

**Polska Agenda Odporności Cyfrowej 2040**

model strategicznego przygotowania  
na antynomie cyfryzacji.

# Scenariusz: Systemowa niestabilność

obszar strategiczny: Energetyka

Anatomia cyfrowej kruchości polskiej energetyki do 2040 roku

# Główny paradoks: modernizacja jako źródło zagrożenia

## Intuicja

- Więcej OZE - większe bezpieczeństwo
- Więcej automatyzacji - lepsza kontrola
- Inwestycja 1,5–1,7 bln zł = sukces
- Cyfryzacja to postęp

## Scenariusz

- Więcej OZE bez cyfryzacji - większe ryzyko blackoutów
- Automatyzacja bez architektury - „złożoność dekompozycyjna”
- Inwestycja bez Smart Grid - pieniądze przyspieszające kryzys
- Cyfryzacja powierzchowna - nowe wektory ataku

*„Polska wpada w pułapkę własnej modernizacji. Powierzchowna automatyzacja tworzy system bardziej skomplikowany, a przez to mniej odporny.”*

# Spirala podatności

Zjawisko	Skutek
Brak analityki predykcyjnej (24–72h OZE)	Koszty operacyjne +15–20%, nadmierne rezerwy mocy
Brak automatycznej regulacji 50 Hz	Ryzyko blackoutów +35–45%
Chaos prosumencki (3–5 mln instalacji do 2040)	Miliony niesynchronizowanych źródeł = destabilizacja sieci
„Wieża Babel” — brak interoperacyjności	Silosy danych, koszty integracji rosną do 7% vs. cel 1,6%
Dług techniczny IT	Każdy rok zwłoki = koszty transformacji +3–5% (150–250 mld zł do 2040)
Niedoinwestowane cyberbezpieczeństwo	Ataki na infrastrukturę: +340% (2019–2024), 68% przez luki w legacy
Luka kompetencyjna	Odptyw specjalistów IT → powrót do błędogennych procedur manualnych

# Cyfrowa kruchość i złożoność dekompozycyjna

## Złożoność dekompozycyjna – przykład:

Tradycyjna sieć  
(2000):

- Elektrownia A — Sieć
- Elektrownia B — Sieć
- Elektrownia C — Sieć
- [Operator WIDZI system]

Sieć w 2035  
bez Smart Grid:

- 3 mln prosumentów
- 450 farm wiatrowych
- 200 farm PV
- Miliony pojazdów elektrycznych
- [Operator TONIE w danych]
- [NIKT nie widzi całości]

**Cyfrowa kruchość:** Stan, w którym **wzrost złożoności technologicznej wyprzedza wzrost odporności** systemu. Zamiast samoleczenia — kaskadowe awarie.

## Efekty:

### Brownouty

- lokalne spadki jakości napięcia jako „nowa normalność”

### Blackouty kaskadowe

- awaria jednego węzła wywołuje lawinę

### Data overload w centrach sterowania

- operatorzy nie nadążają z decyzjami

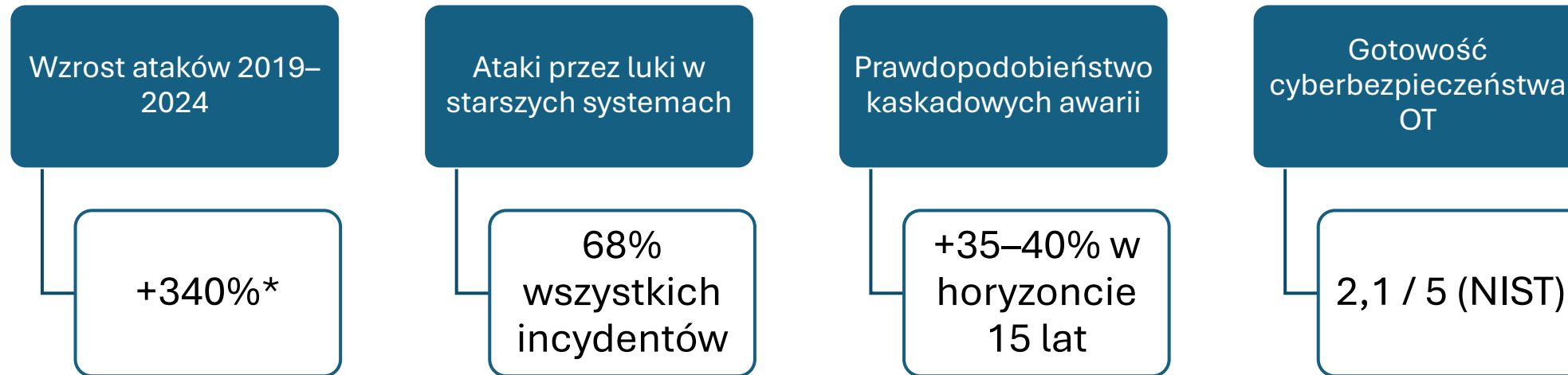
# Spirala „ucieczki z sieci” (Grid Defection)



