

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej

KATEDRA ENERGOGOELEKTRONIKI I AUTOMATYKI SYSTEMÓW
PRZETWARZANIA ENERGII



AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mateusz Dutka

**Prognozowanie generacji energii
elektrycznej z odnawialnych źródeł
energii przy wykorzystaniu metod
sztucznej inteligencji**

PROMOTOR:

prof. dr hab. inż. Zbigniew HANZELKA

PROMOTOR POMOCNICZY:

dr inż. Bogusław ŚWIĄTEK

Kraków 2020

STRESZCZENIE

Pracę poświęcono prognozowaniu generacji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji. Dokonano przeglądu metod prognostycznych, ze szczególnym uwzględnieniem tych, które mogłyby być alternatywą do zaproponowanych sieci neuronowych. Największą uwagę zwrócono na elektrownie wiatrowe oraz fotowoltaiczne charakteryzujące się znaczną zmiennością produkcji zależną od warunków meteorologicznych.

Ze względu na specyfikę pracy, zróżnicowanie pod względem technicznym oraz lokalizacyjnym do analizy wybrano cztery elektrownie wiatrowe oraz dwie fotowoltaiczne. Dane dla elektrowni fotowoltaicznej PV2 pozyskane zostały przez autora pracy podczas wizyty w Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRES) na obszarze Attyki w Grecji w ramach projektu ERIGrid - European Research Infrastructure supporting Smart Grid. Wykorzystując zgromadzone dane zbadano wpływ czynników pogodowych na ilość produkowanej energii. Poza prędkością wiatru i natężeniem promieniowania słonecznego analizie poddano również dodatkowe czynniki wpływu takie jak: temperatura, ciśnienie oraz kierunek wiatru. Na tej podstawie wytypowano najkorzystniejsze struktury danych wejściowych do modeli prognostycznych.

Zaproponowano i przetestowano zróżnicowane struktury sieci neuronowych, w celu wyboru najkorzystniejszego wariantu niezależnie dla każdego obiektu. Zaproponowane modele prognostyczne charakteryzują się prostotą budowy, krótkim procesem uczenia i adaptacji sieci dla elektrowni różniących się między sobą pod względem mocy zainstalowanej, lokalizacji oraz technicznym. Wybrane modele testowano na zarejestrowanych danych pochodzących z badanych obiektów. W pracy użyto długookresowe dane pomiarowe dla okresu ponad 1 roku, dzięki czemu możliwe było uwzględnienie zmienności warunków pogodowych charakterystycznych dla poszczególnych pór roku. Dzięki automatyzacji procesu modele wielokrotnie uczono wyznaczając wagi połączeń pozwalające na minimalizację średniego absolutnego błędu prognozy. Zaproponowane w pracy modele porównano z alternatywnymi rozwijanymi przez dwie zewnętrzne jednostki specjalizujące się w prognozowaniu.

Dane pochodzące z numerycznych prognoz pogody stanowiące podstawowe źródło informacji dla modeli prognostycznych generacji energii elektrycznej z OZE zazwyczaj obciążone są błędem oraz niedokładnością wynikającą z ograniczonej rozdzielczości siatki prognostycznej. Zaproponowano metodę zwiększenia tej dokładności tak, aby odpowiada-

ły rzeczywistym warunkom występującym w najbliższym otoczeniu elektrowni. W tym celu zgromadzono oraz zweryfikowano prognozy pogody NWP pochodzących z dwóch różnych portali i sześciu punktów zlokalizowanych w pewnej odległości od elektrowni. W rpracy zbadano działanie zaproponowanej metody wielopunktowej korekty numerycznych prognoz pogody pozwalającej zwiększyć dokładność predykcji mocy elektrowni.

