

## **TRANSFORMACJA ENERGETYCZNA SUBREGIONU WAŁBRZYSKIEGO**

### **Trajektoria redukcji CO<sub>2</sub> w modelu transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu<sup>1</sup>**

Popczyk Jan, Bodzek Krzysztof

#### **Wprowadzenie i o metodzie**

W opracowaniu wykorzystano do oszacowania redukcji CO<sub>2</sub> koncepcję transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu i charakterystyczne metody analizy (rozwijane w odniesieniu do tej transformacji) na platformie PPTE2050 [1]. W tym miejscu ważna jest, w kontekście opracowania, dodatkowa informacja o tym, że powstał przewodnik do platformy [1] po materiałach i zagadnieniach często dyskutowanych w ramach prac nad planem TPST [2]. Dane źródłowe do obliczeń pochodzą z opracowania studialnego [3] obejmującego trzy charakterystyczne modele transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu właściwe dla Subregionu Wałbrzyskiego. Przywołane opracowanie studialne [3] jest częścią Społecznego Planu Sprawiedliwej Transformacji Subregionu Wałbrzyskiego [4] ukierunkowanego na pozyskanie środków unijnych z Funduszu Sprawiedliwej Transformacji.

Chociaż bezpośrednim celem opracowania jest uzyskanie konkretnych wyników dla Subregionu Wałbrzyskiego na ścieżce starań o środki z Funduszu Sprawiedliwej Transformacji, to autorzy opracowania potrzebę modelowania trajektorii redukcji CO<sub>2</sub> widzą jednak szerzej, w kontekście wszystkich programów pomocowych UE zaprojektowanych na perspektywę budżetową 2021-2027. Potrzeba taka wynika z „przebudowy” tej perspektywy przez „instytucjonalną” UE pod wpływem załamania gospodarczego spowodowanego pandemią COVID-19 (spadek GDP w 2020 r. o 7,5%). Przebudowy, której wynikiem jest Plan odbudowy dla Europy i długoterminowy budżet UE na lata 2021-2027 wynoszący 1,8 bln € (łącznie z instrumentem pożyczkowym NextGenerationUE wynoszącym 750 mld €). Naturalnym wynikiem Planu odbudowy dla Europy, i jego wielkiego funduszu, jest przebudowa struktury budżetowej UE w Fundusz InvestUE [5]. Zatem jest zrozumiałe, że transformacja TETIP do elektroprosumeryzmu jest dla Subregionu Wałbrzyskiego koncepcją bazową do starań o środki dostępne ze wszystkich źródeł finansowania w strukturze Funduszu InvestUE.

Pośrednim celem opracowania jest stworzenie standardu metodycznego jednej z kardynalnych – w świetle unijnej polityki klimatyczno-energetycznej 2050 – heurystyk transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu, mianowicie heurystyki trajektorii redukcji CO<sub>2</sub>. Właśnie wytworzeniu tego standardu na potrzeby elektroprosumeryzmu podporządkowana jest struktura opracowania. Bazą (pierwszym krokiem) w tym standardzie jest tablica współczynników skalowalności elektroprosumeryzmu (w stanie końcowym, w tendencji) jak i transformacji TETIP (jej trajektorii). Drugim krokiem jest modelowanie trajektorii wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR (ryнку energii elektrycznej brutto wyprodukowanej w źródłach OZE, i energii netto – napędowej, potrzebnej elektroprosumentom). Trzecim krokiem jest trajektoria redukcji rynków końcowych energetyki WEK-PK: 1 - energii elektrycznej, 2 ciepła (a – grzewczego, b – CWU), 3 – energii chemicznej w paliwach transportowych. Czwartym, końcowym krokiem jest wyznaczenie (oszacowanie) trajektorii redukcji CO<sub>2</sub> (jej heurystyki).

Standard wytworzony w ramach opracowania bazuje na krajowych heurystykach bilansowych monizmu elektrycznego stosowanych na platformie PPTE2050, uzyskanych – z wykorzystaniem tripletu paradygmatycznego – w 2019 r. [6]. To te heurystyki – jako rezultat pierwszej iteracji badań weryfikacyjnych skuteczności monizmu elektrycznego (i tripletu paradygmatycznego) – były podstawą sformułowania koncepcji transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu w 2020 r. Oczywiście, za

---

<sup>1</sup> Artykuł został opracowany we współpracy z Eko Unią i Przewodniczącym Zespołu autorskiego Społecznego Planu Sprawiedliwej Transformacji Subregionu Wałbrzyskiego – Radosławem Gawlikiem.

