



Prof. dr hab. inż. Jan Popczyk

ODDZIAŁ GLIWICKI SEP
PRZEWODNICZĄCY SEKCJI NOWYCH KONCEPCJI I TECHNOLOGII ENERGETYCZNYCH
POWSZECHNA PLATFORMA TRANSFORMACYJNA ENERGETYKI 2050

TRANSFORMACJA ENERGETYKI

Paradygmatyczny triplet i mapa oraz trajektoria (cz. 3)¹⁾

Streszczenie: Transformacja współczesnej energetyki paliw kopalnych w monizm elektryczny (2050) oznacza szokową zmianę bilansów energetycznych (w artykule przedstawia się dla ilustracji charakterystyczny bilans dla domu jednorodzinnego w Polsce, dla Polski i dla świata). Analiza fundamentalnych podstaw tych zmian (termodynamicznych, elektroenergetycznych, ekonomicznych i społecznych) pozwala sformułować paradygmaty rozwojowe nowej energetyki: prosumencki, egzenergetyczny i wirtualizacyjny (ostatni w odniesieniu do elektroenergetyki). Jest to triplet, który ułatwia zaproponowanie nowej architektury rynku energii elektrycznej oraz tworzy możliwość racjonalizacji trajektorii transformacyjnej (2018-2050) za pomocą mechanizmów rynkowych.

TRANSFORMATION OF THE ENERGY INDUSTRY

Paradigmatic triplet, map and trajectory (part 3)

Summary: Transformation of the energy market, based on of fossil fuels, into electric monism (2050) means a shock change in energy balance (to illustrate this the article presents an example of a characteristic balances for a single-family home in Poland, for Poland and for the world). The analysis of the fundamental foundations of these changes (thermodynamic, electric, economic and social) allows to formulate the following development paradigms of the new energy issues: prosumers, exergy and virtualization (the last one in relation to power industry). It is a triplet that facilitates the proposal of new architecture of the electricity market and creates the opportunity to rationalize the transformation trajectory (2018-2050) by means of market mechanisms.

CZĘŚĆ III

TRANSFORMACJA DO MONIZMU ELEKTRYCZNEGO

Stawia się hipotezę, że najsilniejszym narzędziem praktycznej realizacja transformacji energetyki od stanu A do stanu B jest rynek energii elektrycznej prowadzący do monizmu elektrycznego, który w praktyce oznacza efektywne zarządzanie procesami przetwarzania energii elektrycznej (substratu) w komplet niezbędnych prosumenckich usług energetycznych (oświetleniowych, multimedialnych, komputerowych, pralniczych, ...; usług zapewniających komfort środowiskowy, ...; usług transportowych, ...; usług zapewniających funkcjonowanie przemysłu; ...) [6, 7].

Oczywiście, na rynek ten muszą się składać mechanizmy zapewniające interakcje dwóch rodzajów. Po pierwsze, interakcje przedmiotowe pomiędzy obecnymi trzema sektorowymi rynkami energetycznymi energetyki WEK (ryniki: energii elek-

trycznej, ciepła i paliw transportowych). Po drugie, interakcje podmiotowe pomiędzy energetyką WEK (całą) i EP oraz NI. Jest zrozumiałe, że warunkiem skuteczności nowego rynku energii elektrycznej (polegającej na wytworzeniu stanu monizmu elektrycznego) jest infrastruktura hardwarowo-sofwarowa pomiędzy poza-prosumenckimi źródłami energii elektrycznej i prosumenckim zapotrzebowaniem na energię elektryczną, umożliwiającą „umaszynowanie” rynku energii elektrycznej.

Praktyczne przejście do nowego rynku energii elektrycznej. Z tripletu paradygmatycznego transformacji energetycznej wynikają wprost ramy ustalania praktycznych rozwiązań na rynku energii elektrycznej stanowiącym główną siłę sprawczą kształtującą trajektorię transformacji energetycznej od stanu A do stanu B. W tym kontekście podkreśla się, że (ewolucyjna) transformacja energetyczna nie jest mechanicznym odtwarzaniem programu zawartego w warunkach początkowych

¹⁾ Części 1. i 2. ukazały się w nr 5/2018 ŚWE.