ABSTRACT

The work describes the possibility of forecasting electricity generation from renewable sources using artificial intelligence methods. The paper reviews forecasting methods that could be an alternative to proposed neural networks. Particular attention was paid to wind farms and photovoltaic plants, which are characterized by significant production variability depending on meteorological conditions. Due to the specificity of the work, technical and location differentiation four wind farms and two photovoltaic farms were selected for the analysis. Data for the PV2 photovoltaic power plant was obtained by the author of the study during a visit to the Center for Renewable Energy Sources and Saving (CRESES) in the Attica area in Greece as part of the ERIGrid project - European Research Infrastructure supporting Smart Grid. Using the collected data, the influence of weather factors on the amount of energy produced was investigated. Apart from wind speed and solar radiation intensity, additional influencing factors such as temperature, pressure and wind direction were also analyzed. As a result of the research, the most favorable input data structures for forecasting models were selected.

Various structures of neural networks were proposed and tested in order to select the most favorable variant independently for each object. The proposed forecasting models are characterized by simple construction, a short learning process and network adaptation for power plants that differ in terms of installed capacity, location and technical. Selected models were tested on registered data from the tested objects. The study uses long-term measurement data for a period of more than 1 year, thanks to which it was possible to take into account the variability of weather conditions characteristic for individual seasons. Thanks to the automation of the process, the models have been repeatedly taught by determining the connection weights allowing to minimize the average absolute forecast error. The models proposed in the study were compared with alternative ones developed by two external research institute specializing in forecasting.

Data from numerical weather forecasts constituting the basic source of information for forecasting models of electricity generation from renewable energy sources are usually affected by an error and inaccuracy resulting from the limited resolution of the forecast grid. A method of increasing this accuracy has been proposed to match the actual conditions in the immediate vicinity of the power plant. Numerical weather forecasts from six points and two different portals were collected and verified. The work investigates the operation of the proposed method of multi-point correction of numerical weather

forecasts, allowing to increase the accuracy of power plant power prediction.

1 Cele pracy

Celem pracy jest opracowanie i zbadanie metod prognostycznych generacji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji. W szczególności zaproponowane modele dedykowane są do predykcji krótkoterminowej dla elektrowni wiatrowych oraz fotowoltaicznych.

2 Teza pracy

Możliwe jest zbudowanie systemu pozwalającego na skuteczne prognozowanie generacji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji z perspektywą czasu 24h, dla średniego błędu prognozy nie przekraczającego 20% mocy zainstalowanej oraz prostej i uniwersalnej strukturze umożliwiającej szybkie prognozowanie dla dużej liczby elektrowni, wspierającego techniczne zarządzanie energią na potrzeby zapewnienia ciągłości dostaw energii elektrycznej.

3 Podsumowanie i wnioski

W związku ciągłym wzrostem ilości energii pochodzącej z OZE metody prognostyczne stały się niezbędnym narzędziem wspierającym np. operatorów w zakresie sprawnego zarządzania siecią, a firmy komercyjne w obrębie lokalnego bilansowania i handlu energią. Aktualnie widoczny jest szybki rozwój tematyki związanej z prognozowaniem wielkości produkcji energii zwłaszcza elektrowniach wiatrowych i fotowoltaicznych. Prognozowanie ze źródeł odnawialnych jest zagadnieniem bardzo złożonym. Realizowane są nowe projekty badawczo-rozwojowe jak np. PROGO mające na celu poprawę stabilności pracy Krajowego Systemu Energetycznego poprzez generowanie obszarowych prognoz produkcji OZE.

Wykonana analiza wpływu czynników pogodowych na moc elektrowni wykorzystującej OZE pozwoliła wytypować strukturę danych wejściowych oraz zwiększyć dokładność prognoz.

Zaproponowane w pracy modele sieci neuronowych umożliwiają wykonanie prognoz porównywalnych lub niejednokrotnie lepszych od modeli rozwijanych przez inne ośrodki, co potwierdza ich skuteczność.

Zaproponowane metody korekty numerycznych prognoz pogody na potrzeby prognozowania produkcji energii OZE pozwoliły na poprawę dokładności predykcji. W pracy przedstawiono ich działanie na rzeczywistym obiekcie.

