



■ Dr inż. Andrzej Węgrzyn,
Stowarzyszenie Dolnośląska Dolina Wodorowa

Energetyczne aspekty budowy AI Data Center

Rozwój centrów danych AI stawia nowe wyzwania energetyczne - od gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na moc, przez konieczność zapewnienia ciągłości zasilania, po dekarbonizację. Artykuł omawia najnowsze podejścia do zasilania AI Data Center w oparciu o źródła OZE i wodór oraz metody optymalizacji energetycznej z wykorzystaniem AI. Przedstawiono w nim studium przypadku tworzenia w ramach Klastra Energii koncepcji projektowej Iłowa AI Data Center.

Wzrost znaczenia sztucznej inteligencji i gospodarki cyfrowej sprawia, że centra danych AI (AI Data Center) stają się kluczową infrastrukturą XXI w. Rosnące zapotrzebowanie na moc obliczeniową, zwłaszcza w kontekście generatywnych modeli AI, prowadzi do dynamicznego wzrostu zużycia energii. Według prognoz z 2024 r., zużycie energii przez centra danych może sięgnąć 1 000-2 000 TWh rocznie do 2030 r., a udział AI w tym zużyciu przekroczy 20%¹.

Budowa infrastruktury AI musi iść w parze z transformacją energetyczną, integracją odnawialnych źródeł energii (OZE), magazynowaniem energii, technologiami wodorowymi oraz zastosowaniem inteligentnych algorytmów optymalizujących zużycie. Szczególnym wyzwaniem staje się zapewnienie wysokiej niezawodności zasilania przy jednocześnie ograniczeniu śladu węglowego.

Nowoczesne modele zasilania AI Data Center

Wysoka gęstość mocy (nawet 500 MW dla centrów hiperskalowych) wymaga nowych podejść do energetyki AI Data Center. Przykładem jest koncepcja projektu Iłowa - AI Data Center, która opiera się na założeniu integracji farm PV (400 MW), farm wiatrowych (300 MW), elektrolizerów PEM (20 MW), magazynów wodoru (1,2 GWh) i bateryjnych (0,7 GWh). Takie podejście umożliwia lokalne bilansowanie mocy w sieci oraz zasilanie centrum danych zieloną energią o rocznej produkcji 1200 GWh.

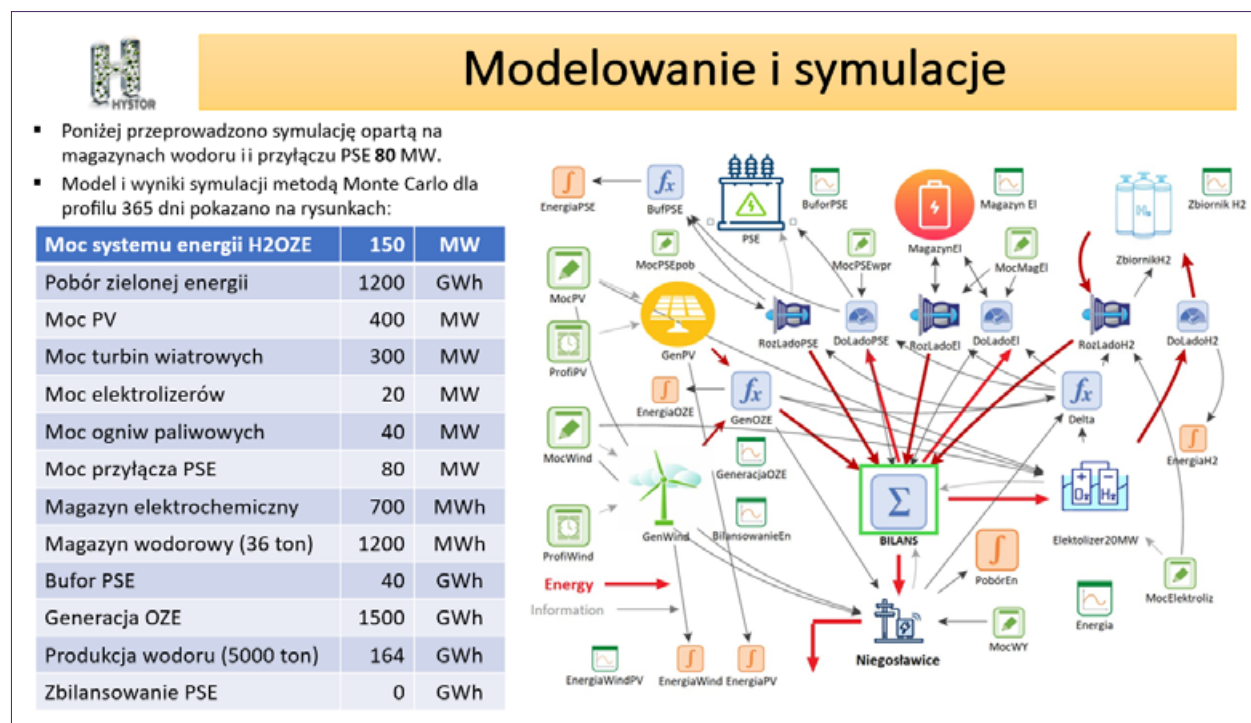
Równocześnie, na poziomie operacyjnym, będą stosowane metody sztucznej inteligencji do optymalizacji chłodzenia, zarządzania obciążeniem i prognozowania zużycia energii². Zastosowanie algorytmów reinforcement learning, czy LSTM, pozwala znacząco