(stan A). Stanowi natomiast proces twórczy, w którym jest miejsce na kreację, jednak za pomocą mechanizmów rynkowych (decyzji mikroekonomicznych), a nie za pomocą polityki energetycznej narzucanej z poziomu makroekonomicznego (władztwa nadbudowy, która utraciła jednak kompetencje).

Dlatego stanów A i B w transformacji energetyki nie da się bezpośrednio traktować w kategoriach równania stanu termodynamicznego, które jest opisem tego stanu wykorzystującym trzy parametry termiczne: ciśnienie, temperaturę i objętość właściwą (oczywiście, tylko dwa z nich są niezależne); przy tym kardynalną właściwością równania stanu jest to, że nie jest ono wrażliwe na trajektorie przejścia układu z jednego stanu w drugi. Z drugiej strony pożyteczne jest szukanie inspiracji w działaniu równania stanu do potrzeb kształtowania trajektorii transformacyjnej energetyki między stanami A i B.

Mianowicie, stan B (horyzont 2050, pełna reelektryfikacja OZE, monizm elektryczny) jest w obecnej rzeczywistości technologicznej, ekonomicznej i społecznej dostatecznie odległy, aby stwierdzić, że niezależnie od trajektorii zostanie on osiągnięty. Tablica praktycznych współczynników transformacji energetycznej do monizmu elektrycznego w pierwszym podejściu (wymagającym surowej weryfikacji) jest bardzo prosta (tab. 2). Centralną kategorią monizmu elektrycznego jest energia użyteczna E_{uz} w postaci energii elektrycznej ze źródeł OZE potrzebna do zaspokojenia wszystkich prosumenckich potrzeb energetycznych.

Celem powiązania energii użytecznej E_{uz} (wyrażonej w jednostkach mianowanych, w praktyce w: MWh, GWh, TWh) ze współczynnikami w tabeli 2 pożyteczne jest wprowadzenie do modelowania trajektorii transformacyjnej bilansów energetycznych unormowania względnej (indeks górny *) energii użytecznej, za pomocą współczynnika struktury bilansu energetycznego (14) energii końcowej E_k , właściwego dla każdego charakterystycznego przypadku (np. dla domu jednorodzinnego, dla kraju, dla świata) w stanie A:

$$w = \sum_{i=1}^4 w_i = 1, \quad (14)$$

gdzie: $w_1 = w_{el}$ – udział względny energii elektrycznej w bilansie, $w_2 = w_{CG}$ – udział względny ciepła grzewczego w bilansie, $w_3 = w_{CWU}$ – udział względny ciepła grzewczego wykorzystwanego do produkcji ciepłej wody użytkowej, $w_4 = w_t$ – udział względny energii chemicznej paliw transportowych.

Korzystając ze współczynników (14) oraz ze współczynników zapisanych w tabeli 2 można energię użyteczną E_{uz}^{B*} w stanie B ekwiwalentną energii (unormowanej) końcowej E_k^{A*} w stanie A wyrazić za pomocą wzoru (15):

$$E_{uz}^{B*} = E_k^{A*} \left(w_{el} + w_{CG} \cdot \frac{E_{PH}}{E_g} \cdot \frac{1}{COP} + w_{CWU} \cdot \frac{1}{COP} + w_t \cdot \frac{\eta_s}{\eta_{EV}} \right). \quad (15)$$

Równanie (15) jest niezależne od czasu, czyli od trajektorii transformacyjnej. Zależy jest jedynie od stanów: przedtransformacyjnego A i potransformacyjnego B. Czyli równanie to jest swoistego rodzaju równaniem stanu. W zagadnieniach praktycznych jest wygodnie przyjąć, że w stanie przedtransformacyjnym A energia $E_k^{A*} = 1$ (jest to zarazem bardzo naturalne podejście metodyczne). Wówczas struktura w , wzór (14), staje się zmienną sprzężoną napędową (tylko od tej struktury zależy energia użyteczna E_{uz}^{B*} w stanie potransformacyjnym B.