pierwszą iteracją powinny pójść następne iteracje. Z rozpoznania autorów wynika jednak, że poza platformą PPTE2050 nie została podjęta dotychczas żadna (w żadnym zakresie) próba drugiej pętli iteracyjnej. Niniejsze opracowanie jest w takiej sytuacji drugą iteracją. Wprawdzie odnoszącą się do bardzo zawężonego obszaru, ograniczonego do heurystyki redukcyjnej CO<sub>2</sub> transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu Subregionu Wałbrzyskiego. Niemniej, stanowi ona (iteracja) istotny postęp w kontekście bardzo potrzebnych dalszych badań.

## 1. Tablica współczynników skalowalności

W opracowaniu wykorzystuje się skalowania za pomocą współczynników skalujących (tab. 2 i 3) które zostały opracowane na podstawie aktualnych danych dla Polski i odniesieniu ich do lokalnych uwarunkowań Subregionu Wałbrzyskiego (tab. 1).

**Tab. 1. Wskaźniki (dane) charakteryzujące Subregion Wałbrzyski i Polskę [7,8]**

Powiaty	Liczba mieszkańców, tys.	Liczba pojazdów na 1000 mieszkańców		Zasoby mieszkaniowe, tys.	Przeciętna powierzchnia użytkowa jednego mieszkania, m <sup>2</sup>
		Wszystkich	Samochodów osobowych		
Dzierżoniowski	101	707	564	39,8	63,8
Kłodzki	158	806	646	64,5	69,0
Świdnicki	157	751	592	60,8	69,1
Wałbrzyski	56	1239	963	22,3	66,0
Ząbkowicki	65	901	687	24,1	77,4
m. Wałbrzych	111	371	317	50,7	54,3
<b>Średnia ważona dla SW</b>	<b>647</b>	<b>749</b>	<b>595</b>	<b>49,7</b>	<b>66,3</b>
<b>Polska</b>	38383	802	610	14615,1	74

Potrzebną energię elektryczną w elektroprosumeryzmie, wyznaczono dla trzech modeli powiązanych z podziałem terytorialnym charakterystycznym dla Subregionu Wałbrzyskiego. Struktura ta obejmuje:

- **model 1** - sołectwo (wieś) do 1000 mieszkańców zasilane ze stacji transformatorowej SN/nN (413 sołectw, łącznie 117 tys. mieszkańców) – horyzont pełnej transformacji 2035
- **model 2** - gmina (wiejska, miejsko-wiejska), miasto 20-50 tys. mieszkańców (łącznie 360 tys. mieszkańców - bez sołectw do 1 tys. mieszkańców) – horyzont pełnej transformacji 2040
- **model 3** - miasto 50-100 tys. mieszkańców oraz Wałbrzych (łącznie 168 tys. mieszkańców) – horyzont pełnej transformacji 2045

Struktura potrzeb energii elektrycznej dla Subregionu Wałbrzyskiego wraz ze współczynnikami skalującymi elektroprosumeryzmu zamieszczono w tabeli 3. Współczynniki skalujące dobrane są na podstawie heurystyk, związanych z analizą zapotrzebowania na energię elektryczną jednostek JST, natomiast podstawą skalowania jest liczba mieszkańców.

**Tab. 2. Oczekiwane zapotrzebowanie na energię elektryczną w elektroprosumeryzmie (współczynniki skalujące)**

	Polska		Współczynnik skalujący		Subregion Wałbrzyski		
	Obecnie	2050			Obecnie	Horyzont transformacji	
Energia elektryczna, TWh	165	200	model 1	0,5	0,21	2035	<b>0,25</b>
			model 2	0,7	1,01	2040	<b>1,18</b>
			model 3	0,8	0,58	2045	<b>0,68</b>

Analiza heurystyczna zmian zapotrzebowania na energię na rynku ciepła i paliw uwzględnia trzy paradygmaty elektroprosumeryzmu [6]. Na podstawie wskaźników z tabeli 1 zostały oszacowane współczynniki skalujące które dla ciepła uwzględniają zasoby mieszkaniowe, przeciętną powierzchnię użytkową jednego mieszkania, oraz rodzaj budynków, natomiast dla paliw liczbę pojazdów oraz ich rodzaj. Współczynniki skalujące oraz antycypowane potrzeby energetyczne obliczone na podstawie tych współczynników (uwzględniające liczbę mieszkańców), zamieszczono w tab. 3. Należy podkreślić, że w horyzoncie transformacyjnym potrzeby te będą w całości pokrywane za pomocą energii elektrycznej wyprodukowanej w źródłach OZE, a więc o zerowej emisji.

