

1 Imię i Nazwisko

Przemysław Janik

2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- 2005, **doktor nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika**
Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny
Tytuł rozprawy: *Identyfikacja zakłóceń energii elektrycznej z zastosowaniem wybranych architektur sztucznych sieci neuronowych* (promotor: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Łobos)
- 2000, **dyplom ukończenia studiów magisterskich**
Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, kierunek Elektrotechnika, specjalność Elektrotechnika Teoretyczna

3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2017-obecnie **Kierownik B+R projektu elektrowni wirtualnej, Tauron-Ekoenergia**, ul. Obrońców Pokoju 2B, 58-500 Jelenia Góra
- 2015-obecnie **Starszy wykładowca**, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektro-Technologii, Wydział Elektryczny, **Politechnika Wrocławska**, pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław
- 2014-2016 **Profesor wizytujący**, Institute of Power Engineering, Faculty 3 – Mechanical Engineering, Electrical and Energy Systems, **Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg**, Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus, Germany
- 2007-2015 **Adiunkt**, Instytut Podstaw Elektrotechniki I Elektrotechnologii, Wydział Elektryczny, **Politechnika Wrocławska**, pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław
- 2006-2007 **Asystent**, Instytut Podstaw Elektrotechniki I Elektrotechnologii, Wydział Elektryczny, **Politechnika Wrocławska**, pl. Grunwaldzki 13, 50-370 Wrocław
- 2005 **Pracownik naukowy, Korporacyjne Centrum Badawcze ABB**,

- ul. Starowiślna 13A, 31-038 Kraków
- 2001-2002 **Pracownik naukowy**, Institute of Electrical Power Systems and High Voltage Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, **Dresden University of Technology**, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden, Germany

4 Opis osiągnięcia naukowego

Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Analiza i optymalizacja pracy wybranych podsystemów w sieciach inteligentnych

Osiągnięcie habilitacyjne stanowi cykl połączonych tematycznie prac przedstawionych poniżej w kolejności chronologicznej:

4.2 Wykaz publikacji zaliczonych do cyklu

- [1] Blasius Erik, Federau Erik, Leonowicz Zbigniew, **Janik Przemysław**: Assessment of e-vehicles availability in charging pool for support services in smart grids: Case study based on real data, **2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe**, 6-9 June 2017, Milan, Italy: conference proceedings. Danvers, MA : IEEE, cop. 2017. s. 1895-1900, 2017
/WoS, MNiSW: 15/
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji artykułu, zaplanowaniu i nadzorowaniu badań, redakcji tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60%.
- [2] Porsinger Tobias, **Janik Przemysław**, Leonowicz Zbigniew, Gono Radomir: Modelling and Optimization in Microgrids, **Energies**, 2017
/JCR, IF – 2.262, MNiSW 25/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu planu artykułu, udziale w tworzeniu modelu mikrosieci, formułowaniu zakresu badań i określeniu zadań optymalizacji, współudziale w przygotowaniu rysunków. Mój udział procentowy szacuję na 45%.

- [3] Blasius Erik, Federau Erik, **Janik Przemysław**, Leonowicz Zbigniew: Heuristic storage system sizing for optimal operation of electric vehicles powered by photovoltaic charging station, **International Journal of Photoenergy**, vol. 2016, s. 1-12, 2016
/JCR, IF - 01.227, MNiSW: 30/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji artykułu, zaplanowaniu i nadzorowaniu badań, wyboru prezentowanych charakterystyk, redakcji tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

- [4] Federau Erik, Blasius Erik, **Janik Przemysław**: Classification of control features related to microgrid operation standardization, **Przegląd Elektrotechniczny**, R. 92, nr 10, s. 254-257, 2016
/MNiSW: 14/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na redakcji tekstu manuskryptu, opracowaniu struktury tekstu i układu treści. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [5] Porsinger Tobias, **Janik Przemysław**, Leonowicz Zbigniew, Goño Radomir: Component modelling for microgrids: **IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering**, 7-10 June 2016, Florence, Italy : conference proceedings. Danvers, MA : IEEE, cop. 2016. s. 2677-2681, 2016
/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opisie elementów mikrosieci, opisie połączenia z siecią nadrzędną, wyborze ilustracji, tworzeniu koncepcji. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [6] **Janik Przemysław**, Rezmer Jacek, Waclawek Zbigniew, Leonowicz Zbigniew, Blasius Erik, Federau Erik, Porsinger Tobias, Nanewortor Xoesse Kobla: Analysis and modeling of a photovoltaic system using directional irradiances and optimization techniques, **IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering**, IEEEIC:7-10 June 2016, Florence, Italy : conference proceedings. Danvers, MA : IEEE, cop. 2016. s. 2642-2648, 2016
/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na , zaplanowaniu i nadzorowaniu badań, redakcji tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

- [7] Nanewortor Xoesse Kobla, **Janik Przemysław**, Waclawek Zbigniew, Leonowicz Zbigniew: Optimal sizing of renewable energy plant - storage system for network support: **IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering**, 7-10 June 2016, Florence, Italy : conference proceedings. Danvers, MA : IEEE, cop. 2016. s. 2613-2617, 2016
/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu i nadzorowaniu badań, opracowaniu koncepcji pracy, określeniu zadania optymalizacyjnego. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [8] Waclawek Zbigniew, Rezmer Jacek, **Janik Przemysław**, Nanewortor Xoesse Kobla: Sizing of photovoltaic power and storage system for optimized hosting capacity. W: 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering, **IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering**, EEEIC:7-10 June 2016, Florence, Italy : conference proceedings. Danvers, MA : IEEE, cop. 2016. s. 2619-2623, 2016
/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na, zaplanowaniu i nadzorowaniu badań, redakcji tekstu, opisie instalacji PV, graficznej reprezentacji zmienności generacji. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [9] Nanewortor Xoesse Kobla, **Janik Przemysław**: Analysis of renewable energy infeed towards a concept of storage integration into existing grid, **IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering**, June 10-13, 2015, Rome : conference proceedings. Piscataway, NJ : IEEE, cop. 2015. s. 1163-1168, 2015
/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu i nadzorowaniu badań, określeniu modelu węzła, wykorzystaniu profili mocy. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- [10] **Janik Przemysław**, Rezmer Jacek, Waclawek Zbigniew, Kostyła Paweł, Porsinger Tobias, Schwarz Harald: Potentials of Microgrids - RES infeed, stationary storage and controllable loads modelling: Proceedings of 2014 **16th International Conference on Harmonics and Quality of Power**, ICHQP 2014, Bucharest, Romania, 25-28 May 2014. [Piscataway, NJ] : IEEE, cop. 2014. s. 655-658, 2014
/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na , opracowaniu koncepcji artykułu, opisie i wykorzystaniu komponentów kierunkowych. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- [11] **Janik Przemysław**, Rezmer Jacek, Leonowicz Zbigniew, Waclawek Zbigniew, Łobos Tadeusz, Amaris Hortensia, Ortega Carlos: Methods for fast detection of voltage sags as a crucial prerequisite for reliable operation of dynamic voltage restorer, **Przegląd Elektrotechniczny**, R. 86, nr 1, s. 35-37, 2010
/JCR, IF - 0.242, MNiSW: 13/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w modyfikacji metody FFT i wykorzystaniu falek w obliczeniach, udział w redakcji tekstu. Mój udział procentowy szacuję na 20%.

- [12] **Janik Przemysław**, Rezmer Jacek, Ruczewski Piotr, Waclawek Zbigniew, Łobos Tadeusz: Adaptation of SVD and Prony method for precise computation of current components in networks with wind generation: **2nd International Conference on**

Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, Capri, Italy, 9th-11th June 2009, [Piscataway, NJ] : IEEE, cop. 2009

/WoS, MNiSW: 15/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na, stworzeniu koncepcji badań, udziale w budowaniu modelu generatora, obliczeniach SVD, redakcji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 20%.

- [13] Łobos Tadeusz, Rezmer Jacek, **Janik Przemysław**, Amaris Hortensia, Alonso Monica, Alvarez C: Application of wavelets and Prony method for disturbance detection in fixed speed wind farms, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, vol. 31, nr 9, s. 429-436, 2009

/JCR, IF - 01.613, MNiSW 2010: 20/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opisie i wykorzystaniu do badań metody falkowej. Mój udział procentowy szacuję na 20%.

- [14] Łobos Tadeusz, **Janik Przemysław**, Waclawek Zbigniew: Recognition of disturbances patterns correlated to equipment, **Przegląd Elektrotechniczny**, R. 83, nr 11, s. 75-78, 2007

/MJL, MNiSW: 9/

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji łączenia wzorców zakłóceń z odbiornikami, zaplanowaniu badań, udział w obliczeniach neuro-fuzzy, redakcji tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

4.3 Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z ich ewentualnym wykorzystaniem

4.3.1 Wprowadzenie

Przedstawione osiągnięcie habilitacyjne składa się z cyklu czternastu publikacji powiązanych tematycznie. Cztery prace opublikowane zostały w czasopismach uwzględnianych w bazie Journal Citation Reports, dziewięć na konferencjach indeksowanych w Web of Science, jedna w czasopiśmie z listy Master Journal List (Web of Science), jedna w czasopiśmie z listy ministerialnej. Sumaryczny Impact Factor wynosi 5,394, a liczba punktów ministerialnych 231. Zgodnie z oświadczeniami współautorów jestem wiodącym autorem 11 pozycji cyklu.

Inteligentne systemy elektroenergetyczne (ang. Smart Grids) są odpowiedzią na wyzwania związane z integracją odnawialnych źródeł energii, e-mobilnością, rozpowszechnieniem odbiorów sterowalnych, zwiększeniem efektywności wytwarzania, transportu i użytkowania energii elektrycznej, przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii IT i innowacyjnych metod użytkowania energii. Tematyka Smart Grids jest ważnym i aktualnym zagadnieniem

badawczym o dużym potencjale rozwoju odzwierciedlonym w czasopismach tematycznych: m.in. „Energies”, „IEEE Transactions on Smart Grids”, „Sustainable Energy, Grids and Networks”, czy cyklicznych konferencjach: np. „IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities”, „EEEIC International Conference on Environment and Electrical Engineering”.

Mikrosieci (ang. microgrids) są kluczowym elementem inteligentnych systemów elektroenergetycznych. Pierwotną koncepcję mikrosieci zaprezentowaną w [int1] można rozumieć jako harmonijne połączenie odnawialnych źródeł, odbiorników i zasobników energii, zmniejszających obciążenie węzła sieci, do którego są włączone [int2]. Modelowanie mikrosieci jako systemu fizycznego zaproponowano w [int3]. W [int4] uwzględniono dodatkowo pojazdy elektryczne w roli zasobników, a w [int5] zaproponowano metody bilansowania obciążenia sieci z wykorzystaniem zasobnika pojazdu elektrycznego. Wyniki badań prezentowane w przedstawionym cyklu publikacji stanowią istotny wkład w rozwój tej nowej dziedziny elektrotechniki.

Instalacje fotowoltaiczne są ważnym źródłem energii w mikrosieci [int6]. Ich praca wymaga monitoringu i identyfikacji stanów awaryjnych [int7]. W cyklu uwzględniono zagadnienia monitoringu z wykorzystaniem pomiaru kierunkowego irradancji i technik optymalizacyjnych. Elektrownie wiatrowe włączone do systemu elektroenergetycznego są znaczącym źródłem, często jednak ten typ generacji powoduje obniżenie jakości energii (ang. Power Quality). W ostatnich latach jest to aktualny temat badań [int8]. W cyklu zawarto osiągnięcia związane z analizą zakłóceń pracy elektrowni wiatrowych.

Układy DVR (ang. Dynamic Voltage Restorer) umożliwiają pracę generatora asynchronicznego podczas zapadu napięcia. W cyklu przedstawiono osiągnięcia związane z wykrywaniem zapadów, będącym kluczowym zagadnieniem skuteczności układu DVR i zapewnienia ciągłej pracy asynchronicznych generatorów wiatrowych. Aktualnie nadal pracuje się nad poprawą układów DVR służących do kompensacji zapadów w sieciach [int9].

