



Cyberenergetyka – czyli jak sterować energią

Polska ma ponad 35 GW mocy fotowoltaicznych i wiatrowych oraz ponad 1,3 mln prosumentów, ale wciąż zarządza nimi tak, jakby system składał się z kilkuset bloków sterowanych z jednej dyspozytorni. Cyberenergetyka proponuje zmianę paradygmatu: od mocy do sterowania, od centrum do brzegu sieci, od płatnika rachunku do współgospodarza energii. Obywatel decyduje, AI wykonuje, sieć się bilansuje, państwo strzeże reguł [1].

Geneza i praprzyczyna problemów z energetyką rozproszoną

W ciągu pięciu lat moc fotowoltaiki w Polsce wzrosła z ok. 4 GW do ok. 24,8 GW, a źródła odnawialne przekroczyły połowę mocy zainstalowanej. Ten sukces zbudowali w dużej mierze sami obywatele. System, do którego się przyłączyli, zaprojektowano jednak dla innego świata: popyt był w nim zakłóceniem, a elektrownie podążały za odbiorem.

Skutki są mierzalne. Nierynkowe ograniczenia wiatru i PV wzrosły z 0,1 TWh w 2023 r. do 1,4 TWh w 2025 r., niemal wyłącznie z przyczyn bilansowych, a rynek dnia następnego notował ok. 400 godzin cen ujemnych [1]. 29 grudnia 2025 r. skoordynowany atak objął co najmniej 30 farm wiatrowych i fotowoltaicznych oraz elektrociepłownię dostarczającą ciepło niemal pół miliona odbiorców; w punktach przyłączenia wykorzystano m.in. domyślne poświadczenia sterowników [5]. Generacja nie została zakłócona, ale operator utracił zdalne sterowanie.

Praprzyczyną nie jest więc brak mocy ani paliwa, lecz brak sterowania: państwo nie widzi brzegu sieci i nie potrafi nim zarządzać. Dlatego – jak pisałem na łamach „Nowej Energii” – powrót do węglowego retrofitu nie jest strategią, lecz próbą przedłużenia modelu, który traci zdolność konkurowania [4].

Doktryna energetyczna potrzebna od zaraz

Doktryna Energetyczna portalu TechnoSanacja [2] stawia tezę, że energetyka to ustrój, a nie mikś paliw. Jej formuła – „System jawny. Bilans sterowalny. Energia suwerenna.” – ustanawia trzy warunki łączne: transparentność (obserwowalność sieci i jawność danych), sterowalność (bilansowanie przez algorytmy) i suwerenność (odporność na nacisk). System jawny, lecz niesterowalny, jest opisem awarii w czasie rzeczywistym; sterowalny, lecz niesuwerenny – jest sterowany z zewnątrz; suwerenny, lecz nieobserwowalny – sterowany na ślepo.