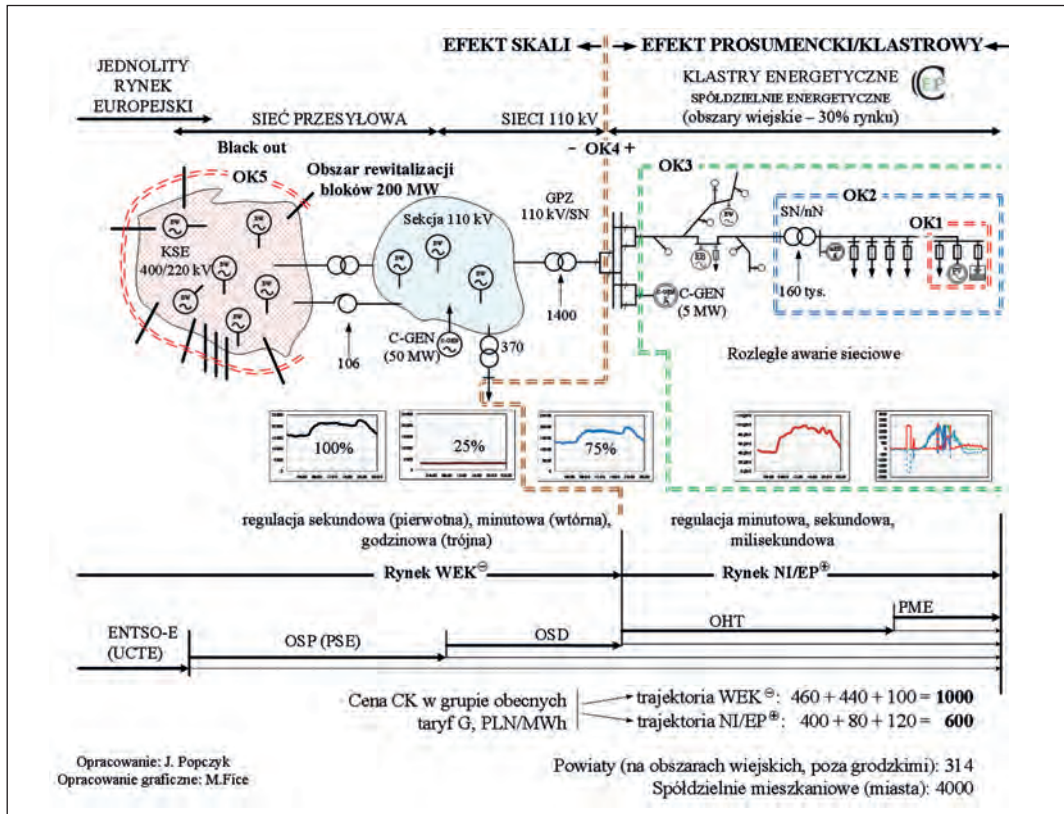
ARCHITEKTURA TRANSFORMACYJNEGO RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Proponowana architektura nowego runku energii elektrycznej (stan A procesu transformacyjnego) ma u podstaw zgodność z infrastrukturą techniczną KSE (rys. 5). Zgodność ta, praktycznie wyrażająca się przez system osłon kontrolnych OK1 do OK5, jest kardynalnym warunkiem poprawności metodycznej architektury; osłony kontrolne służą generalnie do wydzielenia charakterystycznej części infrastruktury elektroenergetycznej (IEE) umożliwiającej funkcjonowanie rynku energii elektrycznej.

