



Konwersatorium Inteligentna Energetyka

Temat przewodni

Koncepcja TETIP – DURE - Prawo elektryczne

Koszt elektroekologiczny

Krzysztof Bodzek

Gliwice 28 września 2021

Koszt elektroekologiczny - definicja

Miara wyczerpywania się nieodnawialnych bogactw naturalnych w elektroprosumeryzmie wiążąca się z produkcją energii elektrycznej **bezpośrednio w źródłach odnawialnych** (słonecznych, wiatrowych, wodnych), czyli **bez ponoszenia strat w procesach spalania i cieplnych**, i użytkowaniem jej (energii elektrycznej) do zaspokajania wszystkich potrzeb energetycznych, w tym potrzeb wszystkich elektrotechnologii realizowanych w środowisku cyfrowym.

Koszt elektroekologiczny (1) to suma pięciu składników powiązanych z pięcioma segmentami (obszarami) elektroprosumeryzmu:

$$KEE(EP) = \sum_{i=1}^5 KEE(EP)_i$$

gdzie i:

- 1 – pasywizacja budownictwa,
- 2 – elektryfikacja ciepłownictwa,
- 3 – elektryfikacja transportu,
- 4 – użytkowanie energii elektrycznej i elektrotechnologie w środowisku cyfrowym i gospodarki GOZ,
- 5 – reelektryfikacja OZE.

Hipoteza:

Ograniczenie w koszcie elektroekologicznym (rozpatrywanym w perspektywie regulacji ustawy Prawo elektryczne) kosztów szkodliwych produktów odpadowych do jednego z nich, mianowicie emisji CO₂.

Najważniejsza w transformacji jest dynamika wschodzących rynków energii elektrycznej, ale również architektura („kształt”) tych rynków. Dynamika jest powiązana przede wszystkim z mechanizmami rynkowymi w postaci kosztów krańcowych energii elektrycznej na rynku schodzącym energii elektrycznej, które są determinowane kosztami uprawnień do emisji CO₂; zatem na obecnym etapie jest racjonalne powiązanie kosztu elektroekologicznego z emisją CO₂.

W analizie uwzględnia się **skumulowany** ślad CO₂

Obliczenie kosztu elektroekologicznego

$$KEE = KEE_I + \sum GHG_i \cdot E_{ri} \cdot C_u CO_2$$

gdzie:

GHG_i - ślad CO₂ technologii i

E_{ri} - roczna energia technologii i

Obliczenie jednostkowego kosztu elektroekologicznego związanego z budową KEE_I

$$KEE_I = \frac{\sum GHG(M)_i \cdot C_u CO_2}{\text{czas życia}} \cdot E_r$$

gdzie:

$GHG(M)_i$ - ślad CO₂ materiału i

$C_u CO_2$ - koszt uprawnień

E_r - roczna produkcja

Obliczenie jednostkowego śladu CO₂ magazynu energii GHG_M

$$GHG_M = \frac{\sum GHG_{Wi} \cdot E_{rWi}}{\sum E_{rWi}} \cdot \frac{1}{\eta}$$

gdzie:

GHG_{Wi} - ślad CO₂ technologii wytwórczej i

E_{rWi} - roczna energia technologii wytwórczej i

η - sprawność magazynowania

Indukowanie kosztu w magazynach energii

Rozbudowa sieci w modelu WEK-PK(iEJ) i WEK-OZE

Skumulowany ślad CO₂ wybranych produktów

Produkt	Skumulowany ślad CO ₂ , t CO ₂ /t produktu
Bloki stalowe	2,7
Produkty stalowe	1,9
Aluminium	8,5
Maszyny i urządzenia	1,0
Papier	2,9
Srebro	9,8
Produkty ropopochodne	3,6
Szkło	2,1
Drewno	1,1
Siarka	0,5
Beton	0,5

Skumulowany ślad CO₂ źródeł OZE

	Skumulowany ślad CO ₂	TEC
	kg CO ₂ /MWh	MWh/MWh
GOZ	30	0,1
μEB	30	0,1
EB	30	0,1
EWL	30	0,1
PV	40	0,3
EWM	10	0,1

Analiza w środowisku kosztów krańcowych

Podatek graniczny (ang. Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)