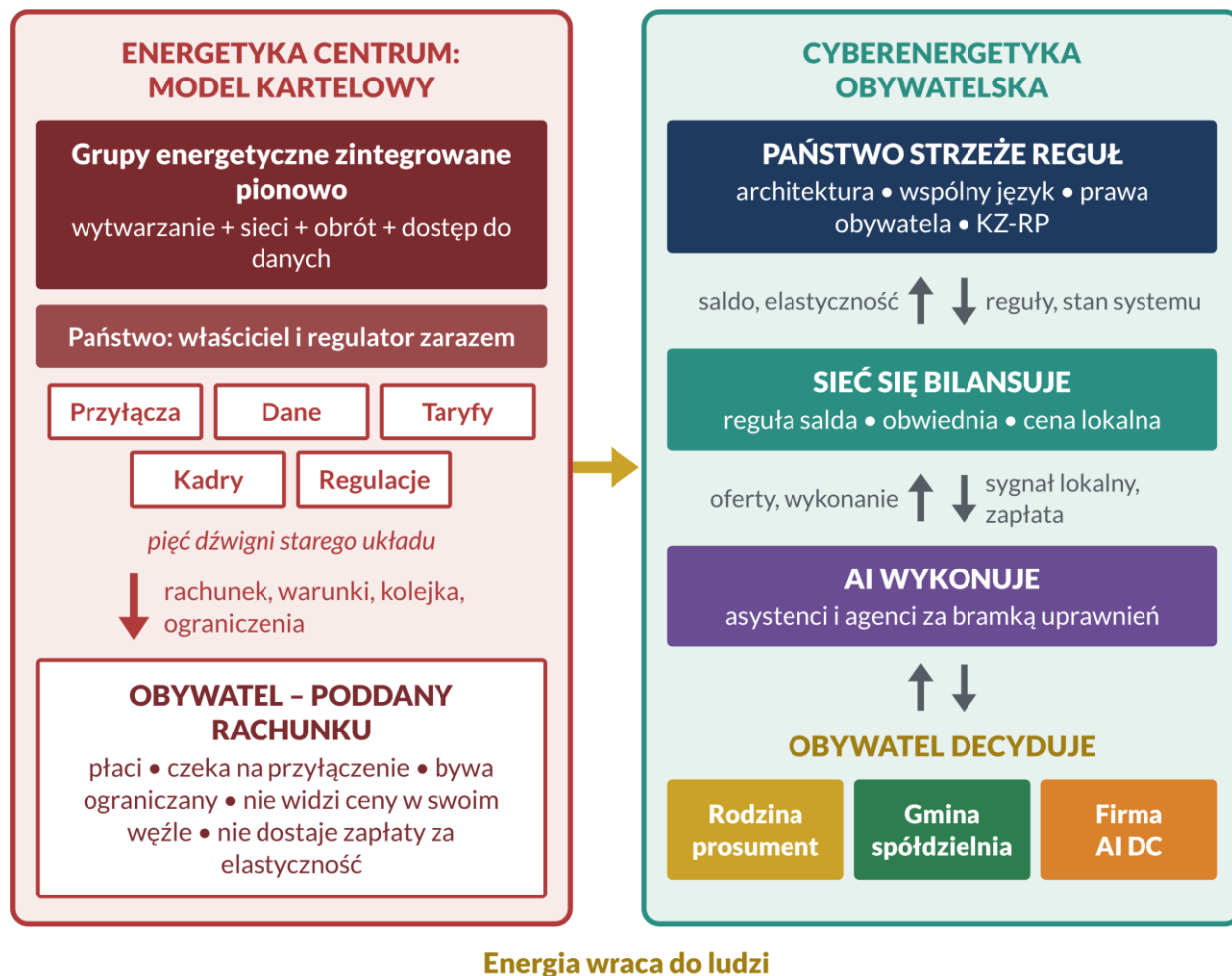
Doktryna wskazuje też dźwignię główną starego układu: kontrolę danych. Kto jako jedyny zna stan sieci, ten kształtuje kolejność przyłączy, taryfy i zakres inwestycji. Otwarcie danych sieciowych jest więc aktem ustrojowym, a nie decyzją techniczną. Pozostaje pytanie wykonawcze: kto, czym i w jakim czasie naciska „guzik” w systemie milionów urządzeń należących do obywateli? Odpowiedzią jest cyberenergetyka.

Teza główna i definicja cyberenergetyki

Cyberenergetyka to ujęcie systemu energetycznego jako cyberfizycznej pętli sterowania, w której stabilność i bilans zależą od algorytmów, danych i łączności tak samo jak od maszyn i przewodów. Punkty sterowania, obserwacji i ataku są rozproszone na brzegu sieci, a energia, moc obliczeniowa i przemysł tworzą jeden system strategiczny [1].

Teza główna brzmi: energia wraca do ludzi. Obywatel ma już elektrownię na dachu, magazyn w garażu i pompę ciepła – brakuje mu prawa i narzędzia, by nimi sterować i na tym zarabiać. Konstrukcyjnie system sterowania jest iloczynem: architektura × semantyka × agenci × kryteria zależne od stanu systemu. Brak jednego elementu zeruje całość (rys. 1).