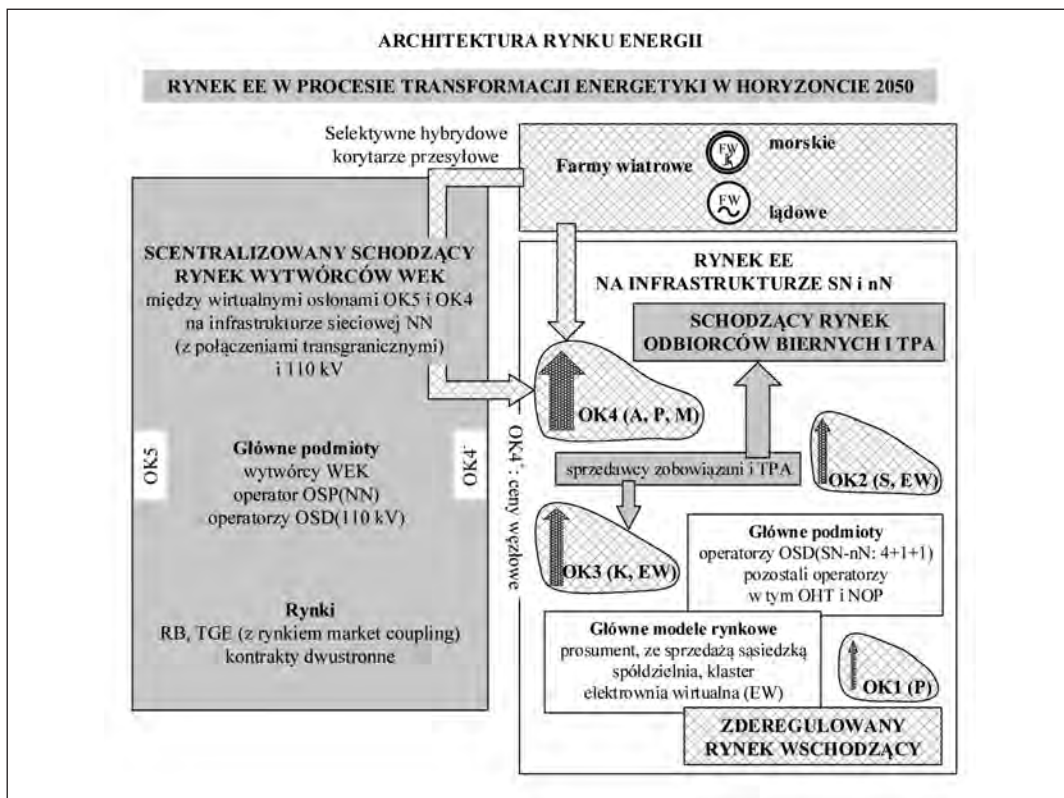
Tabela 2

Tablica praktycznych (szacunkowych) współczynników transformacji energetycznej do monizmu elektrycznego

Rynek energetyczny	„czynnik” napędowy	jednostka „wiążąca”	oszacowanie	
			wzór	liczbowe
energia elektryczna	ludność, gospodarka	kWh/(os., PKB)	(-)	1
ciepło	grzewcze, CG	ludność, mieszkalnictwo	$\frac{E_{PH}}{E_g} \cdot \frac{1}{COP}$	$\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cong 0,1$
	CWU	ludność	$\frac{1}{COP}$	$\frac{1}{3} \cong 0,3$
transport	ludność, transport	kWh/sam.	$\frac{\eta_s}{\eta_{EV}}$	$\frac{0,2}{0,6} \cong 0,3$



Rys. 5. Synteza zagadnień związanych z przebudową systemu operatorskiego w KSE od scentralizowanego (OSP, OSD) do rozproszonego (zwłaszcza w osłonach OK1 do OK2)



Rys. 6. Architektura rynku energii elektrycznej w procesie transformacji w horyzoncie 2050, z dwoma rynkami przeciwnymi: schodzącym i wschodzącym

Podstawą operacjonalizacji proponowanego nowego rynku energii elektrycznej jest architektura przedstawiona w skrajnym uproszczeniu na rysunku 6. Operacjonalizacja nowej architektury musi zapewnić całkowitą przebudowę cenotwórstwa. Na rynku schodzącym (w obrębie całego KSE) chodzi o przebudowę w kierunku cenotwórstwa CCR (cenotwórstwo czasu rzeczywistego), przeznaczonego zarówno dla odbiorców „biernych” jak i korzystających z zasady TPA. Na rynku wschodzącym, funkcjonującym na infrastrukturze SN/nN, rynek (1), i na hybrydowych układach przesyłowych, rynek (2), jest to przebudowa w kierunku zróżnicowanych systemów cenotwórstwa uwzględniających lokalne uwarunkowania (zróżnicowane modele rynku rozproszonego).

W wypadku rynku wschodzącego (1) podstawowe znaczenie ma przy tym hipoteza robocza o istnieniu wielkiego potencjału skalowalności rozwiązań na wszystkich potencjalnych platformach tego rynku (klaster energii, spółdzielnia energetyczna, elektrownia wirtualna, wirtualny minisystem elektroenergetyczny). Oczywiście, skalowalność jest ściśle powiązana z właściwościami energetyki prosumenckiej. Mianowicie, z jej podatnością na fundamentalną segmentację, tworzącą dobre uwarunkowania do unifikacji rozwiązań energetycznych dla każdego z segmentów. Znaczenie systemu osłon kontrolnych OK wynika z faktu, że integruje on prosumentów i wszystkie potencjalne platformy rynku wschodzącego (1) z infrastrukturą KSE, w sposób przedstawiony na rysunku 5.

