



# CZASOPISMO TECHNICZNE KTT

KWARTALNIK KRAKOWSKIEGO TOWARZYSTWA TECHNICZNEGO

Nr 207 Rok 146

Kraków 2026 r.

Wrzesień-Listopad

Nr Indeksu 334008

ISSN: 1425-8390



# RECENZOWANE ARTYKUŁY NAUKOWE

**mgr Grzegorz Maliszewski <sup>1)</sup>, prof. dr hab. Joanna Kulczycka <sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Bank Millennium

<sup>2)</sup> Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

## **Eko-indeks Millennium jako narzędzie oceny potencjału ekoinnowacyjnego polskich regionów**

### **1. Wprowadzenie**

Transformacja w kierunku gospodarki niskoemisyjnej, zasobooszczędnej i opartej na obiegu zamkniętym jest dziś nie tylko wyzwaniem środowiskowym, lecz także jednym z uwarunkowań konkurencyjności, bezpieczeństwa energetycznego i surowcowego oraz odporności gospodarki. Dotychczasowe przewagi oparte na niskim koszcie pracy, energii i łatwym dostępie do surowców tracą na sile, a coraz większą rolę odgrywają dostęp do czystej i konkurencyjnej kosztowo energii, wysoka efektywność wykorzystania energii i materiałów oraz ograniczanie zależności od zewnętrznych źródeł zasobów. Takie ujęcie stanowi ważny punkt wyjścia koncepcji Eko-indeksu Millennium [1]. Jest ono zgodne z aktualnym kierunkiem polityki UE: Competitiveness Compass wskazuje na potrzebę redukcji luki innowacyjnej, powiązania dekarbonizacji gospodarki z konkurencyjnością i ograniczenia nadmiernych zależności gospodarczych [2]. Natomiast Clean Industrial Deal traktuje dekarbonizację i gospodarkę o obiegu zamkniętym jako instrumenty wzmacniania przemysłu, ograniczania kosztów, odpadów i zależności surowcowej [3].

W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają ekoinnowacje, rozumiane jako rozwiązania ograniczające negatywne oddziaływanie działalności gospodarczej na środowisko, a jednocześnie zwiększające odporność gospodarki, w tym importochłonność surowców, poprawiające efektywność wykorzystania zasobów lub energii elektrycznej, czy też prowadzące do zmiany miksu energetycznego [4]. Obejmują one rozwiązania technologiczne, produktowe i procesowe, ale również zmiany organizacyjne, instytucjonalne i nowe modele biznesowe. Ich znaczenie wynika z możliwości jednoczesnego osiągania efektów środowiskowych i ekonomicznych: ograniczenia zużycia energii i surowców, redukcji emisji i odpadów, zwiększenia produktywności, tworzenia nowych rynków oraz poprawy konkurencyjności przedsiębiorstw [5,6]. Rozwój ekoinnowacji zależy przy tym nie tylko od aktywności pojedynczych firm, lecz od jakości całego systemu innowacji, obejmującego kapitał

ludzki, instytucje badawcze, finansowanie B+R, współpracę nauki z biznesem i uwarunkowania instytucjonalne [5]. Niezwykle ważna jest także świadomość ekologiczna społeczeństwa, konsumentów, którzy przez swoje decyzje konsumpcyjne wpływają na strategię przedsiębiorstw, a także wpływają na kształt polityk władz samorządowych i ogólnokrajowych.

Pozycja Polski na tle Unii Europejskiej pokazuje skalę wyzwania. Według European Innovation Scoreboard 2026 Polska pozostaje w grupie Emerging Innovators, osiągając 65,2% średniego poziomu UE i 23. miejsce wśród 27 państw członkowskich. W porównaniu z 2019 r. wynik poprawił się o 16,3 pkt proc., czyli szybciej niż średnio w UE, jednak w latach 2025–2026 obniżył się o 1,5 pkt proc. [7]. Słabości polskiego systemu dotyczą m.in. innowacji produktowych w MŚP, finansowania venture capital i internacjonalizacji nauki. Z punktu widzenia zielonej transformacji szczególnie ważne są niskie wyniki produktywności zasobów i produktywności związanej z emisjami CO<sub>2</sub>, a także niższa niż średnia UE intensywność B+R [7]. Jeszcze większy dystans widoczny jest w Eco-Innovation Index 2024, w którym Polska uzyskała 69,7 punktu i zajęła 25. miejsce w UE [4,8].