ograniczyć zużycie energii przez systemy ICT i HVAC³.

Modelowanie i symulacje na przykładzie projektu AI Data Center - Iłowa

Modelowanie energetyczne stanowi kluczowy etap w projektowaniu nowoczesnych AI Data Center, szczególnie, gdy centra te są zasilane w sposób zdecentralizowany, przy wykorzystaniu źródeł odnawialnych i wodoru. W ramach studium przypadku AI Data Center w Iłowej opracowano kompleksowy model, który umożliwia ocenę energetyczną, ekonomiczną i środowiskową. Założenia modelowania oraz symulacji stochastycznej Monte Carlo przedstawiono na rysunku 1.

Model wykazał również, że w scenariuszach kryzysowych - np. spadku produkcji PV poniżej 20% nominalnej mocy



Rys. 1. Modelowanie i symulacje AI data Center z Konceptji rozwoju Dobrego Klastra energii w Ilowej

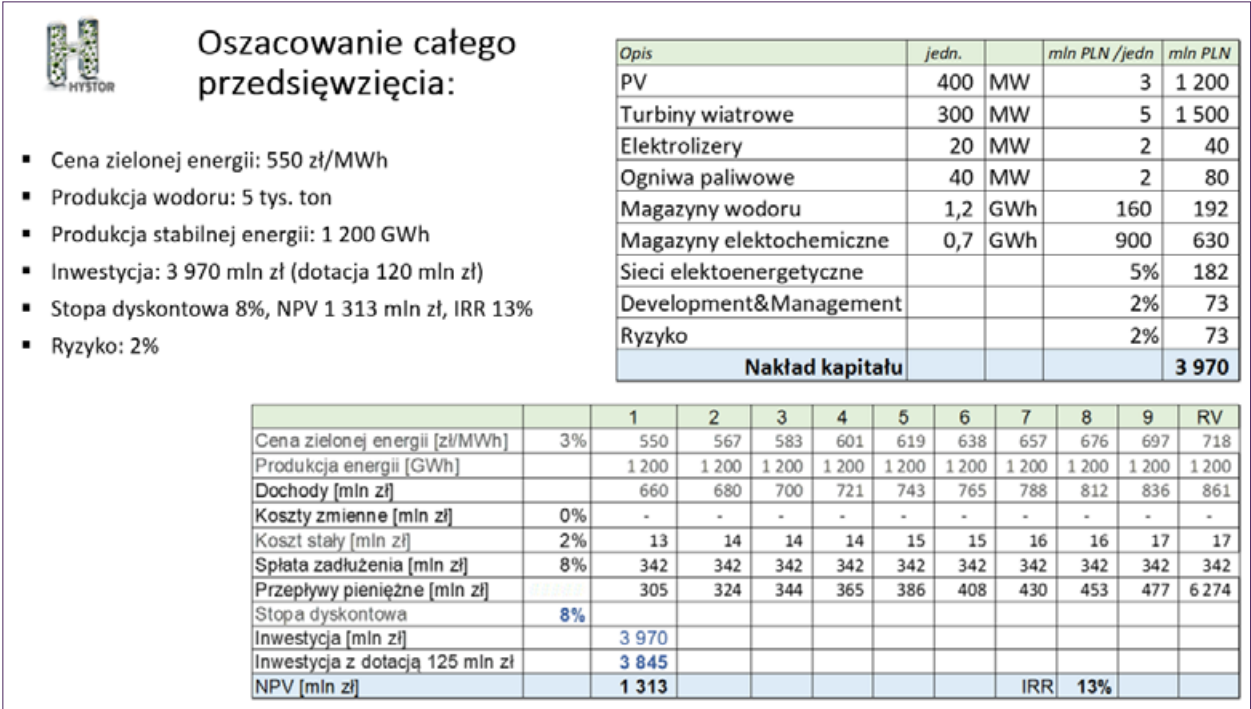


Rys. 2. Przebiegi czasowe w zasilaniu AI Data Center

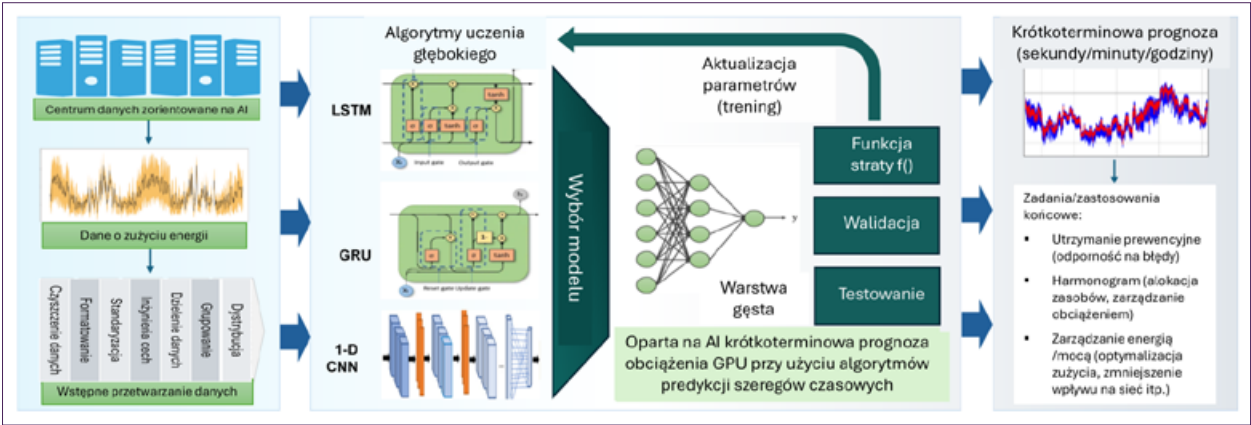
- system jest w stanie zapewnić ciągłość zasilania przy ograniczeniu mocy obciążeniowej o nie więcej niż 12%, dzięki inteligentnemu zarządzaniu obciążeniem

i chłodzeniem w oparciu o reinforcement learning. Bilansowanie lokalnego systemu energetycznego zasilającego AI Data Center przedstawiono na rysunku 2.

