

Obszar strategiczny

Energetyka

Streszczenie scenariusza

Krótki kołdra

Wprowadzenie i kontekst strategiczny

W obliczu fundamentalnych przemian geopolitycznych i technologicznych XXI wieku, polski sektor energetyczny stoi przed wyzwaniem bezprecedensowym w swojej historii. Transformacja, której jesteśmy świadkami, nie ogranicza się jedynie do zmiany miksu paliwowego, lecz stanowi całkowitą redefinicję architektury systemu. Proces ten napędzany jest przez trzy równoległe, nierozzerwalnie splecione wektory zmian:

- **dekarbonizację**, wymuszającą odejście od stabilnych, sterowalnych źródeł węglowych na rzecz zmiennych źródeł odnawialnych (OZE);
- **deregulację rynku**, przekształcającą biernych odbiorców w aktywnych prosumentów i uczestników gry rynkowej; oraz
- **konwergencję technologiczną**, zacierającą granice między sektorem energetycznym, transportowym i ciepłowniczym.

W tym nowym paradygmacie, **automatyzacja i cyfryzacja przestają być jedynie opcjonalnym usprawnieniem operacyjnym, a stają się absolutnym warunkiem koniecznym osiągnięcia odporności systemowej**. Bez zaawansowanej infrastruktury cyfrowej, zdolnej do przetwarzania terabajtów danych w czasie rzeczywistym i autonomicznego sterowania milionami rozproszonych urządzeń, zarządzanie tak złożonym systemem jest fizycznie niemożliwe. Stoimy w obliczu strategicznego dylematu "krótkiej kołdry" – sytuacji, w której ograniczone zasoby finansowe, kadrowe i czasowe muszą zostać alokowane z chirurgiczną precyzją, aby zaspokoić rosnące i często sprzeczne potrzeby modernizacyjne, przy czym każde zaniedbanie w obszarze cyfrowym grozi odstąpieniem krytycznych słabości całego państwa.

Pułapka niestabilności cyfrowej

Aktualny stan cyfryzacji polskiej energetyki można określić mianem „pustyni wdrożeń IT”. Mimo punktowych sukcesów, system jako całość charakteryzuje się strukturalną niedojrzałością, która w konfrontacji z rosnącym udziałem OZE grozi destabilizacją. Wskaźnik dojrzałości cyfrowej polskiej energetyki wynosi zaledwie **2,1 w skali 5-stopniowej**. Plasuje to Polskę w dolnym kwartyle UE, z dystansem rozwojowym szacowanym na 7 lat względem Czech, 12 lat względem Niemiec i aż 15 lat względem liderów nordyckich, takich jak Dania. Kluczową barierą transformacji

jest zjawisko „**pułapki niestabilności cyfrowej**”. Jest to samowzmacniający się mechanizm degeneracyjny, w którym sektor staje się coraz bardziej zależny od technologii cyfrowych (z uwagi na OZE), pozostając jednocześnie krytycznie podatnym na zakłócenia wynikające z przestarzałej infrastruktury. Pułapka ta opiera się na czterech filarach:

1. **Dominacja przestarzałych systemów SCADA.** Aż **70-80%** operatorów sieci dystrybucyjnych wciąż polega na systemach nadzoru i akwizycji danych (SCADA) wdrożonych w latach 1990-2000. Systemy te, projektowane w erze przedcyfrowej dla jednokierunkowego przepływu energii, są fundamentalnie nieprzystosowane do dwukierunkowej komunikacji i integracji z nowoczesnymi platformami IoT czy AI.
2. **Fragmentacja cyfrowa i brak interoperacyjności.** Sektor przypomina archipelag „wysp automatyzacji”, które nie potrafią się ze sobą komunikować. Brak jednolitych standardów wymiany danych prowadzi do systemowej nieefektywności. Szacuje się, że straty wynikające z braku optymalizacji przepływów energii i dublowania inwestycji IT wyniosą **15-20 miliardów PLN** w perspektywie do 2040 roku.
3. **Krytyczny deficyt kompetencji.** Polska energetyka boryka się z dramatycznym brakiem specjalistów łączących wiedzę z zakresu inżynierii elektrycznej (OT) i cyberbezpieczeństwa (IT). Lukę tę szacuje się na **5000-7000 etatów do 2030 roku**. Przy obecnym tempie kształcenia (200-300 absolwentów rocznie) luka ta będzie się pogłębiać, eksponując infrastrukturę krytyczną na ataki.
4. **Niski poziom cyberbezpieczeństwa.** Wskaźnik gotowości w zakresie cyberbezpieczeństwa oceniono na 2,1/5 (wg ram NIST). Oznacza to podstawowy poziom zabezpieczeń, nieadekwatny do skali zagrożeń ze strony zorganizowanych grup przestępczych i aktorów państwowych.