Różnice dotyczą także podstawowych wskaźników transformacji energetycznej i materiałowej. W 2024 r. udział OZE w końcowym zużyciu energii brutto wynosił w Polsce 17,7% wobec 25,2% w UE [9]. Wskaźnik wykorzystania materiałów w obiegu zamkniętym osiągnął 7,7% wobec 12,2% średnio w UE, a produktywność zasobów około 1,4 EUR/kg wobec około 3,0 EUR/kg [10]. Jednocześnie dane za 2025 r. wskazują na korzystne zmiany w części obszarów: spadek poboru wody i ilości ścieków, ograniczenie emisji wybranych zanieczyszczeń, zmniejszenie całkowitej ilości odpadów oraz wzrost selektywnej zbiórki odpadów komunalnych [11]. Poprawa tych parametrów nie eliminuje jednak problemów strukturalnych związanych z materiałochłonnością, cyrkularnością i potencjałem innowacyjnym gospodarki.

Średnie krajowe nie pokazują ponadto silnego zróżnicowania terytorialnego. Potencjał innowacyjny, struktura przemysłu, zaplecze

naukowe, dostępność kapitału, zasoby naturalne i miks energetyczny różnią się między regionami, dlatego poziom wojewódzki jest istotny dla diagnozy ekoinnowacyjności. Regional Innovation Scoreboard 2025 obejmuje 241 regionów europejskich i 23 wskaźniki, ale koncentruje się na ogólnej innowacyjności, a nie na ekoinnowacjach i GOZ [12]. Łukę tę w warunkach polskich częściowo wypełnia Eko-indeks Millennium, opracowany po raz pierwszy w 2022 r. i rozwijany przez Bank Millennium we współpracy z AGH, SGH i Urzędem Patentowym RP. Raport Ekoindeks Millennium obejmuje 16 województw oraz pięć obszarów (subindeksów): nakłady na ekoinnowacje, efekty ekoinnowacji, aktywność społeczno-ekonomiczną w obszarze ekoinnowacyjności, efektywność wykorzystania zasobów i gospodarkę o obiegu zamkniętym [1,13]. Celem artykułu jest ocena przydatności diagnostycznej Eko-indeksu Millennium do identyfikacji regionalnych przewag i słabości w zakresie ekoinnowacyjności, analiza zróżnicowania województw oraz weryfikacja trwałości głównych wniosków indeksu na podstawie dostępnych danych statystycznych i opracowań opublikowanych w latach 2024–2026.

## **2. Ekoinnowacje jako czynnik konkurencyjności i zrównoważonego rozwoju regionów**

Ekoinnowacje wyróżniają się tym, że ich efekty nie ograniczają się do poprawy parametrów technologicznych, wzrostu wartości dodanej, czy też produktywności. Ich cechą jest jednocześnie generowanie efektów gospodarczych i środowiskowych poprzez zmniejszanie zużycia energii i surowców, ograniczanie emisji i ilości odpadów, zwiększanie wykorzystania surowców wtórnych, wydłużanie cyklu życia produktów oraz rozwój nowych modeli produkcji i konsumpcji [4–6]. Z ekonomicznego punktu widzenia mogą one obniżać koszty działalności, zmniejszać ekspozycję przedsiębiorstw na wahania cen energii i surowców, tworzyć nowe rynki oraz ułatwiać wcześniejsze dostosowanie do zmian regulacyjnych. W rezultacie mogą one prowadzić do zwiększenia odporności gospodarki na konkurencję ze strony krajów o niższych kosztach energii, czy też większej efektywności surowcowej. Wpływ ten jest zgodny z logiką hipotezy Portera, jednak współczesne badania podkreślają, że sama presja regulacyjna nie wystarcza: zdolność przedsiębiorstw do odpowiedzi w postaci zielonych innowacji zależy od ich potencjału technologicznego, nakładów B+R, kompetencji pracowników i dostępu do finansowania [18]. Niezwykle ważna jest też wiadomość ekologiczna społeczeństwa, czyli konsumentów.

