

Wskaźnik emisyjności energii elektrycznej w Polsce w pełnym cyklu życia (poLCA-EN-PL-2024)

Referencyjny krajowy wskaźnik GWP polskiego miksu elektroenergetycznego — full LCA wg ISO 14040/44, EN 15804+A2:2019/A1:2021 i EF 3.1 (JRC 2022). Dokument metodyczny programu EPD Polska.

0,599 kg CO₂e / kWh

poLCA-EN-PL-2024 · -6,7 % vs 2023 (0,642 → 0,599)

KOD	MET-001:2026	WERSJA	v9.1
DATA WYDANIA	2026-05-10	AUTOR	Multicert Sp. z o.o.
WYDAWCA	Program EPD Polska	JĘZYK	polski (pl-PL)
LICENCJA	CC BY 4.0	DOI	10.xxxx/polca.met.2026.001

Multicert Sp. z o.o. — operator programu EPD Polska. ul. Mydlarska 47, 04-690 Warszawa. info@epd.org.pl · polca.org.pl · www.epd.org.pl. Status DOI: w trakcie rejestracji DataCite. Dokument zgodny z ISO 14040/14044, EN 15804+A2:2019+A1:2021 i EF 3.1.

PROGRAM EPD POLSKA × poLCA

Wskaźnik emisyjności energii elektrycznej w Polsce

na potrzeby LCA / EPD

0,599

kg CO₂e / kWh

poLCA-EN-PL-2024 | -6,7 % vs 2023

Referencyjny potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) polskiego miksu energetycznego — do stosowania jako dane wejściowe w obliczeniach LCA/EPD zgodnych z ISO 14040/44 i EN 15804+A2

KOD DOKUMENTU	POLCA-EN-PL-2024
Data wydania	2026
Lata danych	2023-2024
Operator	Multicert Sp. z o.o.
Program	EPD Polska (www.epd.org.pl)
Status	Wersja konsultacyjna v16 — do weryfikacji zewnętrznej

Streszczenie

Uzasadnienie stosowania wskaźnika

Wskaźnik poLCA-EN-PL stanowi pierwszy publicznie dostępny w Polsce wskaźnik emisyjności energii elektrycznej opracowanych w ujęciu pełnego cyklu życia (Life Cycle Assessment — LCA).

W Polsce brak jest oficjalnego wskaźnika emisyjności energii elektrycznej w ujęciu pełnego cyklu życia, przeznaczonego do stosowania w analizach środowiskowych produktów oraz w Deklaracjach Środowiskowych Produktu (EPD). Publicznie dostępne wskaźniki, w szczególności publikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), mają charakter inwentaryzacyjny i odnoszą się przede wszystkim do emisji bezpośrednich z procesu wytwarzania energii elektrycznej w instalacjach energetycznych (m.in. CO₂, SO_x, NO_x, CO oraz pyłów). Nie obejmują one emisji powstających w pozostałych etapach cyklu życia paliw oraz infrastruktury energetycznej.

W analizach LCA oraz w obliczeniach Deklaracji Środowiskowych Produktu wymagane jest natomiast uwzględnienie emisji gazów cieplarnianych w całym łańcuchu dostaw energii elektrycznej. Obejmuje to w szczególności emisje związane z wydobyciem i transportem paliw (upstream), emisje fugitywne metanu z górnictwa węgla kamiennego, a także emisje powiązane z budową, eksploatacją i likwidacją infrastruktury wytwarzania energii.

Wskaźnik poLCA-EN-PL został opracowany w celu wypełnienia tej luki metodologicznej oraz zapewnienia spójnego krajowego wskaźnika emisyjności energii elektrycznej zgodnego z wymaganiami norm ISO 14040, ISO 14044 oraz EN 15804+A2. Stanowi on referencyjny wskaźnik

potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) polskiego mixu energetycznego w ujęciu pełnego cyklu życia (full LCA), przeznaczony do stosowania w analizach LCA oraz w obliczeniach deklaracji EPD.

Wyniki kluczowe

WSKAŹNIK	2023	2024	ZMIANA
poLCA-EN-PL [kg CO ₂ e/kWh]	0,642	0,599	-6,7%
KOBiZE end-user [kg CO ₂ /kWh]	0,597	0,553	-7,4%

Wskaźnik poLCA-EN-PL dla roku 2024 wynosi 0,599 kg CO₂e/kWh i jest o około 8% wyższy od wskaźnika KOBiZE end-user. Różnica ta wynika z uwzględnienia emisji upstream w łańcuchu dostaw paliw oraz emisji metanu z górnictwa węgla kamiennego oraz wpływu importu energii elektrycznej z zagranicy, które nie są uwzględniane w standardowych wskaźnikach opartych wyłącznie na emisjach ze spalania paliw w instalacjach energetycznych

poLCA-EN-PL stanowi referencyjny krajowy wskaźnik GWP energii elektrycznej w Polsce, opracowany w podejściu pełnego cyklu życia (LCA) na podstawie fizycznego mixu wytwarzania energii elektrycznej (location-based supply mix). Wskaźnik przeznaczony jest do modelowania zużycia energii elektrycznej w analizach LCA oraz w obliczeniach Deklaracji Środowiskowych Produktu (EPD).

Wartość poLCA-EN-PL odpowiada komponentowi GWP-fossil energii elektrycznej w Polsce w ujęciu pełnego cyklu życia i stanowi referencyjny wskaźnik emisyjności stosowany w analizach LCA oraz deklaracjach EPD.

Struktura wskaźnika poLCA (dane 2024)

KOMPONENT	KG CO ₂ E/KWH	UDZIAŁ
EF_oper: emisje operacyjne Gate-to-Gate (KOBiZE Tab.6 + korekta importu + N ₂ O + CH ₄ _comb)	0,528	88,1%
WTT_CH ₄ : metan z kopalń węgla PL (WUG × GWP_AR6 × f_alloc_GUS)	0,057	9,5%
WTT_fuels: upstream pozostałe paliwa (JEC WTT v5, CONST)	0,008	1,3%
WTT_OZE: infrastruktura OZE (lifecycle, CONST)	0,006	1,0%
poLCA-EN-PL-2024 (suma)	0,599	100,0%

Pełna metodologia, równania obliczeniowe i analiza wrażliwości przedstawione są w dalszej części dokumentu oraz w Załącznikach A i B.

Spis treści

- Streszczenie
- Uzasadnienie stosowania wskaźnika

- Spis treści
- 1. Wprowadzenie
 - 1.1 Cel i zakres
 - 1.2 Zgodność normatywna
 - 1.3 Uzasadnienie
 - 1.4 Luka metodologiczna w modelowaniu energii elektrycznej w analizach LCA
 - 1.5 Terminologia
- 2. Metodologia
 - 2.1 Granice systemu
 - 2.2 Zgodność z ISO 14040/14044
 -
 - 2.3 Uzasadnienie pominięć (cut-off)
 - 2.4 Jednostka funkcjonalna
 - 2.5 Wskaźnik wpływu
- 3. Źródła danych
 - 3.1 Parametry wejściowe obliczeń
- 4. Tok obliczeniowy (referencyjny)
 - 4.1 Krok 0 — EF_PL,prod
 - 4.2 Krok 1 — Korekta importowa → EF_cons,gross
 - 4.3 Krok 2 — EF_oper
 - 4.4 Krok 3 — WTT_CH₄
 -
 - 4.5 Wynik końcowy
 - 4.6 Kontrola spójności obliczeń
 - 4.7 Struktura modelu obliczeniowego poLCA
 -
 - 4.8 Test bilansu energii systemu elektroenergetycznego
-
- 5. Omówienie wyników
 - 5.1 Porównanie 2023 vs 2024 — dekompozycja różnicy +43 g
 - 5.2 Porównanie z KOBiZE
- 6. Ocena jakości danych
 - 6b. Matryca jakości danych (pedigree matrix)
 - 6a. Ograniczenia metody
- 7. Analiza niepewności i wrażliwości
 - 7.1 Niepewności komponentów
 - 7.2 Analiza wrażliwości (poLCA-EN-PL-2024, wartość bazowa = 0,599 kg CO₂e/kWh)
- 8. Analiza trendów
- 9. Zastosowanie w EPD/LCA
 - 9.1 Typowe zastosowania wskaźnika poLCA
 - 9.2 Rekomendacja do stosowania w deklaracjach EPD
 - 9.3 Mapowanie do modułów EN 15804+A2:2019
 - 9.4 Podział GWP wg EN 15804+A2 — GWP-fossil / GWP-biogenic / GWP-luluc
- Załącznik A — Pełny tok obliczeniowy (referencyjny)

- A.1 Równanie główne
- A.2 EF_PL,prod
- A.3 Korekta importowa
- A.4 EF_oper
- A.5 WTT_CH₄
- A.6 Wynik końcowy
- Załącznik B — Analiza niepewności (informacyjny)
 - B.1 Metoda
 - B.2 Składowe niepewności (2024)
 - B.3 Wpływ wyboru GWP: AR5 vs AR6
- Załącznik C — Split GWP-fossil / GWP-biogenic / GWP-luluc (informacyjny)
 - C.1 Podstawa metodyczna
 - C.2 Dekompozycja składników poLCA
 - C.3 Obliczenie GWP-biogenic
 -
 - C.4 Obliczenie GWP-luluc
 - C.5 Wynik końcowy — split EN 15804+A2
- Bibliografia

1. Wprowadzenie

Niniejszy dokument przedstawia metodologię oraz wyniki obliczeń wskaźnika emisyjności energii elektrycznej w Polsce w zakresie potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (Global Warming Potential – GWP), opracowanego na potrzeby Analizy Cyklu Życia (LCA) oraz Deklaracji Środowiskowych Produktu (EPD). Wskaźnik **poLCA-EN-PL** odzwierciedla całkowite obciążenie klimatyczne energii elektrycznej w ujęciu pełnego cyklu życia, wyrażone jako ekwiwalent dwutlenku węgla (CO₂e).

W przeciwieństwie do wskaźników publikowanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE), które w odniesieniu do emisji gazów cieplarnianych uwzględniają jedynie bezpośrednią emisję CO₂ ze spalania paliw w instalacjach energetycznych, wskaźnik **poLCA-EN-PL** obejmuje również emisje powstające w pozostałych etapach cyklu życia paliw oraz infrastruktury energetycznej.

1.1 Cel i zakres

Wskaźnik **poLCA-EN-PL** stanowi referencyjną wartość wskaźnika GWP polskiego miksu energetycznego, przeznaczoną do stosowania jako dane wejściowe w obliczeniach LCA **produktów budowlanych** zgodnych z normą **EN 15804+A2:2019** oraz w raportowaniu środowiskowym.

Wskaźnik stosowany jest w podejściu **location-based** (fizyczny miks wytwarzania energii elektrycznej) jako wartość domyślna w obliczeniach LCA na potrzeby Deklaracji Środowiskowych Produktu (EPD). Zasady opcjonalnego stosowania podejścia **market-based** opisano w sekcji 9.1.

Wskaźnik **poLCA-EN-PL** nie jest wskaźnikiem raportowym dla krajowej inwentaryzacji emisji ani wskaźnikiem stosowanym w raportowaniu emisji gazów cieplarnianych na poziomie organizacji (np. Scope 2), lecz wskaźnikiem przeznaczonym do modelowania energii elektrycznej w analizach cyklu życia produktów.

Dokument nie jest Deklaracją Środowiskową Produktu (EPD) i nie zawiera pełnego zestawu wskaźników oddziaływania wymaganych w Tablicy 3 normy EN 15804+A2.

Wartość wskaźnika odnosi się do 1 kWh energii elektrycznej dostarczonej do odbiorcy końcowego w krajowym systemie elektroenergetycznym.

Dokument obejmuje dane za lata 2023–2024.

Wskaźnik poLCA-EN-PL stanowi proponowaną wartość referencyjną Programu EPD Polska, opracowaną zgodnie z logiką analizy cyklu życia i przeznaczoną do stosowania domyślnie w obliczeniach LCA/EPD, o ile obowiązujące reguły kategorii produktu (PCR) nie stanowią inaczej. Dokument nie stanowi normy technicznej ani nie ustanawia wiążących wymagań regulacyjnych.

1.2 Zgodność normatywna

Niniejszy raport tła (background data report) opracowany dla projektu poLCA-EN-PL-2024 został przygotowany zgodnie z metodologią i wymogami określonymi w poniższych normach międzynarodowych oraz wytycznych branżowych:

1. ISO 14040:2006 / ISO 14044:2006 — Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia (LCA). Zasady i struktury / Wymagania i wytyczne. Normy te definiują fundamentalne zasady, ramy i wymagania dla przeprowadzania oceny cyklu życia, stanowiąc podstawę metodologiczną dla niniejszego raportu.
2. EN 15804+A2:2019 — Zrównoważony rozwój obiektów budowlanych. Deklaracje środowiskowe produktów. Zasady podstawowe kategorii produktów robót budowlanych. Norma ta ustanawia zasady dla Deklaracji Produktu Środowiskowego (EPD) oraz definiuje jednostkowe wskaźniki środowiskowe stosowane do materiałów i produktów budowlanych.
3. Environmental Footprint 3.1 (EF 3.1) — Metoda charakteryzacji zalecaną przez Centrum Wspólnych Badań (JRC) Komisji Europejskiej. W raporcie zastosowano wartości potencjału globalnego ocieplenia (GWP) zgodne z IPCC AR6 (Szóstą Ocenę Raportu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu), stanowiące obecny standard naukowy dla oceny wpływów klimatycznych.
4. ISO 14025:2006 — Deklaracje środowiskowe i ich weryfikacja. Typ III. Norma ta określa wymagania dla Deklaracji Produktów Środowiskowych typu III oraz procedury ich opublikowania i komunikacji.
5. CEN/TR 16970:2016 — Zrównoważony rozwój obiektów budowlanych. Wytyczne dla użytkowników normy EN 15804. Dokument ten stanowi wskazówki implementacyjne dla zastosowania wymagań EN 15804 w praktyce.

Niniejszy dokument stanowi raport tła (background data report) i nie jest w pełni zharmonizowanym raportem oceny cyklu życia zgodnie z wymaganiami normy ISO 14044 sekcja 5. Raport zawiera dane tła dla europejskiego systemu energetycznego oraz źródła energii elektrycznej, opracowane w oparciu o najnowsze dostępne dane statystyczne z bazy Europejskiej Agencji Środowiska (EEA), platformy Ember oraz bazy OWID (Our World in Data).

Dokument w obecnej wersji nie przeszedł zewnętrznego przeglądu krytycznego zgodnie z normą ISO/TS 14071:2014. Zgodnie z wymaganiami normy ISO 14044 (sekcja 5) oraz wytycznymi ECO Platform (LCA Calculation Rules and Specifications for EPDs V2.0), dane tła stosowane w deklaracjach EPD powinny podlegać niezależnej weryfikacji. Brak formalnego przeglądu krytycznego stanowi ograniczenie obecnej wersji wskaźnika, które może wymagać dodatkowego uzasadnienia podczas weryfikacji EPD (patrz sekcja 11). Rekomenduje się przeprowadzenie niezależnego przeglądu krytycznego przez odpowiedni panel ekspertów dla przyszłych wersji niniejszego raportu, szczególnie w odniesieniu do jakości danych tła i aktualizacji wyników charakteryzacji wpływów środowiskowych.

1.3 Uzasadnienie

Oficjalne wskaźniki emisyjności publikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w odniesieniu do emisji gazów cieplarnianych obejmują jedynie bezpośrednią emisję CO₂ ze spalania paliw w instalacjach energetycznych. Nie uwzględniają emisji z etapów wydobywania i transportu paliw (tzw. emisji upstream, well-to-tank – WTT), w szczególności emisji metanu z kopalń węgla kamiennego, ani emisji innych gazów cieplarnianych powstających w procesie spalania (np. CH₄ i N₂O) w postaci zagregowanego wskaźnika CO₂e.