Efektywność ekonomiczna modelu energetycznego została potwierdzona przez analizę NPV i IRR, przy założeniu średniej ceny energii elektrycznej 550



Rys. 3. Założenia inwestycji energetycznych AI Data Center



Rys. 4. Przepływ pracy krótkoterminowego prognozowania opartego na sztucznej inteligencji w centrum danych AI za pomocą algorytmów predykcji szeregów czasowych (opracowanie na podstawie Short-Term Load Forecasting for AI-Data Center)⁴

zł/MWh oraz kosztu inwestycyjnego na poziomie 4 mld zł. Model wykazał IRR = 13% i NPV = 1,3 mld zł przy dyskoncie 8%. Oszacowanie przedsięwzięcia AI Data Center od strony inwestycji energetycznych przedstawiono na rysunku 3.

Modelowanie i symulacje w ramach koncepcji projektu Iłowa potwierdzają, że zintegrowane podejście łączące źródła OZE, magazyny energii, wodór

RFNBO oraz algorytmy AI może stanowić podstawę nie tylko dla stabilnych i efektywnych energetycznie AI Data Center, ale również dla nowych lokalnych systemów elektroenergetycznych współpracujących elastycznie z KSE. Dzięki specjalnym algorytmom LSTM (ang. *Long Short-Term Memory*) możliwe jest przetwarzanie sekwencji danych oraz uczenie się długoterminowych zależności czasowych z wykorzystaniem

dotychczasowych komórek pamięci warstwy gęstej oraz bramek sterującym przepływem informacji w pętlach zwrotnych. GRU (*Gated Recurrent Unit*) oraz 1-D CNN (jednowymiarowa sieć konwulcyjna) pozwalają na krótkoterminową prognozę zużycia energii, zarządzanie energią, alokację zasobów i zwiększenie odporności systemu. Schemat algorytmu uczenia głębokiego pokazano na rys. 4.

Metody oceny i podejmowania decyzji inwestycyjnych

W planowaniu energetycznym centrów AI istotną rolę odgrywają metody wspomagania decyzji. W koncepcji rozwoju Dobrego Klastra Energii w Iłowej zastosowano metodykę AHP wspieraną przez AI (AHP-AI), pozwalającą na ocenę wariantów inwestycyjnych względem takich kryteriów jak: tania energia, bezpieczeństwo ekonomiczne i szybkie efekty wdrożeniowe.

Wariant inwestycyjny	Ocena końcowa	Ranking
Centrum Dystrybucji Energii	0.3195725369638413	1
AI Data Center	0.2126742464906716	2
Elektrownia wodorowa	0.19899477870492363	3
Hub wodorowy	0.14730233087721012	4
Demonstrator H2	0.12145610696335338	5

Rys. 5. Ranking projektów Dobrego Klastra Energii w Iłowej⁵

AI Data Center jako wariant inwestycyjny Dobrego Klastra Energii w Iłowej, pokazany na rysunku 5, uplasował się wysoko w rankingach ze względu na swoją strategiczną rolę, możliwość integracji z lokalnymi źródłami energii oraz wysoką efektywność ekonomiczną w modelu zasilania opartym na OZE i wodorze.

Podsumowanie

Artykuł analizuje wyzwania energetyczne związane z dynamicznym rozwojem centrów danych opartych na sztucznej inteligencji (AI Data Center), które stają się kluczową infrastrukturą ery cyfrowej. Gwałtowny wzrost zapotrzebowania na moc obliczeniową powoduje konieczność przejścia na efektywne, zrównoważone i odporne na zakłócenia systemy zasilania.

Główne zagadnienia energetyczne budowy AI Data Center obejmują:

■ Nowoczesne modele zasilania AI Data Center

Zaprezentowano koncepcję AI Data Center w Iłowej, opartą na lokalnym bilansowaniu energii z OZE (PV i wiatr), magazynach energii (baterijnych i wodorowych) oraz wodorze produkowanym przy użyciu elektrolizerów PEM przy wsparciu KSE. Zasilanie takie pozwala osiągnąć produkcję roczną na poziomie 1200 GWh zielonej energii.