Znaczenie tych czynników ma wyraźny wymiar regionalny. Przedsiębiorstwa funkcjonują w

otoczeniu lokalnych zasobów wiedzy, infrastruktury, kapitału, instytucji i sieci współpracy. Dlatego potencjał ekoinnowacyjny jest w znacznej mierze rezultatem jakości regionalnego systemu innowacji. Regiony różnią się obecnością uczelni i jednostek badawczych, dostępnością wykwalifikowanych pracowników, strukturą gospodarki, poziomem internacjonalizacji, dostępem do finansowania oraz zdolnością współpracy nauki, biznesu i administracji. Z tego względu klasyczna koncepcja Regional Innovation Systems jest coraz częściej rozszerzana o cele środowiskowe i społeczne. Podejścia challenge-oriented regional innovation systems wskazują, że istotna jest nie tylko intensywność innowacji, lecz również ich kierunek i zdolność do rozwiązywania konkretnych problemów terytorialnych [14–16,19].

W takim ujęciu regionalna polityka innowacyjna powinna rozpoczynać się nie tylko od identyfikacji sektorów o największym potencjale technologicznym, ale również od diagnozy specyficznych wyzwań: wysokiej emisyjności przemysłu, nadmiernego zużycia materiałów, niskiego poziomu recyklingu, deficytu wody, niewystarczającej jakości powietrza czy zależności od wysokoemisyjnych sektorów [15,19]. Oznacza to, że nie istnieje jeden model rozwoju ekoinnowacyjności właściwy dla wszystkich regionów. Województwa uprzemysłowione mogą potrzebować przede wszystkim technologii ograniczających emisyjność i materiałochłonność, czy też ilość wytwarzanych odpadów, a jednocześnie zwiększających ich odzysk. Regiony o dobrych warunkach dla OZE mogą natomiast rozwijać specjalizacje energetyczne, a regiony z silnymi ośrodkami akademickimi – przewagi w tworzeniu wiedzy, patentów i firm technologicznych.

Istotnym elementem tych procesów są uczelnie i jednostki badawcze, które dostarczają wiedzę, technologię i kadry, ale również integrują regionalne ekosystemy poprzez transfer technologii, projekty demonstracyjne i współpracę z administracją oraz przedsiębiorstwami. Równie ważna jest zdolność regionu do absorpcji, skalowania i rozpowszechniania eko/innowacji. Zaawansowana technologia środowiskowa nie przynosi bowiem dużego efektu regionalnego, jeśli pozostaje niszowa i nie jest stosowana przez przedsiębiorstwa, instytucje publiczne i mieszkańców [16]. W tym sensie kapitał społeczny i akceptacja dla zmian w mobilności, energii czy gospodarowaniu odpadami są elementami potencjału ekoinnowacyjnego.

Znaczenie instytucji regionalnych potwierdzają badania Kesidou i współautorów [18], według których silniejsze lokalne regulacje środowiskowe sprzyjają powstawaniu zielonych patentów, szczególnie w przedsiębiorstwach dysponujących odpowiednimi zdolnościami technologicznymi. Pokazuje to, że regionalny potencjał nie jest prostą

funkcją wielkości nakładów, lecz wynikiem współdziałania otoczenia instytucjonalnego i zdolności firm. Podobnie ważny jest kapitał społeczny: decyzje przedsiębiorstw, samorządów i mieszkańców dotyczące energii, mobilności, konsumpcji i odpadów, które współtworzą rzeczywisty popyt na ekoinnowacje. Region o silnej bazie technologicznej, ale niskiej absorpcji nowych rozwiązań, może nie wykorzystywać pełnego potencjału.

Zmiana sposobu monitorowania jest również widoczna w ewolucji Smart Specialisation Strategies w kierunku Smart Specialisation Strategies for Sustainability. Jak wskazuje Moujaes [17], tradycyjne wskaźniki – nakłady B+R, liczba patentów czy nowych produktów – nie pozwalają stwierdzić, czy innowacje rzeczywiście prowadzą do zrównoważonej transformacji. Konieczne jest uwzględnianie efektów dotyczących zużycia energii i materiałów, emisji oraz korzyści społecznych. Z tego punktu widzenia wartość Eko-indeksu Millennium polega na połączeniu nakładów i zdolności innowacyjnych z efektami środowiskowymi, efektywnością zasobów i GOZ [1,13]. Jego funkcją jest nie tylko tworzenie rankingu, lecz także identyfikacja źródeł przewag, barier i obszarów interwencji.

