

## Streszczenie

Rozprawa doktorska skupia się na badaniach z zakresu elektrotechniki i energetyki, koncentrując się na fotowoltaicznych źródłach energii i ich wpływie na jakość dostawy energii elektrycznej. Opisano w niej badania wykonane na siedmiu instalacjach fotowoltaicznych, o łącznej mocy szczytowej 801,19 kWp, poddając ocenie wpływ tych systemów na sieć elektroenergetyczną. Podjęte działania obejmowały analizę danych pomiarowych, badania porównawcze modułów fotowoltaicznych, testy laboratoryjne falowników fotowoltaicznych oraz badania ankietowe na temat fotowoltaicznych źródeł energii.

Praca ma charakter badawczy z możliwością aplikacji dla analizowanych źródeł PV. Zaproponowano w niej wieloaspektową metodę oceny interakcji instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną składającą się z sześciu etapów. Pierwszy etap metody polega na dogłębnym zrozumieniu charakterystyki działania instalacji fotowoltaicznych, uwzględniając m.in. moc szczytową, efektywność, a także wpływ na jakość dostarczanej energii. Kolejnym elementem są badania laboratoryjne, które umożliwiają analizę wpływu różnych parametrów na wydajność instalacji. Następnie zaleca się przeprowadzenie analizy praktycznej współpracy instalacji z siecią elektroenergetyczną, oceniając jej działanie w rzeczywistych warunkach. Czwartym etapem stanowią symulacyjne badania falowników, które są kluczowym elementem każdej instalacji fotowoltaicznej, a ich działanie bezpośrednio wpływa na efektywność instalacji. Jako piąty krok metody zaprojektowano badania ankietowe, dzięki którym zebrano informacje na temat społecznej percepcji i oczekiwań związanych z fotowoltaicznymi źródłami energii. Na zakończenie, należy zintegrować wyniki z poprzednich etapów. Wszystkie te elementy tworzą holistyczną metodę oceny współpracy instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną, uwzględniającą aspekty techniczne, społeczne i ekonomiczne związane z funkcjonowaniem i eksploatacją instalacji.

W ramach dysertacji, opracowano i zastosowano metodykę badania falowników jedno i trójfazowych, dedykowanych do instalacji fotowoltaicznych, pod kątem generacji zaburzeń elektromagnetycznych. Badania te, przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych, zaowocowały opracowaniem metodyki testowania tych urządzeń. Wykonano również badania porównawcze modułów fotowoltaicznych, pokazując wpływ różnic na eksploatację instalacji fotowoltaicznej oraz jakość dostawy energii elektrycznej. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących generacji energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych. Wykazano, że produkcja ta jest bardzo zmienna, a różnice między miesiącami rok do roku mogą sięgać nawet 130%.

W celu zrozumienia działania pojedynczych modułów PV wykonano ich analizę porównawczą, pokazując wpływ różnic technologicznych na eksploatację instalacji fotowoltaicznej oraz jakość dostawy energii elektrycznej. Badania modułów PV oraz falowników mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia wpływu wyboru elementów składowych systemu fotowoltaicznego na jego efektywność.

Kolejną częścią pracy były badania ankietowe na temat OZE w tym fotowoltaicznych źródeł energii. Dokonano pomiaru opinii wśród trzech grup respondentów, w tym twórców klastrów energii, operatorów sieci dystrybucyjnych i instytucji zainteresowanych rozwojem energetyki rozproszonej w Polsce. Wyniki tych badań dostarczyły cennych informacji na temat spojrzenia różnych grup interesariuszy na temat wpływu fotowoltaicznych źródeł energii na jakość dostawy energii elektrycznej.

Podsumowując, praca doktorska dostarcza istotnych informacji na temat wpływu fotowoltaicznych źródeł energii na jakość dostawy energii elektrycznej, a wyniki badań mogą być cenne dla inwestorów, operatorów systemów dystrybucyjnych, a także dla naukowców i inżynierów pracujących nad rozwojem i optymalizacją systemów fotowoltaicznych.

26.06.2023

Krzysztof Pech

## Abstract

The doctoral dissertation focuses on research in the field of electrical engineering and energy, concentrating on photovoltaic sources of energy and their impact on the quality of electrical energy supply. The thesis describes studies on seven photovoltaic installations, with a total peak power of 801.19 kWp, assessing the influence of these systems on the power grid. The undertaken actions included analysis of measurement data, comparative studies of photovoltaic modules, laboratory tests of photovoltaic inverters, and survey studies on photovoltaic energy sources.

The work is research-oriented with potential for application to the analyzed PV sources. A multi-faceted method of assessing the interaction of photovoltaic installations with the power grid, consisting of six stages, is proposed. The first stage of the method involves a deep understanding of the characteristics of photovoltaic installations, considering factors such as peak power, efficiency, and impact on the quality of supplied energy. The next element is laboratory research, which enables the analysis of the influence of various parameters on the performance of the installation. Subsequently, it is recommended to conduct a practical analysis of the installation's cooperation with the power grid, assessing its operation under real conditions. The fourth stage consists of simulation studies of inverters, which are a key element of any photovoltaic installation, and their operation directly affects the efficiency of the installation. The fifth step of the method involved designing survey studies, through which information was gathered on the social perception and expectations related to photovoltaic energy sources. In conclusion, the results from the previous stages should be integrated. All these elements create a holistic method of evaluating the cooperation of photovoltaic installations with the power grid, considering technical, social, and economic aspects related to the operation and exploitation of installations.

As part of the dissertation, a methodology for studying single and three-phase inverters dedicated to photovoltaic installations in terms of electromagnetic disturbance generation was developed and applied. These studies, conducted under laboratory conditions, resulted in the development of a methodology for testing these devices. Comparative studies of photovoltaic modules were also carried out, showing the impact of differences on the operation of the photovoltaic installation and the quality of electrical energy supply. The dissertation presents the results of studies on the generation of electricity from photovoltaic installations. It has been shown that this production is very variable, and differences between months from year to year can reach up to 130%.

To understand the operation of individual PV modules, a comparative analysis was performed, showing the impact of technological differences on the exploitation of the photovoltaic installation and the quality of electrical energy supply. Studies of PV modules and inverters can contribute to a better understanding of the impact of the choice of components of the photovoltaic system on its efficiency.

Another part of the work was survey research on renewable energy sources, including photovoltaic energy sources. Opinions were measured among three groups of respondents, including energy cluster creators, distribution network operators, and institutions interested in the development of distributed energy in Poland. The results of these studies provided valuable information about the perspectives of different stakeholder groups on the impact of photovoltaic energy sources on the quality of electrical energy supply.

In conclusion, the doctoral thesis provides important information about the impact of photovoltaic energy sources on the quality of electrical energy supply, and the research findings may be valuable for investors, distribution system operators, as well as for scientists and engineers working on the development and optimization of photovoltaic systems.

26.06.2023

Krzysztof Pich