Zgodnie z zasadami analizy cyklu życia określonymi w normach ISO 14040 oraz ISO 14044, a także w normie EN 15804, pełna ocena oddziaływania środowiskowego energii elektrycznej wymaga uwzględnienia emisji w całym łańcuchu dostaw. W przypadku energii elektrycznej właściwym zakresem systemu jest granica „od wydobywania paliw do licznika odbiorcy końcowego” (well-to-meter), obejmująca łańcuch dostaw paliw, proces wytwarzania energii elektrycznej, straty w systemie przesyłowym i dystrybucyjnym oraz emisje związane z infrastrukturą źródeł energii.

Z tego względu wskaźniki oparte wyłącznie na emisjach CO₂ ze spalania nie są wystarczające do modelowania energii elektrycznej w analizach LCA i Deklaracjach Środowiskowych Produktów (EPD).

W warunkach polskiego miksu energetycznego szczególnie istotne znaczenie mają emisje metanu związane z wydobywaniem węgla kamiennego oraz emisje upstream związane z pozyskaniem i transportem paliw kopalnych.

Uwzględnienie tych emisji powoduje, że wskaźnik emisyjności energii elektrycznej w ujęciu LCA jest wyższy niż wskaźniki oparte wyłącznie na emisjach ze spalania paliw.

1.4 Luka metodologiczna w modelowaniu energii elektrycznej w analizach LCA

W praktyce wykonywania analiz cyklu życia (LCA) oraz Deklaracji Środowiskowych Produktów (EPD) w Polsce autorzy analiz napotykać istotny problem metodologiczny związany z brakiem krajowego wskaźnika emisyjności energii elektrycznej opracowanego w ujęciu pełnego cyklu życia.

Najczęściej stosowane wskaźniki publikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w odniesieniu do emisji gazów cieplarnianych odnoszą się wyłącznie do bezpośredniej emisji CO₂ ze spalania paliw w instalacjach energetycznych. Nie obejmują one emisji innych gazów cieplarnianych ani emisji upstream w łańcuchu dostaw paliw. W rezultacie wskaźniki te nie spełniają wymagań modelowania procesów energetycznych zgodnie z zasadami analizy cyklu życia.

W praktyce prowadzi to do stosowania różnych, często niespójnych podejść metodologicznych, takich jak:

- stosowanie wskaźników CO₂ KOBiZE jako przybliżenia emisji energii elektrycznej w analizach LCA,
- wykorzystywanie danych z międzynarodowych baz danych LCA (np. ecoinvent), które nie zawsze odzwierciedlają aktualną strukturę polskiego mixu energetycznego,
- indywidualne modelowanie mixu energetycznego przez autorów analiz.

Skutkiem tych praktyk jest ograniczona porównywalność wyników analiz LCA oraz deklaracji EPD dla produktów wytwarzanych w Polsce.

Wskaźnik **poLCA-EN-PL** ma na celu zapewnienie spójnej i transparentnej wartości referencyjnej dla modelowania energii elektrycznej w analizach środowiskowych produktów oraz zwiększenie porównywalności wyników analiz LCA i deklaracji EPD.

1.5 Terminologia

EF_PL,prod — wskaźnik emisji produkcji krajowej brutto: emisje CO₂ po alokacji CHP (KOBiZE Tab.6) podzielone przez produkcję brutto Q_{gross}. Nie uwzględnia importu/eksportu ani strat sieciowych.

Consumption mix (end-user) — wskaźnik emisji odnoszący się do energii elektrycznej dostarczonej do odbiorcy końcowego, po uwzględnieniu mixu krajowego (w tym OZE) oraz strat sieciowych (KOBiZE Tab.2: 597/553 kg CO₂/MWh). Odpowiada metodzie location-based wg GHG Protocol.

Residual mix (market-based) — wskaźnik AIB po odliczeniu gwarancji pochodzenia (GO). Dla Polski 2024: 808 g CO₂/kWh. Odzwierciedla rynkową alokację atrybutów środowiskowych po usunięciu energii udokumentowanej certyfikatami. Rośnie mimo czystszej produkcji, gdy Polska eksportuje więcej GO.

f_{gross} — współczynnik skalowania emisji z poziomu produkcji brutto do poziomu energii dostarczonej do odbiorcy końcowego (Q_{gross}/Q_{end}).

EF_oper — wskaźnik operacyjny (Gate-to-Gate, CO₂e): emisje KOBiZE Tab.6 z korektą importową (PSE + EEA), skalowane do poziomu end-user (straty sieciowe), plus korekty N₂O i CH₄ ze spalania.

poLCA-EN-PL — referencyjny wskaźnik emisyjności energii elektrycznej w Polsce stosowany w analizach LCA oraz w deklaracjach EPD, odpowiadający składowej GWP-fossil energii elektrycznej obliczonej dla fizycznego mixu energetycznego Polski (location-based supply mix) w granicach systemu pełnego cyklu życia „well-to-meter”, wyrażony jako potencjał globalnego ocieplenia w jednostkach kg CO₂e/kWh.

Wskaźnik obejmuje emisje operacyjne wytwarzania energii elektrycznej, emisje upstream w łańcuchu dostaw paliw oraz emisje związane z infrastrukturą źródeł energii. Składowe GWP-biogenic oraz GWP-luluc raportowane są oddzielnie zgodnie z wymaganiami EN 15804+A2 i nie są wliczane do wartości wskaźnika poLCA.

2. Metodologia

2.1 Granice systemu

Wskaźnik poLCA-EN-PL obejmuje następujące etapy cyklu życia energii elektrycznej dostarczanej do odbiorcy końcowego w Polsce (granica systemu: well-to-meter):

- Emisje operacyjne Gate-to-Gate — emisje bezpośrednie CO₂ z instalacji spalania paliw (KOBiZE Tab. 6, po alokacji CHP metodą produkcji równoważnej), z korektą importową opartą na fizycznych przepływach transgranicznych energii elektrycznej (PSE Tab. 7.2) oraz intensywności emisji systemów elektroenergetycznych krajów sąsiednich (EEA). Wartość wskaźnika jest następnie skalowana do poziomu end-user poprzez uwzględnienie strat w systemie przesyłowym i dystrybucyjnym oraz korekt emisji N₂O i CH₄ ze spalania.
- WTT – metan z kopalń węgla — emisje fugitywne CH₄ do atmosfery z czynnych kopalń węgla kamiennego w Polsce, na podstawie danych Wyższego Urzędu Górniczego (WUG), obejmujące emisje netto do atmosfery szybami wentylacyjnymi oraz ze stacji odmetanowania. Emisje te alokowane są do sektora energetycznego przy użyciu współczynnika f_alloc opartego na danych GUS dotyczących struktury wykorzystania węgla.
- WTT – pozostałe paliwa — emisje upstream z łańcucha dostaw paliw kopalnych i biomasy (wydobycie, przetwarzanie, transport), modelowane przy użyciu współczynników JEC WTT v5 przyjętych jako wartości stałe w modelu (CONST).
- Infrastruktura OZE — emisje z cyklu życia infrastruktury odnawialnych źródeł energii (produkcja komponentów, montaż, utrzymanie oraz dekomisja instalacji), uwzględnione jako składnik stały modelu (CONST).

2.2 Zgodność z ISO 14040/14044

WYMAGANIE ISO 14044	REALIZACJA W POLCA	STATUS
Funkcja systemu	Dostawa 1 kWh energii elektrycznej (EE) do odbiorcy końcowego w Polsce	Spełnione
Jednostka funkcjonalna	1 kWh energii elektrycznej dostarczonej do odbiorcy końcowego (end-user, po stratach sieciowych; granica systemu well-to-meter)	Spełnione
Granice systemu	Well-to-meter: wydobywanie paliw → spalanie → T&D → licznik odbiorcy; infrastruktura OZE lifecycle	Spełnione
Kryterium odcięcia	Procesy <0,5% GWP pominięte z uzasadnieniem (zob. 2.3)	Spełnione
Alokacja	Alokacja CHP wg produkcji równoważnej (KOBiZE); alokacja metanu kopalnianego do EE wg f_alloc GUS	Spełnione
Wskaźnik GWP	GWP-100 wg AR6 IPCC (CH ₄ fossil = 29,8; N ₂ O = 273) — Metoda EF 3.1 (Environmental Footprint), JRC	Spełnione
Jakość danych	Dane państwowe <1 rok, specyficzne geograficznie (KOBiZE, PSE, WUG, GUS)	Spełnione

WYMAGANIE ISO 14044	REALIZACJA W POLCA	STATUS
Analiza niepewności	Przedziały niepewności oraz analiza wrażliwości parametrów modelu (Załącznik B)	Spełnione

2.3 Uzasadnienie pominięć (cut-off)

INFRASTRUKTURA ELEKTROWNI KONWENCJONALNYCH

Emisje z cyklu życia infrastruktury elektrowni węglowych i gazowych (budowa, materiały, dekomisja) nie zostały uwzględnione. Wg danych IPCC AR5 WG3 Annex III emisje infrastrukturalne dla elektrowni węglowych wynoszą 1–3 g CO₂e/kWh, a dla elektrowni gazowych 0,5–2 g CO₂e/kWh. Przy udziale paliw kopalnych w polskim miksie wytwarzania energii elektrycznej (~70%) daje to ok. 1–2 g CO₂e/kWh, tj. <0,3% wskaźnika poLCA. Pominięcie jest uzasadnione kryterium odcięcia <0,5% GWP (ISO 14044 pkt 4.2.3.3.2). Gdyby uwzględnić infrastrukturę konwencjonalną, wskaźnik poLCA wzrósłby o ok. +0,001–0,002 kg CO₂e/kWh (+0,2–0,3%) — marginalnie, w granicach niepewności obliczeń.

UZASADNIENIE STAŁOŚCI WTT_FUELS I WTT_OZE (CONST)

Współczynniki WTT (well-to-tank) dla paliw kopalnych i OZE są traktowane jako stałe (CONST) — takie same dla lat 2023 i 2024. Uzasadnienie:

(1) Stabilność między latami. WTT_fuels obejmuje emisje upstream gazu ziemnego, oleju i biomasy — parametry zależne od globalnej struktury dostaw paliw, zmieniające się w skali dekad, nie lat. Porównanie JEC WTT v4 (2013) vs v5 (2020) wykazuje zmiany ±5–8% dla gazu i ±3–6% dla olejów. Zmiana o 5% komponentu WTT_fuels (~8 g CO₂e/kWh) odpowiada zmianie ok. 0,4 g CO₂e/kWh, co wpływa na wartość wskaźnika poLCA o ok. 0,07% — poniżej progu odcięcia 0,5% wg ISO 14044 pkt 4.2.3.3.2.

(2) Brak polskich danych krajowych. Polska nie publikuje krajowych wskaźników WTT dla paliw energetycznych w szczególności wymaganej przez EN 15804. JEC WTT v5 (JRC-Eucar-Concawe, 2020) jest standardem de facto stosowanym przez wszystkie programy EPD w Europie i spójnym z ecoinvent 3.12+. Wartości JEC WTT dla gazu ziemnego (WTT ≈ 15% emisji gate) mieszczą się w przedziale europejskim: ecoinvent v3.10 raportuje 12–18%, JRC/EU Reference Scenario wskazuje 14–16%.

(3) WTT_OZE = 6,0 g CO₂e/kWh pochodzi z ecoinvent 3.12 dla infrastruktury farm wiatrowych i PV (budowa, materiały, transport), uśrednionych dla europejskiego miks. Wartość jest stabilna między wersjami: ecoinvent v3.8 → 5,8 g; v3.9 → 6,0 g; v3.10 → 6,1 g — zmienność poniżej 3%.

(4) Łączna niepewność WTT_fuels i WTT_OZE oceniana jest na ±30% (tabela niepewności, Załącznik B). Przy łącznej wartości komponentów WTT (14,0 g CO₂e/kWh) daje to ±4,2 g = ±0,7% poLCA — wewnątrz jednego odchylenia standardowego ($\sigma = 29$ g). Przyszłe aktualizacje powinny uwzględnić JEC WTT v6 (~2025–2026).

Tabela. Zestawienie źródeł danych WTT

KOMPONENT	ŹRÓDŁO	ROK	ZAKRES	ADEKWATNOŚĆ DLA PL
WTT_fuels (8,0 g)	JEC WTT v5 (JRC-Eucar-Concawe)	2020	Upstream EU: wydobycie, przetwarzanie, transport gazu, węgla, oleju	Standard de facto w programach EPD; spójny z ecoinvent 3.12 (12–18% emisji gate)
WTT_OZE (6,0 g)	ecoinvent 3.12 (system: allocation, cut-off)	2022	Infrastruktura OZE: budowa, materiały, transport farm wiatrowych i PV	Stabilność między wersjami: v3.8→5,8; v3.9→6,0; v3.10→6,1 g (zmienność <3%)
Weryfikacja IEA	IEA Life Cycle Upstream EF 2024	2024	LCA upstream EF dla 150 krajów, wagi miksem wytwarzania	Potwierdza rząd wielkości 5–8 g upstream dla miksov zdominowanych przez paliwa kopalne

Przyjęte założenia dotyczące komponentów CONST są weryfikowane w analizie wrażliwości przedstawionej w Załączniku B.

Szczegółowy tok obliczeniowy wskaźnika poLCA-EN-PL przedstawiono w rozdziale 4.

2.4 Jednostka funkcjonalna

1 kWh energii elektrycznej dostarczonej do odbiorcy końcowego w Polsce, po uwzględnieniu strat sieciowych na przesyłach i dystrybucji. Wskaźnik odnosi się do fizycznego miksu energetycznego (location-based supply mix) i obejmuje pełny łańcuch — od wydobycia paliw do licznika odbiorcy końcowego (well-to-meter).

2.5 Wskaźnik wpływu

Potencjał globalnego ocieplenia (GWP-100) wyrażony w [kg CO₂e/kWh] zgodnie z GWP₁₀₀ AR6 IPCC 2021 (CH₄ fossil = 29,8; N₂O = 273) — wartości z pakietu referencyjnego EF 3.1 (JRC, luty 2023). Dokument ogranicza się do wskaźnika GWP jako kategorii wpływu właściwej dla wskaźnika emisyjności energii elektrycznej stosowanego w obliczeniach EPD/LCA.

Uzasadnienie wyboru EF 3.1 (AR6): Pakiet referencyjny czynników charakteryzacji dla EN 15804, publikowany przez JRC Komisji Europejskiej, został zaktualizowany w lutym 2023 do wersji EF 3.1 — właśnie w celu dostosowania kategorii „climate change” do AR6 IPCC 2021 (Forster et al., 2021). Program EPD International (Environdec) przyjął EF 3.1 jako obowiązujący standard: „As of 2024-09-01, CFs based on EF 3.1 shall be used” (EPD International, ogłoszenie 2024-02-19).

EPDs publikowane po 1 września 2024 muszą stosować EF 3.1 — stosowanie AR5 (EF 3.0, CH₄=28) byłoby po tej dacie niezgodne z wymaganiami wiodącego światowego programu EPD. poLCA, oparte na EF 3.1, są w pełni spójne z czynnikami charakteryzacji wymaganymi dla EPD wydawanych w Polsce po 2024-09-01.

Uwaga terminologiczna dotycząca GWP metanu: EF 3.0 stosował GWP100 = 28 (AR5 bez climate-carbon feedback, bez rozróżnienia fossil/non-fossil). EF 3.1 wprowadził rozróżnienie: CH₄ fossil = 29,8; CH₄ non-fossil = 27,9 (AR6, Tab. 7.15). Emisje metanu z górnictwa węgla są klasyfikowane jako CH₄ fossil — stąd przejście EF 3.0→EF 3.1 oznacza wzrost GWP o +6,4%

(28→29,8). Wartość GWP100 = 30 (AR5 fossil z climate-carbon feedback) nie była stosowana przez żadne oprogramowanie LCA ani program EPD — ecoinvent 3.8 i EF 3.0 konsekwentnie używały wartości 28.

Dla porównania: wartości przy EF 3.0 (CH₄ = 28) wyniosłyby 0,595 kg CO₂e/kWh (2024) i 0,638 kg CO₂e/kWh (2023) — różnica względem EF 3.1 to odpowiednio -0,4% i -0,6%, poniżej niepewności metody ($\sigma \approx 5\%$).