### **3. Pomiar ekoinnowacyjności – przegląd istniejących narzędzi**

Pomiar ekoinnowacyjności jest bardziej złożony niż klasyczna ocena działalności innowacyjnej, ponieważ obejmuje zarówno powstawanie nowych rozwiązań i technologii, jak i ich wpływ na zużycie i efektywność energii elektrycznej i surowców, emisje, odpady oraz efekty gospodarcze i społeczne. Pojedyncze wskaźniki, np. nakłady na B+R czy liczba patentów, nie oddają całego pełni tego zjawiska. Z tego względu wykorzystywane są wskaźniki złożone, które umożliwiają agregację wielu zmiennych i ułatwiają ich porównania terytorialne. Ich wynik zależy jednak od doboru danych, normalizacji, wag i sposobu agregacji. OECD i JRC zalecają, aby indeks syntetyczny traktować jako narzędzie porządkujące informacje, a nie substytut analizy poszczególnych składowych [21].

#### **3.1. EU Eco-Innovation Index**

Najbardziej bezpośrednim europejskim narzędziem pomiaru ekoinnowacyjności jest EU Eco-Innovation Index 2024. Obejmuje on 12 wskaźników pogrupowanych w pięć wymiarów: nakłady na ekoinnowacje, aktywność, rezultaty ekoinnowacji, efektywność zasobową oraz efekty społeczno-ekonomiczne [4]. Konstrukcja odpowiada logice nakłady – działania – rezultaty – efekty i uwzględnia m.in. publiczne nakłady na

badania środowiskowe, personel w obszarze B+R, certyfikację, patenty, publikacje, produktywność materiałową, wodną i energetyczną oraz wyniki sektorów środowiskowych. Zaletą indeksu jest porównywalność międzynarodowa i możliwość analizy zmian w czasie. Podstawowym ograniczeniem z punktu widzenia niniejszego badania jest poziom krajowy: wynik Polski nie pokazuje różnic pomiędzy województwami o odmiennym zapleczu naukowym, gospodarczym i środowiskowym.

#### **3.2. European Innovation Scoreboard, Regional Innovation Scoreboard i monitoring GOZ**

Szerszą perspektywę oferuje European Innovation Scoreboard 2026, obejmujący 32 wskaźniki opisujące krajowe systemy badań i innowacji [7]. Jego regionalnym odpowiednikiem jest Regional Innovation Scoreboard 2025, wykorzystujący 23 wskaźniki i klasyfikujący regiony europejskie według poziomu innowacyjności [12]. Narzędzia te uwzględniają m.in. kapitał ludzki, B+R, aktywność przedsiębiorstw, współpracę i rezultaty technologiczne, dlatego są istotne dla interpretacji także ekoinnowacji. Nie są jednak skupione na zielonej transformacji: efektywność materiałowa i energetyczna, gospodarka odpadami, czy wykorzystanie zasobów wtórnych mają w nich ograniczony zakres.

Uzupełnieniem powyższych wskaźników jest EU Monitoring Framework for the Circular Economy. W zrewidowanym systemie obejmuje on 11 głównych wskaźników zgrupowanych w pięciu obszarach: produkcji i konsumpcji, gospodarce odpadami, surowcach wtórnych, konkurencyjności i innowacjach oraz globalnym zrównoważeniu i odporności [20]. Monitorowane są m.in. produktywność zasobów, wytwarzanie i recykling odpadów, udział surowców wtórnych, inwestycje i zatrudnienie związane z GOZ, patenty, emisje oraz zależność od importu materiałów. System dobrze opisuje cyrkularność gospodarki, lecz nie zastępuje indeksu obejmującego również nakłady, działalność B+R i szersze rezultaty innowacyjne.

RIS jest szczególnie użyteczny do identyfikacji regionalnych „wysp doskonałości” w państwach o słabszym średnim wyniku krajowym. W latach 2018–2025 poprawę odnotowano w zdecydowanej większości analizowanych regionów europejskich [12]. Jego ograniczeniem dla niniejszej analizy pozostaje jednak zakres wskaźników środowiskowych. Dlatego równolegle wykorzystanie RIS, Eco-Innovation Index i monitoringu GOZ pozwala lepiej rozdzielić trzy wymiary: ogólną zdolność innowacyjną, ukierunkowanie środowiskowe oraz rzeczywiste efekty cyrkularności.