Między infrastrukturą KSE przedstawioną na rysunku 5 i architekturą rynku energii elektrycznej przedstawioną na rysunku 6 musi być zbudowana inteligentna infrastruktura *hardwarowo-sofwarowa* pozwalająca na bezpieczne (technicznie) współużytkowanie sieci nN-SN i na silną konkurencję (w środowisku jednoskładnikowych, bieżących cen krańcowych). Chodzi o infrastrukturę *hardwarowo-sofwarową* w postaci sieciowych terminali dostępowych (rozbudowywaną w ramach zasady TPA+) będącą interfejsem łączącym rynki (obecnie): schodzący i wschodzący (1), drugi Raport Cyklu BPEP [2].

Architektura „otwarcia” przedstawiona na rysunku 6 ma na celu „rozhermetyzowanie” obecnie wszechwładnie obowiązującego myślenia o rynku energii elektrycznej kategoriami energetyki WEK (choćby taką jaką jest 7 milionów umów o dostawę energii elektrycznej zawieranych indywidualnie przez gospodarstwa domowe w budynkach wielorodzinnych zarządzanych przez spółdzielnie i wspólnoty mieszkaniowe). Przy tym ochronę – z jednej strony biernych odbiorców, a z drugiej samej energetyki WEK – przed grożącym Polsce kryzysem, którego destrukcyjnych skutków nie da się już uniknąć. Architektura ta w kolejnych miesiącach (nie latach) powinna się stać przedmiotem specjalistycznej dyskusji w trybie kryzysowym.

TRAJEKTORIA TRANSFORMACYJNA

Najsukuteczniejszą praktyczną weryfikacją poprawności teoretycznej paradygmatycznego tripletu jest efektywność jego działania w procesie transformacji (całej) energetyki WEK w nową rzeczywistość energii użytecznej. Przy tym musi to być weryfikacja, która będzie się odbywać na dwóch współzależnych płaszczyznach. Na pierwszej triplet musi tworzyć warunki budowy efektywnej architektury rynkowej takiej, która (najpierw) pobudzi dynamiczny rozwój mono rynku OZE. Po to, aby doprowadzić do zaniku (w sensie ewolucyjnym, nie rewolucyjnym) energetyki WEK (paliw kopalnych). Na drugiej płaszczyźnie musi natomiast dokonywać się degradacja mono rynku energii elektrycznej OZE, po to aby tworzyła się przestrzeń rozwojowa dla rynków dóbr inwestycyjnych i usług ukierunkowanych na energetykę prosumencką, w której energia użyteczna będzie przekształcana w zaspakajanie prosumenckich potrzeb energetycznych. Będzie to oznaczało sytuację podobną do pierwotnej elektryfikacji z przełomu XIX i XX wieku (w Polsce z okresu międzywojennego). Mianowicie, wtedy nie było elektroenergetyki. Na początku byli przedsiębiorcy przemysłowi, którzy za pomocą energii elektrycznej (pozyskiwanej z własnych źródeł wytwórczych) budowali swoją branżową przewagę konkurencyjną.

Ekwiwalentowanie osłon kontrolnych i potrzeba odwrócenia jego kierunku (propozycja dla Polski). Proces „przenoszenia” wytwarzania energii elektrycznej na poziom prosumencki, zapoczątkowany na wielką skalę przez rozwój źródeł PV, ujawnił nieadekwatność modelu biznesowego energetyki WEK do współczesnych wymagań i obnażył jej całkowitą niezdolność do odpowiedzi na wyzwanie. Skutek jest typowy dla takich sytuacji. Mianowicie, brak zdolności energetyki WEK do przedłożenia oferty rynkowej energetyce EP-NI powoduje, że ta druga przechodzi na pozycję dawcy oferty dla pierwszej.

Na świecie polega to na tym, że energetyka EP-NI w szybkim tempie uczy się, że ma już przewagę rynkową nad energetyką WEK. Stąd wynika konieczność zmiany „kierunku” ekwiwalentowania osłon kontrolnych. Mianowicie, podstawą oferty sprzedaży-zakupu wystawianej na rynku przez energetykę WEK powinno być rozpoznanie z jej strony ekwiwalentów osłon kontrolnych energetyki EP-NI. Jeśli jednak inicjatywę przejmuje energetyka EP-NI, to właśnie ona musi mieć na swoich osłonach kontrolnych rozpoznane ekwiwalenty rynkowe energetyki WEK.

