły zadowalających rezultatów, jednakże metoda Prony'ego wydaje się być bardziej odpowiednia do tego typu zadań.

Istotna w cyklu publikacji jest praca **Recognition of disturbances patterns correlated to equipment** [11]. Może być ona rozpatrywana jako zakończenie rozważań dotyczących wyznaczania parametrów poszczególnych typów zakłóceń, takich jak wahania mocy, zapady, czy zakłócenia przejściowe. Jest ważne, że z reguły mamy do czynienia z występowaniem wielu zakłóceń jednocześnie. Należy więc rozpatrywać nie każde zakłócenie z osobna, ale ich sumaryczne oddziaływanie na urządzenia. Odbiorniki energii cechuje też różna wrażliwość na poszczególne rodzaje zakłóceń. Podatność na zakłócenia jest pewnym wzorcem opisującym grupy odbiorników. W artykule przedstawiono propozycję metody rozpoznawania wzorców zakłóceń jakości energii z uwzględnieniem podatności odbiorników. Do realizacji zadania użyto systemu *neuro-fuzzy*, będącego połączeniem logiki rozmytej i sieci neuronowej. Dzięki temu zbiór zasad zgromadzony w zdaniach warunkowych „jeżeli... to...” został dopasowany z użyciem sieci neuronowej o propagacji wstecznej błędu w procesie uczenia. Wyniki działania systemu porównano z rezultatami jakie dawało wykorzystanie sieci neuronowej o radialnych funkcjach bazowych. Uzyskano satysfakcjonujące rezultaty. Opracowane narzędzie pozwala na redukcję ilości wskaźników jakości energii, które muszą być analizowane przez operatora systemu. Dostarcza przejrzystej informacji o poziomie zagrożenia odbiorników niskim poziomem jakości energii, którą można najprościej wyrazić jako małe – średnie – wysokie.

#### Podsumowanie osiągnięć zawartych w cyklu publikacji:

- Dobór i adjustacja algorytmów do oceny dobowych krzywych mocy w instalacjach fotowoltaicznych;
- Propozycja nowego wskaźnika jakości energii do oceny pracy generatora fotowoltaicznego uzyskanego dzięki separacji aproksymacji i detali dobowych krzywych mocy;
- Selekcja metod optymalizacyjnych właściwych do wskazania korelacji dziennych krzywych mocy i predefiniowanego przebiegu referencyjnego;
- Propozycja skutecznego wykorzystania pomiarów sferycznych komponentów irradiancji do oceny strat energii w okresach wyłączenia instalacji fotowoltaicznej;
- Dobór odpowiednich metod optymalizacyjnych do obliczeń współczynników wagowych sferycznych komponentów irradiancji;
- Wykorzystanie metody SVD i regresji nieliniowej do wyznaczania parametrów zakłóceń przejściowych w sieciach z generatorami wiatrowymi;

- Wskazanie rodzaju i parametrów funkcji falkowej do analizy zapadów;
- Połączenie profilu czułości odbiornika z poziomami wskaźników jakości energii elektrycznej z wykorzystaniem systemów neuro-fuzzy.

#### **Syntetyczna statystyka całego dorobku:**

- Całkowita liczba prac **82**
- Liczba publikacji zarejestrowanych w bazie JCR **3**
- Liczba publikacji z Listy Filadelfijskiej **5**
- Sumaryczny Impact Factor **IF = 2.351**
- Indeks Hirscha **H = 2** (Web of Science)
- Indeks Hirscha **H = 3** (Scopus)
- Liczba cytowań (bez autocytowań) **64** (Web of Science)
- Liczba cytowań (bez autocytowań) **111** (Scopus)

*Przemysław Janik*

dr inż. Przemysław Janik