Od poddanego rachunku do współgospodarza energii



Rys. 1. Od poddanego rachunku do współgospodarza energii: model kartelowy energetyki centrum i model cyberenergetyki obywatelskiej. Źródło: [1]

Dwanaście decyzji strategicznych

Strategia [1] przekłada tezę na dwanaście decyzji. Pierwsze dwie dotyczą obywatela: ustawowe prawo do sterowania własną energią, do danych i do zapłaty za elastyczność oraz otwarty, certyfikowany Asystent Energetyczny Obywatela, przenośny między dostawcami. Trzecia to wspólny język systemu – krajowa architektura referencyjna SGAM-RP+ i otwarty profil semantyczny. Kolejne trzy porządkują koordynację: co-dispatch zamiast rozkazu, fizyka sieci w sygnale cenowym oraz standard 3S, w którym każdy przyłączony megawat jest skomunikowany, sterowalny i strzeżony.

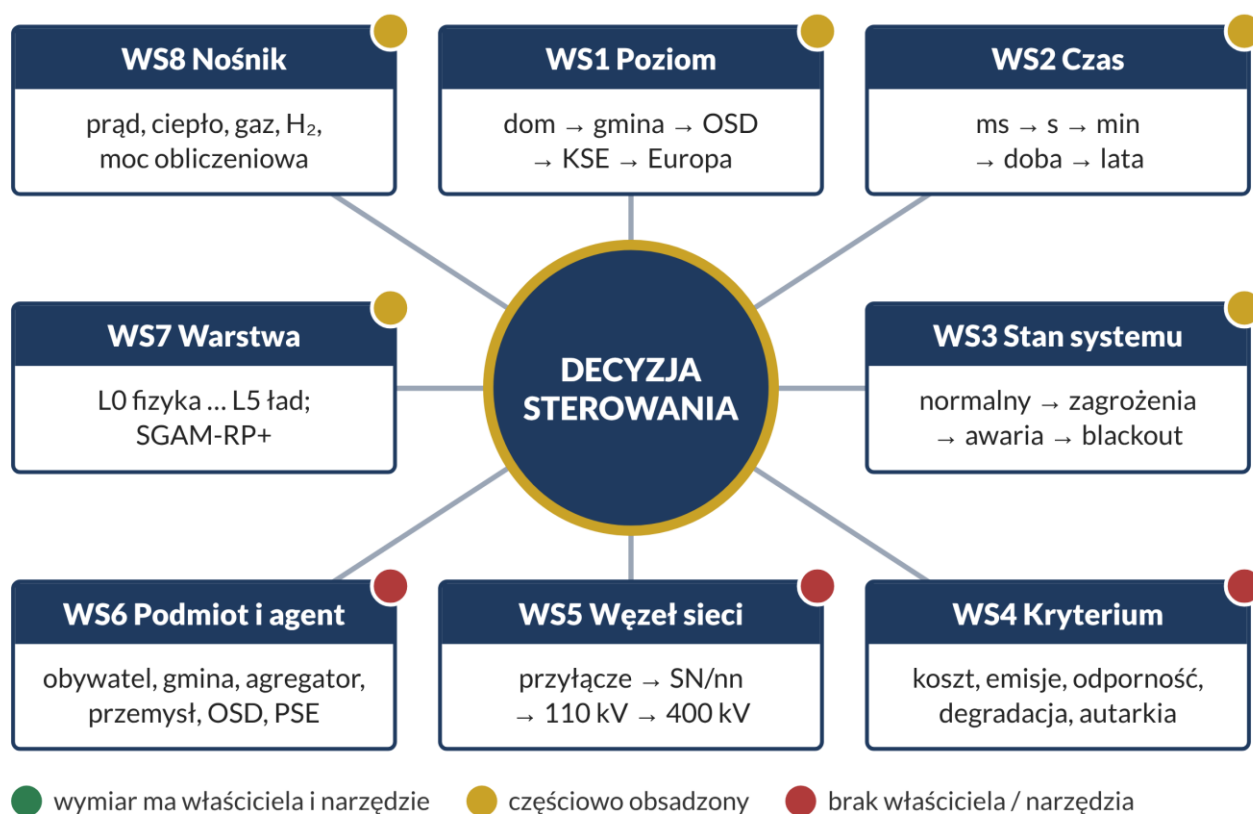
Decyzje siódma i ósma dotyczą regulacji: operatorom płaci się za wynik, nie za beton, a kryteria działania są z góry przypisane stanom systemu. Ostatnie cztery to autonomia AI według odwracalności decyzji, kontrola kanału zdalnych poleceń i aktualizacji, Kontrakt Sterowalności Przemysłowej oraz niezależny pomiar, po którym wsparcie bez wyniku wygasa.