Spektakularnym przykładem może być proces rozpoznawania ekwiwalentu rynkowego energetyki WEK na osłonach OK3, rys. 5. Generalnie, są to osłony wirtualne klastrów

energii (na obszarach wiejskich). Osłony OK3 lokują się w fizycznych osłonach OK4, i obejmują fizyczne osłony OK2 oraz OK1. W środowisku, które tworzą Cykle Raportów BŻEP [1] i BPEP [2]) stabilnym (ugruntowanym) horyzontem kończącym transformację elektroenergetyki na obszarach wiejskich jest w Polsce horyzont 2040. Jeśli obszary wiejskie mają udział w krajowym rynku energii elektrycznej wynoszący 30%, a horyzontem transformacji europejskiej elektroenergetyki jest horyzont 2050, to jest bardzo racjonalne przyjęcie w Polsce ram dla procesu transformacyjnego w postaci stanów A i B.

W rzeczywistości trajektoria transformacyjna A→B jest napędzana rachunkiem ekonomicznym, głównie inwestycjami. Egzekutorem rachunku ekonomicznego powinien być dobrze działający rynek energii elektrycznej. Wskazówki do zaprojektowania dobrej architektury rynku i dobrych mechanizmów rynkowych powinny pochodzić od funkcji kary zbudowanej na trajektorii transformacyjnej, jako funkcji czasu. Przekształcenie, równania (15), wszystkich jego czterech składników, w funkcję czasu jest wielkim wyzwaniem.

Przy tym to stwierdzenie nie dotyczy (przynajmniej na etapie rozpoznawczym) pierwszego składnika równania (15). Mianowicie, racjonalna jest hipoteza, że istnieje jeszcze istotny potencjał poprawy efektywności tradycyjnego użytkownika energii elektrycznej (użytkownika w dotychczasowym zakresie, z wykorzystaniem innowacji przyrostowych). Zatem dobrym przybliżeniem opisującym transformację energetyki, uwzględniającym czasowy wzrost efektywności użytkownika energii elektrycznej (w tradycyjnym obszarze użytkownika) oraz redukcję strat sieciowych i potrzeb własnych elektrowni w związku z transformacją rynku schodzącego w rynki wschodzące (1) i (2) jest równanie (16):

$$E_{uz}^{B*} = E_k^{A*} \left\{ w_{el} [(1 - p_e) \cdot (1 - p_{s-e})]^{t_{A \rightarrow B}} + w_{CG} \cdot \frac{E_{PH}}{E_g} \cdot \frac{1}{COP} + w_{CWU} \cdot \frac{1}{COP} + w_t \cdot \frac{\eta_s}{\eta_{EV}} \right\} \quad (16)$$

gdzie: p_e – roczny wskaźnik wzrostu efektywności użytkownika energii elektrycznej przez odbiorców (prosumentów), p_{s-e} – roczny wskaźnik redukcji strat sieciowych i potrzeb własnych elektrowni (z tytułu redukcji rynku schodzącego energii elektrycznej).

