

Streszczenie

Polska, będąc członkiem Unii Europejskiej, podlega europejskim regulacjom dotyczącym rynków energii, szczególnie w kontekście wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii oraz funkcjonowania systemu handlu emisjami CO₂. Znajduje to swoje odbicie nie tylko w szeregu krajowych regulacji prawnych, ale również ma wpływ na metody i narzędzia analityczne stosowane w tym obszarze.

Dysertacja koncentruje się na problematyce prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną i gaz ziemny w horyzoncie krótkoterminowym. Początkowa część pracy dotyczy aktualnego stanu wiedzy na temat prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną i gaz ziemny, z uwzględnieniem specyfiki polskiego rynku oraz stosowanych metod i modeli predykcyjnych. Prognozowanie w tym kontekście jest wielowymiarowym problemem, obejmującym zarówno aspekty techniczne, jak i ekonomiczne, które mają bezpośredni wpływ na handel oraz optymalne zarządzanie zasobami. Następnie omówiono szczegóły organizacji polskiego rynku energii elektrycznej, w tym mechanizmy handlu na rynku hurtowym, roli operatorów systemów przesyłowych oraz sprzedawców energii, a także kluczowe regulacje wpływające na prognozowanie zapotrzebowania.

W dalszej części pracy omówiono funkcjonowanie rynku gazu ziemnego, w tym analogię do rynku energii elektrycznej w zakresie metod prognozowania zapotrzebowania. Wskazano także główne czynniki mające wpływ na nominalne zapotrzebowania na gaz ziemny.

Kolejno przedstawiono przegląd współczesnych metod prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną, od klasycznych modeli statystycznych, takich jak modele liniowe i autoregresyjne, po zaawansowane techniki machine learning, takie jak sieci neuronowe czy drzewa decyzyjne. Szczególną uwagę poświęcono metodom wykorzystywanym w prognozach krótkoterminowych, które są niezbędne do minimalizacji kosztów operacyjnych. Omówiono wyzwania związane z uwzględnianiem zmiennych meteorologicznych oraz sezonowości w prognozach.

Następnie skupiono się na metodzie agregacji danych, budowie modeli predykcyjnych oraz doborze zmiennych predykcyjnych, które stanowią fundament skutecznych prognoz. Agregacja danych odgrywa kluczową rolę w eliminacji szumu oraz poprawie jakości dostępnych informacji, co umożliwia lepsze zrozumienie zachowań związanych z konsumpcją energii. Z kolei budowa modeli predykcyjnych, opartych na metodach takich jak sieci neuronowe czy drzewa regresji, umożliwia wykorzystanie złożonych wzorców w danych historycznych, by lepiej przewidywać przyszłe zapotrzebowanie. Dobór odpowiednich zmiennych predykcyjnych, takich jak temperatura, nasłonecznienie czy godziny szczytu zużycia, pozwala na poprawę jakości prognoz, minimalizując błąd przewidywań. W dalszej części pracy omówiono aktualne trendy w energetyce, m.in. źródła fotowoltaiczne, pompy ciepła i inne czynniki wpływające na zapotrzebowanie. Przeanalizowano również wyzwania związane z agregacją danych odbiorców i zmiennych objaśniających oraz budowę modeli prognostycznych. Dokonano oceny wpływu tych czynników na dokładność prognoz, a także

przedstawiono metryki stosowane do oceny wydajności modeli. Następnie omówiono wyzwania związane z prognozowaniem zapotrzebowania na energię elektryczną oraz produkcji z mikro generacji PV, z uwzględnieniem dokładności prognoz meteorologicznych, doboru zmiennych predykcyjnych oraz wpływu błędów prognoz na koszty działalności spółki obrotu.

Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną staje się coraz bardziej skomplikowane ze względu na rosnącą zmienność generacji pochodzącej z odnawialnych źródeł energii oraz dynamicznie zmieniające się warunki meteorologiczne. Dokładność prognozowania zapotrzebowania na energię oraz mikro generacji, w szczególności z instalacji fotowoltaicznych, stanowi kluczowy element w zarządzaniu współczesnymi systemami elektroenergetycznymi. Powyższy aspekt powoduje zmienność badanego szeregu czasowego (profilu zapotrzebowania netto) skorelowaną z natężeniem promieniowania słonecznego. Dlatego została podjęta próba odseparowania z zagregowanych danych o zapotrzebowaniu netto, składowych zapotrzebowania brutto oraz generację mikroinstalacji fotowoltaicznych. Następnie wyszczególnione przebiegi czasowe zostały poddane badaniu korelacji ze zmiennymi objaśniającymi.

Przedstawiono wyniki badań, zwracając szczególną uwagę na dokładność metod i modeli prognozowania, identyfikację kluczowych zmiennych wpływających na zapotrzebowanie oraz skuteczność zastosowanych metod. Omówiono również wnioski wynikające z analizy wpływu zmiennych meteorologicznych na prognozowanie zapotrzebowania oraz produkcji energii z fotowoltaiki. Skupiono się na możliwych kierunkach doskonalenia obecnych modeli prognozowania. Zwrócono uwagę na obszary, w których należy skupić dalsze wysiłki badawcze, takie jak integracja dodatkowych danych meteorologicznych, lepsza adaptacja modeli do zmiennych warunków rynkowych, a także wprowadzenie bardziej zaawansowanych technik sztucznej inteligencji, takich jak głębokie sieci neuronowe czy metody hybrydowe, które mogą poprawić jakość prognoz w kontekście zmienności generacji OZE. W zakończeniu podkreślono aspekty nowości wprowadzone w ramach badań, takie jak poprawa efektywności prognoz krótkoterminowych, optymalizacja doboru zmiennych predykcyjnych oraz zastosowanie nowych metod agregacji danych, które mogą znaleźć praktyczne zastosowanie zarówno na poziomie operatorów systemu, jak i uczestników rynku energii.

W kontekście porównywania różnych modeli, ważnym aspektem jest ocena kosztów wynikających z niedokładności prognoz, które mogą prowadzić do destabilizacji systemu energetycznego oraz generować dodatkowe koszty operacyjne. Wprowadzenie odpowiednich zmiennych, takich jak zmienne meteorologiczne i dane historyczne, jest kluczowe dla uzyskania precyzyjnych prognoz. Zmienność generacji PV w krótkich okresach stanowi wyzwanie dla operatorów sieci, którzy muszą zbilansować system w oparciu o niepewne prognozy natężenie promieniowania słonecznego. Analizie jakości poddano dostępne prognozy meteorologiczne, które są kluczowe dla dokładnego przewidywania zarówno zapotrzebowania na energię, jak i generacji z OZE. Niewielkie odchylenia w prognozach temperatury czy nasłonecznienia mogą prowadzić do znaczących błędów w prognozach energetycznych. Przedstawiono konsekwencje ekonomiczne wynikające z błędów prognozowania. Niedokładności prognoz mogą prowadzić do nieoptymalnego zarządzania zapasami energii, konieczności uruchamiania kosztownych rezerw mocy czy też kar nałożonych na spółki obrotu w postaci dodatkowego kosztu, za pobranie większej lub mniejszej ilości energii niż została

zakontraktowana np. na giełdzie. Dokładne prognozowanie zapotrzebowania oraz generacji z OZE jest zatem nie tylko technicznym wyzwaniem, ale także kluczowym elementem w zarządzaniu kosztami i stabilnością systemu elektroenergetycznego.

Końcowa część pracy zawiera podsumowanie uzyskanych rezultatów oraz wynikające z tego kierunki dalszych prac w tej dziedzinie.

