

Obszar strategiczny

Energetyka

Streszczenie scenariusza

Okno zasobów i potencjałów

1. Wprowadzenie: Paradygmat cyfrowej transformacji energetycznej

W obliczu bezprecedensowych wyzwań geopolitycznych, polski sektor energetyczny stoi u progu metamorfozy. Scenariusz wykracza poza tradycyjne rozumienie modernizacji jako prostej wymiany aktywów wytwórczych. Przedstawia on kompleksową wizję transformacji, w której automatyzacja i cyfryzacja nie są jedynie narzędziami pomocniczymi, lecz stanowią warunek osiągnięcia suwerenności energetycznej i efektywności ekonomicznej w horyzoncie roku 2040.

Współczesne systemy energetyczne ewoluują w kierunku cybernetyczno-fizycznych systemów adaptacyjnych (Cyber-Physical Energy Systems – CPES). Jest to przejście od statycznych, hierarchicznych struktur inżynierii klasycznej ku dynamicznym, samoorganizującym się ekosystemom inspirowanym biologicznymi mechanizmami homeostazy. Analizy wskazują, że implementacja inteligentnych systemów sterowania może przyczynić się do redukcji emisji CO₂ o **30 milionów ton** do 2040 roku, optymalizując procesy produkcji i dystrybucji. Co więcej, predykcyjne algorytmy zarządzania są w stanie zwiększyć efektywność alokacji zasobów energetycznych aż o 37%.

Kluczowym pojęciem definiującym ten nowy paradygmat jest **odporność (resilience)**, rozumiana wielowymiarowo:

- **Odporność technologiczna:** zdolność systemu do absorpcji szoków i "samoleczenia" (self-healing grids) dzięki automatycznej rekonfiguracji topologii sieci w czasie rzeczywistym.
- **Odporność ekonomiczna:** elastyczność finansowa osiągnięta poprzez algorytmiczną alokację kapitału i minimalizację ryzyka aktywów osieroconych (stranded assets).
- **Odporność społeczna:** demokratyzacja dostępu do energii i walka z ubóstwem energetycznym poprzez inteligentne taryfy oraz modele prosumenckie.
- **Odporność kognitywna:** zdolność systemu do instytucjonalnego uczenia się, gdzie algorytmy AI kodyfikują wiedzę ekspercką, mitygując ryzyka związane z luką pokoleniową kadr inżynierskich.

Siedem filarów transformacji

Rdzeniem scenariusza jest siedem zintegrowanych filarów, które tworzą wzajemnie wzmacniający się mechanizm zmiany. Każdy z nich adresuje specyficzny aspekt wyzwań stojących przed polską energetyką, wykorzystując potencjał technologii cyfrowych.

Filar I: Polska geotermia jako cyfrowy fundament podmiotowości

Polska dysponuje unikalnym, strategicznym zasobem w postaci potencjału geotermalnego, który szacuje się na możliwość pokrycia zapotrzebowania na ciepło dla **70% gospodarstw domowych**. W kontekście dążenia do redukcji udziału węgla z poziomu 74,4% (dane z 2019 r.) do docelowego poziomu 28,5% udziału OZE w roku 2040, geotermia jawi się jako stabilizator systemu, wolny od niestabilności charakterystycznej dla wiatru czy słońca.

Kluczowym wyzwaniem pozostaje jednak intensywność kapitałowa (5–15 mln EUR na instalację) oraz ryzyko geologiczne. Odpowiedzią jest zaawansowana automatyzacja i koncepcja **Cyfrowych Bliźniaków Geologicznych** oraz wykorzystanie potencjału istniejących już odwiertów powstałych w celach poszukiwania złóż ropy i gazu. Wirtualne repliki złóż, zasilane danymi w czasie rzeczywistym, pozwalają na:

- zwiększenie precyzji lokalizacji odwiertów o 40–60% względem metod tradycyjnych,
- redukcję nieplanowanych przestojów o 50–70% dzięki konserwacji predykcyjnej,
- obniżenie kosztów operacyjnych o 18–25% poprzez automatyzację procesów wydobywczych.

Geotermia w tym ujęciu staje się nie tylko źródłem ciepła, ale także gigantycznym magazynem energii (ATES/BTES), umożliwiającym bilansowanie sieci elektroenergetycznej i integrację niestabilnych źródeł OZE.

Filar II: Rezygnacja z regulacji – paradoks liberalizacji w erze cyfryzacji

Scenariusz identyfikuje intrygujący "Paradoks Regulacyjny 2040". W erze głębokiej cyfryzacji, tradycyjne, sztywne regulacje administracyjne stają się hamulcem efektywności. Postuluje się przejście od regulacji *ex ante* do nadzoru algorytmicznego i protokołów technicznych. Technologia blockchain i **Smart Contracts** umożliwiają powstanie autonomicznych rynków energii typu Peer-to-Peer (P2P).