### 3.3. Eko-indeks Millennium jako regionalne narzędzie pomiaru

Indeks Eko-indeks Millennium wypełnia część luki pomiędzy krajowym pomiarem ekoinnowacyjności a regionalnym pomiarem ogólnej innowacyjności. Edycja raportu Eko-Indeks Millennium 2025 obejmuje 21 zmiennych i pięć subindeksów dla 16 polskich województw [13]. W 2024 r. wyodrębniono komponent gospodarki o obiegu zamkniętym, dzięki czemu indeks silnie uwzględnia transformację materiałową. Tabela 1 przedstawia porównanie analizowanych narzędzi pod względem poziomu przestrzennego, zakresu, liczby zmiennych, obecności wymiaru GOZ oraz głównych zalet i ograniczeń.

Zestawienie pokazuje, że żadne z narzędzi europejskich nie łączy jednocześnie regionalnej skali analizy, koncentracji na ekoinnowacjach i wyraźnego komponentu GOZ. Eco-Innovation Index jest najbardziej wyspecjalizowany środowiskowo, ale analizuje sytuację na poziomie państw; RIS zapewnia porównania regionalne, lecz dotyczy ogólnej innowacyjności; monitoring GOZ natomiast szczegółowo opisuje cyrkularność, ale nie cały proces innowacyjny. Eko-indeks Millennium można więc traktować jako narzędzie komplementarne: pozwala diagnozować regionalne źródła przewag i deficytów w Polsce, natomiast RIS umieszcza potencjał innowacyjny w szerszym kontekście europejskim [12,13].

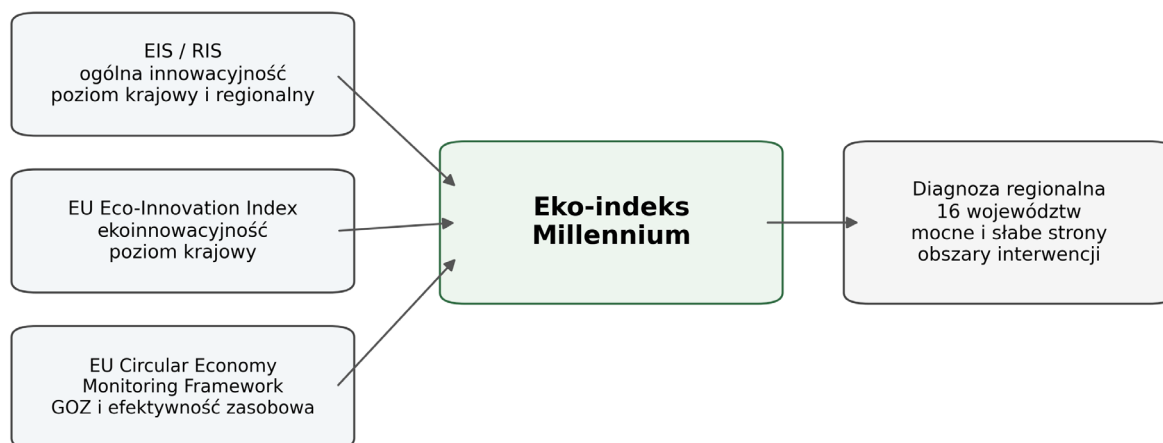
**Tabela 1.** Porównanie wybranych narzędzi pomiaru innowacyjności, ekoinnowacyjności i gospodarki o obiegu zamkniętym

| Narzędzie                                | Najnowsza edycja                | Poziom analizy       | Zakres                               | Liczba wskaźników /zmiennych        | Bezpośredni pomiar ekoinnowacji | GOZ                | Główna zaleta                                                  | Główne ograniczenie                                                                                              |
|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EU Eco-Innovation Index                  | 2024                            | ogólnokrajowy        | ekoinnowacje                         | 12 / 5 wymiarów                     | tak                             | częściowo          | porównywalność międzynarodowa i szeregi czasowe                | brak poziomu regionalnego                                                                                        |
| European Innovation Scoreboard           | 2026                            | ogólnokrajowy        | ogólna innowacyjność                 | 32                                  | częściowo                       | częściowo          | kompleksowa ocena krajowego systemu innowacji                  | ekoinnowacje są tylko częścią szerszego systemu                                                                  |
| Regional Innovation Scoreboard           | 2025                            | regiony europejskie  | ogólna innowacyjność                 | 23 z 32 wskaźników EIS 2025         | częściowo                       | ograniczony zakres | porównywalność regionalna w Europie                            | brak kompleksowego wymiaru środowiskowego i GOZ                                                                  |
| EU Circular Economy Monitoring Framework | system aktualizowany na bieżąco | głównie UE/państwa   | gospodarka o obiegu zamkniętym       | 11 głównych wskaźników / 5 obszarów | częściowo                       | tak                | szczegółowy pomiar cyrkularności i efektywności materiałowej   | nie jest kompletnym indeksem ekoinnowacyjności                                                                   |
| Eko-indeks Millennium                    | 2025                            | 16 województw Polski | ekoinnowacje i zielona transformacja | 21 zmiennych / 5 subindeksów        | tak                             | tak                | diagnoza regionalna i identyfikacja mocnych oraz słabych stron | ograniczona dostępność części danych regionalnych i brak bezpośredniej porównywalności z regionami innych państw |