Wartości emisji metanu stosowane w modelu klasyfikowane są jako CH₄ fossil, zgodnie z klasyfikacją EF 3.1 dla emisji z paliw kopalnych.

3. Źródła danych

SYMBOL	ŹRÓDŁO	DANE	ZASTOSOWANIE	STATUS
S1	KOBIZE XII 2024 / XII 2025	Tab.6: emisje CO ₂ po alokacji CHP; Q _{gross} ; Tab.2: wskaźnik end-user (referencyjny)	EF_PL,prod; Q _{gross} ; wskaźnik referencyjny end-user	Potwierdzony
S2	PSE S.A. — Raport roczny KSE	Tab.7.2 przepływy graniczne wg krajów, 2023 i 2024	Q _{import} , Q _{export} wg krajów [GWh]	Potwierdzony
S3	EEA — GHG intensity electricity by country	Wskaźniki emisji EE wg krajów, 2023 i 2024	EF _{import} dla DE, SE, CZ, LT, SK [g CO ₂ e/kWh] (średnia roczna intensywność emisji systemu elektroenergetycznego)	Potwierdzony (5/6; UA = SZAC IEA)
S6	WUG — Ocena stanu bezpieczeństwa w górnictwie	Rozdz. Zagrożenie metanowe: emisja metanu do atmosfery netto [mln m ³ CH ₄ /rok]	Em _{CH₄} do obliczeń WTT _{CH₄}	Potwierdzony
S10	GUS — Gospodarka paliwowo-energetyczna	Współczynnik alokacji obliczono na podstawie tablic 7–10 publikacji GUS „Gospodarka paliwowo-energetyczna	f _{alloc} = Sekcja D / Kraj ogółem	Potwierdzony
CONST	JEC WTT v5; ecoinvent 3.12; IPCC AR6 / EF 3.1	WTT _{fuels} , WTT _{OZE} , GWP CH ₄ =29,8; N ₂ O=273; Delta _{N₂O} =2,4 g; Delta _{CH₄} _{comb} =0,2 g	Stałe metodyczne	Stałe

3.1 Parametry wejściowe obliczeń

Tablica 3.1. Parametry wejściowe obliczeń polCA

PARAMETR	SYMBOL	2023	2024	JEDNOSTKA	ŹRÓDŁO
BILANS ENERGII I EMISJI					

PARAMETR	SYMBOL	2023	2024	JEDNOSTKA	ŹRÓDŁO
Emisje CO ₂ po alokacji CHP	CO2_Tab6	91 798 960	88 716 280	Mg CO ₂	KOBiZE Tab.6 [S1]
Produkcja brutto	Q_gross	163 990 407	169 001 397	MWh	KOBiZE [S1]
Energia elektryczna dostarczona do odbiorców końcowych	Q_end	153 650 407	160 368 397	MWh	KOBiZE [S1]
Eksport łączny (PSE Tab.7.2)	Q_exp	11 293 500	13 246 500	MWh	PSE [S2]
Import łączny (PSE Tab.7.2)	Q_imp	15 182 900	15 212 300	MWh	PSE [S2]
WSKAŹNIKI EMISJI IMPORTU (EEA)					
EF import DE	EF_DE	320	298	g CO ₂ e/kWh	EEA [S3]
EF import SE	EF_SE	8	7	g CO ₂ e/kWh	EEA [S3]
EF import CZ	EF_CZ	361	332	g CO ₂ e/kWh	EEA [S3]
EF import LT	EF_LT	78	29	g CO ₂ e/kWh	EEA [S3]
EF import SK	EF_SK	83	75	g CO ₂ e/kWh	EEA [S3]
EF import UA (SZAC)	EF_UA	210	210	g CO ₂ e/kWh	IEA [SZAC]
METAN KOPALNIANY (WUG)					
Emisja CH ₄ netto do atmosfery	Em_CH ₄	551,2	530,6	mIn m ³ CH ₄ /rok	WUG [S6]
GWP ₁₀₀ CH ₄ fossil (AR6, EF 3.1)	GWP_CH ₄	29,8	29,8	—	CONST
Współczynnik alokacji (GUS Tab.1(74))	f_alloc	0,8109	0,8094	—	GUS [S10]
STAŁE METODYCZNE					
GWP ₁₀₀ N ₂ O (AR6, EF 3.1)	GWP_N ₂ O	273	273	—	CONST
Korekta N ₂ O ze spalania	Delta_N ₂ O	2,4	2,4	g CO ₂ e/kWh	CONST
Korekta CH ₄ ze spalania	Delta_CH ₄ _comb	0,2	0,2	g CO ₂ e/kWh	CONST
WTT upstream pozostałe paliwa	WTT_fuels	8,0	8,0	g CO ₂ e/kWh	JEC WTT v5 [CONST]
WTT infrastruktura OZE	WTT_OZE	6,0	6,0	g CO ₂ e/kWh	CONST

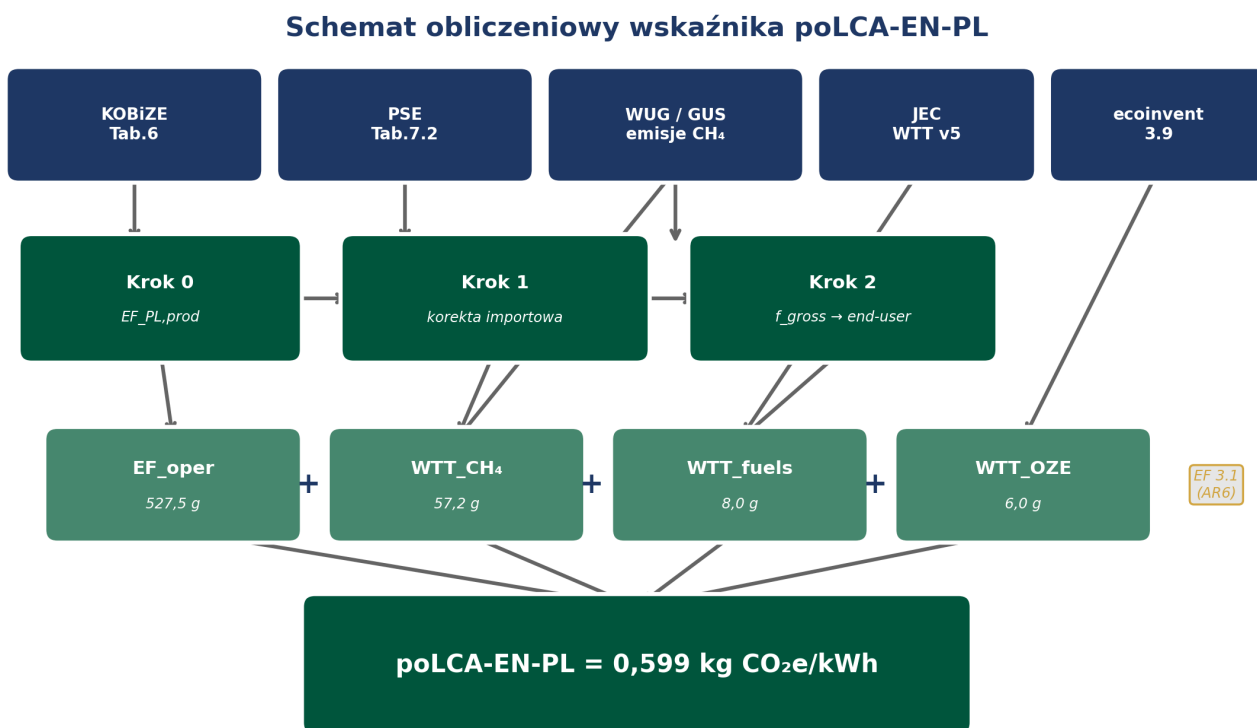
Uwaga dotycząca EF_UA: Wskaźnik emisji dla Ukrainy (EF_UA = 210 g CO₂e/kWh) ma charakter szacunkowy i oparty jest na danych IEA sprzed 2022 r. Rzeczywista intensywność emisji ukraińskiej energetyki może się istotnie różnić od przyjętej wartości ze względu na zmiany w strukturze wytwarzania związane z konfliktem zbrojnym, uszkodzeniami infrastruktury oraz zmianami w bilansie paliwowym. Wpływ tego parametru na końcowy wynik poLCA jest jednak ograniczony — import z Ukrainy stanowi niewielki udział w całkowitym bilansie zużycia energii elektrycznej w Polsce. Analiza wrażliwości (sekcja 7.2) wykazuje, że zmiana EF_UA w przedziale ±50% powoduje zmianę wskaźnika poLCA o mniej niż 0,5 g CO₂e/kWh.

Wartości parametrów dla lat 2023 i 2024 pochodzą z oficjalnych publikacji instytucji krajowych (KOBiZE, PSE, WUG, GUS) lub ze źródeł referencyjnych stosowanych w analizach LCA w Europie (JRC, ecoinvent). Dane wykorzystane w modelu odnoszą się do najnowszych dostępnych publikacji w momencie opracowania dokumentu i reprezentują rzeczywistą strukturę krajowego systemu elektroenergetycznego.

4. Tok obliczeniowy (referencyjny)

Wskaźnik poLCA-EN-PL obliczany jest jako suma czterech komponentów:

$$\text{poLCA} = \text{EF}_{\text{oper}} + \text{WTT}_{\text{CH}_4} + \text{WTT}_{\text{fuels}} + \text{WTT}_{\text{OZE}} \text{ [g CO}_2\text{e/kWh]}$$



Rysunek 1. Schemat obliczeniowy wskaźnika poLCA-EN-PL

Wartość poLCA odpowiada komponentowi GWP-fossil energii elektrycznej. Emisje biogeniczne i LULUC wynikające z infrastruktury OZE raportowane są oddzielnie zgodnie z EN 15804+A2.

4.1 Krok 0 — EF_PL,prod

$$EF_{PL,prod} = CO_{2_Tab6} / Q_{gross} \times 1000 \text{ [g CO}_2\text{/kWh]}$$

Emisje CO₂ ze spalania po alokacji CHP (KOBiZE Tab. 6), podzielone przez całkowitą produkcję brutto energii elektrycznej, obejmującą również OZE i hydroenergetyki. Wskaźnik jest niższy niż KOBiZE Tab.1 (instalacje spalania) właśnie dlatego, że mianownik uwzględnia całą produkcję — OZE i hydroenergetyki mają zerową emisję bezpośrednią.

PARAMETR	2023	2024
CO ₂ _Tab6 [Mg CO ₂]	91 798 960	88 716 280
Q_gross [MWh]	163 990 407	169 001 397
EF_PL,prod [g CO ₂ /kWh]	559,8	524,9

4.2 Krok 1 — Korekta importowa → EF_cons,gross

Korekta uwzględnia fizyczne przepływy graniczne energii elektrycznej (PSE Tab. 7.2) oraz intensywność emisji energii importowanej z krajów sąsiednich (EEA).

$$E_{PL \rightarrow PL} = CO_{2_Tab6} \times (Q_{gross} - Q_{exp}) / Q_{gross} \text{ [Mg CO}_2\text{]}$$

$$E_{import} = \sum_k (Q_{import_k} \times EF_k) / 1\,000\,000 \text{ [Gg CO}_2\text{e]}^*$$

$$EF_{cons,gross} = (E_{PL \rightarrow PL} + E_{import}) / Q_{cons} \times 1000 \text{ [g CO}_2\text{e/kWh]}$$

Q_{cons} oznacza całkowitą podaż energii elektrycznej dostępnej do konsumpcji brutto, tj. produkcję krajową pomniejszoną o eksport i powiększoną o import (Q_{cons} = Q_{gross} - Q_{exp} + Q_{imp}).

*Jednostki: wartości \$Q_{import,k}\$ w GWh i \$EF_{k}\$ w g CO₂e/kWh przeliczono na Gg CO₂e przez podzielenie iloczynu przez 1 000 000.

KRAJ	Q_IMP 2023 [GWH]	EF 2023 [G CO ₂ E/KWH]	E 2023 [GG]	Q_IMP 2024 [GWH]	EF 2024 [G CO ₂ E/KWH]	E 2024 [GG]
DE	8 191,4	320	2 621,2	9 541,9	298	2 843,5
SE	4 042,9	8	32,3	3 022,0	7	21,2
CZ	807,7	361	291,6	1 243,4	332	412,8
LT	1 530,6	78	119,4	683,8	29	19,8
SK	268,9	83	22,3	183,6	75	13,8
UA	341,4	210	71,7	537,6	210	112,9
SUMA	15 182,9	—	3 158,6	15 212,3	—	3 423,9

PARAMETR	2023	2024
E_PL→PL [Gg CO ₂]	85 477	81 763
E_import [Gg CO ₂ e]	3 159	3 424

PARAMETR	2023	2024
Q_cons [MWh]	167 879 807	170 967 197
EF_cons,gross [g CO ₂ /kWh]	528,0	498,3

4.3 Krok 2 — EF_oper

Skalowanie do poziomu end-user przez $f_{gross} = Q_{gross} / Q_{end}$, plus korekty GHG ze spalania:

$$EF_{cons,eu,CO_2} = EF_{cons,gross} \times (Q_{gross} / Q_{end})$$

$$EF_{oper} = EF_{cons,eu,CO_2} + s_{PL} \times (\Delta N_2O + \Delta CH_4_{comb})$$

$s_{PL} = (Q_{cons} - Q_{import}) / Q_{cons}$ = udział energii krajowej w miksie konsumpcyjnym (2023: 91,0% i 2024: 91,1%). Korekty Delta stosowane wyłącznie do komponentu krajowego — wskaźniki EEA dla importu są już w CO₂e i nie wymagają dodatkowych korekt.

PARAMETR	2023	2024
$f_{gross} = Q_{gross} / Q_{end}$	1,06730	1,05386
EF_cons,eu,CO ₂ [g CO ₂ /kWh]	563,5	525,1
+ $\Delta N_2O \times s_{PL}$ [g CO ₂ e/kWh]	2,2	2,2
+ $\Delta CH_4_{comb} \times s_{PL}$ [g CO ₂ e/kWh]*	0,2	0,2
EF_oper [g CO ₂ e/kWh]	565,9	527,5

*Wartość zaokrąglona; dokładna: $0,9110 \times 0,2 = 0,182$ g CO₂e/kWh. Zaokrąglenie nie wpływa na wynik EF_oper ze względu na dalsze zaokrąglenia w toku obliczeniowym.

Wartości korekt ΔN_2O i ΔCH_4_{comb} odpowiadają emisjom gazów cieplarnianych innych niż CO₂ powstającym podczas spalania paliw w elektrowniach konwencjonalnych. Zostały one oszacowane na podstawie domyślnych współczynników emisji IPCC AR6 (EF 3.1) dla spalania paliw w sektorze elektroenergetycznym oraz typowej struktury paliwowej krajowej elektroenergetyki.

Przyjęto wartości: $\Delta N_2O = 2,4$ g CO₂e/kWh oraz $\Delta CH_4_{comb} = 0,2$ g CO₂e/kWh.

4.4 Krok 3 — WTT_CH₄

Emisje fugitywne metanu z czynnych kopalń węgla kamiennego w Polsce, alokowane do sektora elektroenergetyki:

$$WTT_{CH_4} = Em_{CH_4} \times 0,717 \times GWP_{CH_4} \times f_{alloc} / Q_{end}$$

gdzie:

- Em_{CH_4} – emisja metanu do atmosfery z kopalń węgla kamiennego mln m³ CH₄/rok
- 0,717 – gęstość metanu w warunkach normalnych kg/m³
- GWP_{CH_4} – współczynnik potencjału globalnego ocieplenia metanu (AR6, EF 3.1)
- f_{alloc} – współczynnik alokacji emisji metanu do sektora elektroenergetycznego
- Q_{end} – energia elektryczna dostarczona do odbiorców końcowych TWh/rok

Jednostki: $\text{mln m}^3 \times \text{kg/m}^3 \rightarrow 10^6 \text{ kg CH}_4$, po przemnożeniu przez GWP otrzymuje się $10^6 \text{ kg CO}_2\text{e}$, a po podzieleniu przez produkcję energii TWh uzyskuje się wynik w $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$.