■ Optymalizacja energetyczna z wykorzystaniem AI

W projekcie przewidziano zastosowanie specjalnych algorytmów uczenia maszynowego (LSTM i reinforcement learning) do zarządzania chłodzeniem, prognozowania zapotrzebowania i optymalizacji zużycia energii.

■ Modelowanie i symulacje

W artykule przedstawiono zintegrowany model energetyczno-ekonomiczny AI Data Center oparty na symulacjach Monte Carlo. Pokazano, że nawet przy kryzysowym spadku produkcji PV możliwe jest utrzymanie zasilania z ograniczeniem wydajności zaledwie o 12%.

■ Efektywność ekonomiczna metody oceny inwestycji (AHP-AI)

Projekt wykazuje rentowność z IRR = 13% i NPV = 1,3 mld zł przy inwe-

stycji rzędu 4 mld zł i cenie energii 550 zł/MWh. Przy wykorzystaniu metody analitycznego hierarchicznego procesu wspieranego przez AI oceniono warianty inwestycyjne. AI Data Center uplasowało się na 2. miejscu (za Centrum Dystrybucji Energii), wyprzedzając elektrownię wodorową, hub wodorowy i demonstrator H₂.

Wnioski i rekomendacje

W świetle rosnącej presji na niezawodność i zeroemisyjność, AI Data Center powinny być projektowane w oparciu o lokalne źródła energii, zintegrowane z systemami magazynowania i inteligentnym zarządzaniem. Kluczowe rekomendacje to:

- Projektowanie modułowe i oparte na lokalnych OZE,
- Wykorzystanie wodoru RFNBO i technologii bilansujących KSE,
- Stosowanie algorytmów AI w zarządzaniu chłodzeniem i obciążeniem,
- Uwzględnianie pełnego cyklu życia energetycznego w ocenie inwestycyjnej.

Przykład koncepcji projektowej AI Data Center Iłowa pokazuje, że możliwe jest stworzenie infrastruktury AI odpornej energetycznie, niskoemisyjnej i zintegrowanej z lokalnym otoczeniem przemysłowym. Przykład koncepcji projektowej AI Data Center Iłowa pokazuje, jak nowoczesne, odporne na zakłócenia i zeroemisyjne centra danych mogą być budowane lokalnie w oparciu o istniejące zasoby odnawialnych źródeł energii oraz potencjału logistyczno-przemysłowego. □

Przypisy:

- 1 Laure DE ROUCY-ROCHEGONDE, Adrien BUFFARD, AI Data Centers and Energy Demand Reassessing and Exploring the Trends, 2025, https://www.ifri.org/sites/default/files/2025-02/ifri_buffard-rochegonde_ai_data_centers_energy_2025_2.pdf.
- 2 Sai Prakash Narasingu, AI-POWERED SOLUTIONS FOR ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND RESOURCE MANAGEMENT IN MODERN DATA CENTERS, ResearchGate, 2025, https://www.researchgate.net/publication/389232601_AI-Powered_Solutions_for_Enhancing_Energy_Efficiency_and_Resource_Management_in_Modern_Data_Centers.
- 3 Hussain Kahil, Shiva Sharma, Petri Väisä, Mohammed Elmusrati, Reinforcement learning for data center energy efficiency optimization: A systematic literature review and research roadmap, Elsevier, 2025, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261925004647>.
- 4 Mariam Mughees, Yuzhuo Li, Yize Chen, and Yunwei Ryan Li, Short-Term Load Forecasting for AI-Data Center, ResearchGate, 2025, https://www.researchgate.net/publication/376158835_Application_of_AI_Algorithms_in_Power_System_Load_Forecasting_Under_the_New_Situation.
- 5 Andrzej Węgrzyn, Analityczno-Hierarchiczny Proces Decyzyjny (AHP-AI) w wyborze modelu biznesowego Klastra Energii, „Nowa Energia” 01/2025, <https://magazyn.nowa-energia.com.pl/magazyn/nowa-energia-02-2025/>.