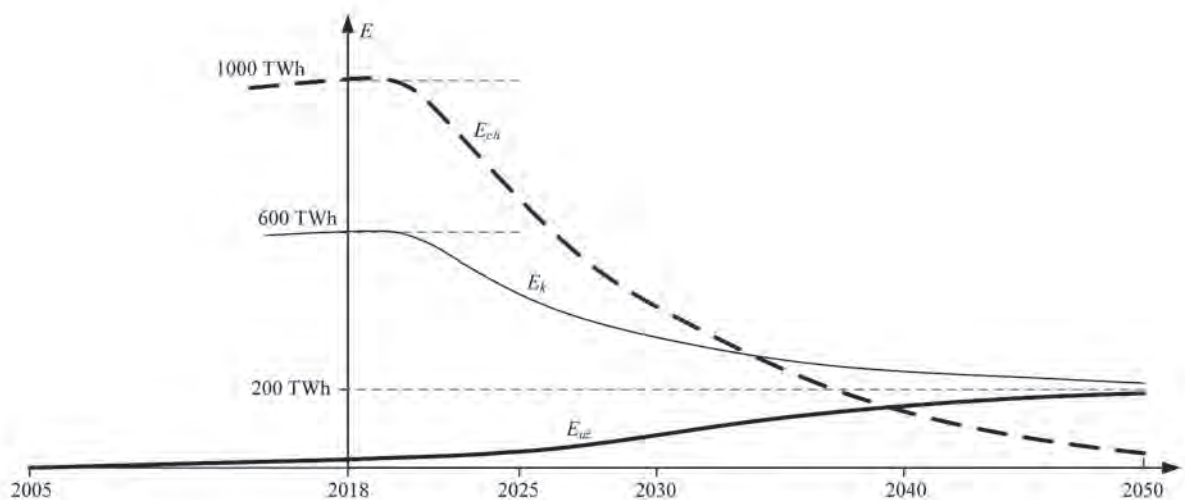
Przyjmując dla kraju roczną poprawę efektywności oraz $p_e = 7\%$ roczną redukcję strat sieciowych i potrzeb własnych elektrowni $p_{s-e} = 7\%$, a ponadto wskaźniki transformacji energetyki według tabeli 2, i uwzględniając rzeczywistą krajową strukturę energii końcowej w stanie A

$$(w_{el} = \frac{170 \text{ TWh}}{600 \text{ TWh}}, w_{CG} = \frac{180 \text{ TWh}}{600 \text{ TWh}}, w_{CWU} = \frac{50 \text{ TWh}}{600 \text{ TWh}}, w_t = \frac{200 \text{ TWh}}{600 \text{ TWh}})$$

otrzymuje się: $E_{uz}^{B*} = 0,33 E_k^{A*}$.

Uzyskany wynik jest spójny z danymi przedstawionymi na rysunku 2 (podkreśla się przy tym, że wynik i dane są silnie, ale nie całkowicie, zależne). Równanie (16), łącznie z rysunkiem 2 stanowią bardzo dobrą przesłankę do jakościowo-ilościowego zobrazowania trajektorii transformacyjnej polskiej energetyki w całości w horyzoncie 2050, rys. 7; transformacja rynków ciepła i paliw transportowych jest w tej trajektorii „zaszyta” za pomocą „równania stanów” (15).

Wynik uzyskany za pomocą równania (16) i trajektoria transformacyjna pokazana na rysunku 7 są szokujące. Tym ważniejsza jest ich krytyczna analiza przez pryzmat „wydolności” systemów politycznego, gospodarczego i społecznego



Rys. 7. Trajektoria transformacyjna polskiej energetyki do stanu B (monizmu elektrycznego)

(paradygmaty pierwszy i drugi) w działaniach na rzecz transformacji A→B. W wypadku Polski istnieje szczególna potrzeba krytycznej analizy w tym kontekście dwóch 30-letnich okresów poprzedzających 30-letni okres transformacji A→B. Pierwszym z nich jest okres 1960-1989, czyli okres skrajnej centralizacji energetyki (działalności ministerstw, zjednoczeń i wspólnot energetycznych) oraz ogromnego placu budowy bloków węglowych 200-500-360 MW, bloków jądrowych i sieci 220-400-750 kV, a na koniec ciężkiego kryzysu (Wspólnota Energetyki i Węgla Brunatnego zlikwidowana, budowa elektrowni jądrowej Żarnowiec przerwana, linia 750 kV wyłączona z eksploatacji, ...). Drugim jest okres 1990-2020, rozpoczynający się strukturalną reformą decentralizacyjno-rynkową 1990-1995 (powiązaną z reformą ustrojową państwa) i włączeniem KSE w europejską przestrzeń bezpieczeństwa elektroenergetycznego, a następnie przekształcający się pelzająco w dominujące grupy energetyczne, w wielki plac budowy bloków węglowych 400-800-900-1100 MW, w gigantyczny program energetyki jądrowej, i na koniec w ciężki kryzys, do zarządzania którego (za pomocą blokowania transformacji) utworzone zostało ministerstwo energii.

Ma także znaczenie, chociaż z natury rzeczy mniejsze, 40-letni okres 1920-1960, w którym budowany był pierwszy polski regionalny, mianowicie pomorski, system elektroenergetyczny (początek budowy, to lata 1920) oraz infrastruktura elektroenergetyczna okręgu COP (początek budowy, to lata 1930).