Źródło Em_{CH_4} (WUG): „emisja metanu do atmosfery szybami wentylacyjnymi oraz ze stacji odmetanowania (niewykorzystana część)” — emisja netto do atmosfery, po odjęciu zagospodarowanego metanu. Obliczona z danych WUG: Tabela 11 (metanowość bezwzględna, ujęcie, zagospodarowanie).

Źródło f_{alloc} (GUS): $f_{\text{alloc}} = \text{Sekcja D (elektrownie + elektrociepłownie zawodowe + ciepłownie zawodowe)} / \text{Kraj ogółem, z Tablicy 1(74)}$ — zużycie węgla kamiennego energetycznego. Podstawa wyłącznie węgiel energetyczny (koksowy ma Sekcja D = 0).

PARAMETR	2023	2024
Em _{CH₄} WUG netto [mln m ³ /rok]	551,2	530,6
→ kt CH ₄ (× 0,717 / 1000)	395,2	380,4
GWP _{CH₄} (AR6, EF 3.1)	29,8	29,8
f_{alloc} *	0,8109	0,8094
Q _{end} [TWh]	153,650	160,368
WTT _{CH₄} [g CO ₂ e/kWh]	62,2	57,2

Uwaga: Komponent WTT_{CH₄} jest wyższy w 2023 r. niż w 2024 r. (62,2 vs 57,2 g CO₂e/kWh), głównie z uwagi na wyższą emisję metanu netto z kopalń w 2023 r. (551,2 vs 530,6 mln m³). Współczynnik alokacji f_{alloc} był w obu latach bardzo zbliżony (0,8109 vs 0,8094), dlatego jego wpływ na różnicę rok do roku był niewielki.

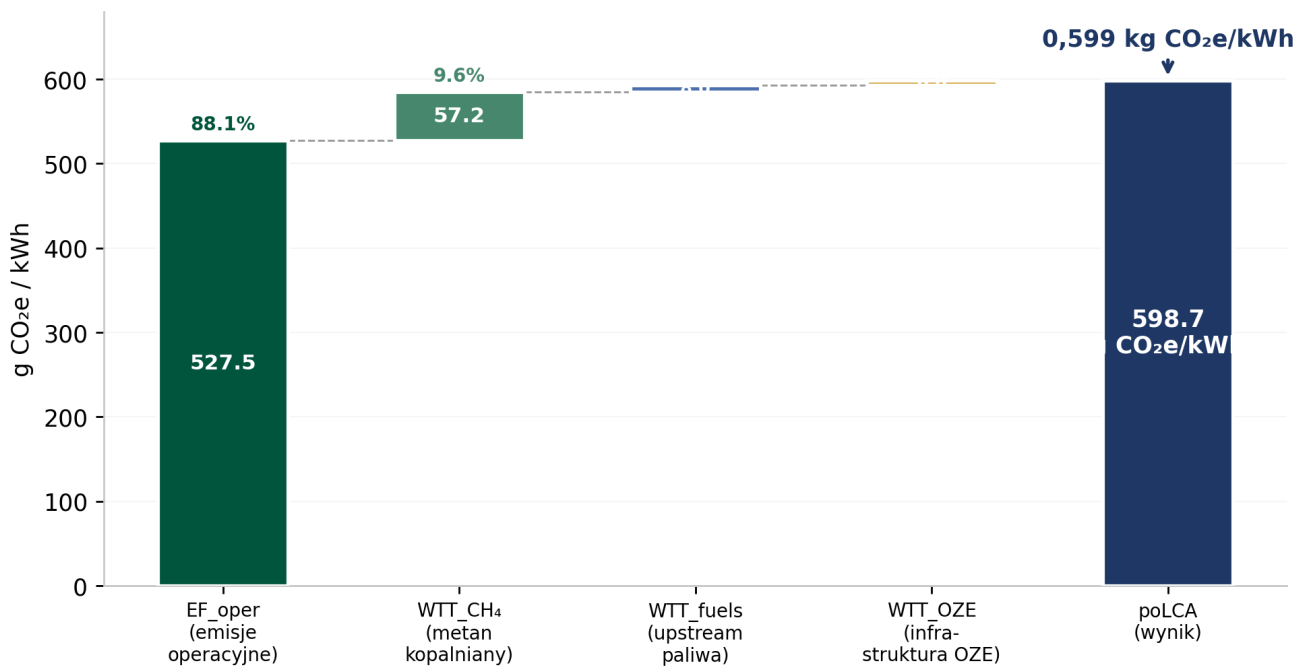
- Źródło f_{alloc} (GUS): współczynnik alokacji obliczono jako udział wsadu węgla kamiennego energetycznego na produkcję energii elektrycznej w łącznym wsadzie na produkcję energii elektrycznej i ciepła, na podstawie tablic 7–10 publikacji GUS „Gospodarka paliwowo-energetyczna”:

$$f_{\text{alloc}} = W_{\text{EE}} / (W_{\text{EE}} + W_{\text{Q}}),$$

gdzie W_{EE} obejmuje wsad na wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach ciepłych zawodowych i przemysłowych, a W_{Q} obejmuje wsad na wytwarzanie ciepła w tych samych grupach jednostek

4.5 Wynik końcowy

Struktura wskaźnika poLCA-EN-PL 2024 – dekompozycja komponentów



Rysunek 2. Dekompozycja komponentów wskaźnika poLCA-EN-PL 2024

KOMPONENT	2023	2024	ZMIANA
	[g CO ₂ e/kWh]	[g CO ₂ e/kWh]	(2024 – 2023)
EF_PL,prod (KOBiZE Tab.6 / Q_gross)	559,8	524,9	-34,9
↳ korekta importowa (PSE + EEA)	-31,8	-26,7	5,1
EF_cons,gross	528,0	498,3	-29,7
Skalowanie do end-user	1,0673	1,0538	
EF_cons,eu,CO ₂	563,5	525,1	-38,4
↳ Delta_N ₂ O × s_PL	2,2	2,2	0
↳ Delta_CH ₄ _comb × s_PL	0,2	0,2	0
EF_oper (Gate-to-Gate)	565,9	527,5	-38,4
WTT_CH ₄ (WUG × GWP_AR6 × f_alloc_GUS)	62,2	57,2	-5,0
WTT_fuels (JEC WTT v5, CONST)	8,0	8,0	0
WTT_OZE (CONST)	6,0	6,0	0
poLCA-EN-PL [g CO ₂ e/kWh]	642,1	598,7	-43,4
poLCA-EN-PL zaokrąglone [kg CO ₂ e/kWh]	0,642	0,599	-0,043

Wartość poLCA-EN-PL odpowiada składowej GWP-fossil energii elektrycznej w Polsce i jest wartością stosowaną jako wskaźnik emisyjności energii elektrycznej w analizach LCA oraz w deklaracjach EPD.

4.6 Kontrola spójności obliczeń

Zgodnie z równaniem modelu przedstawionym w rozdziale 4, wartość wskaźnika poLCA-EN-PL stanowi sumę czterech komponentów:

Podstawienie wartości obliczonych w poprzednich krokach daje:

2023

$$poLCA\ 2023 = 565,9 + 62,2 + 8,0 + 6,0 = 642,1\ g\ CO_2e/kWh$$

2024

$$poLCA\ 2024 = 527,5 + 57,2 + 8,0 + 6,0 = 598,7\ g\ CO_2e/kWh$$

Po zaokrągleniu do trzech miejsc po przecinku w jednostkach kg CO₂e/kWh:

ROK	POLCA [G CO ₂ E/KWH]	POLCA [KG CO ₂ E/KWH]
2023	642,1	0,642
2024	598,7	0,599

Wartości te są zgodne z wynikiem przedstawionym w tabeli 4.5. Różnice wynikające z zaokrągleń nie przekraczają 0,1 g CO₂e/kWh.

4.7 Struktura modelu obliczeniowego poLCA

Tabela poniżej przedstawia strukturę modelu obliczeniowego wskaźnika poLCA-EN-PL oraz źródła danych wykorzystywanych do wyznaczenia poszczególnych komponentów.

KOMPONENT MODELU	SYMBOL	JEDNOSTKA	OPIS	ŹRÓDŁO DANYCH
Emisje operacyjne produkcji energii	EF_oper	g CO ₂ e/kWh	Emisyjność energii elektrycznej po korekcie importowej, uwzględnieniu strat sieciowych oraz emisji CH ₄ i N ₂ O ze spalania	KOBiZE, PSE, EEA
Metan kopalniany (upstream)	WTT_CH ₄	g CO ₂ e/kWh	Emisje fugitywne CH ₄ z kopalń węgla kamiennego alokowane do sektora elektroenergetyki	WUG, GUS
Upstream paliw kopalnych	WTT_fuels	g CO ₂ e/kWh	Emisje z wydobycia, przetwarzania i transportu paliw energetycznych	JEC WTT v5
Infrastruktura OZE	WTT_OZE	g CO ₂ e/kWh	Emisje z cyklu życia instalacji OZE (produkcja komponentów, montaż, utrzymanie, dekomisja)	ecoinvent 3.12
Wskaźnik końcowy	poLCA	g CO ₂ e/kWh	Suma komponentów modelu: EF_oper + WTT_CH ₄ + WTT_fuels + WTT_OZE	model poLCA

4.8 Test bilansu energii systemu elektroenergetycznego

Spójność danych wejściowych modelu została zweryfikowana poprzez kontrolę bilansu energii elektrycznej w krajowym systemie elektroenergetycznym. Całkowita podaż energii elektrycznej dostępnej do konsumpcji brutto (Q_{cons}) powinna być równa produkcji krajowej pomniejszonej o eksport oraz powiększonej o import energii elektrycznej:

$$Q_{cons} = Q_{gross} - Q_{exp} + Q_{imp}$$

gdzie:

- Q_{gross} — krajowa produkcja brutto energii elektrycznej
- Q_{exp} — eksport energii elektrycznej
- Q_{imp} — import energii elektrycznej

Wartości zastosowane w modelu spełniają powyższe równanie bilansowe.

PARAMETR	2023	2024	JEDNOSTKA
Q_{gross}	163 990 407	169 001 397	MWh
Q_{exp}	11 293 500	13 246 500	MWh
Q_{imp}	15 182 900	15 212 300	MWh
$Q_{cons} = Q_{gross} - Q_{exp} + Q_{imp}$	167 879 807	170 967 197	MWh

Uzyskane wartości Q_{cons} są zgodne z wartościami wykorzystanymi w obliczeniach wskaźnika $EF_{cons,gross}$ w sekcji 4.2, co potwierdza spójność danych bilansowych zastosowanych w modelu poLCA.

5. Omówienie wyników

5.1 Porównanie 2023 vs 2024 — dekompozycja różnicy +43 g

CZYNNIK	EFEKT [G CO ₂ E/KWH]	WYJAŚNIENIE
Wyższe emisje KOBiZE Tab.6 w 2023	+34,9	Większy udział węgla, mniejszy OZE w 2023
Efekt korekty importowej	-5,2	Efekt korekty importowej wynika z aktualizacji wskaźników emisji energii importowanej dla krajów sąsiednich według EEA oraz z różnic w strukturze importu między latami; największy wpływ ma kierunek niemiecki z uwagi na jego dominujący udział w imporcie.
Efekt strat sieciowych i skalowania do end-user	+8,7*	Wyższy stosunek Q_{gross}/Q_{end} w 2023 oznacza większe straty systemowe w przeliczeniu na energię dostarczoną do odbiorcy końcowego

CZYNNIK	EFEKT [G CO ₂ E/KWH]	WYJAŚNIENIE
WTT_CH ₄	+5,0	Wyższe WTT_CH ₄ w 2023 (62,2 vs 57,2 g/kWh) wynika przede wszystkim z wyższej emisji WUG (551,2 vs 530,6 mln m ³), przy bardzo zbliżonym współczynniku alokacji f _{alloc} w obu latach (0,8109 vs 0,8094).
WTT_fuels i WTT_OZE	0,0	Wartości stałe (CONST)
ŁĄCZNIE	+43,4	2023 bardziej emisyjne o ~7% vs 2024

** Efekt strat sieciowych (+8,7 g) obliczono jako różnicę między zmianą EF_{cons,eu,CO₂} (-38,4 g) a zmianą EF_{cons,gross} (-29,7 g). Wartość łączy efekt zmiany współczynnika f_{gross} oraz efekt zmiany EF_{cons,gross} i nie jest niezależnie weryfikowalna bez znajomości metody dekompozycji.*

Głównym czynnikiem różnicy jest wyższa emisyjność krajowej produkcji energii elektrycznej w 2023 (+34,9 g), co odzwierciedla mniejszy udział OZE (25,2% vs 28,2% w end-user) i wyższe zużycie węgla kamiennego.

Zmiana wskaźnika poLCA między 2023 a 2024 jest w przeważającej mierze (ok. 80%) wynikiem zmiany struktury krajowego miksu wytwarzania energii elektrycznej.

5.2 Porównanie z KOBiZE

ŹRÓDŁO WSKAŹNIKA (ZAKRES EMISJI)	2023	2024	ZAKRES	RÓŻNICA VS POLCA 2024
KOBiZE Tab.2 end-user (CO ₂ only)	0,597	0,553	CO ₂ ze spalania	-7,7%
AIB Residual Mix (CO ₂ , market-based)	0,788	0,808	CO ₂ atrybutowy	+34,9%
poLCA-EN-PL	0,642	0,599	CO ₂ e full LCA, location-based	—

Różnica pomiędzy wskaźnikiem poLCA a wskaźnikiem KOBiZE end-user wynosi dla roku 2024 około 46 g CO₂e/kWh (ok. +8%). Wynika ona przede wszystkim z uwzględnienia emisji metanu z kopalń węgla kamiennego oraz emisji upstream w łańcuchu dostaw paliw kopalnych.

Wskaźnik KOBiZE odzwierciedla jedynie emisje bezpośrednio z procesu spalania paliw w elektrowniach. Wskaźnik poLCA obejmuje natomiast pełny cykl życia energii elektrycznej (well-to-meter), zgodnie z wymaganiami metodologii LCA. Z tego względu wskaźnik poLCA jest bardziej odpowiedni do stosowania w analizach środowiskowych produktów oraz w deklaracjach EPD.

Różnica poLCA vs KOBiZE jest częściowo kompensowana przez niższy EF_{oper} względem wskaźnika KOBiZE Tab.2 (różnica ok. 25 g wynika z korekty importowej — import z DE i SE obniża średnią emisyjność).

Wskaźnik AIB Residual Mix jest atrybutowy (kontraktowy) — odzwierciedla rynkową alokację po odliczeniu gwarancji pochodzenia (GO). Rośnie mimo czystszej produkcji (eksport polskich GO). Nie jest odpowiedni do obliczeń LCA wg EN 15804; zob. sekcja 9.1.