Osiem wymiarów sterowania energią

W systemie kilkuset bloków jedna decyzja dyspozytora rozwiązywała naraz problem bilansu, częstotliwości i kosztu. Dziś ta sama pompa ciepła może w jednej godzinie obniżyć rachunek rodziny, odciążać osiedlowy transformator, wspierać bilans krajowy, a w kryzysie podtrzymywać pracę wyspą gminy. Zgodnie z prawem wymaganej różnorodności Ashby'ego rosnącej różnorodności zakłóceń nie zrównoważy ani dyspozytor, ani jeden centralny algorytm – tylko rozproszona różnorodność odpowiedzi.

Każdą kilowatogodzinę trzeba więc rozliczyć w ośmiu wymiarach (rys. 2): poziomu, czasu (od milisekund do lat), stanu systemu (od normalnego po blackout i odbudowę), kryterium (koszt, emisje, odporność), węzła sieci, podmiotu i jego agenta, warstwy technicznej oraz nośnika (prąd, ciepło, gaz, wodór, moc obliczeniowa). Luka w jednym wymiarze jest luką sterowania. W Polsce brakuje dziś właścicieli wymiaru podmiotu, węzła dystrybucyjnego, kryterium i warstwy semantycznej.

Osiem wymiarów sterowania energią (8W)



ocena autora, X 2026

Rys. 2. Osiem wymiarów sterowania energią (8W): poziom, czas, stan systemu, kryterium, węzeł sieci, podmiot, warstwa i nośnik. Źródło: [1]