Siedem wymiarów strategicznych transformacji

- **Gospodarka przestrzeni wymiany.** Efektywny rynek energii wymaga algorytmicznego handlu w czasie rzeczywistym. Brak zaawansowanych narzędzi analitycznych uniemożliwia wykorzystanie arbitrażu międzynarodowego i optymalne zagospodarowanie nadwyżek OZE, generując potencjalne straty rzędu **2-4 miliardów PLN rocznie**.
- **Deregulacja i inteligentne sieci.** Bolesna lekcja z kryzysu kalifornijskiego (2000-2001), który kosztował gospodarkę USA ponad **40 miliardów USD**, jest jednoznaczna: deregulacja bez inteligentnego opomiarowania i sterowania prowadzi do chaosu i manipulacji cenowych. Wolny rynek energii potrzebuje cyfrowego nadzoru.
- **Konwergencja technologiczna (V2G, BaaP).** Integracja elektromobilności z siecią (Vehicle-to-Grid) to szansa na gigantyczny, rozproszony magazyn energii. Flota **1 miliona pojazdów elektrycznych** (z bateriami 60 kWh) tworzy wirtualny magazyn o pojemności 60 GWh – to równowartość mocy całej polskiej energetyki szczytowej. Zarządzanie taką flotą bez AI jest niemożliwe.
- **Przemysł wysokich technologii.** Sektory takie jak produkcja półprzewodników czy centra danych (AI/Cloud) wymagają zasilania o parametrach "ultra-reliability". Polska ma szansę przyciągnąć inwestycje generujące **50-100 tysięcy miejsc pracy** i popyt na **20-30 TWh** energii, ale tylko pod warunkiem zapewnienia stabilności sieci.
- **Bezpieczeństwo dostaw i suwerenność.** W dobie wojen hybrydowych, cyfrowa suwerenność staje się tożsama z bezpieczeństwem narodowym. Zależność od zagranicznych dostawców oprogramowania sterującego infrastrukturą krytyczną jest ryzykiem nieakceptowalnym.

- **Sprawiedliwa transformacja społeczna.** Cyfryzacja umożliwia precyzyjne adresowanie wsparcia dla ubogich energetycznie oraz demokratyzację zysków z transformacji poprzez rozwój energetyki obywatelskiej.
- **Adaptacja klimatyczna:** Inteligentne sieci, dzięki sensorom IoT i analityce predykcyjnej, są bardziej odporne na ekstremalne zjawiska pogodowe, pozwalając na szybszą relokację zasobów i automatyczną rekonfigurację po awariach.

Mapa Drogowa Transformacji (2025-2040)

Faza I – fundamenty (2025–2028): Awaryjne wyjście z "pustyni IT"

Priorytetem tej fazy jest budowa solidnego fundamentu infrastrukturalnego. Działania mają charakter "inwestycji ratunkowej", niezbędnej do uniknięcia zapaści systemu przy rosnącym udziale OZE.

Kluczowe działania i inwestycje Fazy I

- **Digitalizacja szkieletowej infrastruktury (20 mld PLN):**
 - Doprowadzenie łączy światłowodowych do **100%** stacji elektroenergetycznych (koszt: 8-10 mld PLN) w celu zapewnienia redundantnej komunikacji.
 - Masowe wdrożenie sensorów IoT w **50%** krytycznych węzłów sieci (200-300 tys. urządzeń, koszt: 5-7 mld PLN) dla monitoringu w czasie rzeczywistym.
 - Modernizacja **30-40%** systemów SCADA do standardów cyberbezpieczeństwa "security-by-design" (koszt: 5-6 mld PLN).
- **Cyberbezpieczeństwo:** Uruchomienie **3 regionalnych centrów SOC** (Security Operations Center), zatrudniających łącznie 90-150 ekspertów, monitorujących sieć w trybie 24/7.
- **Kompetencje:** Wdrożenie krajowego programu kształcenia celem pozyskania **5000 specjalistów** cyberbezpieczeństwa OT.
- **Zarządzanie:** Powołanie Krajowej Rady Transformacji Energetycznej (KRTE).

Faza II – Akceleracja i skalowanie rozwiązań (2029–2035)

Faza ta koncentruje się na powszechnym wdrożeniu technologii Smart Grid oraz integracji elektromobilności. Jest to okres dynamicznego wzrostu inwestycyjnego i technologicznego skoku.