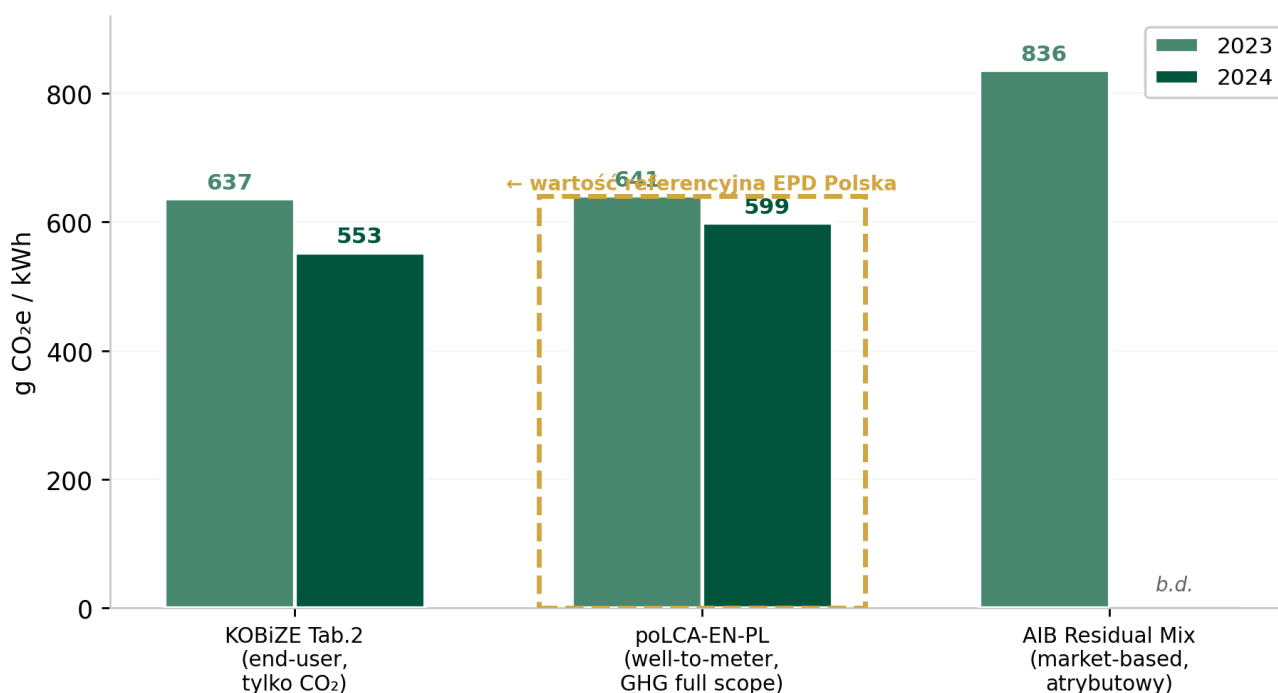
5.3 PORÓWNANIE Z DANymi MIĘDZYNARODOWymi

W celu dodatkowej walidacji, wartość poLCA-EN-PL porównano z danymi z niezależnych źródeł międzynarodowych:

ŹRÓDŁO	WARTOŚĆ PL	METODA	UWAGI
poLCA-EN-PL	0,599	Location-based, LCA	Niniejszy dokument; well-to-meter
EEA (2023)	0,662	Bezpośrednie	EEA GHG intensity indicator; wyższe bo tylko emisje bezpośrednie bez korekty LCA
Lewandowska et al. (2025) [S16]	0,650	Location-based	MDPI Energies 2025; miks konsumpcyjny 2022; różnica wynika z granic systemu i źródeł danych
IEA Emission Factors 2024	~0,60–0,65	LCA upstream	IEA Life Cycle Upstream EF database; Polska wśród najwyższych w EU obok EE, CY, BG
UBA DE (Icha & Kuhs, 2023)	0,380 (DE)	LCA lifecycle	Benchmark metodologiczny; różnica PL vs DE wynika z dominacji węgla w polskim miksie
EPD Italy (ISPRA, 2024)	0,270 (IT)	Grid mix	49% OZE i gaz; potwierdza skalę różnic między krajami EU

Wartość poLCA-EN-PL (0,599 kg CO₂e/kWh) mieści się w przedziale wartości raportowanych przez niezależne źródła dla Polski (0,56–0,66 kg CO₂e/kWh w zależności od metody i roku referencyjnego). Różnice wynikają z odmiennych granic systemu (bezpośrednie vs LCA), podejścia do importu/eksportu oraz zastosowanych współczynników charakteryzacji. Porównanie z innymi krajami EU potwierdza oczekiwaną pozycję Polski wśród państw o najwyższej emisyjności energii elektrycznej, co jest spójne z dominacją paliw kopalnych (~70%) w krajowym miksie wytwarzania.

Porównanie wskaźników emisji energii elektrycznej w Polsce



Rysunek 3. Porównanie wskaźników emisji energii elektrycznej w Polsce

Wartość poLCA-EN-PL = 0,599 kg CO₂e/kWh stanowi wynik modelowy, a nie wartość zmierzoną. Jest ona pochodną przyjętych założeń metodologicznych — w szczególności doboru granic systemu (location-based, well-to-meter), źródeł danych wejściowych (KOBiZE, PSE, WUG, JEC WTT v5, ecoinvent 3.12), współczynników charakteryzacji (EF 3.1 / AR6) oraz uproszczenia referencyjnego GWP-biogenic ≈ 0. Zmiana któregokolwiek z tych założeń wpływa na wynik końcowy. Przedziały wrażliwości na poszczególne parametry przedstawiono w sekcji 7.2.

6. Ocena jakości danych

KRYTERIUM	OCENA	UZASADNIENIE
Reprezentatywność czasowa	Bardzo dobra	KOBiZE XII 2025, WUG 2025, GUS 2025 — dane za 2024, wiek <1 rok
Reprezentatywność geograficzna	Bardzo dobra	Dane specyficzne dla Polski: KOBiZE, PSE, WUG, GUS
Reprezentatywność technologiczna	Bardzo dobra	Rzeczywisty miks energetyczny na podstawie danych operatorów (PSE) i organów nadzoru (WUG)
Kompletność	Dobra	Gate + upstream CH ₄ + WTT fuels + infra OZE; infra konwencjonalna pominięta (<0,3%, zob. 2.3)
Spójność	Bardzo dobra	Identyczna metodologia dla 2023 i 2024; pełna porównywalność wyników
Przejrzystość	Bardzo dobra	Pełny tok obliczeniowy z odniesieniami do źródeł, numerów tabel i wierszy; pełna odtwarzalność na podstawie publicznie dostępnych danych źródłowych

6b. Matryca jakości danych (pedigree matrix)

Ocena jakości danych źródłowych została przeprowadzona zgodnie z metodologią Weidemę et al. (1998) i wytycznymi ILCD. Każde źródło danych zostało ocenione na pięciostopniowej skali (1 = najwyższa jakość, 5 = najniższa jakość) względem pięciu wskaźników: rzetelności, kompletności, reprezentatywności czasowej, reprezentatywności geograficznej oraz reprezentatywności technologicznej.

ŹRÓDŁO DANYCH	RZETELNOŚĆ	KOMPLETNOŚĆ	CZASOWA	GEOGRAFICZNA	TECHNOLOGICZNA
KOBiZE Tab.6 (emisje CO ₂ , alokacja CHP)	1	1	1	1	1
PSE Tab.7.2 (przepływy transgranicznego prądu)	1	2	1	1	1

ŹRÓDŁO DANYCH	RZETELNOŚĆ	KOMPLETNOŚĆ	CZASOWA	GEOGRAFICZNA	TECHNOLOGICZNA
WUG (metan z kopalni węgla)	2	2	1	1	2
GUS (współczynnik alokacji węgla kamiennego)	1	1	2	1	1
EEA (współczynniki krajów importu)	2	2	2	2	2
IPCC AR6 (współczynniki charakterystyki GWP)	1	1	1	1	1
JEC WTT v5 (emisje upstream paliw)	2	2	3	3	2
ecoinvent 3.12 (cykl OZE infrastruktury)	2	2	2	2	2

Skala Weidemeę: 1 = dane zmierzone lub zweryfikowane; 2 = dane z zatwierdzonych procedur; 3 = dane szacunkowe na podstawie pośrednich informacji; 4 = dane mniej wiarygodne lub szacunkowe; 5 = szacunek niekwalifikowany. Zgodnie z metodologią ILCD, wyższa jakość danych odpowiada niższym wartościom liczbowym wskaźników pedigree.

Ocena ogólnej jakości danych (DQR – Data Quality Rating) obliczona na podstawie średniej arytmetycznej wszystkich wskaźników: $DQR = (\text{suma wszystkich wyników}) / (\text{liczba wskaźników} \times \text{liczba źródeł})$. Dla niniejszej matrycy: $DQR = 109 / (5 \times 8) = 2,725 / 5 = 1,69$. Wartość DQR = 1,69 wskazuje na wysoką jakość danych wykorzystanych w niniejszym raporcie tła LCA.

Większość źródeł danych charakteryzuje się wysoką rzetelnością i reprezentatywności geograficznej, szczególnie dane z KOBiZE i IPCC AR6 (ocena 1). Zmienność wyników obserwuje się w zakresie reprezentatywności czasowej (JEC WTT) i kompletności (EEA, ecoinvent), odzwierciedlającej różnorodność metod i czasu zebrania danych. Wciąż jednak ogólna ocena DQR = 1,69 jest zadowalająca dla dokumentu referencyjnego systemu energetycznego Polski w odniesieniu do emisji gazów cieplarnianych.

6a. Ograniczenia metody

Wskaźnik poLCA-EN-PL stanowi wynik modelowania opartego na publicznie dostępnych źródłach danych i przyjętych uproszczeniach metodologicznych. Poniżej zestawiono kluczowe ograniczenia, które należy uwzględnić przy interpretacji wyniku.

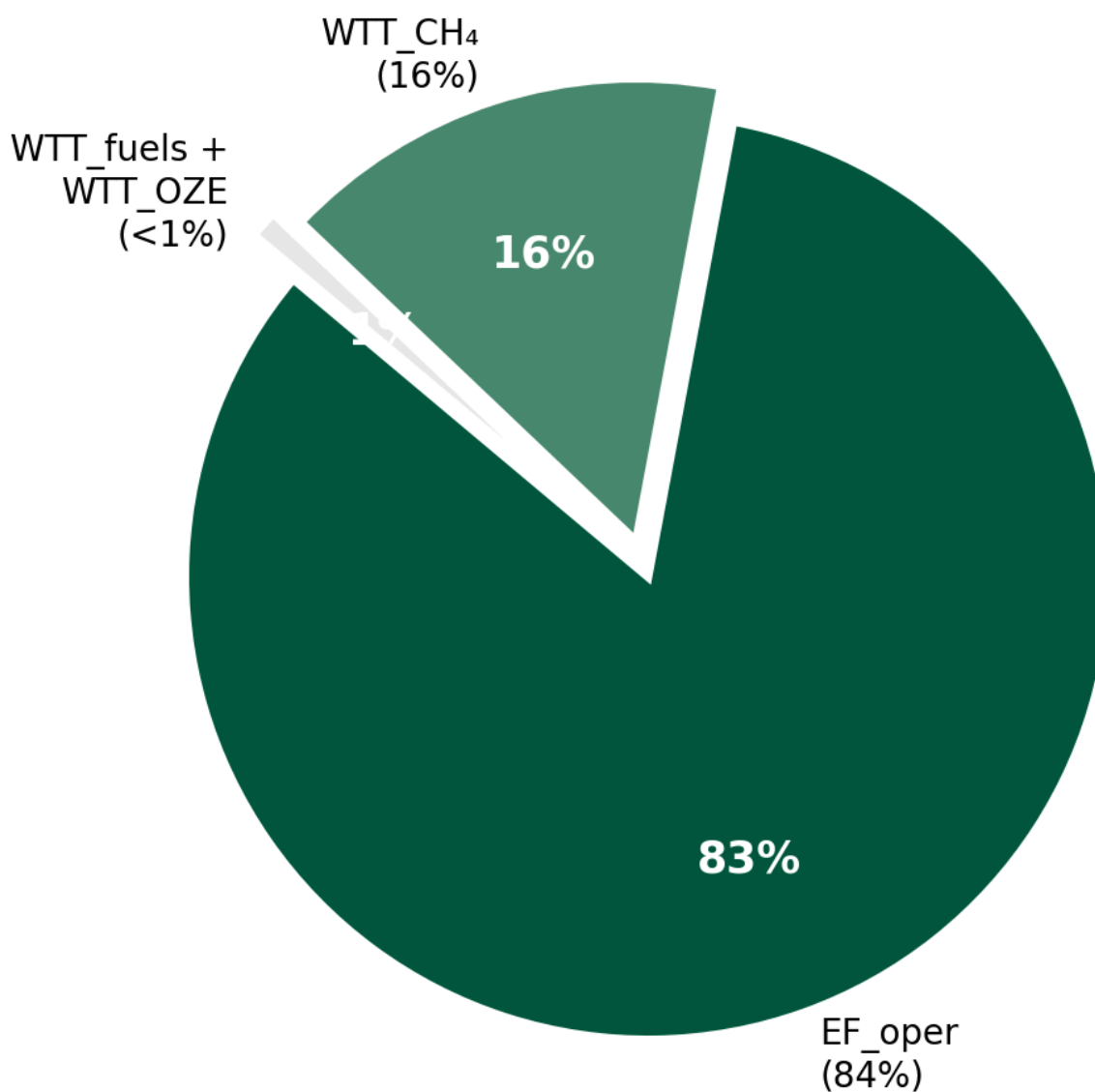
OGRANICZENIE	OPIS I UZASADNIENIE
Proxy dla EF Ukrainy	EF_UA = 210 g CO ₂ /kWh to oszacowanie sprzed 2022 r. (IEA/GTO). Konflikt zbrojny mógł zmienić strukturę wytwarzania. Wpływ na wskaźnik końcowy jest ograniczony: zmiana EF_UA o ±50% zmienia poLCA o <0,5 g CO ₂ e/kWh.
Stołość WTT_fuels i WTT_OZE	Współczynniki WTT_fuels (8,0 g) i WTT_OZE (6,0 g) przyjęto jako CONST na podstawie JEC WTT v5 i ecoinvent 3.12. W rzeczywistości mogą się zmieniać w zależności od technologii wydobycia, tras transportu i miks technologicznego OZE. Ich łączny wpływ na wskaźnik wynosi ok. 14 g CO ₂ e/kWh (~2,3%).
Uproszczenie GWP-biogenic	Wartość referencyjna GWP-biogenic ≈ 0 wynika z uproszczenia bilansowego (netto). Wartość brutto wynosi ok. 0,029 kg CO ₂ e/kWh. Nie modelowano pełnego cyklu pochłanianie-emisja biomasy; jest to spójne z praktyką EN 15804+A2 dla wskaźników generycznych.
Infrastruktura konwencjonalna	Emisje z budowy, materiałów i dekomisji elektrowni konwencjonalnych pominięto. Wg IPCC AR5 WG3 Annex III wynoszą one 1–3 g CO ₂ e/kWh dla węgla i 0,5–2 g dla gazu. Przy ~70% udziale paliw kopalnych daje to ok. 1–2 g, tj. <0,3% wskaźnika — w granicach kryterium odcięcia ISO 14044.
Analiza niepewności	Zastosowano uproszczoną metodę RSS (Root Sum of Squares) z eksperckimi oszacowaniami niepewności komponentów. Nie przeprowadzono pełnej symulacji Monte Carlo. Podane przedziały mają charakter orientacyjny, nie stanowią formalnych przedziałów ufności (95% CI).

7. Analiza niepewności i wrażliwości

7.1 Niepewności komponentów

Przedstawione przedziały niepewności mają charakter orientacyjny i wynikają z oszacowań eksperckich przeprowadzonych w ramach opracowania niniejszego wskaźnika. Nie stanowią one formalnych przedziałów ufności w rozumieniu statystycznym (np. 95% CI). Rzeczywista niepewność może być wyższa, w szczególności w przypadku komponentów opartych na danych zastępczych lub europejskich wartościach średnich (WTT_fuels, WTT_OZE). Wartości te należy interpretować jako wskazanie rzędu wielkości niepewności, a nie jako wynik pełnej analizy niepewności Monte Carlo.