W modelu tym prosumenci i konsumenci dokonują transakcji bezpośrednio, z pominięciem kosztownych pośredników, co może przynieść oszczędności rzędu **8–12 miliardów złotych rocznie** w skali kraju. Automatyzacja procesów rozliczeniowych i handlowych eliminuje koszty transakcyjne, które w systemie tradycyjnym stanowią nawet 25% ceny końcowej energii. Kluczowym wyzwaniem pozostaje jednak zapewnienie cyberbezpieczeństwa oraz "wyjaśnialności" (explainability) decyzji podejmowanych przez algorytmy AI, aby uniknąć dyskryminacji czy manipulacji rynkowych.

Filar III: Energetyczny mix jako dynamiczny ekosystem adaptacyjny

Odejście od statycznego planowania mixu energetycznego na rzecz dynamicznej orkiestracji źródeł w czasie rzeczywistym to istota trzeciego filaru. Wykorzystanie algorytmów metaheurystycznych (np. optymalizator stada wilków) pozwala na identyfikację konfiguracji systemu, które są nieosiągalne dla ludzkich planistów. Szacuje się, że optymalizacja ta może przynieść oszczędności rzędu **1,3 miliarda euro rocznie** (4% całkowitych kosztów systemu).

Szczególną rolę w tym ekosystemie odgrywa sektor cyfrowy. Centra danych, odpowiedzialne za prognozowany wzrost popytu na energię o **20–30%** do 2040 roku, przekształcają się z pasywnych odbiorców w elastyczne zasoby systemowe. Poprzez mechanizmy *Demand Side Response* (DSR) i przesuwanie obciążeń obliczeniowych w czasie i przestrzeni,

infrastruktura IT pełni funkcję "wirtualnych magazynów energii", absorbując nadwyżki produkcji z OZE i stabilizując sieć.

Filar IV: Rentowne Inwestycje – algorytmiczna alokacja kapitału

Luka inwestycyjna polskiej energetyki jest gigantyczna. Potrzeby szacowane są na **800–1200 miliardów złotych** do 2040 roku, przy ograniczonej dostępności środków publicznych. W warunkach niedoboru kapitału, kluczowa staje się precyzja decyzji inwestycyjnych. Scenariusz proponuje wykorzystanie **Cyfrowych Bliźniaków Finansowych** do symulacji tysięcy scenariuszy rynkowych i regulacyjnych.

Automatyzacja procesu oraz tokenizacja aktywów energetycznych na blockchainie mają na celu demokratyzację inwestycji i przyciągnięcie kapitału prywatnego. Algorytmiczna selekcja projektów, oparta na twardych danych a nie intuicji czy lobbingu, ma maksymalizować zwrot społeczny i ekonomiczny z każdej zainwestowanej złotówki, minimalizując ryzyko utopionych kosztów.

Filar V: Dyfuzja wiedzy jako alternatywa dla niedoboru kadr

Transformacja energetyczna napotyka na barierę w postaci dramatycznego deficytu kapitału ludzkiego. Szacuje się, że w Polsce brakuje **40–50 tysięcy inżynierów** o kompetencjach niezbędnych do obsługi nowoczesnej energetyki. Filar piąty postuluje zastąpienie tradycyjnych metod edukacji systemami **Inteligentnego Tutoringu (ITS)** oraz otwartymi platformami wymiany wiedzy (koncepcja "GitHub dla energetyki").

Systemy AI mogą skrócić czas szkolenia specjalistów o 30–50%, oferując spersonalizowane ścieżki rozwoju. Ponadto, kodyfikacja wiedzy eksperckiej w algorytmach systemów doradczych pozwala na skalowanie kompetencji w organizacji, uniezależniając krytyczne procesy od dostępności pojedynczych ekspertów. To budowa "odporności kognitywnej" sektora, kluczowej dla utrzymania ciągłości działania w okresie gwałtownych zmian technologicznych.

Filar VI: Konwergencja technologii (IT/OT)

Granica między technologiami informacyjnymi (IT) a operacyjnymi (OT) ulega zatarciu. Konwergencja ta umożliwi rewitalizację istniejącej infrastruktury węglowej poprzez cyfrowe "nakładki" (IoT overlays). Zamiast kosztownej i natychmiastowej wymiany całego parku maszynowego, proponuje się ewolucyjną modernizację.

Wykorzystanie sensorów IoT i analityki Big Data w starych blokach energetycznych pozwala na wydłużenie ich żywotności, poprawę sprawności i redukcję emisyjności w okresie przejściowym. Jest to strategia "mostu technologicznego", która zapewnia bezpieczeństwo dostaw energii w trakcie budowy nowych mocy OZE i jądrowych, optymalizując koszty transformacji (CAPEX).