Ostatnim omówionym zagadnieniem jest łączenie wskaźników jakości energii i wrażliwości odbiorników na zakłócenia. W pracy [int10] przedstawiono wpływ wybranych zakłóceń na działanie silnika indukcyjnego. Wyniki badań prezentowane w tym cyklu dotyczą wyboru inteligentnych narzędzi obliczeniowych do automatycznego łączenia wskaźników i wrażliwości odbiorów.

Prace badawcze prezentowane w ramach cyklu były próbą formułowania i rozwiązywania problemów badawczych w ramach ważnego i aktualnego nurtu zagadnień związanych z funkcjonowaniem inteligentnych systemów elektroenergetycznych (smart grids).

W pracach cyklu omówiono wybrane podsystemy sieci inteligentnych, w szczególności podsystemy mikrosieci: źródła fotowoltaiczne, generatory wykorzystujące energię wiatru, zasobniki, stacje ładowania pojazdów elektrycznych z funkcją V2G (vehicle to grid), odbiory, układy DVR. Prezentowane prace stanowią istotny wkład w rozwój koncepcji sieci inteligentnych, współpracy i optymalizacji podsystemów oraz oceny niepożądanych zjawisk

zakłóceń. Ważnym aspektem prezentowanych badań jest wykorzystanie długookresowych wyników pomiarów zarejestrowanych w obiektach rzeczywistych, w szczególności w mikro sieci i w parku pojazdów elektrycznych z dwukierunkową wymianą energii V2G. Na tej podstawie prowadzono badania nad modelowaniem i wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów do oceny funkcjonalności mikro sieci i jej komponentów.

4.3.2 Modelowanie i optymalizacja mikro sieci [2], [5]

Opracowanie funkcjonalnego modelu mikro sieci, opartego na danych pomiarowych pochodzących z rzeczywistych obiektów i realizującego założone funkcjonalności można uznać za zwięźnięcie i podsumowanie badań prezentowanych w pracach cyklu.

Głównym wkładem naukowym prac [2], [5] jest przedstawienie praktycznych uwarunkowań związanych z procesem projektowania, modelowania, symulacji i optymalizacji mikro sieci składającej się z generatorów fotowoltaicznych, konwencjonalnego generatora zasilanego gazem ziemnym, zasobników energii, stacji ładowania pojazdów elektrycznych i odbiorców. Przedstawiono nowe podejście do optymalizacji parametrów poszczególnych komponentów sieci. Większość danych wykorzystanych do obliczeń zarejestrowano w rzeczywistych obiektach badawczych, co stanowi unikatowe podejście w tej dziedzinie badań.

Badania prowadziłem jako profesor wizytujący w BTU Cottbus-Senftenberg, będąc promotorem pomocniczym współautora publikacji T. Porsingera. Wyniki prac zostały wyróżnione przez Dziekana Wydziału 3 (Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme) BTU, załącznik 3.7.

Mikro sieci są przedstawione jako harmonijnie funkcjonujące komórki, w inteligentny sposób sterujące generacją i użytkowaniem energii w ramach swojej struktury, aktywnie współpracujące z nadrzędną siecią dystrybucyjną [2]. Duży potencjał rozwojowy mikro sieci związany jest z możliwością realizacji zadanego profilu mocy, łagodzącego niekorzystne wahania generacji źródeł odnawialnych, zmniejszającego błąd predykcji produkcji czy użytkowania energii. Można to osiągnąć stosując zasobnik, ale również poprzez aktywne sterowanie odbiornikami. Jako szczególnie interesujący przypadek sterowalnego obciążenia wybrano park ładowania samochodów elektrycznych. Mikro sieci są realną alternatywą dla konieczności rozbudowy istniejącej infrastruktury rozdzielczej, mają więc duże znaczenie praktyczne dla energetyki zawodowej.

Wyniki badań wykorzystują bezpośrednio jako kierownik B+R projektu elektrowni wirtualnej w Tauron-Ekoenergia.

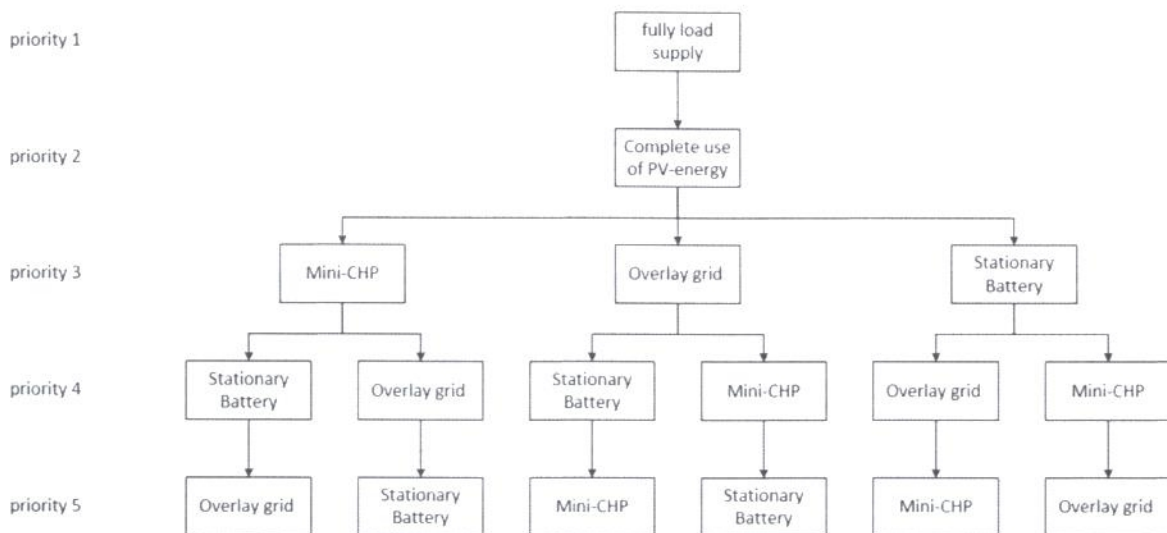
Koncepcja mikro sieci została w dalszej kolejności scharakteryzowana poprzez opis pięciu głównych warstw strukturalnych (funkcjonalnych), od warstwy podstawowej komponentów sprzętowych, do ostatniej warstwy biznesowej [2], [5]. Dodatkowo, sprecyzowano różnice między koncepcją mikro sieci, a innymi podobnymi strukturami: elektrownią hybrydową, elektrownią wirtualną, siecią autonomiczną, siecią 100RE, etc. [2], [5]. Jako ostatni element wstępnych rozważań zaproponowano klasyfikację mikro sieci [5],

został zasobnik akumulatorowy, jako powszechnie stosowany, sprawdzony i dostępny komercyjnie, o dużym znaczeniu w energetyce zawodowej. W modelu zasobnika uwzględniono wybraną technologię, wyróżniając cztery najważniejsze parametry: moc czynną, moc bierną, pojemność i stan naładowania (SoC). Maksymalna szybkość transferu energii jest limitowana przez parametry przekształtnika. Uwzględniono wpływ stopnia rozładowania zasobnika na maksymalną ilość cykli rozładowania, przyjmując wartość 70%. Przedstawiono szczegółowy model z wyróżnieniem trzech bloków funkcjonalnych.

Mikrosieć łączy ze sobą trzy klasy komponentów: generatory, zasobniki i obciążenie, opcjonalnie zapewniając wymianę energii z siecią dystrybucyjną. Sposób połączeń między komponentami o danych parametrach technicznych determinują możliwe scenariusze pracy. Szczegółowo omówiono modelowanie punktu połączenia z siecią dystrybucyjną, wyróżniając trzy grupy funkcjonalne w modelu. W celu oceny pracy mikrosieci na rzecz sieci dystrybucyjnej należy dodatkowo uwzględnić model sieci dystrybucyjnej. Wykorzystując, np. model CIGRE można ocenić możliwości pracy według zadanego profilu obciążenia.

Realizacja zadanego scenariusza pracy mikrosieci wymaga odpowiedniego doboru parametrów elementów i odpowiedniego skalowania. Można tego dokonać rozwiązując zadanie optymalizacyjne dla wybranego przypadku. Omówiono szczegółowo schemat blokowy przepływu energii w mikrosieci oraz przykład sekwencyjnej symulacji dla dobowego okresu.

W sposób usystematyzowany opracowano i przedstawiono hierarchię priorytetów opisujących działanie mikrosieci (Rys. 2). Wybierając konkretne rozwiązania w ramach kolejnego priorytetu w hierarchii można utworzyć scenariusz sterowania w mikrosieci, a następnie w procesie optymalizacyjnym dobrać parametry elementów zapewniających realizację scenariusza .



Rys. 2 Hierarchia priorytetów dla optymalizacji mikrosieci [2].

Wybrano przypadek scenariusza pracy mikrosieci wspierającej stabilną pracę sieci dystrybucyjnej. Szczegółowo omówiono pracę poszczególnych komponentów i sformułowano funkcję celu zadania optymalizacyjnego.

Przedstawiono wyniki optymalizacji na przykładzie dobowych krzywych mocy poszczególnych komponentów mikro sieci. Podano krzywą empiryczną łączącą wielkość generatora PV i mikro-elektrociepłowni.

Głównym wkładem pracy jest precyzyjny opis i charakterystyka modelu mikro sieci uwzględniające parametry działania rzeczywistych obiektów. Wykonano i testowano skalowalny model mikro sieci, pozwalający na realizację różnych scenariuszy sterowania. Zmiana scenariusza pracy mikro sieci wiąże się z koniecznością zmiany jej parametrów dla zapewnienia optymalnej realizacji założeń. Szczegółowo badano różne stany pracy, wskazując na uniwersalność zaproponowanego podejścia.

Cytowania pacy świadczą o pozytywnym zainteresowaniu, z jakim spotkały się prezentowane rezultaty badań.

4.3.3 Charakterystyka parku ładowania pojazdów elektrycznych [1], [3]

Promowanie e-mobilności i zwiększenie liczby pojazdów elektrycznych jest ważnym celem rozwoju w Polsce i w wielu krajach w Europie. Oczekuje się znaczącej poprawy jakości powietrza, redukcji emisji CO₂, lepszego wykorzystania źródeł odnawialnych. Producenci motocykli, samochodów osobowych, autobusów oferują modele z silnikami elektrycznymi oraz możliwością ich włączenia do sieci zasilającej. W kolejnych latach w naturalny sposób należy oczekiwać znaczącego wzrostu liczby stacji ładowania pojazdów elektrycznych i sumarycznej pojemności i mocy mobilnych zasobników energii, istotnie wpływających na warunki pracy sieci dystrybucyjnej.

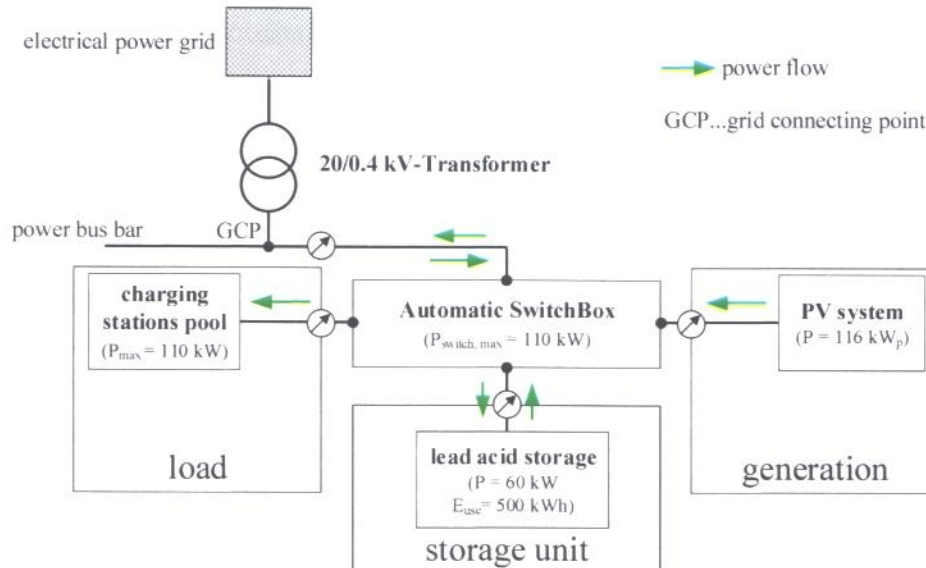
Celem badań było określenie możliwości wykorzystania parku pojazdów elektrycznych na potrzeby sieci elektroenergetycznej w ramach innowacyjnej usługi systemowej. Badania te były realizowane w ramach projektu E-SOLCAR oraz SRC (załącznik 3.8, 3.9).