Źródło: opracowanie własne.

Relację Eko-indeksu Millennium do głównych europejskich narzędzi monitorowania

innowacyjności, ekoinnowacyjności i gospodarki o obiegu zamkniętym przedstawiono na Rysunku 1.

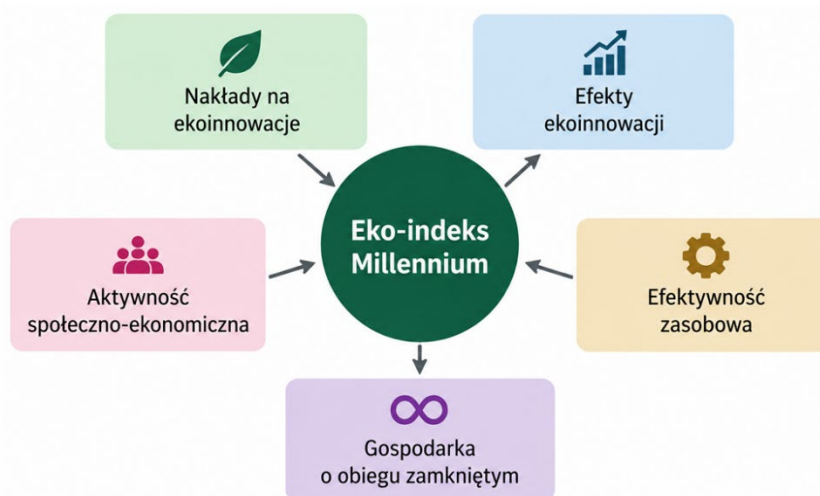


**Rysunek 1.** Miejsce Eko-indeksu Millennium w systemie pomiaru innowacyjności i zielonej transformacji.  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4,7,12,13,20].

#### 4. Eko-indeks Millennium – założenia i metodologia

Eko-indeks Millennium jest syntetycznym narzędziem oceny potencjału eko-innowacyjnego 16 województw Polski. Jego konstrukcja została zainspirowana europejskim Eco-Innovation Index, lecz dostosowana do specyfiki polskich regionów i

dostępności porównywalnych danych [1,13]. Edycja 2025 obejmuje 21 zmiennych pogrupowanych w pięć subindeksów: nakłady na eko-innowacje, efekty eko-innowacji, aktywność społeczno-ekonomiczną w obszarze eko-innowacyjności, efektywność wykorzystania zasobów i gospodarkę o obiegu zamkniętym. Strukturę Eko-indeksu Millennium, obejmującą pięć podstawowych obszarów oceny potencjału eko-innowacyjnego regionów, przedstawiono na Rysunku 2.



**Rysunek 2.** Struktura Eko-indeksu Millennium według pięciu subindeksów.  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [13].

Pełny zestaw zmiennych, jednostek, źródeł i kierunku wpływu przedstawiono w Tabeli 2.

**Tabela 2.** Zmienne wykorzystane w Eko-indeksie Millennium 2025

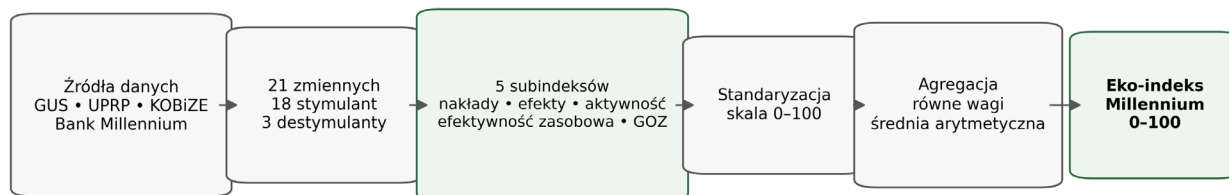
| Subindeks                | Zmienna                                                                                                        | Jednostka         | Źródło danych | Kierunek wpływu |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| Nakłady na eko-innowacje | Nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej                                       | PLN na mieszkańca | GUS           | Stymulanta      |
|                          | Nakłady wewnętrzne na działalność B+R – nauki przyrodnicze, rolnicze, weterynaryjne, techniczne i inżynierskie | % PKB             | GUS           | Stymulanta      |