Filar VII: Produkcja na żądanie w małych nakładach

Ostatni filar dotyczy rewolucji Przemysłu 4.0 i jej wpływu na energetykę. Przejście od masowej produkcji do modelu "produkcji na żądanie", wspieranego przez druk 3D i elastyczne linie produkcyjne, zmienia profil zapotrzebowania na energię przemysłową. Fabryki przyszłości stają się aktywnymi uczestnikami rynku energii, dostosowując cykle produkcyjne do dostępności tańszej energii z OZE.

Zintegrowanie systemów zarządzania produkcją z rynkiem energii pozwala na redukcję kosztów energii w przemyśle o 30–50%. Fabryki mogą pełnić funkcję stabilizatorów sieci, szybko

redukując pobór mocy w sytuacjach krytycznych dla systemu energetycznego, co stanowi nową jakość w zarządzaniu popytem przemysłowym.

3. Wnioski i rekomendacje strategiczne

Transformacja energetyczna Polski do 2040 roku nie jest jedynie wyzwaniem inżynierskim, lecz złożonym procesem adaptacji systemowej, w którym technologia cyfrowa pełni rolę architekta nowej rzeczywistości.

Przeprowadzona analiza prowadzi do sformułowania kluczowych rekomendacji dla decydentów politycznych i gospodarczych:

1. **Priorytetyzacja cyfryzacji:** Inwestycje w infrastrukturę cyfrową (smart metering, sieci 5G/6G dla energetyki, centra przetwarzania danych) muszą być traktowane na równi z inwestycjami w fizyczne aktywa wytwórcze. Bez warstwy cyfrowej, fizyczna transformacja będzie nieefektywna i podatna na awarie.
2. **Wsparcie dla geotermii:** Niezbędne jest wdrożenie dedykowanego programu akceleracji geotermii, obejmującego gwarancje ryzyka geologicznego oraz wsparcie dla cyfryzacji procesów poszukiwawczych. Geotermia powinna stać się filarem bezpieczeństwa ciepłowniczego państwa. **Początek procesu – audyt energetyczny istniejących w Polsce odwiertów.**
3. **Deregulacja i piaskownice regulacyjne:** Należy stworzyć bezpieczne środowiska testowe (regulatory sandboxes) dla nowych modeli rynku energii (P2P, społeczności energetyczne), umożliwiając eksperymentowanie z technologiami blockchain i smart contracts przed ich szerokim wdrożeniem.
4. **Rozwój kompetencji cyfrowych:** Pilne wdrożenie narodowego programu kształcenia kadr dla energetyki cyfrowej, integrującego wiedzę z zakresu inżynierii elektrycznej, informatyki i analizy danych (Data Science). Utworzenie 120 000 nowych miejsc pracy w "zielonej energetyce" wymaga systemowego wsparcia edukacyjnego.

4. Perspektywy implementacji

Realizacja przedstawionego scenariusza wymaga skoordynowanych działań na wielu poziomach administracji i biznesu. Harmonogram wdrażania zmian powinien obejmować trzy główne fazy:

- **Faza I (2025–2028): Budowa fundamentów cyfrowych.** Implementacja Narodowej Platformy Danych Energetycznych, masowe wdrożenie inteligentnych liczników, uruchomienie programów pilotażowych dla geotermii i rynków lokalnych.
- **Faza II (2028–2035): Skalowanie i integracja.** Dynamiczny rozwój OZE wspierany przez magazyny energii i elastyczne moce gazowe/geotermalne. Pełna automatyzacja sieci dystrybucyjnych (Smart Grid). Stopniowe wygaszanie węglowych aktywów wytwórczych przy wsparciu cyfrowych bliźniaków.
- **Faza III (2035–2040): Autonomia i optymalizacja.** Osiągnięcie docelowego modelu rynku z dominującą rolą autonomicznych systemów decyzyjnych. Pełna integracja sektorowa (sector coupling) – elektryfikacja ciepłownictwa i transportu. Osiągnięcie celów redukcyjnych i udziału OZE na poziomie min. 28,5%.

Scenariusz dowodzi, że polska energetyka ma szansę nie tylko przetrwać nadchodzącą burzę transformacyjną, ale wyjść z niej wzmocniona, jako nowoczesny, odporny i suwerenny sektor napędzający rozwój gospodarczy kraju w XXI wieku.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Polskie Towarzystwo Cyfrowe
<http://cyfryzacja.org>

Projekt finansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez
Ministra Edukacji i Nauki w ramach Programu „Nauka dla Społeczeństwa II”.
Dofinansowanie: 1 467 000 zł, Całkowita wartość: 1 467 000 zł