- **Smart Grid:** objęcie **80%** sieci standardem inteligentnym. Wdrożenie algorytmów sztucznej inteligencji (AI) wspierających **50%** operacji dyspozytorskich.
- **Vehicle-to-Grid (V2G):** integracja **1-2 milionów pojazdów elektrycznych**, tworzących rozproszony magazyn energii o mocy **4-10 GW**, stabilizujący system.
- **Przemysł High-Tech:** budowa 3-5 gigafabryk baterii. Zaspokojenie zapotrzebowania przemysłu wysokich technologii na poziomie przekraczającym **100 TWh** rocznie.
- **Nakłady inwestycyjne:** szacowane na **150-300 miliardów PLN**.

Cele na koniec 2035: Dojrzałość cyfrowa 3,8/5 | Udział OZE 45-55% | SAIDI < 150 min/rok

Faza III – Optymalizacja i ekscelencja (2036–2040)

Ostatnia faza to osiągnięcie pełnej dojrzałości cyfrowej i autonomii operacyjnej systemu.

- **Autonomia sieci: 90%** procesów sieciowych sterowanych jest w pełni autonomicznie przez zaawansowane systemy AI, z minimalnym nadzorem człowieka.
- **Bezpieczeństwo przyszłości:** wdrożenie kryptografii post-quantowej (odpornej na komputery kwantowe) w całej infrastrukturze krytycznej.
- **Integracja sektorowa:** pełna synergia systemów elektrycznych, ciepłowniczych i transportowych (sector coupling).
- **Eksport know-how:** Polska staje się eksporterem technologii Smart Grid, generując przychody rzędu **3-8 miliardów EUR rocznie**.

KPI na koniec 2040: Dojrzałość cyfrowa 4,5/5 | Udział OZE 60-70% | SAIDI < 100 min/rok | Zero curtailment (brak odłączeń OZE)

5. Mechanizmy Finansowania i Zarządzania

Całkowity koszt transformacji cyfrowej w latach 2025-2040 szacowany jest na **400-900 miliardów PLN**. Skala ta wymaga zastosowania hybrydowego modelu finansowania:

- **Fundusze Unijne (30-40%):** wykorzystanie środków z KPO, funduszy strukturalnych oraz inicjatywy REPowerEU.
- **Kapitał Prywatny (40-50%):** mobilizacja środków poprzez emisję zielonych obligacji, formułę Partnerstwa Publiczno-Prywatnego (PPP) oraz inwestycje bezpośrednie operatorów.
- **Środki Krajowe (15-20%):** reinwestycja przychodów z systemu handlu emisjami (ETS) oraz dedykowane fundusze celowe.

Dla zapewnienia skuteczności wdrożenia, kluczowe jest powołanie **Krajowej Rady Transformacji Energetycznej (KRTE)** jako centralnego organu koordynującego, wspieranego przez operacyjną Jednostkę Realizacyjną ds. Cyfryzacji Energetyki. System zarządzania oparty będzie o kwartalne raportowanie postępów w oparciu o twarde wskaźniki KPI. Aspekt społeczny transformacji zabezpieczać ma „**Tarcza Społeczna**”, obejmująca bony energetyczne dla gospodarstw domowych o dochodach poniżej 60% mediany, dotacje do termomodernizacji pokrywające 50-80% kosztów oraz masowe programy przekwalifikowania (reskilling) dla 100 tysięcy pracowników sektora do 2035 roku.

Wnioski i rekomendacje

Przeprowadzona analiza prowadzi do jednoznacznych konkluzji. Cyfryzacja polskiej energetyki nie jest kwestią wyboru, lecz koniecznością egzystencjalną dla bezpieczeństwa państwa i konkurencyjności gospodarki. Koszty zaniechania (Business as Usual) są nie tylko wyższe od kosztów inwestycji, ale niosą ze sobą ryzyko systemowej katastrofy.

Kluczowe imperatywy strategiczne:

1. **Zmiana paradygmatu myślenia:** Cyfryzacja musi być traktowana jako strategiczna inwestycja narodowa o stopie zwrotu (społeczny ROI) rzędu **5-10x** w horyzoncie 15 lat, a nie jako koszt operacyjny.
2. **Pilność działania:** Należy natychmiast uruchomić Fazę I (2025-2028). Okno możliwości na uniknięcie "pułapki niestabilności" zamyka się w ciągu najbliższych 2-3 lat.

3. **Rachunek zysków i strat:** Koszty bierności, szacowane na **80-115 miliardów PLN** strat bezpośrednich do 2040 roku (bez uwzględnienia utraconych korzyści z rozwoju przemysłu), znacznie przekraczają koszty wymaganych interwencji w Fazie I.
4. **Technologiczne "być albo nie być":** Bez skoku cyfrowego niemożliwe jest osiągnięcie udziału OZE powyżej 35% bez ryzyka blackoutów, wdrożenie skutecznej deregulacji, czy rozwój technologii V2G i BaaP.
5. **Centralizacja koordynacji:** Skuteczna transformacja wymaga przełamania silosowości resortowej poprzez silną pozycję KRTE.



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