Kontrakt Zbieżności

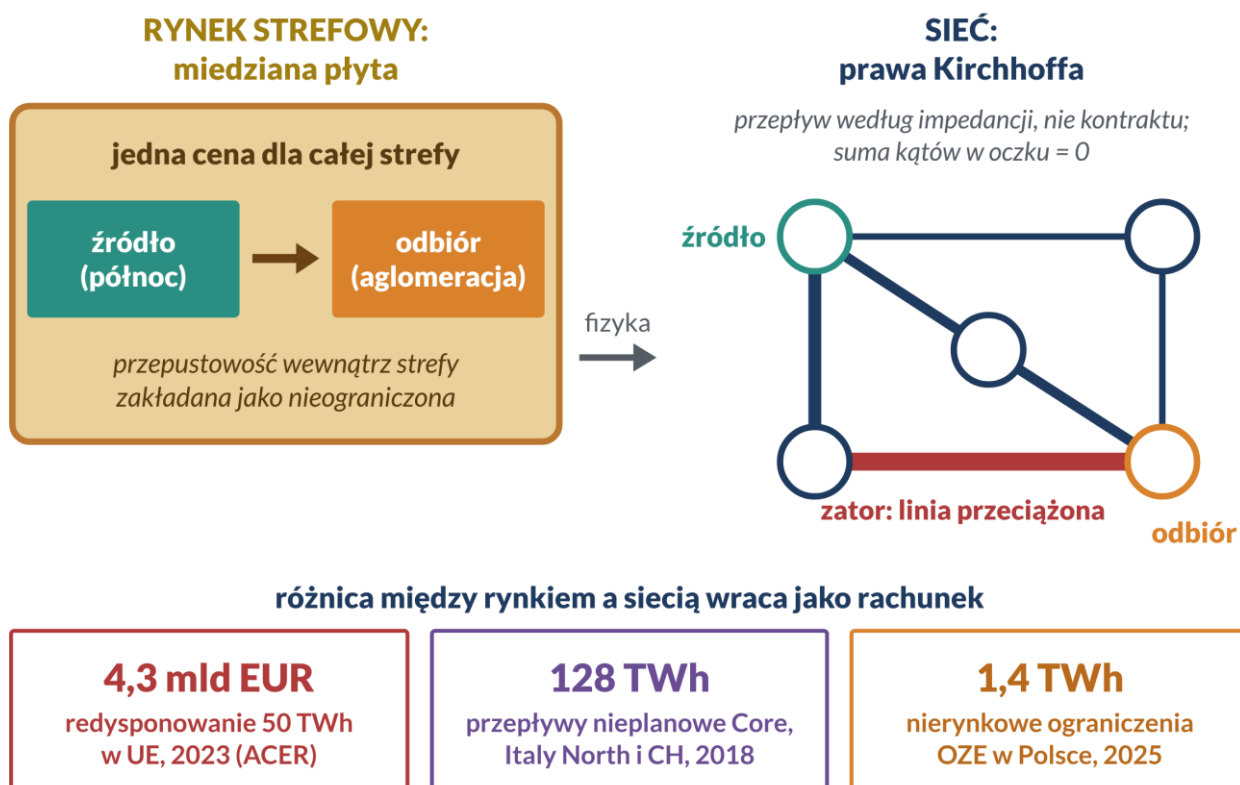
Koordinacja milionów urządzeń nie może polegać na rozkazie: obliczenia centralne się nie skalują, preferencje odbiorców są prywatne, łączność bywa zawodna, a fizyka sieci jest nieliniowa. Rozwiązaniem jest co-dispatch – optymalizacja rozproszona, w której odbiorca staje się zmienną decyzyjną systemu. Państwo nie musi projektować każdego algorytmu; wystarczy, że określi gwarancje, które algorytm musi spełnić, zanim dotknie sieci.

Temu służy Kontrakt Zbieżności (KZ-RP) – standard dopuszczenia mechanizmów rozproszonych do pracy w KSE. Obejmuje siedem elementów: wymianę wyłącznie zmiennych brzegowych i obwiedni (bez surowych profili odbiorców), klasę problemu optymalizacyjnego, kryterium stopu ze ścieżką awaryjną, wymagania dotyczące opóźnień i utraty pakietów, budżet prywatności, rolę AI wyłącznie jako propozycji oraz audyt. Zasada brzmi: AI proponuje, solver weryfikuje, certyfikat rozstrzyga.

Miedziana płyta kontra Kirchhoff

Rynek strefowy zakłada, że wewnątrz strefy sieć jest „miedzianą płytą” o nieograniczonej przepustowości. W sieciach oczkowych przepływy rozkładają się jednak według impedancji, a nie według kontraktów. Różnicę koryguje się redysponowaniem, przepływami kołowymi i ograniczaniem OZE – w 2023 r. redysponowanie 50 TWh kosztowało w UE 4,3 mld EUR [1]. Prosument na północy, gdzie latem jest nadwyżka i prosument w przeciążonej wieczorem aglomeracji płacą tę samą cenę, choć ich elastyczność ma zupełnie inną wartość (rys. 3).

Miedziana płyta kontra Kirchhoff



Rys. 3. Miedziana płyta kontra Kirchhoff: rynek strefowy zakłada jedną cenę i nieograniczoną sieć, a fizyka rozkłada przepływy według impedancji; różnica wraca jako redysponowanie, przepływy kołowe i ograniczenia OZE. Źródło: [1]

Rekomendacja dla Polski brzmi: „węzły wewnątrz, strefa na zewnątrz”. Bez podziału strefy cenowej można upublicznić węzłowe ceny cienia, wprowadzić lokalizacyjne opłaty i dynamiczne taryfy sieciowe w strefach zatorów, zastąpić część redysponowania administracyjnego rynkowym oraz dać priorytet przyłączeniowy magazynom, elektrolizerom i centrom danych w węzłach nadwyżki OZE.