Dekompozycja wariacji niepewności wskaźnika poLCA-EN-PL 2024



Rysunek 4. Dekompozycja wariacji niepewności wskaźnika poLCA

KOMPONENT	2024 [G CO ₂ E/KWH]	NIEPEWNOŚĆ	ŹRÓDŁO NIEPEWNOŚCI
EF_oper	527,5	±5%	Rozrzut KOBiZE vs PSE; EF importu (EEA vs Ember); metodologia alokacji CHP
WTT_CH ₄	57,2	±20%	WUG jako jedyne źródło; brak niezależnej weryfikacji raportów spółek węglowych (ryzyko niedoszacowania); f_alloc wrażliwy na klasyfikację GUS; rosnąca metanowość złóż

KOMPONENT	2024 [G CO ₂ E/KWH]	NIEPEWNOŚĆ	ŹRÓDŁO NIEPEWNOŚCI
WTT_fuels	8,0	±30%	Stała CONST — brak aktualizacji do warunków PL; wartości JEC WTT v5 sprzed 2020
WTT_OZE	6,0	±30%	Stała CONST — rozrzut IPCC dla różnych technologii i lokalizacji

7.2 Analiza wrażliwości (poLCA-EN-PL-2024, wartość bazowa = 0,599 kg CO₂e/kWh)

PARAMETR	ZMIANA	POLCA [KG CO ₂ E/KWH]	Δ [KG/KWH]	Δ% WYNIKU
WTT_CH ₄ (Em_CH ₄)	+20%	0,610	+0,011	+1,9%
WTT_CH ₄ (Em_CH ₄)	-20%	0,588	-0,011	-1,9%
f_alloc	+10% (0,809→0,890)	0,605	+0,006	+1,0%
f_alloc	-10% (0,809→0,728)	0,593	-0,006	-1,0%
EF_import DE (dominuje import)	+50 g (298→348)	0,602	+0,003	+0,5%
GWP_CH ₄ (AR5=28 vs AR6=29,8)	+6,4% GWP	0,603	+0,004	+0,6%
EF_oper	±5%	0,625 / 0,573	±0,026	±4,4%
Infrastruktura konwencjonalna (pominięta)	+2 g (dodanie)	0,601	+0,002	+0,3%

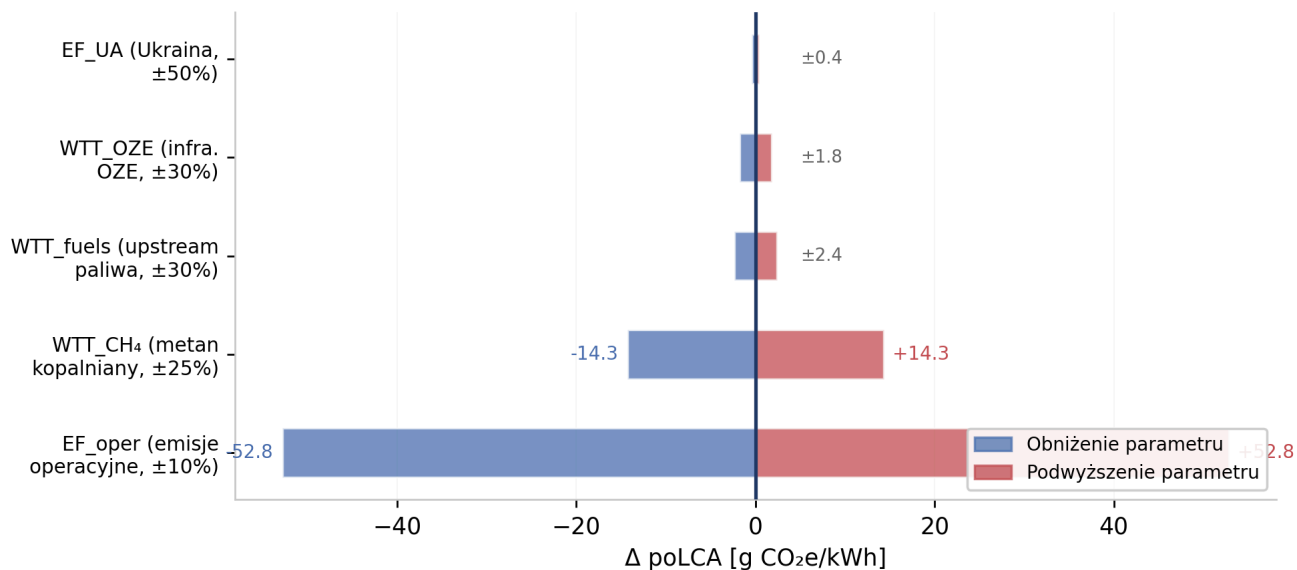
Dominującym źródłem niepewności jest EF_oper (±5% → ±4,4% wyniku). Składowa metanowa WTT_CH₄ (±20% Em_CH₄ → ±1,9%) jest istotna, lecz nie dominuje. Wskazuje to na odporność wskaźnika na ewentualne niedoszacowania emisji metanu przez WUG, które mogą wynikać z braku niezależnej weryfikacji danych raportowanych przez spółki węglowe (problem sygnalizowany m.in. przez niezależne ośrodki badawcze).

Pominięcie infrastruktury elektrowni konwencjonalnych (+0,002 kg CO₂e/kWh, +0,3%) pozostaje wyraźnie poniżej progu odcięcia 0,5% przyjętego w niniejszej analizie.

Efekt przejścia AR5→AR6 wynosi +0,003–0,004 kg CO₂e/kWh (+0,6%), co także mieści się wewnątrz jednego odchylenia standardowego ($\sigma = 0,029$ kg).

Łączna niepewność wskaźnika poLCA-EN-PL szacowana jest na około ±5% , przy czym głównym źródłem niepewności jest komponent emisji operacyjnych EF_oper.

Analiza wrażliwości — wpływ parametrów na wynik poLCA



Rysunek 5. Analiza wrażliwości — wpływ parametrów na wynik poLCA

8. Analiza trendów

Porównanie danych za lata 2023–2024 ujawnia wyraźny trend dekarbonizacji polskiego sektora elektroenergetycznego:

- Wzrost udziału OZE — udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energii elektrycznej dostarczonej do odbiorców końcowych wzrósł z 25,2% do 28,2%, a produkcja z wiatru, fotowoltaiki, biomasy i hydroenergetyki zwiększyła się z ok. 38,8 TWh do 45,3 TWh (+17%).
- Spadek wykorzystania węgla — zużycie węgla kamiennego w sektorze elektroenergetycznym spadło o ok. 10%, podczas gdy całkowita produkcja energii ze spalania paliw kopalnych zmniejszyła się o ok. 1,2%.
- Zmniejszenie strat sieciowych — różnica między produkcją brutto a energią dostarczoną do odbiorców końcowych ($Q_{gross} - Q_{end}$) spadła z 10,3 TWh do 8,6 TWh (-16%), co wskazuje na poprawę efektywności systemu elektroenergetycznego.
- Zmiana struktury importu energii — wzrost importu energii z Niemiec (+1,4 TWh), przy jednoczesnym spadku importu ze Szwecji (-1,0 TWh). W efekcie korekta importowa była nieco mniej korzystna w 2024 (-26,7 g CO₂/kWh) niż w 2023 (-31,8 g CO₂/kWh), jednak efekt wzrostu produkcji OZE wyraźnie dominuje.

Prognoza. Przy utrzymaniu obecnego tempa wzrostu produkcji z odnawialnych źródeł energii wskaźnik poLCA-EN-PL dla roku 2025 można szacować w przedziale 0,57–0,62 kg CO₂e/kWh. Wskaźnik będzie aktualizowany corocznie po publikacji danych KOBiZE (zwykle w IV kwartale roku następnego).

9. Zastosowanie w EPD/LCA

9.1 Typowe zastosowania wskaźnika poLCA

Wskaźnik poLCA-EN-PL może być stosowany jako referencyjna wartość emisyjności energii elektrycznej w analizach środowiskowych procesów i produktów realizowanych w Polsce. Typowe zastosowania obejmują w szczególności:

- analizy cyklu życia produktów (Life Cycle Assessment — LCA),
- Deklaracje Środowiskowe Produktu (Environmental Product Declarations — EPD),
- obliczenia śladu węglowego produktów (Product Carbon Footprint),
- analizy środowiskowe procesów przemysłowych wykorzystujących energię elektryczną z krajowej sieci elektroenergetycznej.

9.2 Rekomendacja do stosowania w deklaracjach EPD

Dla obliczeń LCA wyrobów budowlanych w Polsce, Program EPD Polska rekomenduje stosowanie wskaźnika poLCA-EN-PL jako wartości referencyjnej emisyjności polskiego miksu energetycznego. W zależności od roku referencyjnego danych:

- Dane z roku 2023: stosować poLCA-EN-PL-2023 = 0,642 kg CO₂e/kWh
- Dane z roku 2024: stosować poLCA-EN-PL-2024 = 0,599 kg CO₂e/kWh

Wybór podejścia do modelowania energii elektrycznej

Producent może stosować podejście location-based lub market-based jako podstawę obliczeń EPD:

- Location-based (domyślne): jako wskaźnik emisyjności energii elektrycznej stosuje się poLCA-EN-PL. Raportowanie market-based jest dopuszczalne jako informacja uzupełniająca.
- Market-based (opcja): producent może zastosować wskaźnik emisyjności dla energii udokumentowanej instrumentami rynkowymi (GO, PPA lub innymi certyfikatami anulowanymi na rzecz producenta w roku referencyjnym). Dla energii elektrycznej nieudokumentowanej instrumentami rynkowymi stosuje się AIB Residual Mix dla Polski. W tym przypadku obowiązkowe jest dodatkowe podanie wartości GWP Total obliczonego według podejścia location-based (poLCA), oznaczonego jako „GWP Total — location-based (informacyjnie)”.

Wskaźnik poLCA-EN-PL odnosi się wyłącznie do energii elektrycznej pobieranej z sieci elektroenergetycznej w ujęciu location-based.

9.3 Mapowanie do modułów EN 15804+A2:2019

KONTEKST ZUŻYCIA EE W CYKLU ŻYCIA WYROBU	MODUŁ	WSKAŹNIK (2024)
EE w procesie produkcji wyrobu (A3)	A3	0,599 kg CO ₂ e/kWh
EE na placu budowy	A5	0,599 kg CO ₂ e/kWh
EE w fazie eksploatacji budynku	B6	0,599 kg CO ₂ e/kWh

KONTEKST ZUŻYCIA EE W CYKLU ŻYCIA WYROBU	MODUŁ	WSKAŹNIK (2024)
EE w procesach przetwarzania odpadów	C3	0,599 kg CO ₂ e/kWh
Uniknięta produkcja energii elektrycznej (np. odzysk energii)	D	0,599 kg CO ₂ e/kWh

Uwaga 1 — Wskaźnik zagregowany (well-to-meter).

poLCA jest wskaźnikiem typu „od wydobycia paliw do licznika odbiorcy końcowego”. Obejmuje łącznie emisje bezpośrednie z wytwarzania, straty w sieci T&D, upstream WTT i infrastrukturę OZE. W obliczeniach EPD stanowi pojedynczą wartość emisyjności przepływu „energia elektryczna z sieci PL” i nie wymaga dalszej dezagregacji.

Uwaga 2 — Market-based vs location-based.

Wskaźnik poLCA oparty jest na podejściu fizycznym (location-based), zgodnym z wymaganiami EN 15804+A2:2019 dla EPD wyrobów budowlanych. Nie zastępuje wskaźników atrybutowych (market-based, np. AIB Residual Mix) stosowanych w raportowaniu Scope 2 wg GHG Protocol. Dla obliczeń bazowych wg EN 15804 właściwym wskaźnikiem pozostaje poLCA; zasady opcjonalnego raportowania market-based opisano w sekcji 9.1.

Uwaga 3 — Spójność czasowa.

W obliczeniach EPD należy stosować wskaźnik poLCA odpowiadający rokowi referencyjnemu danych produkcyjnych: poLCA-EN-PL-2023 = 0,642 kg CO₂e/kWh dla danych z roku 2023, poLCA-EN-PL-2024 = 0,599 kg CO₂e/kWh dla danych z roku 2024. poLCA-EN-PL-2024 obowiązuje do publikacji wskaźnika za rok 2025.

Uwaga 4 — Zgodność z PCR.

Jeśli PCR obowiązujące dla danej kategorii wyrobów określają konkretne źródło wskaźnika emisyjności energii elektrycznej, wymagania PCR mają pierwszeństwo. poLCA-EN-PL jest rekomendowany przez Program EPD Polska jako wartość domyślna w przypadku braku odmiennych wymagań PCR.

Uwaga 5 — Perspektywa czasowa modułu B6.

Wskaźnik poLCA (0,599 kg CO₂e/kWh) odzwierciedla obecny miks energetyczny. Dla modułu B6 z horyzontem RSL >25 lat stanowi oszacowanie konserwatywne (górną granicę), gdyż dekarbonizacja sektora systematycznie obniży emisyjność. Zgodnie z klauzulą 6.3.6 EN 15804+A2 dopuszcza się podejście scenariuszowe dla B6.

9.4 Podział GWP wg EN 15804+A2 — GWP-fossil / GWP-biogenic / GWP-luluc

Norma EN 15804+A2:2019 (Tab. 1) wymaga raportowania potencjału globalnego ocieplenia w trzech oddzielnych podkategoriach: GWP-fossil (emisje z paliw kopalnych), GWP-biogenic (CO₂ biogeniczny ze spalania biomasy) oraz GWP-luluc (emisje z użytkowania i zmiany użytkowania ziemi). Poniżej przedstawiono dekompozycję wskaźnika poLCA-EN-PL-2024 na te trzy składowe.

Zasada dekompozycji:

Wskaźnik poLCA-EN-PL-2024 odpowiada wartości GWP-fossil energii elektrycznej w Polsce obliczonej w ujęciu pełnego cyklu życia (well-to-meter).

Składowe GWP-biogenic oraz GWP-luluc raportowane są oddzielnie zgodnie z wymaganiami EN 15804+A2 i nie są wliczane do wartości wskaźnika poLCA.

Wartość wskaźnika poLCA została obliczona na podstawie danych KOBiZE, WUG oraz JEC WTT v5 i obejmuje emisje związane głównie z wykorzystaniem paliw kopalnych. Zgodnie z konwencją UNFCCC/IPCC, emisje CO₂ ze spalania biomasy raportowane są oddzielnie jako emisje biogeniczne i nie są wliczane do sumy emisji sektora energetycznego.

W związku z tym składowe GWP-biogenic oraz GWP-luluc zostały oszacowane oddzielnie na podstawie udziału źródeł biogenicznych w krajowym miksie produkcji energii elektrycznej w 2024 r.

SKŁADOWA	WARTOŚĆ 2024	JEDNOSTKA	ŹRÓDŁO DANYCH
GWP-fossil	0,599	kg CO ₂ e/kWh	KOBiZE, WUG, JEC WTT v5
GWP-biogenic	≈ 0 (netto)	kg CO ₂ biogenic/kWh	PSE, KOWR, IPCC 2006
GWP-luluc	0,001	kg CO ₂ e LULUC/kWh	ecoinvent 3.12, JEC

Metoda obliczenia GWP-fossil.

GWP-fossil obliczono jako sumę emisji operacyjnych oraz emisji upstream związanych z paliwami kopalnymi:

$GWP-fossil = EF_{oper} + WTT_{CH_4} + WTT_{fuels} + WTT_{OZE}(część fossil) = 527,5 + 57,2 + 8,0 + 5,5 = 598,2 \text{ g CO}_2\text{e/kWh} \approx 0,599 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$.

Składową infrastrukturalną OZE ($WTT_{OZE} = 6,0 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$) rozdzielono na część kopalną (ok. 5,5 g), biogeniczną (ok. 0,2 g) oraz LULUC (ok. 0,3 g) na podstawie profilu inwentaryzacyjnego technologii OZE w bazie ecoinvent 3.12.

Metoda obliczenia GWP-biogenic.

W 2024 r. produkcja energii elektrycznej z biomasy stałej oraz biogazu wyniosła łącznie ok. 4 560 GWh, co odpowiada ok. 2,7% krajowej produkcji energii elektrycznej.

Emisje CO₂ biogenicznego brutto ze spalania oszacowano przy użyciu współczynników emisyjnych IPCC (2006):

- biomasa stała: 1 152 g CO₂/kWh_{el}
- biogaz: 650 g CO₂/kWh_{el}

Po przeliczeniu na poziom energii dostarczonej do odbiorcy końcowego emisje brutto wynoszą około 0,029 kg CO₂ biogenic/kWh.