Zużycie surowców potrzebnych do budowy elektrowni węglowych i gazowych

Materiał	Ślad CO ₂ t CO ₂ /t	Zużycie surowców, t/MW		Ślad CO ₂ , t CO ₂ /MW	
		Elektrownia węglowa	Elektrownia gazowa	Elektrownia węglowa	Elektrownia gazowa
Beton	0,5	158,8	97,8	81,6	50,2
Stal	2,7	50,7	31,0	135,4	82,9
Aluminium	8,5	0,4	0,2	3,6	1,7
Żelazo	1,9	0,6	0,4	1,2	0,8
SUMA				220	135

Zużycie surowców potrzebnych do budowy elektrowni jądrowych – istniejących i generacji III+

Materiał	Skumulowany ślad CO ₂ , t CO ₂ /t	Zużycie surowców, t/MW		Skumulowany ślad CO ₂ , t CO ₂ /MW	
		Istniejące	Generacja III+	Istniejące	Generacja III+
Ropopochodne	3,6	114	114	410	410
Stal	2,7	36	78	95	210
Beton	0,5	180	758	95	390
SUMA				600	1000

Jednostkowy koszt elektroekologiczny budowy elektrowni w modelu WEK-PK(iEJ)

Koszt uprawnień, €/t CO ₂	Kosz elektroekologiczny tys. €/MW				
	Elektrownia węglowa	Elektrownia gazowa	Istniejące elektrownie jądrowe	Elektrownie jądrowe - Generacja III+	ESP - Turów
25	5,5 (0,4 %)	3,4 (0,5 %)	15,0 (1,4 %)	25,0 (0,2 %)	1,1 (36 %)
50	11,0 (0,8 %)	6,8 (1,0 %)	30,0 (2,8 %)	50,0 (0,5 %)	2,3 (76 %)
75	16,5 (1,3 %)	10,1 (1,6 %)	45,0 (4,1 %)	75,0 (0,7 %)	3,4 (112 %)
100	22,0 (1,7 %)	13,5 (2,1 %)	60,0 (5,5 %)	100,0 (0,9 %)	4,6 (150 %)

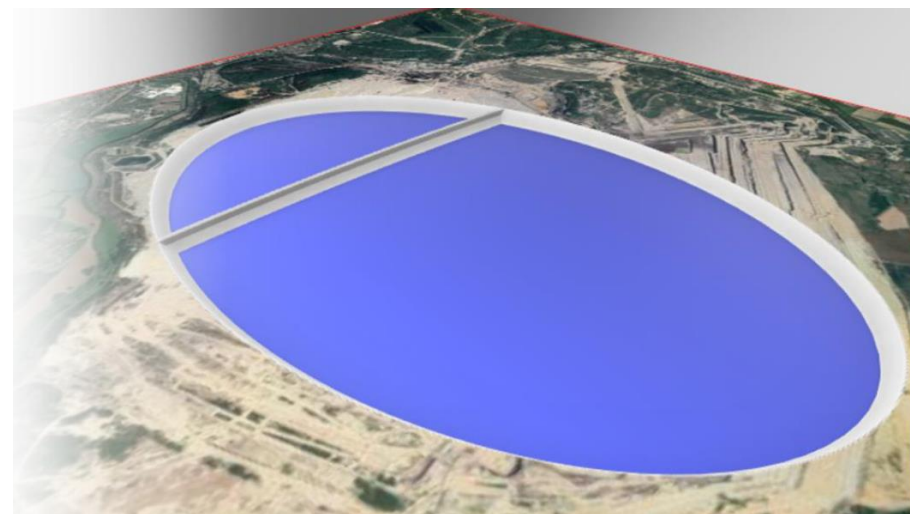
Zużycie surowców oraz ślad CO₂ linii przesyłowych

Źródło wytwórcze	Produkcja, GWh	Moc, MW	Czas wykorzystania mocy zainstalowanej, h/rok
Farmy fotowoltaiczne	2277	2100	1084
Elektrownie wiatrowe	2697	1140	2366
Elektrownie na biomasę	480	60	8000
Suma	5455		
Magazyn	Pojemność, GWh	Moc, MW	
Elektrownie szczytowo-pompowa	165	2300	

Sumaryczna moc 5,6 GW – konieczna rozbudowa linii

Koszt elektroekologiczny związany z budową ESP

Koszt uprawnień, €/t CO ₂	Kosz elektroekologiczny mld €
25	1,1 (36 %)
50	2,3 (76 %)
75	3,4 (112 %)
100	4,6 (150 %)