Długookresowe badania, obejmujące okres 10 miesięcy, przeprowadzono w badawczej stacji ładowania mogącej obsłużyć jednocześnie 15 pojazdów, zlokalizowanej na terenie BTU Cottbus-Senftenberg w Niemczech, (Rys. 3).



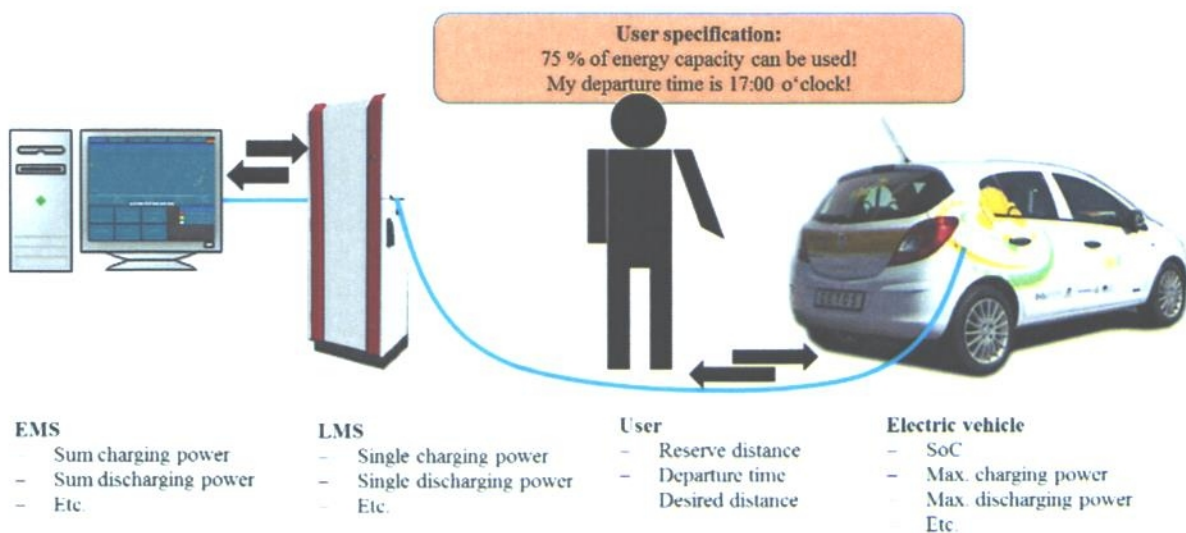
Rys. 3 Stacja ładowania pojazdów elektrycznych [3]

Stacja ładowania pojazdów elektrycznych zasilana była z mikro sieci zawierającej instalację PV, zasobnik energii i połączenie z siecią publiczną (Rys. 4). Ze względu na dużą liczbę uczestniczących w badaniu pojazdów, długi okres rejestracji danych rzeczywistych oraz znikomy materiał porównawczy, przeprowadzone analizy, rozumiane jako studium przypadku, mają dużą wartość poznawczą.



Rys. 4 Schematyczne przedstawienie zasilania pojazdów [3]

W pracy przedstawiono wyniki analiz związanych z wykorzystaniem pojazdów elektrycznych definiowanych jako zasobniki energii, służących rozwiązaniu problemu harmonijnej integracji źródeł odnawialnych i pojazdów elektrycznych z siecią. Przedstawiono koncepcję integracji sieci i mobilnego zasobnika z funkcją V2G (vehicle to grid) (Rys. 5). W szczególności rozważono dostępność pojazdów w stacjach ładowania oraz założenia wymagań dla rozwoju technologii komunikacji pomiędzy pojazdem, punktem ładowania i inteligentnym systemem kontroli pracy parku ładowania.

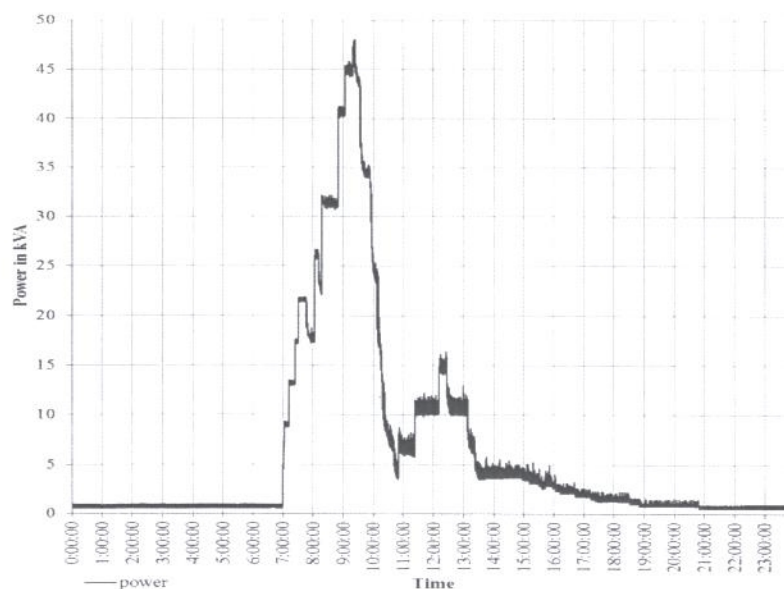


Rys. 5 Integracja samochodu elektrycznego ze stacją ładowania [1]

Rezultaty badań są istotnym przyczynkiem do praktycznego wykorzystania pojazdów elektrycznych EVs jako mobilnych zasobników energii w sieciach elektrycznych i stanowią istotny wkład w rozwój tej dziedziny.

Niemniej, masowy rozwój e-mobilności może negatywnie wpływać na wskaźniki jakościowe w sieciach dystrybucyjnych. Poszukuje się metod zapobieżenia negatywnemu oddziaływaniu na sieć, a nawet wykorzystaniu energii zgromadzonej w pojazdach w stanach awaryjnych pracy sieci elektroenergetycznej.

Krótką charakterystykę techniczną parku ładowania pojazdów i samych pojazdów elektrycznych przedstawiono w [1]. Badania empiryczne dotyczyły zachowania się użytkowników 15 samochodów. Parametry współpracy ze stacją rejestrowano z krokiem 15 min. Uwzględniono dostępność pojazdów dla centralnego systemu zarządzania energią (EMS Energy management system), moc maksymalną ładowania, energię zgromadzoną w pojazdach i inne parametry, które opracowano statystycznie. Rys. 6 przedstawia przykładową krzywą ładowania całego parku. Ważnym czynnikiem była ocena względnej dostępności pojazdów dla celów współpracy z siecią dystrybucyjną. Dostępność ta cechowała się stosunkowo dużą zmiennością miesięczną i dobową. Ze względu na usytuowanie parku ładowania na terenie kampusu uniwersyteckiego (BTU, Niemcy) i ładowanie głównie w ciągu dnia roboczego, najniższe wartości notowano w nocy. W ciągu dnia najwyższa dostępność była na poziomie 66%-86%. Nie zaobserwowano też pełnego użycia, 2 spośród 15 stanowisk pozostawały wolne. Dla celów porównawczych zaproponowano średnią wartość dostępności dla dnia roboczego dla poszczególnych miesięcy. Dla różnych miesięcy można zaobserwować podobieństwa przebiegu krzywej, które mają znaczenie praktyczne, np. przy ustalaniu taryf. Analizowano również dynamikę zmiany dostępności pojazdów [1], [3], aby łatwiej identyfikować okresy zwiększonego poboru. Na podstawie analiz wskazano okres dnia, który jest szczególnie istotny z punktu widzenia dwukierunkowej współpracy z siecią.



Rys. 6 Dobowa krzywa mocy parku ładowania EV [1]

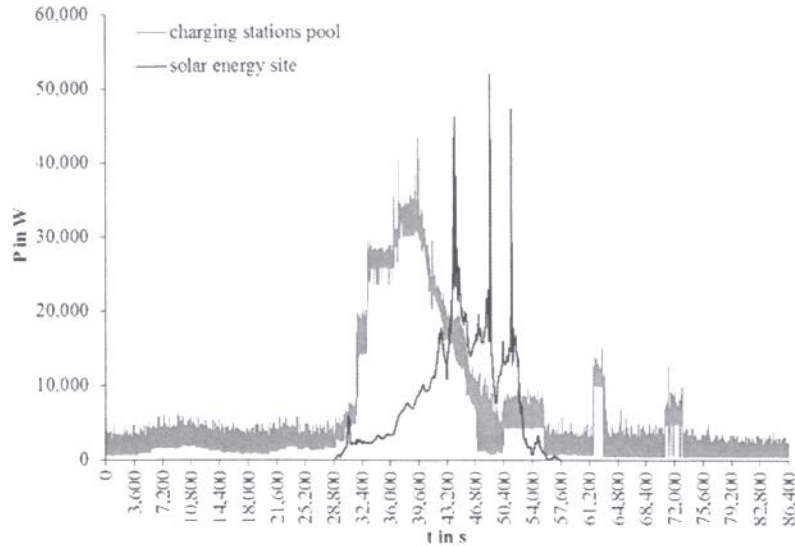
Wyniki oraz sposób prowadzenia analiz są ważnym materiałem porównawczym dla badań prowadzonych dla innych stacji ładowania pojazdów. Operator sieci dystrybucyjnej otrzymuje użyteczną informację o dobowej krzywej obciążenia całego parku wraz z analizą możliwości rozładowania pojazdów na dla potrzeb sieci dystrybucyjnej. Otrzymane dane mogą być wykorzystane do kształtowania popytu poprzez system taryf i opłat.

Koncepcje ładowania niesterowanego (*plug & dumb charging*), sterowanego (*plug & smart charging*) i ładowania dwukierunkowego (*plug & V2G*) są obecnie realizowane w praktyce i wymagają opracowania zaawansowanych systemów zarządzania energią dla wielostanowiskowych stacji ładowania. Prowadzone badania były odpowiedzią na aktualnie stawiane problemy naukowe.

Mając na uwadze wyniki badań empirycznych usystematyzowano metody ładowania pojazdów ze względu na funkcjonalność [1]. Przedstawiono bloki funkcjonalne systemu ładowania pojazdów oraz przepływu informacji między nimi, od pojazdu do centralnego systemu zarządzania energią. Wyszczególniono, jaka informacja, na jakim etapie jest niezbędna do wprowadzenia dynamicznego zarządzania energią w parku ładowania. Podano również propozycję schematu alokacji żądań poszczególnych pojazdów. **Wyniki badań mają duże znaczenie praktyczne dla wprowadzenia standardów zarządzania energią w parkach ładowania zarządzanych przez operatorów sieci dystrybucyjnych, bazują bowiem na długookresowych danych pomiarowych rzeczywistego obiektu.**

Stacje ładowania, jak zostało to pokazane w [1], można uważać za punkt połączenia między pojazdem elektrycznym a siecią dystrybucyjną. Charakteryzująca je krzywa mocy jest zmienna (Rys. 6), ma charakter stochastyczny, co niekorzystnie wpływa na parametry pracy sieci dystrybucyjnej. Ogranicza to także możliwości podłączania kolejnych odbiorców. Zasilanie stacji ładowania z lokalnie instalowanych generatorów PV jest rozwiązaniem znacząco wspierającym rozwój bezemisyjnej e-mobilności. **Kluczowym aspektem jest odpowiednie dopasowanie charakterystyki obciążenia stacji ładowania i profilu produkcji PV oraz ewentualnego zasobnika. Potrzebny jest skuteczny system zarządzania, nadzorujący pracę wszystkich komponentów (obciążenie, generacja, zasobnik) w danym węźle sieci. Prezentowane badania empiryczne stanowią podstawę rozwoju i oceny systemu zarządzania.**

Punktem wyjścia implementacji algorytmu zarządzania energią jest precyzyjna ocena charakterystyk obciążenia (stacje ładowania) i generacji (system PV). Obie krzywe mają charakter stochastyczny (Rys. 7).