## Konsekwencja systemowa:

- Koszty bilansowania systemu: znacząco wyższe niż w systemie cyfrowo stabilnym
- Koszty integracji OZE: zamiast spaść do pozostałych na tym samym poziomie

# Cyberbezpieczeństwo: dramatyczna eskalacja zagrożeń



## Potencjalne źródła zagrożeń:

- Wrogie państwa**
  - ataki na infrastrukturę krytyczną jako akt wojenny
- Grupy przestępcze**
  - ransomware na systemy SCADA (precedens: Colonial Pipeline USA)
- Zagrożenia kwantowe**
  - przyszłe złamanie obecnej kryptografii

# Rachunek ekonomiczny kryzysu



## Całkowite planowane inwestycje

- 1,5–1,7 bln PLN



## Z czego na OZE

- 600 mld PLN



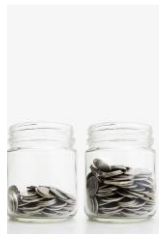
## Dodatkowe koszty długu technicznego

- +150–250 mld PLN do 2040



## Roczny koszt zwłoki

- 3–5% kosztów transformacji



## Wyższe koszty operacyjne

- +15–20% vs. system dojrzały



## Wyższe koszty bilansowania

- +40–60% vs. system cyfrowy



## Grid defection — utrata przychodów OSD

- Spirala nieodwracalna

**Kluczowy wniosek:** Polska może wydać 1,7 bln zł i **pogorszyć** stabilność systemu, jeśli cyfryzacja pozostanie powierzchowna

# Rekomendacje: cztery imperatywy

## Imperatyw integracji

- obowiązkowe standardy interoperacyjności dla całego sektora; koniec „Wieży Babel”

## Cyberbezpieczeństwo jako fundament

- ochrona OT na równi z ochroną fizyczną elektrowni; traktowane jako element obronności

## Realizm inwestycyjny

- rozbudowa OZE musi być synchronizowana z rozbudową Smart Grid; zakaz „sieci bez inteligencji”

## Kapitał ludzki

- likwidacja luki kadrowej hybrydowej (IT + energetyka), eliminacja „data overload” operatorów centrów sterowania

## Okno działania:

Każdy rok zwłoki to 3 – 5% kosztów transformacji. Przy aktualnym tempie wzrostu dojrzałości — katastrofa do 2040 jest statystycznie pewna.

# Konkluzja

*„Nie ma nic groźniejszego niż modernizacja bez fundamentów — bo daje złudzenie bezpieczeństwa, którego nie ma.”*



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

# Postscriptum: scenariusz na jedną stronę

To scenariusz **najgroźniejszy w serii energetycznej** — i najsubtelniejszy. To historia **aktywnej katastrofy spowodowanej działaniem** — modernizacji, która niszczy bardziej niż bierność. Polska wpada w **pułapkę własnej modernizacji**.

Paradoks jest precyzyjny i przerażający: inwestujemy **1,5–1,7 biliona złotych** w transformację energetyczną. Budujemy farmy wiatrowe na Bałtyku, instalujemy miliony paneli fotowoltaicznych, podłączamy miliony prosumentów. I ten wysiłek — jeśli nie zostanie oparty na **dojrzałej cyfrowej architekturze** — zamienia się w broń zwróconą przeciwko nam. System staje się bardziej złożony, bardziej zależny od cyfryzacji, ale cyfryzacja pozostaje **powierzchowna, sfragmentowana, niespójna**. Efekt: im więcej OZE, tym więcej chaosu.

Mechanizm nosi nazwę „**złożoności dekompozycyjnej**” — system staje się zbyt skomplikowany dla własnych narzędzi kontrolnych. To jak budowanie kolejnych pięter wieżowca na fundamentach domku z kart. Każde nowe piętro OZE jest właśnie takim piętrzem. Przy trzech milionach prosumentów bez wspólnej platformy zarządzania, bez automatycznej regulacji częstotliwości 50 Hz, bez analityki predykcyjnej na 24–72 godziny — **sieć nie widzi samej siebie**. Operatorzy toną w danych, których nie potrafią przetworzyć. Pojawia się „nowa normalność”: **brownouty, blackouty kaskadowe, awarie z przeciążenia informacyjnego**.

Wyjście od systemu — „**grid defection**” — dopełnia spiralę: przemysł energochłonny ucieka na własne mikrosieci, zabierając ze sobą przychody operatorów dystrybucyjnych, którzy przez to nie mają środków na modernizację, przez co jakość energii spada dalej, przez co kolejni odbiorcy uciekają. Pętla się zamyka.