Obszar wyłączony z użytku przez linie przesyłowe

Rodzaj linii	Długość	Szerokość pasa technicznego	Obszar wyłączony z użytku	Całkowity obszar wyłączony z użytku	Uwagi
	km	m	ha/km	tys. ha	
110 kV	35000	40	4	140	Linie 110 kV będą wykorzystywane w elektroprosumeryzmie w obszarze miast powyżej 100 tys. mieszkańców
220 kV	7380	50	5	37	W modelu WEK-OZE zmniejsza się ich znaczenie na rzecz linii 400 kV
400 kV	7822	70	7	55	
750 kV	114	140	14	2	Linia wyłączona z użytku
SUMA				233	7,5 ‰ powierzchni Polski

Obszar wyłączony z użytku przez linie przesyłowe

Rodzaj linii	Rozpiętość słupów	Zalecane przekroje przewodów	Waga linii (bez fundamentów), t/km	Waga fundamentów betonowych, t/km
110 kV	350	AFL-6-240 mm ²	31	150
220 kV	400	AFL-8-525 mm ²	37	210
400 kV	450	AFL-8-2x525 mm ²	85	300

Koszt elektroekologiczny – sieci przesyłowe

Zużycie surowców oraz ślad CO₂ linii przesyłowych

Rodzaj linii	Stal, t/km	Aluminium, t/km	Beton, t/km	Ślad CO ₂ , t CO ₂ /km
110 kV	17	18	150	275
220 kV	19	22	210	350
400 kV	31	58	300	730

Koszt elektroekologiczny budowy nowej linii przesyłowych

Koszt uprawnień, €/t CO ₂	Kosz elektroekologiczny tys. €/km		
	110 kV	220 kV	400 kV
25	6,9 (2 %)	8,7 (1 %)	18,2 (2 %)
50	13,8 (4 %)	17,3 (3 %)	36,4 (3 %)
75	20,7 (6 %)	26,0 (4 %)	54,7 (5 %)
100	27,5 (8 %)	34,7 (5 %)	72,9 (7 %)
Koszt inwestycyjny, mln PLN/km	1,5	3	5

Energetyka WEK-OZE – konieczna rozbudowa – przykład Turów

Jednostkowy koszt elektroekologiczny WEK-WB (Elektrownia Turów)

Koszt uprawnień, €/t CO ₂	Kosz elektroekologiczny €/MWh	
	Bloki 1-6	Blok 7
25	30	25
50	60	50
75	90	75
100	120	100
Ślad CO ₂ , t CO ₂ /MWh	1,2	1,0

Skumulowany ślad CO₂ energetyki WEK-OZE

	Skumulowany ślad CO ₂	Roczna produkcja	Skumulowany ślad CO ₂	Koszt uprawnień	KEE
	kg CO ₂ /MWh	TWh	kg CO ₂ /MWh	€/t CO ₂	€/MWh
PV	40	2,3	37	25	0,9
EWL	30	1,1		50	1,9
EB	30	0,5		75	2,8
ESP	42	1,8		100	3,7

Skumulowany ślad CO₂ elektroprosumeryzmu

	Skumulowany ślad CO ₂	Roczna produkcja	Skumulowany ślad CO ₂	Koszt uprawnień	KEE
	kg CO ₂ /MWh	TWh	kg CO ₂ /MWh	€/t CO ₂	€/MWh
PV	40	240	35	25	0,9
mEW	30	30		50	1,9
EWL	30	150		75	2,8
mEB	30	60		100	3,7
EB	30	120			
Akumulatory	44	42			

- 1. Rachunek kosztów krańcowych** - efektywne rozwiązania to takie, które pozwalają na pokrycie lokalnych potrzeb, w jak najkrótszym horyzoncie czasu.
- 2. Skumulowany ślad CO₂ w elektroprosumeryzmie**, nie jest wyższy od śladu CO₂ w energetyce WEK-OZE, a ponadto przy uwzględnieniu analizy za pomocą kosztów krańcowych, znacznie szybciej pozwala na osiągnięcie neutralności klimatycznej.
- 3. Zatrudnienie w energetyce WEK-OZE i elektroprosumeryzmie** - jest na podobnym poziomie, ale w elektroprosumeryzmie są to nowoczesne miejsca pracy takie jak elektroprosumenci i pretendenci-innowatorzy, którzy mogą budować konkurencyjność w skali globalnej. Osoby te będą miały łatwość dostosowywania się do konkurencyjnych rynków, w szczególności w tworzeniu nowych miejsc pracy.