|                                                         |                                                                                                                                                                                      |                                                     |                       |              |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|--------------|
|                                                         | Personel wewnętrzny w obszarze B+R                                                                                                                                                   | % pracujących ogółem                                | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Absolwenci uczelni na kierunkach należących do podgrup: biologiczna, nauk o środowisku, inżynierijno-techniczna, produkcji i przetwórstwa, rolnicza, leśna, rybactwa i weterynaryjna | % absolwentów ogółem                                | GUS                   | Stymulanta   |
| Efekty ekoinnowacji                                     | Produkcja energii z odnawialnych nośników energii                                                                                                                                    | % zużycia energii ogółem                            | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Ścieki oczyszczane z podwyższonym usuwaniem biogenów – komunalne i przemysłowe                                                                                                       | % ścieków odprowadzonych ogółem                     | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Pojazdy napędzane paliwem innym niż benzyna, olej napędowy i gaz LPG                                                                                                                 | % pojazdów zarejestrowanych ogółem                  | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Udzielone patenty na ekoinnowacje                                                                                                                                                    | na 1 mln mieszkańców                                | Urząd Patentowy RP    | Stymulanta   |
|                                                         | Wartość dodana brutto w branżach zielonych                                                                                                                                           | tys. PLN na jednego pracującego                     | GUS / Bank Millennium | Stymulanta   |
| Aktywność społeczno-ekonomiczna w obszarze ekoinnowacji | Pracujący w branżach zielonych, tj. branżach o niskim i średnim ryzyku ekologicznym                                                                                                  | % pracujących ogółem                                | GUS / Bank Millennium | Stymulanta   |
|                                                         | Przedsiębiorstwa innowacyjne, które wprowadziły nowe lub ulepszone produkty – przemysł i usługi                                                                                      | % ogółem                                            | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Drogi dla rowerów                                                                                                                                                                    | na 100 km <sup>2</sup>                              | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Przewozy pasażerskie                                                                                                                                                                 | na 1 mieszkańca                                     | GUS                   | Stymulanta   |
| Efektywność wykorzystania zasobów                       | Emisja gazów cieplarnianych ogółem jako ekwiwalent CO <sub>2</sub> – CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> i N <sub>2</sub> O                                                            | CO <sub>2</sub> ekwiwalentny / PKB                  | KOBiZE                | Destymulanta |
|                                                         | Efektywność zużycia energii elektrycznej                                                                                                                                             | PKB / zużycie energii elektrycznej                  | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Efektywność zużycia wody                                                                                                                                                             | PKB / zużycie wody na potrzeby gospodarki narodowej | GUS                   | Stymulanta   |
| Gospodarka o obiegu zamkniętym                          | Odpady komunalne wytworzone w ciągu roku                                                                                                                                             | kg na 1 mieszkańca                                  | GUS                   | Destymulanta |
|                                                         | Odpady przemysłowe, bez odpadów wydobywczych i paleniskowych                                                                                                                         | tys. ton na 1 mln PKB                               | GUS                   | Destymulanta |
|                                                         | Odpady przemysłowe poddane odzyskowi                                                                                                                                                 | % odpadów wytworzonych w ciągu roku                 | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Odsetek odpadów komunalnych poddanych recyklingowi                                                                                                                                   | % odpadów ogółem                                    | GUS                   | Stymulanta   |
|                                                         | Pracujący w sekcji: dostawa wody; gospodarowanie ściekami i odpadami; działalność związana z rekultywacją                                                                            | % pracujących ogółem                                | GUS                   | Stymulanta   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eko-indeksu Millennium 2025 [13].

Proces konstrukcji Eko-indeksu Millennium – od źródeł danych, poprzez standaryzację i agregację,

do wyniku końcowego – przedstawiono na Rysunku 3.