Zagadnienia opisane w pracy zaowocowały powstaniem aplikacji, której autor jest współtwórcą. W wyniku działań została przygotowana aplikacja prognostyczna dedykowana dla firm działających na rynku energii. Wykonane oprogramowanie dedykowane jest do prognozowania - na podstawie zdefiniowanego zbioru danych elektrycznych i pogodowych z przeszłości (dla rozważanej lokalizacji odnawialnego źródła) oraz prognozy meteorologicznej - generacji energii w poszczególnych godzinach dla horyzontu 24 godziny.

Narzędzie przeznaczone jest do prognozowania energii wytworzonej w źródłach wiatrowych i słonecznych. System wykorzystujący metody sztucznej inteligencji bazuje na danych zgromadzonych w bazie danych MS SQL niezależnie od systemu SCADA realizującego archiwizację danych.

Program dedykowany jest do prognozowania mocy elektrowni na podstawie zdefiniowanego zbioru danych elektrycznych i pogodowych z przeszłości (dla rozważanej lokalizacji odnawialnego źródła) oraz prognozy meteorologicznej - generacji energii w poszczególnych godzinach dla 24 h. System prognozowania wykorzystujący metody sztucznej inteligencji bazuje na danych zgromadzonych w bazie danych MS SQL niezależnie od systemu SCADA realizującego archiwizację danych.

Wdrożona aplikacja jest przeznaczona do tworzenia prognoz generacji energii elektrycznej przez elektrownie wiatrowe lub instalacje fotowoltaiczne. Do prognozowania wykorzystywane są sztuczne sieci neuronowe. Uczenie odbywa się w oparciu o dane zbierane z lokalnego systemu SCADA oraz danych meteorologicznych pobieranych z ogólnie dostępnego portalu pogodowego. Dla obu przypadków przygotowano indywidualne oprogramowanie. Dana wejściowa do modelu prognozowania wypracowywana jest w oparciu o kilka publicznie dostępnych prognoz pogody.

4 Ważniejsze publikacje

- [1] Dutka M., Świątek B., Seasonality effect on working and prediction of the production of electricity in onshore wind farm — Wpływ sezonowości na pracę i prognozowanie produkcji energii elektrycznej śródlądowej farmy wiatrowej, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2019 R.95 nr 7, s. 120–124.
- [2] M. Dutka, B. Świątek, Firlit A., Hybrid Predictive Models Dedicated to Wind Farms, Conference-seminar of Modern Electric Power Systems, September 9-12, 2019, IEEE Xplore, Wrocław, Poland.
- [3] Dutka M., Świątek B.: Seasonality effect on working and prediction of the production of electricity in onshore wind farm, PE 2018: forecasting in electric power engineering : abstracts of 14th international scientific conference : 26–28 September 2018, Podlesice, Poland
- [4] Dutka M., Świątek B.: Prognozowanie generacji energii elektrycznej przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji – farmy wiatrowe i fotowoltaiczne, książka abstraktów z konferencji „Start-Up Day”, 08.11.2016 r., ISBN: 978-83-942282-1-7, Kraków, Poland.
- [5] Dutka M., Świątek B.: Forecasting tools for the electricity production in onshore wind farms, Conference-seminar of Modern Electric Power Systems, July 6-9, 2015, IEEE Xplore - Electronic ISBN: 978-1-5090-3101-6, Wrocław, Poland.
- [6] Dutka M., B. Świątek.: Możliwości prognozowania wytwarzania energii z OZE przy wykorzystaniu systemu sieci neuronowych, Konferencja Jakości Energii Elektrycznej, 8-9.10.2015 r. Łądek Zdrój
- [7] Świątek B., Dutka M.: Wind power prediction for onshore wind farms using neural networks, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICRE-PQ'15), 25-27 March, 2015, La Coruña, Spain.
- [8] Hanzelka Z., Firlit A.: Elektrownie ze źródłami odnawialnymi – zagadnienia wybrane, współautor monografii - rozdział 5 – Prognozowanie generacji energii ze źródeł odnawialnych, Wydawnictwa AGH, Kraków 2015