**Tab. 3. Oczekiwane potrzeby energetyczne w elektroprosumeryzmie (współczynniki skalujące)**

	Polska		Współczynnik skalujący	Subregion Wałbrzyski	
	Obecnie	2050		Obecnie	2045
Ciepło grzewcze, TWh	170	30	1,5	2,9	<b>0,45</b>
CWU, TWh	40	30	1,0	0,7	<b>0,30</b>
Paliwa, TWh	220	60	0,8	3,7	<b>0,50</b>

## **2. Trajektoria wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR (ryнку energii elektrycznej: wyprodukowanej brutto w źródłach OZE oraz napędowej netto – potrzebnej elektroprosumentom)**

Analiza wzrostu produkcji energii elektrycznej ze źródeł OZE, obejmująca pięć technologii wytwórczych źródła PV, mikroelektrownie wiatrowe, elektrownie wiatrowe lądowe, mikroelektrownie biogazowe i elektrownie biogazowe, została wykonana dla trzech zdefiniowanych modeli transformacyjnych.

W artykule [2] każdy z modeli został opisany za pomocą trajektorii transformacyjnych wyszczególnionych źródeł OZE. Na podstawie tych trajektorii wyznaczono cztery horyzonty (kluczowe punkty) transformacyjne mianowicie: 2030, 2035, 2040 oraz 2045. Dla analizowanych horyzontów obliczono procentowy udział poszczególnych technologii w pokryciu potrzeb energetycznych Subregionu Wałbrzyskiego. Trajektorie te posłużyły do obliczenia redukcji rynków końcowych energetyki WEK-PK.

**Tab. 4. Kluczowe punkty na trajektorii wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR z podziałem na trzy modele transformacyjne Subregionu Wałbrzyskiego**

	model 1		model 2			model 3			
	2030	2035	2030	2035	2040	2030	2035	2040	2045
Źródła PV, %	39,7	40,0	39,6	40,0	40,0	31,9	32,0	32,0	32,0
Mikroelektrownie wiatrowe, %	2,9	5,0	1,6	3,1	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elektrownie wiatrowe, %	0,0	0,0	10,0	21,0	25,0	10,9	22,0	32,3	38,0
Mikroelektrownie biogazowe, %	45,0	55,0	8,8	9,9	10,0	4,4	4,9	5,0	5,0
Elektrownie biogazowe, %	0,0	0,0	8,9	16,8	20,0	8,9	16,8	22,5	25,0
<b>Suma OZE, %</b>	<b>87,6</b>	<b>100,0</b>	<b>68,9</b>	<b>90,8</b>	<b>100,0</b>	<b>56,1</b>	<b>75,7</b>	<b>91,8</b>	<b>100,0</b>

### 3. Trajektorii redukcji rynków końcowych energetyki WEK-PK: 1 – energii elektrycznej, 2 – ciepła (a – grzewczego, b – CWU), 3 – energii chemicznej w paliwach transportowych

#### 3.1. Energia elektryczna

Do obliczenia redukcji rynków końcowych energii elektrycznej przyjęto założenia o zwiększeniu się zapotrzebowania wynikającego z elektryfikacji ciepłownictwa i transportu, ale także zwiększeniu efektywności w ramach obecnego sposobu użytkowania energii elektrycznej, co prowadzi do obniżenia zapotrzebowania w przypadku obecnego sposobu użytkowania energii elektrycznej. Trajektorii transformacyjna zmiany zapotrzebowania z energii elektrycznej brutto obecnie, na energię napędową w elektroprosumeryzmie została opisana w [12]. Wykorzystując metodę skalowania, można obliczyć trajektorii zapotrzebowania na energię elektryczną (tab. 5)

**Tab. 5. Kluczowe punkty na trajektorii wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR z podziałem na trzy modele transformacyjne Subregionu Wałbrzyskiego**

	model 1		model 2			model 3			
	2030	2035	2030	2035	2040	2030	2035	2040	2045
Zapotrzebowanie, TWh	0,22	0,25	1,07	1,12	1,18	0,64	0,65	0,67	0,68
Suma OZE, %	87,6	100,0	68,9	90,8	100,0	56,1	75,7	91,8	100,0
Produkcja energii z OZE (redukcja produkcji z WEK-PK), TWh	<b>0,22</b>	<b>0,25</b>	<b>0,81</b>	<b>1,07</b>	<b>1,18</b>	<b>0,38</b>	<b>0,52</b>	<b>0,63</b>	<b>0,68</b>