Rys. 7 Dobowa krzywa ładowania i generacji PV, dzień zimowy [3]

Wyniki analizy zostały przedstawione w [3]. Zaproponowano trzy podejścia do problemu redukcji obciążenia sieci dystrybucyjnej: ocenę wskaźnika jakościowego obciążenia w sensie statystycznym, wymiarowanie instalacji PV, wprowadzenie zasobnika o zoptymalizowanej wielkości. We wszystkich przypadkach priorytetowe było zapewnienie pełnego ładowania pojazdów.

Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem danych pomiarowych pochodzących z rzeczywistej instalacji. Scharakteryzowano instalację PV oraz jej opomiarowanie, które umożliwiło rejestrację danych z rozdzielczością 1 s. Przedstawiono charakterystykę techniczną stacji ładowania, jako punktu styku e-pojazdu i mikro sieci, wyposażoną w układ kontroli ładowania. Szczegółowo przeanalizowano charakterystyki ładowania układu jedno i trójfazowego, z wyraźnym wskazaniem fazy pełnego ładowania i bilansowania. W kolejnym kroku analizie poddane zostały krzywe mocy stacji ładowania i generatora PV. Różnica między nimi P_{res} musi być zbilansowana przez sieć dystrybucyjną, lub konwencjonalny generator. Pożądana jest nadwyżka produkcji nad zużyciem. Szczegółowo omówiono reprezentacyjne przebiegi dobowe i tygodniowe dla zimy i wiosny, poddane analizie statystycznej. Wyraźna jest rozbieżność między krzywą mocy PV, a krzywą ładowania pojazdów. Analizując przebiegi, można zakładać zmniejszenie mocy PV w lecie. Zmniejszenie takie nie jest jednak wskazane ze względu na dużą dynamikę zmian poboru. Jak należy się spodziewać, ta sama instalacja w okresie zimy wymagałaby zwiększenia o połowę.

Długookresowa analiza i charakterystyka mocy niezrównoważenia P_{res} jest niezbędnym warunkiem optymalnego doboru zasobnika energii. Wykorzystanie zasobnika jest jedyną godną uwagi metodą bilansowania generacji i poboru energii dla omawianego przypadku. Szczegółowe wyniki analiz wraz z oceną skutków przewymiarowania instalacji zaprezentowano w dalszej części pracy [3]. Wskazano różne scenariusze postępowania dla poszczególnych pór roku, sugerując odpowiednie pojemności zasobnika dla analizowanych przypadków oraz sposoby ich doboru. Wykazano, że jednoczesne niesterowane połączenie do sieci stacji ładowania i fotowoltaiki powoduje większe wahania poboru i generacji, niż

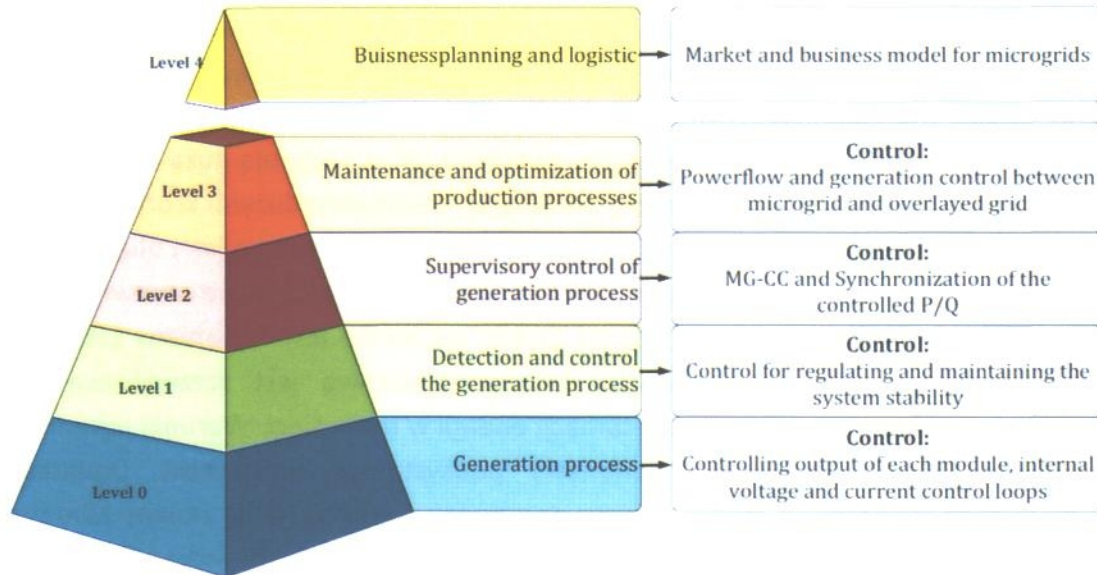
włączenie każdego z tych systemów osobno. Otrzymane wyniki przedstawiono w sensie statystycznym, ze szczególnym uwzględnieniem 90% pokrycia zapotrzebowania bez udziału sieci dystrybucyjnej. Generalnie, wartość ta może być zadawana przez operatora systemu dystrybucyjnego, uwzględniając uwarunkowania taryfowe.

Podsumowując, przeprowadzone szczegółowe analizy pokazują dużą zależność mocy nieźrównoważenia od pory roku, która jest dodatkowo obciążona dużymi krótkookresowymi zmianami. Ze względu na dużą zmienność generacji PV, zarówno krótko jak i długookresową, jedynie wykorzystanie zasobnika o odpowiedniej pojemności i mocy może zapewnić wyraźne zmniejszenie obciążenia sieci dystrybucyjnej. Dobór zasobnika jest rozumiany jako zadanie optymalizacyjne w sensie statystycznym, którego podstawą jest szczegółowa analiza długookresowych danych produkcji i konsumpcji energii w mikrosieci. Warunki ograniczające optymalizacji definiują techniczne parametry podsystemów mikrosieci. Dodatkowym problemem, wpływającym na jakość doboru parametrów mikrosieci są zmiany klimatyczne i zmiany wzorców zachowań użytkowników stacji ładowania. **Dużą wartością poznawczą przeprowadzonych badań jest rezultatem uwzględnienia długookresowych rzeczywistych danych pomiarowych z rzeczywistej instalacji parku ładowania zasilanego z generatora PV.** Wyniki można bezpośrednio wykorzystać do walidacji i optymalizacji systemu zarządzania parkiem ładowania pojazdów elektrycznych.

4.3.4 Klasyfikacja właściwości mikrosieci w odniesieniu do standaryzacji procedur sterowania [4]

Równoległe do prezentowanych powyżej badań dotyczących modelowania mikrosieci z wykorzystaniem danych pomiarowych z rzeczywistych obiektów, w [4] zaprezentowano rozważania dotyczące struktury i klasyfikacji cech układów sterowania w mikrosieci.

We wstępie omówiono wpływ, jaki zwiększenie udziału generacji rozproszonej, wykorzystanie zasobników energii i zmiana profilu użytkowania energii wywiera na funkcjonowanie systemu dystrybucyjnego, prowadząc do powstania autonomicznych jednostek określanych jako mikrosieć. Szczegółowo omówiono znaczenie i podstawowe właściwości mikrosieci. Przytoczone zostały podstawowe scenariusze pracy mikrosieci, omówiono różne podejścia do koncepcji sterowania. Na tej podstawie została zaprezentowana skategoryzowana i stabelaryzowana wersja struktury i charakterystycznych cech układu sterowania. Kolejno zostały omówione i usystematyzowane architektury układów sterowania, alokacja poziomów funkcyjnych (Rys. 8), koncepcje i metody sterowania. Teoretyczne rozważania dotyczące uporządkowania i systematyki w podejściu do koncepcji sterowania mikrosieci zostały zilustrowane przykładem praktycznej realizacji układu sterowania badawczej mikrosieci w kampusie uniwersyteckim BTU.



Rys. 8 Poziomy funkcjne w mikroscieci [4]

Za istotne należy uznać usystematyzowanie architektury, cech i poziomów alokacji funkcjonalności mikroscieci jako kluczowych dla praktycznej realizacji.

4.3.5 Koncepcja wykorzystania kierunkowego pomiaru irradiancji do modelowania i oceny pracy systemu fotowoltaicznego [6], [10]

Ciągły monitoring instalacji PV jest kluczowy dla zapewnienia ciągłości produkcji energii i szybkiego wykrywania awaryjnych stanów pracy. Prosty sposób oceny chwilowego poziomu generacji jest porównanie wartości irradiancji i mocy wyjściowej systemu PV. Wprowadzając współczynnik skalujący można wykryć zbyt niską produkcję spowodowaną awarią, czy zacieleniem. Dodatkowo, można oszacować straty, jako różnicę pomiędzy potencjalnie maksymalną produkcją w danym okresie (wynikającą z rzeczywistego nasłonecznienia, temperatury, etc.), a faktycznym poziomem generacji. Pojedynczą komórkę referencyjnego pomiaru umieszcza się w taki sam sposób względem słońca, jak wszystkie pozostałe panele instalacji.

Układ instalacji PV w warunkach miejskich jest determinowany przez ograniczenia architektoniczne, nie dąży się bezpośrednio do maksymalizacji produkcji energii. Instalacja PV bywa często zintegrowana z budynkiem (*building integrated PV*), zbudowana z elementów elastycznych, dopasowanych do krzywizn elewacji. W tej sytuacji prosty model monitoringu jest nieskuteczny.

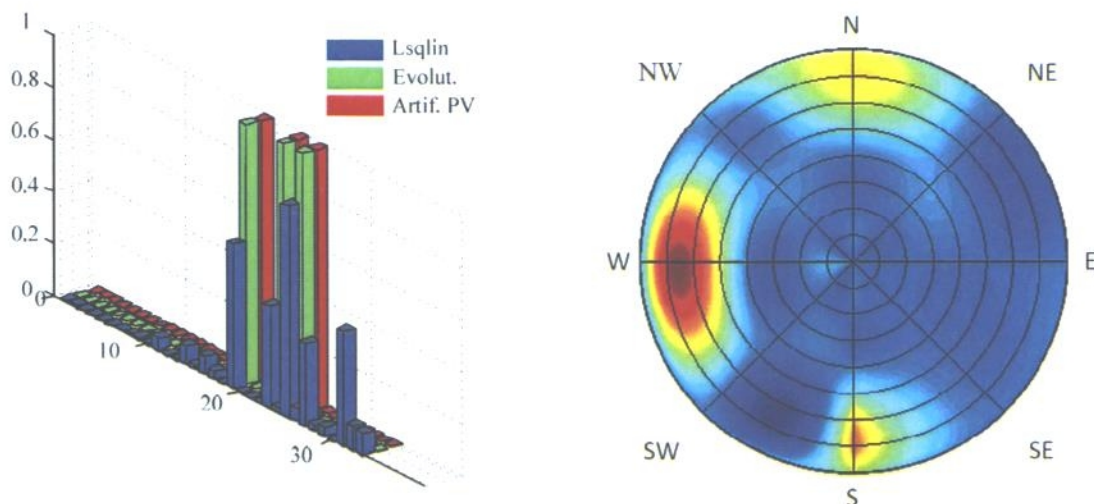
W pracy [6], [10] przedstawiono innowacyjny układ pomiaru irradiancji, wykorzystujący nie jedną, a 33 komórki referencyjne, rozmieszczone równomiernie na powierzchni półsfery. Został on wykonany i skalibrowany na zamówienie, dzięki czemu możliwa jest jednoczesna rejestracja 33 wartości w różnych kierunkach.