Szacunkowa wartość emisji brutto GWP-biogenic wynosi około 0,029 kg CO₂ biogenic/kWh i wynika z udziału biomasy (współspalanie, biogaz) w miksie paliwowym. W niniejszym wskaźniku przyjęto uproszczenie referencyjne GWP-biogenic ≈ 0, zakładając zrównoważone pozyskanie biomasy, przy czym pełne modelowanie pochłaniania i uwalniania CO₂ biogenicznego nie zostało przeprowadzone. Pochłanianie CO₂ w fazie wzrostu biomasy nie jest modelowane w granicach systemu wskaźnika.

W rezultacie, wartość referencyjna: GWP-biogenic ≈ 0 kg CO₂ biogenic/kWh.

Przyjęcie GWP-biogenic ≈ 0 jest uproszczeniem referencyjnym, spójnym z podejściem EN 15804+A2:2019 oraz praktyką wiodących baz danych LCA (np. ecoinvent). Uproszczenie to zakłada, że biomasa wykorzystywana w polskiej energetyce pochodzi ze źródeł spełniających kryteria zrównoważonego pozyskania. W przypadku gdy szczegółowe PCR wymagają wykazania składnika brutto, należy przyjąć wartość szacunkową 0,029 kg CO₂ biogenic/kWh.

Metoda obliczenia GWP-luluc.

GWP-luluc obejmuje emisje wynikające z użytkowania gruntów pod produkcję biomasy energetycznej oraz infrastrukturę OZE.

Na podstawie danych ecoinvent 3.12 przyjęto orientacyjne wartości:

- biomasa stała: ~ 12 g CO₂e/kWh_{el}
- biogaz: ~ 3 g CO₂e/kWh_{el}

Po przeliczeniu na udział tych technologii w miksie energii elektrycznej oraz uwzględnieniu infrastruktury OZE (ok. 0,3 g CO₂e/kWh) otrzymano:

GWP-luluc $\approx 0,001$ kg CO₂e/kWh.

Interpretacja w kontekście EPD:

Zgodnie z normą EN 15804+A2:2019 trzy składowe potencjału globalnego ocieplenia raportowane są oddzielnie:

SKŁADOWA	WARTOŚĆ
GWP-fossil	0,599 kg CO ₂ e/kWh
GWP-biogenic	≈ 0 kg CO ₂ biogenic/kWh
GWP-LULUC	0,001 kg CO ₂ e/kWh

W praktycznym zastosowaniu w deklaracjach EPD wskaźnik poLCA-EN-PL = GWP-fossil = 0,599 kg CO₂e/kWh stosuje się jako czynnik emisyjności energii elektrycznej w modułach cyklu życia.

Uwaga dotycząca interpretacji GWP-biogenic:

W analizie zastosowano podejście bilansowe dla CO₂ biogenicznego, zgodne z metodologią EN 15804+A2 oraz praktyką baz danych LCA (np. ecoinvent). Przy założeniu zrównoważonego pozyskiwania biomasy emisje CO₂ ze spalania są równoważone przez pochłanianie CO₂ w fazie wzrostu biomasy, dlatego bilans netto emisji biogenicznych jest zbliżony do zera.

Wartość emisji brutto CO₂ biogenicznego ze spalania biomasy w miksie energetycznym (~ 29 g CO₂bio/kWh) podano w Załączniku C jako informację pomocniczą i nie jest ona częścią wskaźnika poLCA-EN-PL.

Załącznik A — Pełny tok obliczeniowy (referencyjny)

A.1 Równanie główne

$$\text{poLCA} = \text{EF}_{\text{oper}} + \text{WTT}_{\text{CH}_4} + \text{WTT}_{\text{fuels}} + \text{WTT}_{\text{OZE}} \text{ [g CO}_2\text{e/kWh]} \text{ (A.1)}$$

gdzie każdy komponent odniesiony jest do 1 kWh end-user.

A.2 EF_PL,prod

$$EF_{PL,prod} = CO_{2_Tab6} [Mg CO_2] / Q_{gross} [MWh] \times 1000 [g CO_2/kWh] \text{ (A.2)}$$

$$2023: 91\,798\,960 / 163\,990\,407 \times 1000 = 559,78 \text{ g CO}_2/kWh$$

$$2024: 88\,716\,280 / 169\,001\,397 \times 1000 = 524,94 \text{ g CO}_2/kWh$$

A.3 Korekta importowa

$$E_{PL \rightarrow PL} = CO_{2_Tab6} \times (1 - Q_{exp} / Q_{gross}) [Mg CO_2] \text{ (A.3a)}$$

$$2023: 91\,798\,960 \times (1 - 11\,293\,500 / 163\,990\,407) = 85\,477\,000 \text{ Mg} = 85\,477 \text{ Gg}$$

$$2024: 88\,716\,280 \times (1 - 13\,246\,500 / 169\,001\,397) = 81\,763\,000 \text{ Mg} = 81\,763 \text{ Gg}$$

$$E_{import} = \sum_k Q_k [GWh] \times EF_k [g/kWh] / 1\,000\,000 [Gg CO_2e] \text{ (A.3b)}$$

$$2023: 3\,158,6 \text{ Gg} \mid 2024: 3\,423,9 \text{ Gg}$$

$$EF_{cons,gross} = (E_{PL \rightarrow PL} + E_{import}) [Mg CO_2e] / Q_{cons} [MWh] \times 1000 [g CO_2e/kWh] \text{ (A.3c)}$$

$$2023: (85\,477 + 3\,159) / 167\,879 \times 1000 = 528,0 \text{ g/kWh}$$

$$2024: (81\,763 + 3\,424) / 170\,967 \times 1000 = 498,3 \text{ g/kWh}$$

A.4 EF_oper

$$EF_{cons,eu,CO_2} = EF_{cons,gross} [g CO_2e/kWh] \times (Q_{gross} / Q_{end}) [-] [g CO_2e/kWh] \text{ (A.4a)}$$

$$2023: 528,0 \times (163\,990\,407 / 153\,650\,407) = 563,5 \text{ g CO}_2/kWh$$

$$2024: 498,3 \times (169\,001\,397 / 160\,368\,397) = 525,1 \text{ g CO}_2/kWh$$

$$EF_{oper} = EF_{cons,eu,CO_2} + s_{PL} \times (\Delta_{N_2O} + \Delta_{CH_4,comb}) \text{ (A.4b)}$$

$$2023: 563,5 + 0,9096 \times 2,6 = 563,5 + 2,365 \approx 565,9 \text{ g CO}_2e/kWh$$

$$2024: 525,1 + 0,9110 \times 2,6 = 525,1 + 2,369 = 527,5 \text{ g CO}_2e/kWh$$

A.5 WTT_CH₄

$$WTT_{CH_4} = Em_{CH_4} [mIn m^3] \times 0,717 \times GWP_{CH_4} \times f_{alloc} / Q_{end} [TWh] \text{ (A.5)}$$

$$2023: 551,2 \times 0,717 \times 29,8 \times 0,8109 / 153,650 = 62,2 \text{ g CO}_2e/kWh$$

$$2024: 530,6 \times 0,717 \times 29,8 \times 0,8094 / 160,368 = 57,2 \text{ g CO}_2e/kWh$$

A.6 Wynik końcowy

$$2023: 565,9 + 62,2 + 8,0 + 6,0 = 642,1 \text{ g} \rightarrow 0,642 \text{ kg CO}_2e/kWh$$

$$2024: 527,5 + 57,2 + 8,0 + 6,0 = 598,7 \text{ g} \rightarrow 0,599 \text{ kg CO}_2e/kWh$$

Wartość WTT_fuels = 8,0 g CO₂e/kWh reprezentuje emisje upstream związane z wydobyciem, przetwarzaniem i transportem paliw kopalnych wykorzystywanych w krajowym miksie elektroenergetycznym. Wartość ta została oszacowana na podstawie danych JEC Well-to-Tank v5 dla głównych paliw stosowanych w elektroenergetyce (węgiel kamienny, węgiel brunatny i gaz ziemny) z uwzględnieniem ich przybliżonego udziału w krajowym miksie produkcji energii elektrycznej.

Orientacyjna weryfikacja WTT_fuels: przyjmując współczynniki JEC WTT v5 — węgiel kamienny ≈ 5 g CO₂e/kWh_{el}, węgiel brunatny ≈ 3 g CO₂e/kWh_{el}, gaz ziemny ≈ 15 g CO₂e/kWh_{el} — oraz przybliżone udziały paliwowe w produkcji KSE (węgiel kamienny ~40%, brunatny ~25%, gaz ~10%, pozostałe ~25%), średnia ważona wynosi: $0,40 \times 5 + 0,25 \times 3 + 0,10 \times 15 + 0,25 \times 0 \approx 2,0 + 0,75 + 1,5 = 4,25$ g. Wartość ta jest niższa od przyjętej WTT_fuels = 8,0 g, co wynika z uwzględnienia w modelu pełnego łańcucha upstream obejmującego m.in. emisje metanowe z transportu gazu oraz wyższe współczynniki dla podkategorii paliwowych. Należy zauważyć, że przyjęcie wartości 8,0 g z bazy JEC WTT v5 może wiązać się z pewnym ryzykiem podwójnego liczenia (double counting) emisji metanu z kopalń węgla kamiennego, które są już precyzyjnie ujęte w komponencie WTT_CH₄ na podstawie danych krajowych WUG. Z uwagi na to, że wartość 8,0 g stanowi konserwatywne oszacowanie górnej granicy i mieści się w przedziale niepewności ±30% deklarowanym w Załączniku B, zdecydowano się na jej zachowanie w obecnej wersji modelu. W przyszłych aktualizacjach rekomenduje się dokładniejszą dezagregację tego wskaźnika.

Wartość WTT_OZE = 6,0 g CO₂e/kWh reprezentuje emisje infrastrukturalne związane z budową, produkcją komponentów i transportem instalacji odnawialnych źródeł energii (farmy wiatrowe, instalacje PV), uśrednione dla europejskiego miksu OZE na podstawie danych ecoinvent 3.12. Stabilność między wersjami bazy danych (v3.8: 5,8 g; v3.9: 6,0 g; v3.10: 6,1 g) potwierdza zasadność traktowania tego parametru jako stałego (CONST) w horyzoncie rocznym.

Załącznik B — Analiza niepewności (informacyjny)

B.1 Metoda

Niepewność łączną oszacowano orientacyjnie metodą propagacji błędów RSS (Root Sum of Squares), przy założeniu niezależności komponentów — nawiązując do podejścia opisanego w JCGM 100:2008 (GUM) oraz wytycznych IPCC 2006, Vol. 1, Ch. 3. Zastosowana metoda ma charakter uproszczony: opiera się na eksperckich oszacowaniach niepewności poszczególnych komponentów, a nie na pełnej analizie statystycznej (np. Monte Carlo). Wyniki należy interpretować jako wskazanie rzędu wielkości niepewności, a nie jako formalne przedziały ufności.

$$\sigma_{\text{poLCA}} = \sqrt{(\sigma^2_{\text{oper}} + \sigma^2_{\text{CH4}} + \sigma^2_{\text{fuels}} + \sigma^2_{\text{OZE}})} \quad (\text{B.1})$$

B.2 Składowe niepewności (2024)

KOMPONENT (I)	X _i [KG/KWH]	U _i [±%]	Σ _i [KG/KWH]	Σ _i ²	UDZIAŁ W WARIANCJI
EF_oper	0,528	5%	0,0264	6,97 × 10 ⁻⁴	~84%
WTT_CH ₄	0,057	20%	0,0114	1,30 × 10 ⁻⁴	~16%
WTT_fuels	0,008	30%	0,0024	5,76 × 10 ⁻⁶	~1%

KOMPONENT (I)	X _i [KG/KWH]	U _i [±%]	Σ _i [KG/KWH]	Σ _i ²	UDZIAŁ W WARIANCJI
WTT_OZE	0,006	30%	0,0018	3,24 × 10 ⁻⁶	<1%
Suma	0,599	—	—	8,33 × 10 ⁻⁴	100%

$$\sigma_{\text{poLCA}} = \sqrt{(8,33 \times 10^{-4})} = 0,029 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$$

Przedziały ufności:

68% (±1σ): 0,570–0,628 kg CO₂e/kWh

95% (±2σ): 0,541–0,657 kg CO₂e/kWh

B.3 Wpływ wyboru GWP: AR5 vs AR6

SUBSTANCJA	GWP AR5	GWP AR6	ZMIANA	WPŁYW NA POLCA 2024
CH ₄ fossil (kopalniany)	28	29,8	+6,4%	+0,003–0,004 kg CO ₂ e/kWh (+0,6%)
N ₂ O	265	273	+3,0%	<+0,001 kg CO ₂ e/kWh
Łączny efekt AR5→AR6	—	—	—	+0,004–0,005 kg CO ₂ e/kWh (+0,6–0,8%)

Podsumowanie analizy niepewności

Łączna orientacyjna niepewność wskaźnika poLCA-EN-PL dla roku 2024, oszacowana uproszczoną metodą RSS, wynosi $\sigma \approx 0,029 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$, co odpowiada względnej niepewności około ±4,8% względem wartości bazowej 0,599 kg CO₂e/kWh. Przy interpretacji gaussowskiej odpowiadałoby to przedziałom 0,570–0,628 kg CO₂e/kWh (68%, ±1σ) oraz 0,541–0,657 kg CO₂e/kWh (95%, ±2σ). Należy podkreślić, że wartości te mają charakter orientacyjny — rzeczywista niepewność może być wyższa, w szczególności z uwagi na korelacje między komponentami oraz niepewność danych zastępczych (proxy).

Analiza wariacji wskazuje, że dominującym źródłem niepewności jest komponent emisji operacyjnych EF_{oper}, odpowiadający za około 84% całkowitej wariacji. Emisje metanu z górnictwa węgla kamiennego (WTT_{CH₄}) stanowią około 16% wariacji, natomiast pozostałe komponenty modelu (WTT_{fuels} oraz WTT_{OZE}) mają marginalny wpływ (<1%) na całkowitą niepewność wskaźnika.

Analiza wpływu wyboru metryki GWP pokazuje, że przejście z wartości IPCC AR5 na AR6 zwiększa wskaźnik poLCA o około 0,004–0,005 kg CO₂e/kWh (0,6–0,8%), głównie ze względu na wyższą wartość współczynnika GWP dla metanu. Wielkość ta pozostaje jednak znacznie mniejsza od odchylenia standardowego wskaźnika ($\sigma = 0,029 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$) i nie wpływa istotnie na interpretację wyników.

Wyniki analizy wskazują, że niepewność wskaźnika poLCA jest zdominowana przez dane dotyczące emisji z krajowej produkcji energii elektrycznej, natomiast wpływ pozostałych założeń modelowych oraz wyboru metryki GWP jest relatywnie niewielki.

Załącznik C — Split GWP-fossil / GWP-biogenic / GWP-luluc (informacyjny)

Niniejszy załącznik dokumentuje metodę obliczenia trzech składowych wskaźnika GWP wymaganych przez EN 15804+A2:2019, Tab. 1. Jest uzupełnieniem sekcji 9.3.

C.1 Podstawa metodyczna

EN 15804+A2:2019 (Tab. 1) wyróżnia trzy podkategorie potencjału globalnego ocieplenia:

- GWP-fossil — emisje GHG wynikające ze spalania i wydobycia paliw kopalnych, procesów przemysłowych opartych na paliwach kopalnych oraz produkcji i spalania gazów kopalnych (CH₄ fossil, N₂O ze spalania).
- GWP-biogenic — emisje i pochłanianie CO₂ biogenicznego, tj. CO₂ uwolniony lub pochłonięty w wyniku utleniania biomasy i jej pochodnych w łańcuchu dostaw. Wartości dodatnie oznaczają emisje (np. spalanie drewna), wartości ujemne — pochłanianie (np. rosnące drzewa lub produkty drewniane z ujemnym bilansem węgla).
- GWP-luluc — emisje GHG wynikające ze zmiany użytkowania ziemi (ang. land use change, LUC) i użytkowania ziemi (ang. land use, LU): np. wylesienie pod uprawy biomasy, degradacja gleby pod farmami solarnymi.