#### 3.2. Ciepło

Trajektorii wzrostu rynku wschodzącego ciepła i CWU została oszacowana na podstawie trajektorii wzrostu źródeł OZE. Zakłada się, że wzrost ten jest związany z elektryfikacją ciepłownictwa, czyli eliminacją paliw kopalnych z rynku ciepła. Założenie to pozwala na oszacowanie redukcji zużycia energii na rynku WEK-PK (tab. 6). Ma to związek z przejmowaniem produkcji ciepła grzewczego i CWU przez technologie wykorzystujące energię elektryczną takie jak pompy ciepła. Zaletą metody jest korelacja rynku urządzeń ze wzrostem produkcji energii na rynku wschodzącym OZE-RCR, czyli produkcją ciepła za pomocą energii z OZE, a nie paliw kopalnych na rynku WEK-PK.

**Tab. 6. Kluczowe punkty na trajektorii wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR (redukcji na rynku WEK-PK) ciepła grzewczego i CWU**

	ciepło grzewcze				CWU			
	2030	2035	2040	2045	2030	2035	2040	2045
Zapotrzebowanie Rynek WEK-PK, TWh	2,0	1,4	0,8	0	0,5	0,4	0,2	0
Uniknięta produkcja energii na rynku WEK-PK, (po pasywizacji budownictwa i elektryfikacji ciepłownictwa), TWh	0,9	1,5	2,1	2,9	0,2	0,4	0,5	0,7

### 3.3. Paliwa transportowe

Trajektorie transformacyjne rynku paliw transportowych wyznaczono uwzględniając metodykę analogiczną jak dla analizy ciepła. Metoda ta zakłada, że samochody elektryczne zastąpią samochody spalinowe w horyzoncie 2045. Trajektorię unikniętej produkcji energii na rynku WEK-PK zamieszczono w tabeli 7.

**Tab. 7. Kluczowe punkty na trajektorii wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR (redukcji na rynku WEK-PK) paliw**

	paliwa			
	2030	2035	2040	2045
Zapotrzebowanie - rynek WEK-PK, TWh	2,6	1,8	1,0	0
Uniknięta produkcja energii na rynku WEK-PK, (po elektryfikacji transportu), TWh	1,1	1,9	2,7	3,9

## 4. Trajektorja redukcji CO<sub>2</sub>

Obliczenie trajektorii redukcji CO<sub>2</sub> obejmuje cztery rynki końcowe: energii elektrycznej, ciepła, CWU i paliw transportowych. Do analizy wykorzystuje się wskaźniki emisyjności (tab. 7)

**Tab. 8. Wskaźniki emisyjności dla Polski [9, 10, 11]**

	Emisyjność, kg/MWh
Energia elektryczna	719
Ciepło	480
CWU	480
Paliwa transportowe	280

Metodyka obliczenia redukcji emisji wykorzystuje trajektorie wzrostu rynku wschodzącego OZE-RCR, który zastępuje obecne rynki WEK-PK (energia elektryczna, ciepło, paliwa transportowe). Zamieszczone w tabelach 5 do 7 wyniki redukcji energii z paliw kopalnych, stanowią podstawę do obliczenia redukcji emisji CO<sub>2</sub>. Warto zauważyć, że na podstawie przyjętych założeń, antycypowana redukcja emisji Subregionu Wałbrzyskiego, wynosi około 20 % na 5 lat (dla bazy 2020). Taka redukcja jest konieczna, żeby osiągnąć zeroemisyjną gospodarkę w horyzoncie 2045. Jednak w zależności od obszaru, proces jej wdrażania różni się. Najszybciej, bo już w roku 2035, zerową emisję mogą osiągnąć najmniejsze i małe sołectwa, do 1000 mieszkańców, mogące się autonomizować względem KSE na

sieciowym poziomie napięciowym nN. Miastu Wałbrzych ten proces może zająć o 10 lat dłużej; autonomizacja Wałbrzycha na poziomie napięciowym 110 kV jest możliwa w roku 2045.