Dla prostej konfiguracji paneli systemu PV można znaleźć najlepiej pasującą komórkę rozwiązując zadanie minimalizacji błędu średniokwadratowego pomiędzy produkcją generatora PV, a wskazaniem konkretnej komórki [10]. W rozwiązaniu otrzymuje się współczynnik dopasowujący wartość referencyjnej irradiancji do produkcji energii generatora PV, który wykorzystuje się w monitoringu instalacji. Dodatkowo, pomiary przeprowadzone za pomocą prezentowanego układu pomiarowego mogą służyć bezpośredniej ocenie opłacalności instalacji paneli w danej lokalizacji, ale w odmiennej, niekorzystnej orientacji. Sytuacje takie mają miejsce w warunkach miejskich, gdzie priorytet mają względy architektoniczne i zintegrowanie fotowoltaiki z budynkiem.

Celem badań prezentowanych w [6] było opracowanie i testowanie metody umożliwiającej dobór współczynników wagowych do 33 komórek referencyjnych, tak by przebieg rzeczywistej krzywej produkcji instalacji PV i przebieg otrzymany wirtualnie na podstawie pomiarów kierunkowych irradiancji różnił się jak najmniej. Rozwiązania tego zadania poszukiwano metodami optymalizacyjnymi.

W [6] omówiono podstawy funkcjonowania dwóch algorytmów optymalizacyjnych, których charakterystyka działania wskazywała na ich skuteczność w praktycznym podejściu. Algorytm ewolucyjny bazuje na stochastycznym podejściu do problemu optymalizacyjnego, a algorytm TRRA (*trust region reflective algorithm*) jest metodą deterministyczną, wykorzystującą informacje w gradiencie i hesjanie funkcji celu. Zbieżność wyników otrzymanych dwiema różnymi metodami zwiększała pewność uzyskania poprawnego rozwiązania problemu.

Otrzymane wyniki potwierdziły skuteczność zaprezentowanej nowej metody monitoringu instalacji PV. Przedstawiono szczegółowe wyniki doboru współczynników dla generatorów wirtualnych i instalacji rzeczywistej. Otrzymywane współczynniki oraz kierunkowe komponenty irradiancji przedstawiono w formie wykresu (Rys. 9).



Rys. 9 Wybór współczynników kierunkowych oraz ich reprezentacja biegunowa [6]

Wykazano użyteczność nowego narzędzia pomiarowego do oceny głównych składników kierunkowych irradiancji, wykorzystywanych w skalowaniu i monitoringu instalacji PV.

4.3.6 Praktyczne zagadnienia wymiarowania elementów współpracujących w ramach mikrosieci.[7], [8], [9].

Bilansowanie mocy jednostek wytwórczych i obciążenia w węźle przyłączenia mikrosieci do sieci dystrybucyjnej jest zagadnieniem trudnym. Generatory wykorzystujące energię wiatru i słońca cechuje duża zmienność wartości produkcji energii elektrycznej, którą można przewidzieć w ograniczonym zakresie. Zachowanie odbiorników jest również zmienne i tylko w ograniczonym zakresie przewidywalne. Błędy w predykcji mocy generacji i mocy obciążeń negatywnie wpływają na charakterystyki pracy sieci dystrybucyjnej.

W [9] przedstawiono analizy rzeczywistych długookresowych (rocznych) danych pomiarowych odwzorowujących generator wiatrowy i fotowoltaiczny. Charakterystyka wiatru i nasłonecznienia opisuje rzeczywiste warunki dla kampusu uniwersyteckiego. Modelowanie obciążenia oparto o standardowe profile odbiorców udostępniane przez operatorów systemu dystrybucyjnego.

Zaproponowano wykorzystanie 30 węzłowego modelu sieci dystrybucyjnej CIGRE (CIGRE Task Force C6.04.02) do oceny pracy sieci dla różnych wariantów lokalizacji węzłów zawierających generator PV, generator wiatrowy i obciążenie. Główna uwaga w [9] została poświęcona ocenie charakterystyki pojedynczego węzła złożonego z generatora wiatrowego, fotowoltaiki i obciążenia uwzględniającego dane z kampusu BTU.

W badaniach wykorzystano liczne scenariusze obciążeń będące kombinacją profili standardowych odbiorców, publikowanych przez operatora systemu dystrybucyjnego Mitnetz Strom. Uwzględniono różne krzywe profili dla różnych pór roku. Produkcja generatora wiatrowego została obliczona na podstawie rocznych danych prędkości wiatru dla lokalizacji kampusu uniwersyteckiego. Dla rzeczywistej charakterystyki wiatru wykonano model generatora asynchronicznego 1 MW, o wysokości 80 m. Produkcja generatora fotowoltaicznego została odzwierciedlona przez pomiar w rzeczywistej instalacji PV o mocy 110 kW, znajdującej się na terenie kampusu BTU (Rys. 10).



Rys. 10 Instalacja doświadczalna PV, BTU [10]

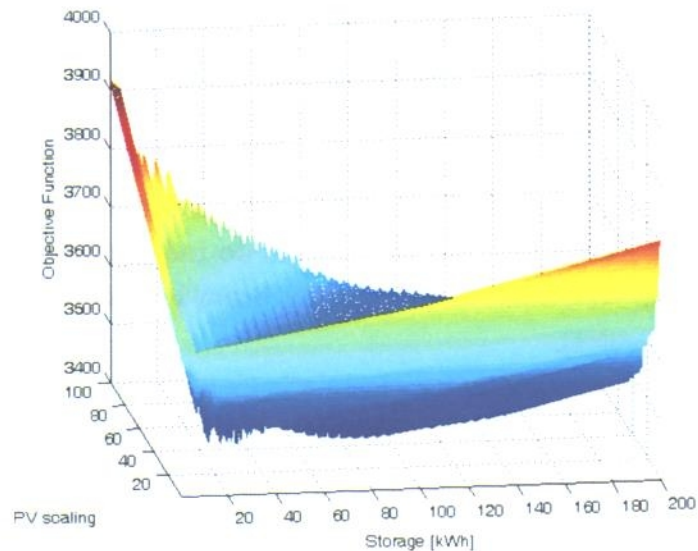
Model węzła uwzględniającego krzywą produkcji i zużycia energii dla całego roku wykonano w programie Matlab Symulink. Dokonano oceny produkcji w skali tygodnia, dla różnych pór roku. Szczególna uwaga została poświęcona mocy niezbilansowania (P_{residual}), która stanowi bezpośrednie obciążenie sieci dystrybucyjnej.

Główną zaletą opracowanego przez międzynarodowy zespół modelu była możliwość statystycznej oceny pracy węzła w skali roku. Z praktycznego punktu widzenia można ocenić współpracę generacji z wiatru i słońca w stosunku do zadanego profilu obciążenia. Wnioski można wykorzystać do skalowania komponentów, oceny użyteczności zasobnika, zachowania węzła w sieci dystrybucyjnej.

Dobór zasobnika do współpracy z instalacją PV jest ważnym zagadnieniem, a przykład praktycznego podejścia do problemu, uwzględniającego wybraną lokalizację, zaproponowano w [8]. Generacja PV cechuje się długo i krótkookresowymi zmianami związanymi z porami roku, porą dnia, zachmurzeniem, etc. Zestawiając profil produkcji z przykładowym standardowym profilem obciążenia, który oprócz zmienności dobowej wykazuje zmienność związaną z dniem tygodnia i porą roku, otrzymujemy krzywą o złożonej charakterystyce. Zapewnienie obciążenia sieci zgodnego z predefiniowaną krzywą jest w tej konfiguracji niemożliwe. Zastosowanie zasobnika pozwala na zmniejszenie fluktuacji krzywej mocy.

Wszystkie obliczenia w [8] wykonano dla rzeczywistych danych pomiarowych. Wartości produkcji energii zarejestrowano w badawczych instalacjach PV o mocach 15 kW i 110 kW zlokalizowanych na terenie kampusów dwóch różnych uniwersytetów. Ważnym aspektem badań wstępnych był odpowiedni dobór okna pomiarowego. Najwięcej wahań mocy generacji PV było widocznych dla krótkiego, jednosekundowego, okna pomiarowego. Standardowym interwałem pomiaru jest okres 15 min., pozwalający na znaczną redukcję danych i przyspieszenie obliczeń. Jako kompromis wybrano jednodominutowy okres uśredniania.

Zadanie optymalnego doboru zasobnika wymagało określania zmiennych decyzyjnych, funkcji celu i ograniczeń. Jako najważniejsze zmienne przyjęto wielkość zasobnika oraz jego moc ładowania (rozładowania). Celem było ograniczenie energii pobieranej z sieci, zredukowanie wpływu na sieć dystrybucyjną, obniżenie mocy przyłączeniowej. Przykładowy kształt funkcji celu pokazano na (Rys. 11). Moc krzywych produkcji znormalizowano, aby uzyskać ogólne wyniki analiz. Przeanalizowano różne modyfikacje funkcji celu, najciekawsze było spojrzenie ekonomiczne, uwzględniające dosłownie redukcję kosztów. Koszt zasobnika, instalacji PV i energii pobieranej z sieci miały być minimalne dla zadanej lokalizacji. W przypadku funkcji celu dwóch zmiennych możliwe było graficzne przedstawienie problemu. Do optymalizacji wykorzystano skutecznie algorytm ewolucyjny.



Rys. 11 Funkcja celu: wielkość PV, a wielkość zasobnika [8]

Podobną tematykę omawia [7]. W pracy wykorzystano nowe narzędzie, tj. algorytmy rojowe PSO (particle swarm optimization) do rozwiązania problemu optymalizacyjnego. W pierwszej kolejności zostało sformułowane zadanie optymalizacyjne. Miało ono na celu taki dobór parametrów układów generacji i zasobnika, by bezpiecznie zasilic odbiornik, przy jednoczesnym zmniejszeniu obciążenia sieci publicznej, poniżej założonego poziomu. Przebiegi obciążeń uzyskano wykorzystując zmodyfikowany i uzupełniony o zasobnik model węzła opisany w [9]. Przedstawiono również arbitralnie przyjęty zestaw ograniczeń.

Profile pracy zasobnika i generacji po optymalizacji przedstawiono dla pełnych dwunastu miesięcy. Szczegółowe wyniki optymalizacji przedstawiono w postaci tabeli i wykresu. **Uzyskane efekty optymalizacji są zadowalające. Osiągnięto istotną redukcję obciążenia sieci dystrybucyjnej, bez konieczności rekonfiguracji sieci.** Analogiczną procedurę można przeprowadzić dla wszystkich węzłów w sieci zaprezentowanej w [7].

4.3.7 Koncepcja wykorzystania długookresowych rzeczywistych danych pomiarowych w modelu mikrosieci [10]

Artykuł jest chronologicznie pierwszym przyczynkiem w cyklu omawiającym możliwość wykorzystania mikrosieci do poprawy jakości i efektywności zasilania w sieci dystrybucyjnej.

Możliwość jednoczesnego wykorzystania systemu fotowoltaicznego, pojazdów elektrycznych, generatora spalinowego i zasobnika bateryjnego jest potencjalnie okazją do kształtowania krzywej obciążenia sieci w danym punkcie przyłączeniowym. W niektórych sieciach niskiego i średniego napięcia osiągnięto maksymalny poziom spadków napięć i wartości mocy przyłączeniowych, uniemożliwiający podłączenie kolejnych odbiorców, czy generatorów fotowoltaicznych.

