

mgr Przemysław Ogarek

## **Autonomiczny system energetyczny zasilany źródłami odnawialnymi z hybrydowym magazynowaniem energii**

Celem niniejszej rozprawy była kompleksowa ocena przyjętej koncepcji wdrożenia autonomicznego systemu energetycznego zasilanego OZE i wyposażonego w hybrydowy magazyn energii.

W ramach dysertacji opracowano autorski model obliczeniowy ATS\_OZE\_H<sub>2</sub> wraz z dedykowanym algorytmem optymalizacyjnym, integrującym moduły: i) techniczny (modelowanie procesów konwersji energii), ii) finansowy (analiza opłacalności inwestycji) oraz iii) środowiskowy (ocena skali redukcji emisji).

Utworzony model i algorytm posłużyły do analizy studium przypadku opartego na rzeczywistych danych z gminy Ropa w województwie małopolskim. Analizie poddano lokalne zapotrzebowanie na energię elektryczną, a także warunki hydrologiczne i meteorologiczne. Proponowany system obejmował m.in. elektrownię wodną, instalację fotowoltaiczną, elektrownię wiatrową, zbiornik retencyjny, magazyn bateryjny oraz technologie wodorowe (elektrolizer, zbiornik ciśnieniowy, ogniwo paliwowe).

Szczegółową ocenę funkcjonowania systemu przeprowadzono opierając się na ośmioetapowym planie badań, który obejmował: przyjęcie obiektu badań i tezy badawczej, opracowanie założeń i struktury wariantów systemu, ustalenie procedur obliczeniowych, konstrukcję algorytmu optymalizacyjnego, analizę uwarunkowań studium przypadku, przeprowadzenie optymalizacji, ocenę i porównanie wyników, identyfikację zależności pomiędzy zmiennymi operacyjnymi oraz określenie hierarchii istotności parametrów wejściowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i analizy wrażliwości.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że możliwe jest osiągnięcie autonomii oraz dodatniego wyniku finansowego systemu energetycznego przy odpowiednim doborze strategii zarządzania energią. Technologie wodorowe ułatwiają zagospodarowanie nadwyżek energii oraz zwiększają elastyczność operacyjną systemu, natomiast włączenie elektrowni wodnej redukuje zapotrzebowanie na moc pozostałych źródeł wytwórczych i pojemność magazynów energii. Analiza środowiskowa potwierdziła możliwość wyeliminowania emisji zanieczyszczeń w lokalnej produkcji energii oraz uzyskania korzyści środowiskowych ze sprzedaży wodoru i ciepła odpadowego. Opracowana koncepcja stanowi praktyczną podstawę do adaptacji nowoczesnych, odpornych i zrównoważonych systemów energetycznych funkcjonujących niezależnie od sieci, zgodnych z założeniami transformacji energetycznej oraz integracji sektorowej.

### **Autonomous renewable energy system with hybrid energy storage**

The objective of this dissertation was to comprehensively assess the concept of implementing an autonomous renewable energy system equipped with hybrid energy storage.

As part of the dissertation, a proprietary computational model, ATS\_OZE\_H<sub>2</sub>, was developed together with a dedicated optimization algorithm integrating three modules: i) technical (energy conversion modeling), ii) financial (investment profitability assessment), and iii) environmental (evaluation of emission reduction potential).

The tools were applied to a case study in the Ropa Municipality (Małopolskie Voivodeship), using real data on electricity demand as well as hydrological and meteorological conditions. The system configuration included a hydropower plant, photovoltaic and wind installations, a retention reservoir, battery storage, and hydrogen technologies (electrolyzer, compressed hydrogen storage tank, fuel cell).

System performance was evaluated through an eight-stage research framework encompassing hypothesis formulation, system variant design, computational procedures, algorithm development, case study analysis, optimization, results evaluation, and the identification of relationships between operational variables and input parameter significance using artificial neural networks and sensitivity analysis.

The conducted research confirmed that it is possible to achieve energy autonomy and positive financial performance of the energy system with an appropriate energy management strategy. Hydrogen technologies facilitate the utilization of surplus energy and increase the system's operational flexibility, while the integration of hydropower reduces the demand for capacity from other generation sources and the required size of energy storage. The environmental analysis confirmed the potential to eliminate pollutant emissions in local energy production and to achieve environmental benefits from the sale of hydrogen and waste heat. The developed concept provides a practical basis for the adaptation of modern, resilient, and sustainable off-grid energy systems, consistent with the objectives of the energy transition and sectoral integration.