Trzy składowe są raportowane jako niezależne wskaźniki i nie sumują się do jednej wartości klimatycznej w tabeli EPD. Suma GWP-fossil + GWP-biogenic + GWP-luluc może być podana informacyjnie jako „GWP-total”, ale nie zastępuje wymaganych wskaźników cząstkowych.

C.2 Dekompozycja składników poLCA

SKŁADNIK POLCA	WARTOŚĆ 2024 [G/KWH]	GWP-FOSSIL	GWP-BIOGENIC	GWP-LULUC	UZASADNIENIE KLASYFIKACJI
EF_oper (KOBIZE, N ₂ O, CH ₄ _comb)	527,5	527,5	0	0	KOBIZE raportuje emisje CO ₂ ze spalania paliw kopalnych; N ₂ O i CH ₄ _comb powstają w procesie spalania paliw kopalnych
WTT_CH ₄ (metan z kopalń)	57,2	57,2	0	0	CH ₄ fossil (AR6) – metan z pokładów węgla
WTT_fuels (JEC WTT v5)	8	8	0	0	Emisje upstream paliw kopalnych
WTT_OZE (ecoinvent 3.12)	6	5,5	0,2	0,3	Infrastruktura OZE (stal, beton, transport); niewielka część biogenic i LULUC
RAZEM (pełny LCA)	598,7	598,2	0,2	0,3	suma komponentów modelu
poLCA-EN-PL	599	= GWP-fossil	—	—	wartość referencyjna stosowana w LCA/EPD

Wartość 628 g CO₂e/kWh przedstawiona w powyższej tabeli stanowi sumę kontrolną komponentów brutto i ma charakter wyłącznie informacyjny — nie jest stosowana bezpośrednio w obliczeniach LCA/EPD. W szczególności uwzględnia szacunkową wartość GWP-biogenic brutto (29 g), która w wartości referencyjnej wskaźnika poLCA jest zerowana (GWP-biogenic ≈ 0). Wartość wskaźnika poLCA stosowana w obliczeniach LCA odpowiada składowej GWP-fossil (0,599 kg CO₂e/kWh).

Uwaga: Rozbieżność 0,8 g pomiędzy wartością obliczoną analitycznie (GWP-fossil = 598,2 g CO₂e/kWh) a wartością deklarowaną (599,0 g CO₂e/kWh) wynika z zaokrągleń pośrednich zastosowanych na poszczególnych etapach toku obliczeniowego — w szczególności przy przeliczeniu EF_PL,prod, korekcie importowej EF_cons,gross oraz zastosowaniu współczynnika f_gross. Różnica ta stanowi 0,13% wartości wskaźnika i mieści się w granicach dopuszczalnego zaokrąglenia. Przyjmuje się GWP-fossil = 0,599 kg CO₂e/kWh (wartość dokumentowa zaokrąglona do trzech miejsc po przecinku).

C.3 Obliczenie GWP-biogenic

Dane wejściowe — produkcja biogeniczna 2024:

ŹRÓDŁO	SYMBOL	WARTOŚĆ	JED.	ŹRÓDŁO DANYCH
Biomasa stała (ded. bloki + współ.)	Q_BIO	3 200	GWh	Forum Energii edycja 2025 (biomasa = 10,8% OZE = 4 559 GWh; po odjęciu biogazu ≈ 3 200 GWh biomasy stałej)
Biogaz rolniczy	Q_BG,rol	1 012	GWh	KOWR 2024 — dokładne dane rejestrowe
Biogaz komunalny i inne	Q_BG,in	348	GWh	Szacunek z udziałów ARE (biogaz komunalny ~25% biogazu rolniczego)
łącznie biogaz	Q_BG	1 360	GWh	
EF biomasa stała (IPCC 2006, drewno)	EF_BIO	1 152	g CO ₂ /kWh _{el}	IPCC 2006 Vol.2 Tab.2.2: 112 kg CO ₂ /GJ _{fuel} ; sprawność η=35%
EF biogaz (CH ₄ ~60%, CHP η=38%)	EF_BG*	650	g CO ₂ /kWh _{el}	Szacunek na podstawie ecoinvent 3.12; biogaz rolniczy PL
Produkcja krajowa brutto	Q_gross	169 001	GWh	PSE Raport roczny 2024

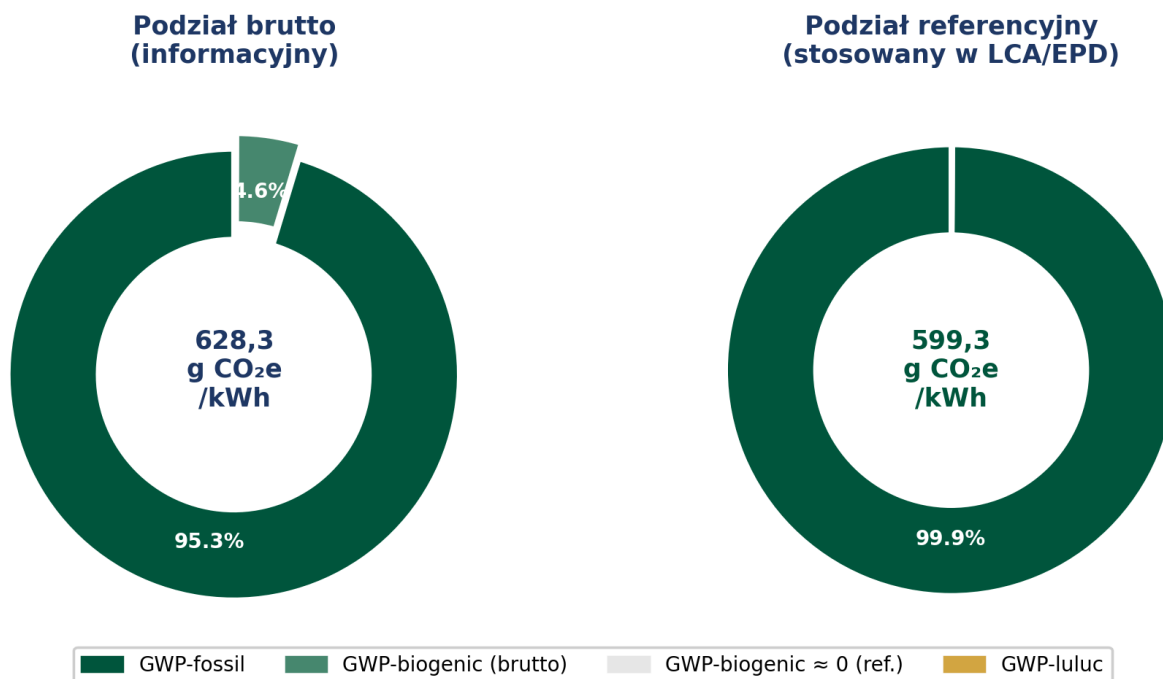
*EF_BG obejmuje wyłącznie CO₂ biogeniczny ze spalania biogazu.

Równanie C.1 — CO₂ biogenic per kWh (end-user):

$$\begin{aligned}
 \text{GWP-biogenic} &= [(Q_{\text{BIO}} \times \text{EF}_{\text{BIO}} + Q_{\text{BG}} \times \text{EF}_{\text{BG}}) / Q_{\text{gross}}] \times f_{\text{straty}} + \text{WTT}_{\text{OZE_bio}} \\
 &= [(3\,200 \times 1\,152 + 1\,360 \times 650) / 169\,001] \times 1,054 + 0,2 \\
 &= [(3\,686\,400 + 884\,000) / 169\,001] \times 1,054 + 0,2 \\
 &= 27,04 \times 1,054 + 0,2 = 28,5 + 0,2 = 28,7 \approx 29,0 \text{ g CO}_2 \text{ biogenic/kWh (brutto, informacyjnie)}.
 \end{aligned}$$

GWP-biogenic (brutto, informacyjnie) = 0,029 kg CO₂ biogenic/kWh. Wartość referencyjna GWP-biogenic ≈ 0 kg CO₂ biogenic/kWh stanowi uproszczenie referencyjne zakładające zrównoważone pozyskanie biomasy; pełne modelowanie pochłaniania CO₂ w fazie wzrostu biomasy nie zostało przeprowadzone w granicach systemu wskaźnika. Patrz sekcja 9.4.

Split GWP wg EN 15804+A2 — poLCA-EN-PL 2024



Rysunek 6. Podział GWP wg EN 15804+A2 — porównanie brutto i referencyjny

C.4 Obliczenie GWP-luluc

Współczynniki LULUC na podstawie ecoinvent 3.12 (proxy dla PL):

ŹRÓDŁO	EF_LULUC [G CO ₂ E/KWH_EL]	PODSTAWA
Biomasa stała (drewno leśne)	12	ecoinvent 3.12: biomass electricity DE; IPCC AFOLU 2019
Biogaz (uprawy, gnojowica)	3	ecoinvent 3.12: biogas electricity; uprawy organiczne
Farmy wiatrowe i PV (WTT_OZE)	0,3/6,0 = 5%	ecoinvent 3.12: wind onshore/offshore, PV

Równanie C.2:

$$\text{GWP-luluc} = [(Q_{\text{BIO}} \times \text{EF_LULUC_BIO} + Q_{\text{BG}} \times \text{EF_LULUC_BG}) / Q_{\text{gross}}] \times f_{\text{straty}} + \text{WTT_OZE_luluc}$$

$$= [(3\,200 \times 12 + 1\,360 \times 3) / 169\,001] \times 1,054 + 0,3$$

$$= [(38\,400 + 4\,080) / 169\,001] \times 1,054 + 0,3$$

= $0,251 \times 1,054 + 0,3 = 0,265 + 0,30 = 0,565 \approx 0,6$ g CO₂e LULUC/kWh

GWP-luluc = 0,001 kg CO₂e LULUC/kWh

C.5 Wynik końcowy — split EN 15804+A2

WSKAŹNIK	SYMBOL EPD	WARTOŚĆ 2024	JEDNOSTKA
Potencjał globalnego ocieplenia — paliwa kopalne	GWP-fossil	0,599	

Niepewność GWP-biogenic: wartość netto ≈ 0 kg — niepewność dotyczy głównie kompletności bilansu uptake/release. Przy założeniu zrównoważonego pozyskiwania biomasy, wartość brutto ($\sim 0,029$ kg) i uptake ($\sim -0,029$ kg) kompensują się. Wartość brutto (informacyjna): $\pm 30\%$. Niepewność GWP-luluc: $\pm 50\%$ (ecoinvent proxy zamiast danych krajowych).

Dane PSE dla kategorii „inne odnawialne” (17,33 TWh w 2024) obejmują łącznie: fotowoltaikę ($\sim 12,0$ TWh), biomasę stałą ($\sim 3,2$ TWh) i biogaz ($\sim 1,4$ TWh) i małe elektrownie wodne. Podział oparty na raportach Forum Energii i KOWR; szczegółowe dane ARE dla biomasy za 2024 nie były publicznie dostępne w terminie przygotowania dokumentu.

Bibliografia

[S1a] KOBIZE, Wskaźniki emisyjności CO₂ dla energii elektrycznej za rok 2023, Warszawa, grudzień 2024.

[S1b] KOBIZE, Wskaźniki emisyjności CO₂ dla energii elektrycznej za rok 2024, Warszawa, grudzień 2025.

[S2a] PSE S.A., Raport roczny z funkcjonowania KSE za rok 2023. Tab.7.2 — Wymiana zagraniczna energii elektrycznej.

[S2b] PSE S.A., Raport roczny z funkcjonowania KSE za rok 2024. Tab.7.2 — Wymiana zagraniczna energii elektrycznej.

[S3] EEA, Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country, dane 2023 i 2024.

[S6a] WUG, Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górniczo-geologiczną w 2023 roku, Katowice 2024. Rozdz. 2.2.1.2.

[S6b] WUG, Ocena stanu bezpieczeństwa pracy [...] w 2024 roku, Katowice 2025. Rozdz. Zagrożenie metanowe.

[S10a] GUS, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2022–2023, Tablica 1(74).

[S10b] GUS, Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2023–2024, Tablica 1(74).

[S11] Forum Energii, Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2025. Warszawa 2025. (Dane o strukturze OZE w 2024, udział biomasy 10,8% produkcji z OZE.)

[S12] KOWR, Biogaz rolniczy — podsumowanie 2024 r. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa, Warszawa 2025. (Produkcja biogazu rolniczego: 1 012 GWh w 2024 r.)

[S13] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy, Chapter 2: Stationary Combustion, Table 2.2. (EF biomasa stała: 112 kg CO₂/GJ dla drewna.)

[S14] EN 15804+A2:2019+A1:2021, Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products. Tab. 1: Kategorie wskaźników LCA (GWP-fossil, GWP-biogenic, GWP-luluc).

[CONST1] JEC (JRC-Eucar-Concawe), Well-to-Wheels analysis v5, 2020. WTT emission factors for fuels.

[CONST2] IPCC AR6 WGI, 2021. Table 7.15 — Global Warming Potentials (GWP-100). / JRC EF 3.1.

[CONST3] EN 15804:2012+A2:2019. Sustainability of construction works — Environmental product declarations.

[CONST4] ISO 14040:2006 i ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment.

[S15] AIB, European Residual Mixes 2024. Final results, published May 2025.

[S16] Lewandowska, A. et al. Electricity-Related Emissions Factors in Carbon Footprinting — The Case of Poland. *Energies* 2025, 18(15), 4092. DOI: 10.3390/en18154092

[S17] EEA, Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe (indicator). European Environment Agency, 2024.

[S18] IEA, Life Cycle Upstream Emission Factors 2024. International Energy Agency, Paris, 2024.

[S19] Icha, P.; Kuhs, G. Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommixes 1990–2023. UBA Climate Change 23/2024. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2024.

Nota dotycząca roku bazowego danych

Dane wejściowe do modelu poLCA-EN-PL-2024 pochodzą z następujących okresów bazowych: (a) emisje CO₂ z produkcji energii elektrycznej — KOBiZE, Tabela 6 raportu inwentaryzacyjnego (rok sprawozdawczy odpowiadający najnowszej kompletnej inwentaryzacji krajowej); (b) produkcja energii brutto i netto — PSE, dane systemowe za odpowiedni rok kalendarzowy; (c) emisja metanu z kopalń węgla kamiennego — WUG, raport roczny; (d) wskaźnik alokacji f_{alloc} — GUS, bilans energetyczny, Tablica 1(74); (e) wskaźniki emisji krajów importu (DE, SE, CZ, LT, SK, UA) — EEA Greenhouse Gas Emission Intensity of Electricity Generation, edycja odpowiadająca rokowi bazowemu danych PSE.

Przy aktualizacji wskaźnika należy zapewnić spójność roku bazowego wszystkich danych wejściowych. Wskaźniki emisji krajów importu powinny być aktualizowane do najnowszej edycji EEA Data Viewer. Wartość referencyjną UBA DE (0,380 kg CO₂e/kWh) obliczono na podstawie danych za rok 2023 [S19].

Nota dotycząca zarządzania i aktualizacji wskaźnika

Wskaźnik poLCA-EN-PL jest opracowywany i utrzymywany przez Multicert Sp. z o.o. jako Operatora Programu EPD Polska. Aktualizacja wskaźnika odbywa się w cyklu rocznym, w oparciu o najnowsze dostępne dane KOBiZE, PSE, WUG oraz ecoinvent. Każda aktualizacja podlega weryfikacji zewnętrznej przed publikacją.

Ważność niniejszej wersji wskaźnika (v16) obejmuje okres do publikacji kolejnej aktualizacji rocznej lub do momentu istotnej zmiany metodologicznej (np. aktualizacja współczynników charakteryzacji EF, zmiana wersji ecoinvent, rewizja EN 15804). O terminie wygaśnięcia ważności i publikacji nowej wersji Operator informuje na stronie www.poLCA.org.pl.

Uwagi i propozycje zmian prosimy kierować do Operatora Programu EPD Polska: info@epd.org.pl.

Dokument opracowany przez Multicert Sp. z o.o. — Operator Programu EPD Polska

ul. Mydlarska 47, 04-690 Warszawa | www.epd.org.pl | www.poLCA.org.pl