Połączone ze sobą generator PV, generator konwencjonalny, zasobnik i obciążenie sterowalne mogą zostać zbilansowane energetycznie w ramach mikrosieci, a następnie

podłączone do sieci dystrybucyjnej. Znacząco zmniejsza to negatywny wpływ na sieć, maleją straty przesyłowe i spadki napięć. Integracja tych elementów z siecią winna być poprzedzona przeanalizowaniem adekwatnego modelu obliczeniowego z odpowiednio wymiarowanymi komponentami zapewniającymi optymalną współpracę. W [10] przedstawiono koncepcję modelu mikrosieci, w którym zwrócono szczególną uwagę na możliwość skalowania komponentów, takich jak generator PV, samochód elektryczny, generator konwencjonalny i zasobnik.

Modele systemu PV, generatora gazowego, zasobnika i parku ładowania pojazdów elektrycznych zostały zbudowane w oparciu o dane pomiarowe rzeczywistego układu doświadczalnego. Symulacja pracy baterii PV uwzględnia roczne pomiary wartości mocy i irradiancji. Zaproponowano scenariusz sterowanego przepływu energii w mikrosieci.

Wykorzystanie sferycznych pomiarów irradiancji za pomocą 33 referencyjnych komórek jest rozwiązaniem unikatowym, umożliwia precyzyjne symulacje odmiennych konfiguracji generatora PV. Pomiary sferyczne pozwalają ocenić, na ile zmiana konfiguracji i orientacji paneli wpłynie na efektywność działania mikrosieci.

Przedstawiono wyniki trzech scenariuszy. W pierwszym przypadku (A) założono pełne naładowanie samochodów elektrycznych na koniec dnia. Dla przyjętych parametrów mikrosieci było to możliwe bez udziału generatora ciepłego. Produkcja generatora PV w letni dzień pokrywała zapotrzebowanie pojazdów elektrycznych. Ze względu na brak pracy na sieć, odnotowano namiar produkcji w generatorze PV. W drugim przypadku (B), zredukowano moc generatora PV do 20% pierwotnej wartości. Pozostałe komponenty mikrosieci nie były zmienione. Podstawowy cel, jakim było pełne naładowanie wszystkich pojazdów elektrycznych został osiągnięty. Niemniej, naładowanie zasobnika na koniec dnia było mniejsze, niż na początku. Nie jest to sytuacja stabilna. W trzecim przypadku (C) moc generatora PV i pojemność zasobnika zmniejszono do 50% wartości z przypadku A. Przykład (C) pokazuje, iż możliwe było pełne naładowanie pojazdów przy jednoczesnym obniżeniu kosztów instalacji.

Wyniki badań potwierdzają użyteczność zaproponowanego modelu do oceny pracy mikrosieci. Ważnym aspektem jest wykorzystanie rzeczywistych danych pomiarowych z istniejącej instalacji do tworzenia modelu bliskiego rzeczywistości, pozwalającego jednak na skalowanie komponentów i testowanie różnych scenariuszy.

Kolejnym chronologicznie wyzwaniem był odpowiedni dobór wielkości elementów składowych mikrosieci, w zależności od przyjętego scenariusza pracy.

4.3.8 Zastosowanie metody SVD, Prony'ego, do precyzyjnego wyznaczania parametrów sygnałów w sieciach z generatorami wiatrowymi [12], [13].

Użytkowanie farm wiatrowych wyposażonych w generatory synchroniczne wiąże się z koniecznością kompensacji mocy biernej. Moc bierna wzrasta wraz ze wzrostem mocy czynnej, co skutkuje licznymi operacjami łączeniowymi powodującymi stany przejściowe.

Celem przeprowadzonych analiz było wskazanie metod odpowiednich do wyznaczania parametrów sygnałów w stanach przejściowych. Precyzyjna informacja o sygnale zakłóceniovym jest ważnym elementem kontroli jakości zasilania (jakości energii elektrycznej), identyfikowania częstotliwości rezonansowych, poziomów przepięć i przetężeń, częstotliwości zakłóceń. Zakłócenia o charakterze przejściowym są groźne dla przekładników, izolacji, kondensatorów.

Na podstawie teoretycznych analiz właściwości alorytmów, do dalszych badań wybrano dwie metody parametryczne: metodę Prony'ego i metodę wykorzystującą rozkład na wartości własne SVD (singular value decomposition). Metoda oparta na SVD pozwalała na modelowanie sygnału jako liniowej kombinacji składników wykładniczych. Z praktycznych powodów analizowano sygnały dyskretne, o stałym okresie próbkowania. Szczegóły algorytmu przedstawia w [12], rozdz. II. Założenia algorytmu Prony'ego są podobne do metody opartej o SVD. Poszukiwane są również parametry modelu sygnału, będącego liniową kombinacją składowych wykładniczych. Szczegóły algorytmu przedstawiono w [12], roz.III.

W oparciu o parametry rzeczywistych urządzeń wykonano model asynchronicznego generatora wiatrowego wraz z baterią kondensatorów kompensujących, który został włączony do sieci poprzez transformator. Możliwe było przeprowadzenie wielu analiz, w których zmieniano parametry elementów systemu oraz prędkość wiatru. Możliwa była też gwałtowna zmiana prędkości wiatru. Wyniki analizy sygnału symulacyjnego zawarto w [12], a analizę rzeczywistego sygnału pomiarowego pochodzącego z podobnej instalacji zawarto w [13]. Wyznaczone parametry składowych sygnału przedstawiono w formie tabelarycznej.

Wyniki badań potwierdzają tezę, że zarówno metoda Prony'ego jak i metoda SVD są skutecznym narzędziem wyznaczania parametrów sygnałów przejściowych. Wyznaczano amplitudę, stałą czasową, fazę i częstotliwość składowych. Parametry składowych sygnału zależą od parametrów systemu i prędkości wiatru. Dla różnych prędkości wiatru można oczekiwać różnych częstotliwości zjawisk zakłóceniovych, co zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia rezonansu. W badaniach wykorzystywano model zawierający dwie składowe, możliwe jest rozszerzenie modelu o kolejne składowe.

Osiągnięte rezultaty zostały wyróżnione nagrodą zespołową II stopnia Rektora Politechniki Wrocławskiej (Załącznik 3.3)

4.3.9 Szybkie wyznaczanie zapadów napięcia jako kluczowy warunek niezawodności układów DVR indukcyjnych generatorów wiatrowych [11], [13]

Zapady napięcia są jednym z najczęstszych rodzajów zakłóceń, na jakie narażone są generatory wiatrowe. Zapady rozumie się, jako krótkotrwałe obniżenie wartości skutecznej napięcia zasilającego spowodowane zwarciami, operacjami łączeniowymi, przeciążeniem, uruchamianiem dużych silników, itp. Szczegółowe parametry są zdefiniowane w normach, np. PN-EN 50160. Powszechność zapadów wynika m.in. z faktu, że zwarcie jednej linii jest odczuwane przez odbiorców i wytwórców, jako zapad napięcia na stosunkowo dużym

obszarze. Zapady napięcia są przyczyną awarii i niepoprawnej pracy układów regulacji, podzespołów energoelektronicznych, jak i siłowni wiatrowych wyposażonych w generatory indukcyjne. Wystąpienie zapadu powoduje wyłączenie generatora. Implikuje to kolejne negatywne skutki w sieci dystrybucyjnej związane z wyłączeniem źródła.

Generatory wiatrowe mają obecnie poprawnie pracować przy wystąpieniu zapadu. Niedopuszczalne jest wyłączenie jednostek wytwórczych, powinny one cechować się utrzymaniem pracy określanym, jako LVRT (*low voltage right through*), co zostało także zawarte w normie IEC 61400-21 i włączone do instrukcji eksploatacji sieci dystrybucyjnych. Aby spełnić to wymaganie, starsze jednostki są wyposażone w układy podtrzymania napięcia DVR (*dynamic voltage restorer*) lub STATCOM (*static compensator*).

Kluczowym zagadnieniem poprawnego działania układu DVR jest szybka i pewna detekcja początku zapadu. Szczególnie dotyczy to zapadów krótkich, o czasie trwania do 100 ms, i intensywnych, poniżej 0,85 p.u. W czasie zapadu znacząco zwiększa się prąd generatora asynchronicznego. Odłączenie generatora, albo całej farmy, powodują nagłą utratę mocy, powodującą problemy ze stabilnością napięciową.

Klasyczne metody wykrywania zaburzeń amplitudy napięcia bazują na dyskretnej transformacji Fouriera (DFT) albo wartości skutecznej napięcia obliczanej po pełnym okresie lub po połowie okresu. Wymagają one długiego okna pomiarowego. Długość okna pomiarowego ma bezpośredni wpływ na rozdzielczość częstotliwościową. Zapewnienie dokładności obliczeń amplitudy wymaga użycia okna o długości będącej całkowitą wielokrotnością składowej podstawowej. Ze względu na powyższe ograniczenia zaproponowano skuteczniejsze metody detekcji zapadów: metodę Prony'ego [13], analizę falkową [11, 13] oraz modyfikację metody Fouriera, pozwalającą na użycie krótkiego okna pomiarowego [11]. Wykorzystanie różnych metod miało na celu weryfikację otrzymywanych wyników i ocenę skuteczności poszczególnych narzędzi.

Metoda Prony'ego pozwala na reprezentację sygnału w dziedzinie częstotliwości. Dla zadanego wektora próbek wyznaczany jest za jej pomocą deterministyczny model sygnału będący liniową kombinacją składników wykładniczych. Metoda Prony'ego jest spokrewniona z algorytmami wyznaczania widma wykorzystującymi minimalizację błędu średniokwadratowego, takimi jak AR, ARMA. Niemniej, bazuje ona na modelu deterministycznym sygnału, którego parametry są tak dobierane, by zminimalizować błąd średniokwadratowy między próbkami sygnału a modelem. Dodatkowo, wprowadzono modyfikację metody polegającą na doborze ilości składników wykładniczych w modelu na podstawie oceny stosunku amplitudy danego składnika i współczynnika tłumienia. Wybierano składniki o największej wartości tego stosunku, czyli składniki o największej energii. Na podstawie wielu badań sygnałów rzeczywistych określono optymalną ilość składników wykładniczych zawartą w przedziale 100..120, wykorzystując do obliczeń 550...600 próbek rejestrowanych z częstotliwością 6250 Hz.

Zaproponowano algorytm obliczania parametrów sygnału sinusoidalnego na podstawie zarejestrowanych kilku próbek [11]. Możliwa jest detekcja początku i końca zapadu oraz wyznaczenie amplitudy i fazy sygnału sinusoidalnego. Zakłada się występowanie tylko

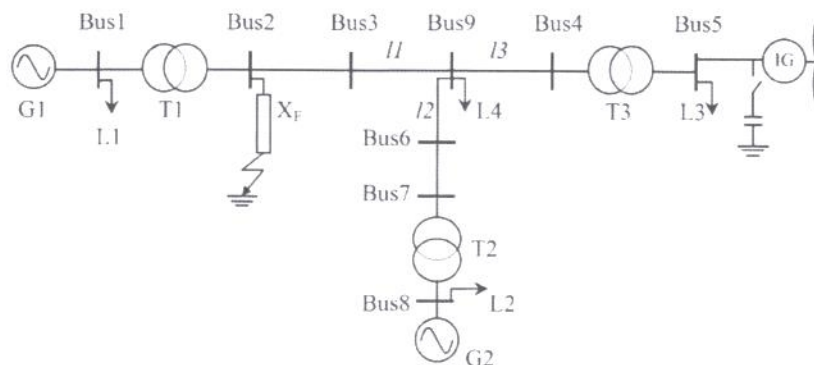
składowej podstawowej 50 Hz, pozostałe składniki traktowane są jako szum. W porównaniu do klasycznej metody Fouriera nie jest konieczne analizowanie danych z okna o długości równej co najmniej okresowi składowej podstawowej. Niemniej, metoda jest czuła na szum. W przypadku sygnału sinusoidalnego wystarczą tylko dwie próbki, w przypadku sygnałów zaszumionych należy ich liczbę zwiększyć.