**Tab. 9. Redukcja emisji CO<sub>2</sub> – rynek energii elektrycznej**

	Redukcja emisji, mln ton CO <sub>2</sub>					Redukcja emisji CO <sub>2</sub> (dla bazy 2020), %
	Energia elektryczna	Ciepło	CWU	Paliwa transportowe	Razem	
2030	1,02	0,42	0,10	0,32	1,86	43
2035	1,32	0,70	0,17	0,52	2,71	63
2040	1,48	1,02	0,25	0,76	3,51	82
2045	1,52	1,39	0,34	1,04	4,28	100

## Wniosek

Zaproponowany standard metodyczny wyznaczania (szacowania) heurystyki trajektorii redukcji CO<sub>2</sub> (w opracowaniu standard został zastosowany w odniesieniu do Subregionu Wałbrzyskiego) – stanowiący drugą iterację weryfikacji monizmu elektrycznego na platformie PPTE2050 – otwiera drogę do budowania heurystyk dla transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu w bardzo szerokim zakresie podmiotowym elektroprosumeryzmu, z zastosowaniem technik modelowania procesów na bardzo różnym poziomie zaawansowania. Najważniejsze jest przy tym osiągnięcie postępu w aspekcie wielowymiarowości, mianowicie 4-wymiarowości: pasywizacji budownictwa, elektryfikacji ciepłownictwa, elektryfikacji transportu oraz reelektryfikacji OZE. W przedstawionym w opracowaniu standardzie metodycznym ta wielowymiarowość została przekształcona w trajektorię redukcji emisji CO<sub>2</sub> jako procesu zależnego od bardzo silnie uwikłanych (wzajemnie zależnych w bardzo różny sposób) procesów/obszarów: skalowalności elektroprosumeryzmu, dalej rynku wschodzącego OZE-RCR, i wreszcie trzech schodzących rynków końcowych energii należących do energetyki WEK-PK. Do tak ustrukturyzowanej (w aspekcie szacowania emisji CO<sub>2</sub>) transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu platforma PPTE2050 „dołożyła” w ostatnim czasie zaawansowane modelowanie trajektorii rynku wschodzącego OZE-RCR [12]. Łącznie zrobiony został zatem nowy krok na drodze zwiększenia adekwatności modelowania transformacji TETIP do elektroprosumeryzmu względem jej rzeczywistej złożoności, na którą składają się: z jednej strony bardzo silne współzależności wielu procesów czasowych, a z drugiej strony obarczone dużą niepewnością ich (czasowe) trajektorie.

## Źródła

- [1] Platforma PPTE2050 (w całości), <https://ppte2050.pl>
- [2] Popczyk J., Bodzek K.: *Zagadnienia do dyskusji w zakresie wykorzystania idei elektroprosumeryzmu jako metody osiągnięcia autonomii energetycznej wytypowanych obszarów*. PPTE2050 – Ścieżka 2 – luty 2021, <https://ppte2050.pl>
- [3] Popczyk J., Bodzek K.: *TPST Subregionu Wałbrzyskiego. Transformacja energetyczna do elektroprosumeryzmu*, Biuletyn PPTE2050 (3) 1/2021, Energetyka 1/2021
- [4] Terytorialny Plan Sprawiedliwej Transformacji Subregionu Wałbrzyskiego - Fundusz Sprawiedliwej Transformacji UE
- [5] *Rezolucja ustawodawcza Parlamentu Europejskiego z dnia 9 marca 2021 r. w sprawie wniosku dotyczącego rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającego Program InvestEU (COM(2020)0403 – C9-0158/2020 – 2020/0108(COD))*

- [6] Popczyk J.: *TRANSFORMACJA ENERGETYKI Od ustrojowej reformy rynku energii elektrycznej i programu restrukturyzacji energetyki paliw kopalnych do rynków monizmu elektrycznego OZE*, <https://ppte2050.pl>,
- [7] Portal Główny Urząd Statystyczny: <https://stat.gov.pl/>
- [8] Portal Polska w Liczbach: <https://www.polskawliczbach.pl/>
- [9] Wojciech Paweł Rabięga, Przemysław Sikora. *Ścieżki redukcji emisji CO<sub>2</sub> w sektorze transportu w Polsce w kontekście „Europejskiego Zielonego Ładu*. CAKE, KOBIZE, Warszawa, Październik 2020.
- [10] Elektryfikacja ciepłownictwa w Polsce. Droga do czystego ciepła. Forum-energii. Styczeń 2021
- [11] Czas na ciepłownictwo, Polski Instytut Ekonomiczny Policy Paper 12/2019
- [12] Bodzek K.: *Modelowanie trajektorii transformacyjnych energetyki do elektroprosumeryzmu w wybranych osłonach kontrolnych*. Biuletyn RE 1/2020 (Energetyka 11/2020)