Transformacja energetyczna w erze AI

Blackout iberyjski z 28 kwietnia 2025 r. pokazał, że przy wysokim udziale falowników stabilność staje się oprogramowaniem: kaskada zdarzeń doprowadziła do upadku systemów Hiszpanii i Portugalii w ciągu kilkudziesięciu sekund [6]. Skoro stabilność to oprogramowanie, atak na oprogramowanie jest atakiem na stabilność – stąd wymóg grid-forming, kontroli kanału poleceń i zdolności do pracy wyspowej obiektów krytycznych.

Nowy przemysł staje się zarazem nowym regulatorem. Zużycie energii przez centra danych na świecie ma się podwoić do ok. 945 TWh w 2030 r. Klaster AI Data Center pobierający energię płasko pogłębia szczyt wieczorny; ten sam klaster przesuwający część zadań na południe pochłania nadwyżkę PV. Różnica tkwi wyłącznie w regule przyłączenia i w sygnale cenowym [1].

Transformacja musi być też sprawiedliwa. Polska otrzyma 11,44 mld EUR ze Społecznego Funduszu Klimatycznego i 3,5 mld EUR z Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji, a od 2028 r. ETS2 doda cenę CO₂ do rachunków za ogrzewanie i paliwo. Strategia Sprawiedliwej Transformacji [3] proponuje pętlę: zmierz dobrostan, nie wydatki; daj alternatywę przed regulacją; oddaj przychód przed rachunkiem; pokaż dane przed decyzją. Cyberenergetyka daje tej pętli narzędzia – asystenta, który obniża rachunek, i spółdzielnię, która bilansuje się lokalnie.

Decyzje z lat 2026–2028 o standardzie przyłączenia, danych, prawach obywatela i warunkach dla AI Data Center przesądzą, czy w 2035 r. Rzeczpospolita będzie państwem współgospodarzy energii, czy poddanych rachunku. System jawny. Bilans sterowalny. Energia suwerenna. Państwo odporne. Obywatel u steru.

Bibliografia

1. Węgrzyn A., „Cyberenergetyka – wielowymiarowe sterowanie energią w Rzeczypospolitej. Obywatel u steru: od poddanego rachunku do współgospodarza energii”, Biblioteka TechnoSanacji nr 33, wersja 2.0, TechnoSanacja, Polska 2026, <https://technosanacja.pl/wp-content/uploads/2026/10/cyberenergetyka-wielowymiarowe-sterowanie-energia.pdf>.
2. Węgrzyn A., „Doktryna Energetyczna. Energia to cywilizacyjny regulator rozwoju państwa”, Biblioteka TechnoSanacji nr 20, TechnoSanacja, Polska 2026, <https://technosanacja.pl/wp-content/uploads/2026/07/doktryna-energetyczna.pdf>.
3. Węgrzyn A., „Strategia Sprawiedliwej Transformacji. Strategia dziedzinowa TechnoSanacji na drodze do TechnoRepubliki”, Biblioteka TechnoSanacji nr 38, TechnoSanacja, Polska 2026, <https://technosanacja.pl/wp-content/uploads/2026/09/strategia-sprawiedliwej-transformacji.pdf>.
4. Węgrzyn A., „Technologiczna rewolucja v. węglowy retrofit. Brytyjska lekcja dla polskiej strategii transformacji”, Nowa Energia, 2026, nr 3(104), s. 40–43.
5. CERT Polska, „Raport z incydentu w sektorze energii 29.12”, NASK – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2026, https://cert.pl/uploads/docs/CERT_Polska_Raport_Incydent_Sektor_Energii_2025.pdf.
6. ENTSO-E Expert Panel, „Grid Incident in Spain and Portugal on 28 April 2025. Final Report”, ENTSO-E, Brussels 2026.