Transformata falkowa, transformująca badany sygnał na zestaw aproksymacji i detali została wybrana jako narzędzie alternatywne, skutecznie realizujące zadanie wyznaczania początków zapadów. W odróżnieniu od metody Prony'ego nie zakłada się żadnego modelu deterministycznego sygnału. Falkę można rozpatrywać jako filtr pasmowy. Zaletą tak rozumianego filtru jest zmienna długość okna, długiego dla niskich częstotliwości, a krótkiego dla częstotliwości wysokich. Możliwe jest zatem uzyskanie zadowalającej rozdzielczości czas-częstotliwość. Rezultatem zastosowania dyskretnej transformaty falkowej DWT (discrete wavelet transform) jest obraz sygnału w postaci zestawu aproksymacji i detali. Aproksymacje są komponentami sygnału reprezentującymi wysoką skalę i niską częstotliwość. Detale reprezentują niską skalę i wysoką częstotliwość.

Dekompozycję sygnału (filtrowanie) można wykonywać w sposób iteracyjny: sygnał (S) jest rozbijany w każdym kroku na aproksymację A i detal D, by w następnym aproksymacja A została rozbita na kolejne dwa składniki. Otrzymuje się drzewo dekompozycji falkowej, wykorzystując w każdej iteracji filtr dolnoprzepustowy H i filtr górnoprzepustowy G. Analogicznie, przy syntezie sygnału wykorzystuje się filtry HR i GR.

Przeprowadzone analizy miały na celu wskazać falki, które najlepiej realizowały zadanie detekcji zapadów. Wskazano falkę Daubechies (db6) oraz Symlets 32 (least asymmetric Daubechies).

Badania wykrywania zapadów przeprowadzono na modelu systemu elektroenergetycznego [13] złożonego z generatora synchronicznego G1, reprezentującego elektrownię węglową, generatora G2, modelującego charakterystykę pobliskiej sieci oraz modelu farmy wiatrowej (Rys. 12).



Rys. 12 Model systemu z generacją wiatrową [13]

Wykorzystano model trzeciego rzędu, pomijając stany przejściowe stojana, aby uprościć i przyspieszyć obliczenia. Dodatkowo zawarto parametry linii, transformatorów i zwarcia będącego przyczyną zapadów. Wykrywanie zapadów przeprowadzono również dla sygnałów jednofazowych pochodzących z generatora [11], próbkowanych z częstotliwością 10

kHz. Wykorzystanie generatora pozwalało na systematyczną analizę wpływu amplitudy, fazy zapadu, szumu na otrzymane wyniki detekcji.

Parametry modelu sieci, parametry zwarć, zostały przedstawione w formie tabelarycznej. Przedstawiono przebiegi napięć i prądów oraz ich analiz falkowych w czasie zapadów.

Wykorzystanie wartości średniej detali z trzech faz pozwalało na bardziej precyzyjne ustalenie początku zapadu niż analiza każdej fazy osobno. Generalnie, metoda falkowa okazała się skutecznym narzędziem w wykrywaniu początku zapadu.

Osiągnięte rezultaty zostały wyróżnione nagrodą zespołową III stopnia Rektora Politechniki Wrocławskiej (Załącznik 3.2)

4.3.10 Wyznaczanie parametrów składowych przejściowych prądu w sieciach z generatorami wiatrowymi [12].

Dokładne wyznaczenie parametrów składowych przejściowych prądu jest warunkiem wstępnym rzetelnej oceny jakości energii elektrycznej. Szczególnie w sieciach z generatorami wiatrowymi obserwuje się dużą ilość zjawisk zakłóceńowych, których analiza jest istotna dla oceny wpływu elektrowni wiatrowej na sieć dystrybucyjną. Wyznaczenie parametrów sygnałów zakłóceńowych jest też warunkiem dalszej analizy, np. łączenia wskaźników w grupy.

Elektrownie wiatrowe mogą niekorzystnie wpływać na wiele aspektów funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Są przyczyną migotania napięcia, wahań napięcia, niesymetrii, problemów z regulacją mocy biernej, obecności harmonicznych w prądzie i napięciu, czy stanów przejściowych wynikających z operacji łączeniowych. Szczególnie pierwsze wersje siłowni wiatrowych, ze względu na „*re-powering*” popularne w Polsce przez dłuższy okres niż w starych krajach Wspólnoty, były wyposażone w generator indukcyjny i baterię kondensatorów. Rozwiązanie to było proste, tanie i mało awaryjne, stąd popularne. W zależności od siły wiatru zmieniała się moc czynna i moc bierna indukcyjna. Gwałtownemu zwiększeniu siły wiatru odpowiadał gwałtowny wzrost mocy czynnej i biernej. Kolejne stopnie baterii kondensatorów były odpowiednio załączane, bądź odłączane w zależności od zmienności siły wiatru, by zagwarantować dopuszczalne wartości mocy biernej.

Częste operacje łączeniowe były przyczyną powstawania składowej przejściowej prądu, która może być niekorzystna dla działania zabezpieczeń, izolacji oraz innych urządzeń pracujących w sieci. Obniżona zostaje także jakość energii elektrycznej. W szczególnie niekorzystnych warunkach wartość napięcia może wzrosnąć do 2 pu, a prądu do około 10 razy wartości nominalnej. **Celem badań było znalezienie precyzyjnej metody oceny parametrów prądu w stanach przejściowych w elektrowniach wiatrowych z generatorem indukcyjnym i baterią kondensatorów kompensujących.**

W [12] przedstawiono model generatora wiatrowego złożonego z turbiny wiatrowej, maszyny indukcyjnej, baterii kondensatorów, transformatora, linii napowietrznej i systemu reprezentowanego mocą zwarciovą. Model został zbudowany w środowisku SimPowerSystem pakietu Matlab, a jego parametry korespondowały z rzeczywistymi instalacjami. Liczne symulacje pozwalały na zmianę parametrów poszczególnych elementów modelowanej sieci i generatora, a także na uwzględnienie szerokiego zakresu zmian prędkości wiatru. Możliwe było wyznaczenie wartości parametrów składowej przejściowej w zależności od parametrów sieci, np. mocy zwarcioviej transformatora, siły i zmienności wiatru. Różne prędkości wiatru skutkują różnymi poziomami mocy biernej, czyli różnymi wartościami pojemności potrzebnej do kompensacji. Symulacje w różnych stanach pracy układu pomagały zidentyfikować możliwe zjawiska rezonansowe i wartości przetężeń. W artykule przedstawiono przykładowe wyniki analizy dwóch przypadków z wykorzystaniem metody opartej o SVD i metody Prony'ego. Obie metody należą do grupy metod parametrycznych, które wymagają wcześniejszej znajomości modelu sygnału i pomagają wyznaczyć jego parametry.

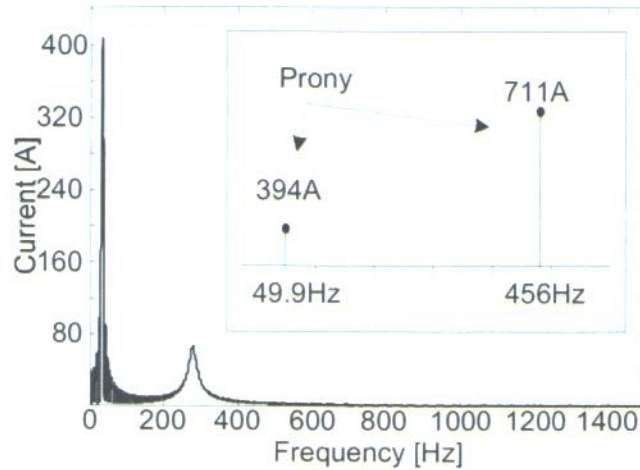
Pierwsza z zaproponowanych metod jest oparta o algorytm SVD (Singular Value Decomposition), umożliwiającą modelowanie sygnału próbkowanego ze stałym okresem próbkowania jako liniowej kombinacji przebiegów wykładniczych. Modelem sygnału jest skończona suma przebiegów wykładniczych o znanej amplitudzie i zespolonej częstotliwości. Praktyczna realizacja metody sprowadza się do zaprojektowania filtru cyfrowego o skończonej odpowiedzi impulsowej FIR. Transmitancję filtru dobiera się tak, by tłumił on wszystkie składniki częstotliwościowe sygnału wejściowego. Tak dobrana transmitancja pozwala na określenie parametrów badanego sygnału.

Metoda Prony'ego rozkłada badany sygnał na liniową kombinację funkcji wykładniczych. Nie jest to ściśle metoda estymacji widma, jakkolwiek jest spokrewniona z metodą liniowej predykcji minimum średniokwadratowego wykorzystywanej w metodach AR i ARMA. Metoda Prony'ego wyznacza parametry wykładniczego, deterministycznego modelu, a metody AR i ARMA dobierają losowy model do statystyk drugiego rzędu badanego sygnału.

Pierwszy z przedstawionych przykładów analizy dotyczy operacji załączania baterii kondensatorów przy prędkości wiatru 8m/s. W sygnale przejściowym wystąpiły dwie składowe częstotliwościowe, których parametry zostały wyznaczone. Metoda Fourierska co prawda wskazała wartość częstotliwości składowej przejściowej, ale nie dostarczyła informacji o amplitudzie, czy stałej czasowej.

Drugi przykład przedstawia operacje łączeniową przy prędkości 12 m/s. Znacząco zmienił się kształt przebiegu przejściowego, spadła częstotliwość składowej przejściowej.

Generalnie, metoda Prony'ego w sposób najdokładniejszy wyznaczała parametry składowej przejściowej, takie jak: amplituda, częstotliwość, stała czasowa i faza początkowa. Przykładowe wyniki pokazuje Rys. 13.



Rys. 13 Analiza komponentów spektralnych przy wietrze 12m/s [12]

Obie proponowane metody dają znacząco lepsze wyniki od technik Fourierowskich, powszechnie implementowanych w analizatorach jakości energii, które są predestynowane do zastosowań w analizie sygnałów okresowych.

Rozwiązanie przedstawione w artykule ma charakter uniwersalny, można je stosować do analizy stanów przejściowych różnej proveniencji, występujących zarówno w prądzie, jak i w napięciu. Znaczącym osiągnięciem przeprowadzonych badań był model generatora wiatrowego, umożliwiający analizę sygnałów łączeniowych dla różnych wartości parametrów elementów modelu, dający możliwość weryfikacji zagrożeń przetężeniami, rezonansem, etc.

4.3.11 Rozpoznawanie wzorców zakłóceń jakości energii z uwzględnieniem podatności odbiorników na zakłócenia [14].

Źródła odnawialne, ze względu na dużą zmienność generacji energii uwarunkowaną czynnikami atmosferycznymi, znacząco wpływają na jakość energii elektrycznej w sieci, do której są włączone. Gwałtowne zmiany mocy, pociągają za sobą skokowe zmiany prądu, spadki napięcia, a w sieciach wyspowych wahania częstotliwości, etc. Częstym problemem są harmoniczne, także wysokich częstotliwości, zakłócające pracę innych urządzeń, czy komunikację liczników w technologii PLC.

Rozpowszechniony w ostatnich latach monitoring parametrów jakości energii (zasilania) oparty jest na wykorzystaniu analizatorów stacjonarnych i mobilnych dokonujących długookresowych pomiarów zgodnie z przyjętymi normami, np. PN-EN 50160. W rezultacie gromadzone są duże ilości danych opisujących wartości poszczególnych wskaźników w długim okresie czasu. **Nie jest powszechnie praktykowane łączenie poszczególnych zakłóceń we wzorce (grupy) i ich bezpośrednie odniesienie do wrażliwości odbiorników na poszczególne zakłócenia.**

W [14] przedstawiono koncepcję grupowania wskaźników jakości energii elektrycznej w relacji do sytuacji awaryjnych, czy zakłóceń odbiorników. Dzięki temu uzyskuje się narzędzie diagnostyczne uwzględniające działanie kilku zakłóceń jednocześnie oraz charakterystyczną wrażliwość odbiornika. Można lepiej określić zagrożenie dla poprawnej pracy urządzenia uwzględniając przejrzystą klasyfikację całej grupy zakłóceń, która jest dużo bardziej czytelna dla operatora, niż zestaw wielu, niepowiązanych ze sobą wskaźników jakości energii.