Skuteczne przejście ze stanu A do stanu B wymaga prawidłowej diagnozy różnic modelu rozwojowego elektroenergetyki na poszczególnych, historycznych etapach. Nawet bardzo uproszczona analiza w tym zakresie potwierdza użyteczność proponowanego tripletu paradygmatycznego przenoszącego w horyzoncie 2050 ciężar opisu problematyki energetycznej z metody „dedukcyjnej” na „indukcyjną”.

ZAKOŃCZENIE

Rozpędzająca się globalna transformacja energetyki – dla Polski zobrazowana (tylko potencjalnie) poprzez równanie (16) i trajektorię transformacyjną przedstawioną na rysunku 7 (krzywe E_{ch} , E_k , E_{uz} – stanowi coś znacznie więcej niż reelektryfikację OZE wynikającą z polityki klimatyczno-energetycznej. Dlatego tak ważne jest dotarcie do jej istoty i zbudowanie nowej metody problematyki energetycznej (świadomie nie używa się tu już nazwy „energetyka”). Zaproponowany w artykule eklektyczny triplet paradygmatyczny może stanowić punkt wyjścia w długim procesie konsolidacji metody.

Z teoretycznego punktu widzenia ważne będą między innymi poszukiwania właściwej struktury równania (16), jego członu objętego nawiasem {...}. Mianowicie, struktury równoważącej: wymagania metodologiczne matematycznego opisu

transformacji, potencjał dostępnych technik obliczeniowych oraz „demokratyzację” dostępu zasobów ludzkich do problematyki (narastającą falę zaangażowania ludzi, niezależnie od faktu, że problematyka ciągle jeszcze jest niezwykle hermetyczna). Oczywiście, powinna to być ponadto struktura, „intuicyjnie przekładalna” na architekturę i mechanizmy rynku energii elektrycznej.

Z praktycznego punktu widzenia ważną będzie implementacja do struktury równania (16) modeli podatności cenowej popytowo-podażowej energii elektrycznej, ale w całości nowy sposób. Mianowicie, musi to być podatność cenowa w środowisku cen krańcowych czasu rzeczywistego na osłonach kontrolnych między rynkami energii elektrycznej: schodzącym WEK oraz rynkami wschodzącymi (1) i (2) energetyki EP-NI (co jest zupełnie czym innym niż elastyczność cenowa energii elektrycznej w dotychczasowym rozumieniu).

LITERATURA

Dwa Cykle Raportów nt. *Transformacja energetyki w rynki energii użytecznej OZE – perspektywa 2050*.

<https://www.cire.pl>, <http://klaster3x20.pl>

- [1] Popczyk J., Bodzek K., Fice M., Kiluk S., Michalak J., Wójcicki R.: Cykl Raportów BŻEP: Dwanaście Raportów Biblioteki Źródłowej Energetyki Prosumenckiej, datowanych: październik 2017 – styczeń 2018.
- [2] Popczyk J., Bodzek K., Fice M., Dębowski K., Piłśniak A., Sztymelski K., Wójcicki R.: Cykl Raportów BPEP: Zaplanowanych dwanaście Raportów Biblioteki Powszechnej Energetyki Prosumenckiej, datowanie pierwszych dziesięciu: luty – listopad 2018.

Ponadto:

- [3] Szargut J.: *Termodynamika techniczna*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2011.
- [4] Caramanis M.C., Bohn R.E., Schweppe F.C.: *Optimal Spot Pricing: Practice and Theory*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1982.
- [5] Popczyk J.: *Postprzemysłowa energetyka – piąta fala innowacyjności*. Wykład inauguracyjny w Politechnice Śląskiej, 65. Inauguracja, październik 2009 (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej).
- [6] Popczyk J.: *Model interaktywnego rynku energii elektrycznej. Od modelu WEK-NI-EP do modelu EP-NI-WEK*. Biblioteka BŻEP – datowanie: wersja oryginalna luty 2015. <http://klaster3x20.pl>
- [7] Popczyk J.: *Nowa architektura rynku energii elektrycznej. Główne mechanizmy równoważenia rynków: wschodzącego i dotychczasowego*. Materiały konferencyjne (str. 24-60) XXIV Konferencji naukowo-technicznej Rynek energii elektrycznej. Kazimierz Dolny 2018.