Do praktycznej implementacji koncepcji łączenia grupy wskaźników jakości energii z wzorcem wrażliwości odbiornika wybrano systemy sztucznej inteligencji posiadające zdolność uczenia się: sieci neuronowe o radialnych funkcjach bazowych RBFNN oraz system hybrydowy neuro-fuzzy. Wyboru dokonano na podstawie analizy własności obu narzędzi.

Sieci RBFNN składają się z warstwy ukrytej o radialnych funkcjach bazowych oraz liniowej warstwy wyjściowej. Neurony warstwy ukrytej cechuje centroid c_i i współczynnik wygładzający b_i . Ich zadaniem jest obliczenie odległości pomiędzy wektorem wejściowym p a centroidem c_i . Wyjściem warstwy ukrytej jest nieliniowa, symetryczna funkcja tej odległości, może to być funkcja Gaussa. Wartość wyjściowa jest tym większa, im wektor wejściowy jest bliżej centroidu. W warstwie wyjściowej obliczana jest suma ważona odpowiedzi neuronów warstwy ukrytej. Wykorzystanie radialnych funkcji bazowych pozwala na osiągnięcie lepszej klasyfikowalności wzorców w wielowymiarowej przestrzeni wejściowej w porównaniu do sieci klasycznych, wykorzystujących propagację wsteczną błędów i liniowy podział przestrzeni danych wejściowych. Wielkość wektora wejściowego uzależniona jest od złożoności problemu, tj. rozpatrywanych jednocześnie zakłóceń. Na wyjściu otrzymywano wartość opisującą stopień zagrożenia.

W układach logiki rozmytej wykorzystuje się bazę wiedzy i mechanizm wnioskowania rozmytego. Strukturę systemu opartego na logice rozmytej można uprościć do czterech bloków funkcjonalnych: fuzyfikacji (rozmycia), wnioskowania rozmytego, bazy eksperckiej i defuzyfikacji.

Podstawowym zagadnieniem w projektowaniu układów logiki rozmytej jest stworzenie zestawu reguł bazy eksperckiej w formie zdań „jeżeli x i y to z ”. Można tego dokonać w wykorzystując zdobytą wcześniej wiedzę i doświadczenie lub utworzyć reguły w sposób automatyczny. Podejście automatyczne wykorzystywane jest w systemie ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System). Do tworzenia reguł użyta została sieć neuronowa BP NN (back propagation neural network) wykorzystująca w procesie uczenia wejściowe dane pomiarowe wraz z przypisaną wartością wyjściową. System ANFIS wykorzystuje metodę wnioskowania rozmytego Sugeno, która dla m wejść i n reguł może być opisana iloczynem funkcji przynależności dla poszczególnych wektorów wejściowych.

Liczne badania i symulacje przeprowadzone z wykorzystaniem obu narzędzi RBFNN i ANFISS zostały w [14] zawężone do prezentacji dwóch przypadków, tj. dwóch wzorców wrażliwości odbiornika: wrażliwości na wahania napięcia i wrażliwości na wyższe harmoniczne z uwzględnieniem stanów przejściowych. **Celem przeprowadzonych symulacji było**

zweryfikowanie skuteczności obu zaprezentowanych narzędzi w odtworzeniu wzorca czułości urządzenia na grupę działających jednocześnie zakłóceń.

W pierwszym przypadku wybrano 5 wskaźników jakościowych, grupując je w zależności od wartości jako „dopuszczalne”, „średnie”, „wysokie” i przypisując wybranym grupom uczącym wartości 1 „awaria” i 0 „normalna praca”. Otrzymane wyniki, przedstawione w postaci histogramu sugerują większą skuteczność narzędzia ANFIS w porównaniu do RBFNN. Dodatkowo, wykorzystując ANFIS można poprawnie zinterpretować wartości pośrednie, sugerujące duże prawdopodobieństwo awarii.

W drugim przypadku przeprowadzono podobne testy, grupując wskaźniki związane z obecnością wyższych harmonicznych, które ze względu na zjawisko rezonansu stanowią zagrożenie dla kondensatorów kompensujących, czy przekładników pomiarowych. Wybrano 4 wskaźniki jakościowe, przyporządkowując ich wartości do trzech grup „dopuszczalne”, „średnie”, „wysokie” oraz odnosząc do zdefiniowanej arbitralnie czułości odbiornika. Przeanalizowano 3 000 przypadków. Wyniki zaprezentowano w formie histogramu. Satysfakcjonujące wyniki osiągnięto w przypadku obu narzędzi, niemniej rezultaty działania systemu „neuro-fuzzy” są znacząco lepsze niż systemu RBFNN.

Osiągnięcie obiecujących wyników działania narzędzi prezentowanych w artykule stanowi podstawę do praktycznej implementacji. Możliwe jest wykorzystanie długookresowej rejestracji wskaźników jakości energii prowadzonej przez spółki dystrybucyjne do konkretnych sytuacji awaryjnych. Dzięki nowemu narzędziu diagnostycznemu można identyfikować zagrożenia na podstawie automatycznej analizy grup wskaźników jakości energii.

Prezentowane wyniki badań zostały wyróżnione indywidualną naukową nagrodą II stopnia Rektora Politechniki Wrocławskiej.

4.3.12 Podsumowanie

Podsumowując wyniki prowadzonych badań należy podkreślić aspekt praktyczny, związany z analizą danych rzeczywistych obiektów, oraz możliwością bezpośredniego wykorzystania wyników w modelowaniu i analizie pracy mikrosieci zasilanych energią odnawialną. W szczególności można wyróżnić:

- Stworzenie koncepcji skalowalnego modelu mikrosieci,
- Propozycja scenariuszy pracy mikrosieci w relacji do optymalizacji ich parametrów
- Budowa bloków funkcjonalnych mikrosieci w oparciu o rzeczywiste dane pomiarowe
- Długookresowa analiza pracy stacji ładowania pojazdów elektrycznych
- Analiza jednoczesnej pracy źródeł odnawialnych i zasobnika w sieci
- Zaawansowane algorytmy detekcji i analizy zjawisk zakłóceń w sieciach ze źródłami odnawialnymi
- Koncepcja łączenia wskaźników jakości zasilania i wzorców czułości odbiorników z wykorzystaniem inteligentnych metod uczących się

5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze, nie włączone do cyklu, można podzielić na kilka grup tematycznych, które w szerszym sensie uzupełniają i rozszerzają zagadnienia przedstawione jako osiągnięcie habilitacyjne. Wyszczególniono wybrane artykuły reprezentujące dany blok tematyczny, których numeracja odpowiada załącznikowi z pełną listą artykułów.

Chronologicznie najstarsze są zagadnienia związane z klasyfikacją i oceną zakłóceń jakości zasilania (jakości energii elektrycznej) z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji obliczeniowej. Badania stanowiły rozszerzenie tematyki pracy doktorskiej. Dotyczyły zastosowania narzędzi PNN, SFM, RBF do automatycznej klasyfikacji i oceny zjawisk zakłóceń w sieciach energetycznych. Wykorzystano sygnały symulowane, których parametry można było precyzyjnie zmieniać w szerokim zakresie. Część z nich służyła jako baza ucząca, pozostałe jako wektory testujące. Zadawalające wyniki badań można w bezpośredni sposób wykorzystać do oceny zakłóceń w sieciach z generatorami odnawialnymi.[63], [62], [60], [58].

Badając zjawiska zakłóceń, dużo miejsca poświęcono rejestracji i analizie rzeczywistych sygnałów w sieciach energetycznych. Wybrane parametry jakości energii były badane i interpretowane z uwzględnieniem źródeł zakłóceń. Uwagę poświęcono zjawiskom zakłóceń w nieliniowych obwodach oświetleniowych [61], [51]. Analizowano funkcjonalność systemów monitoringu jakości energii [18]. Na podstawie danych pomiarowych badano także wpływ podłączonych przekształtnikowo odnawialnych źródeł energii na jakość energii w sieciach dystrybucyjnych [3].

Fizyczny model generatora wiatrowego DFIG był źródłem sygnałów zakłóconych składowymi o wyższych częstotliwościach, które analizowano metodami parametrycznymi [36], [39]. Do analizy sygnałów zniekształconych wykorzystywano też inne metody analizy sygnałów, np. MUSIC, SVD, i in. [5], [12], [39].

Filtracja wyższych harmonicznych prądu w obwodach elektrycznych jest skutecznym sposobem poprawy jakości zasilania. Przedstawiono praktyczne podejście do projektowania układów filtracji, przedstawiając precyzyjnie założenia teoretyczne i podano praktyczne przykłady projektowe [24] [51], [55], [56], [59].

Kompensacja mocy biernej przebiegów okresowych niesinusoidalnych jest tematem wciąż aktualnym, ze względu na rosnący udział odbiorników nieliniowych w systemie elektroenergetycznym. Zaproponowano interpretacje mocy biernej w dziedzinie czasu, analizę mocową rzeczywistych sygnałów niesinusoidalnych, założenia koncepcji kompensacji [19], [20], [21].

Praca generatora fotowoltaicznego cechuje się dużą zmiennością wynikającą bezpośrednio z warunków środowiskowych. Przeprowadzono liczne analizy rzeczywistych danych pomiarowych różnych instalacji, aby lepiej scharakteryzować i modelować pracę generatora PV w sieci [2], [13], [17]. **Zaproponowano nowe podejście do opisu**

charakterystyki zmienności produkcji generatora PV z wykorzystaniem transformaty falkowej [14], [17].

Literatura:

- [int1] R.H. Lasseter, *MicroGrids*, Proceedings of the 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY, USA, 27–31 January 2002, pp. 305–308.
- [int2] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, C. Marnay, *Microgrids*, IEEE Power Energy Mag. 2007, 5, 78–94
- [int3] J. Schiffer, D. Zonetti, R. Ortega, A. Stankovic, T. Sezi, J. Raisch, *A survey on modeling of microgrids—From fundamental physics to phasors and voltage sources*. arXiv 2016, arXiv:1505.00136. Available online: <https://arxiv.org/abs/1505.00136> (accessed on 1 December 2016)
- [int4] M. Aziz, T. Oda, T. Mitani, Y. Watanabe, T. Kashiwagi, *Utilization of electric vehicles and their used batteries for peak-load shifting*, Energies 2015, 8, pp. 3720–3738
- [int5] J.A.P. Lopes, F.J. Soares, P.M.R. Almeida, *Integration of electric vehicles in the electric power system*, Proc. IEEE 2011, 99, pp. 168–183
- [int6] A. Hiroshi; Y. Toshiaki, *Electric power leveling of the microgrid system with PV power generation estimation and power demand estimation*, 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp. 353 - 357
- [int7] H. Jinsoo; L. Ilwoo; K. Sang-Ha, *User-friendly monitoring system for residential PV system based on low-cost power line communication*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2015, Vol.61, Issue 2, pp. 175 - 180
- [int8] T. Thiringer, *Power quality measurements performed on a low-voltage grid equipped with two wind turbines*, IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 11, no. 3, Sept. 1996, pp. 601-606
- [int9] N. M. Salgado-Herrera; A. Medina-Rios; R. Tapia-Sánchez; O. Anaya-Lara; J. R. Rodríguez-Rodríguez, *Sags and swells compensation and power factor correction using a dynamic voltage restorer in distribution systems*, 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), pp.1-6
- [int10] S. X. Duarte; N. Kagan, *A Power-Quality Index to Assess the Impact of Voltage Harmonic Distortions and Unbalance to Three-Phase Induction Motors*, IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, Volume: 25, Issue: 3, pp. 1846 - 1854

Przemysław Janik