**Rysunek 3.** Schemat konstrukcji Eko-indeksu Millennium.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [13].

#### 4.1. Zakres pięciu subindeksów

Subindeks nakładów opisuje zasoby umożliwiające tworzenie ekoinnowacji. Obejmuje inwestycje w środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej, nakłady B+R w dziedzinach istotnych dla zielonej transformacji oraz dwa wskaźniki kapitału ludzkiego: personel B+R i udział absolwentów odpowiednich kierunków. Takie podejście odzwierciedla założenie, że potencjał regionalny zależy zarówno od finansowania, jak i od kompetencji naukowych i technicznych [13].

Subindeks efektów ekoinnowacji obejmuje produkcję energii z odnawialnych nośników, ścieki oczyszczane z podwyższonym usuwaniem biogenów, udział pojazdów z alternatywnym napędem względem paliw węglowodorowych, liczbę patentów na ekoinnowacje oraz wartość dodaną brutto w branżach zielonych. Łączy więc efekty technologiczne, środowiskowe i gospodarcze. Szczególną rolę pełnią patenty na ekoinnowacje: dane przygotowuje Urząd Patentowy RP, a identyfikacja zielonych wynalazków wykorzystuje klasyfikacje IPC i CPC oraz podejścia OECD i UK Intellectual Property Office [13].

Aktywność społeczno-ekonomiczna w obszarze ekoinnowacyjności wykracza poza działalność technologiczną i obejmuje zatrudnienie w branżach zielonych, udział przedsiębiorstw wprowadzających nowe lub ulepszone produkty, drogi dla rowerów oraz przewozy pasażerskie. Włączenie mobilności i struktury zatrudnienia oznacza, że indeks uwzględnia także społeczną i infrastrukturalną zdolność regionu do absorpcji zmian, w tym także świadomość ekologiczną społeczeństwa. Definicja branż zielonych bazuje na klasyfikacji UNEP FI, a odpowiednie dane o zatrudnieniu i wartości dodanej przygotowuje GUS za zamówienie Banku Millennium [13].

Efektywność wykorzystania zasobów obejmuje emisyjność gospodarki regionu, efektywność zużycia energii elektrycznej i wody. Odniesienie emisji gazów cieplarnianych, zużycia energii elektrycznej i wody do PKB wytwarzanego w regionie pozwala oddzielić skalę gospodarki od jej produktywności środowiskowej. Duży region może zużywać dużo energii i wody w ujęciu bezwzględny, a jednocześnie generować wysoką wartość gospodarczą z jednostki zasobu. Emisyjność ma charakter destymulanty, natomiast produktywność energii i wody – stymulant [13].

Subindeks GOZ, wprowadzony w 2024 r., obejmuje ilość odpadów komunalnych i przemysłowych, udział odpadów przemysłowych poddanych odzyskowi, odsetek recyklingu odpadów komunalnych oraz zatrudnienie w działalności związanej z wodą, ściekami, odpadami i rekultywacją. Dwie zmienne dotyczące ilości

wytwarzanych odpadów są destymulantami. Dzięki temu indeks nie utożsamia gospodarki o obiegu zamkniętym wyłącznie z recyklingiem, lecz uwzględnia również zapobieganie powstawaniu odpadów [13].

#### 4.2. Standaryzacja, agregacja, źródła danych i ograniczenia

Spośród 21 zmiennych 18 ma charakter stymulant, natomiast trzy destymulanty to: emisyjność gospodarki regionu, ilość wytwarzanych odpadów komunalnych i ilość odpadów przemysłowych [13]. Ponieważ zmienne są wyrażone w różnych jednostkach, podlegają standaryzacji do skali 0–100. W danym roku 0 odpowiada najmniej korzystnemu wynikowi województwa, a 100 – liderowi. Dla każdej kategorii obliczana jest średnia arytmetyczna wystandaryzowanych zmiennych, natomiast ogólny Eko-indeks Millennium jest średnią wszystkich 21 zmiennych przy zachowaniu równych wag.

Równe wagi zwiększają przejrzystość i ograniczają arbitralność ekspercką, lecz oznaczają założenie jednakowego znaczenia wszystkich zmiennych. Zgodnie z zaleceniami dotyczącymi wskaźników złożonych wynik końcowy powinien być więc analizowany wraz z subindeksami i zmiennymi źródłowymi [21]. Ważny jest także relatywny charakter standaryzacji: zmiana pozycji województwa może wynikać nie z pogorszenia jego wartości bezwzględnej, lecz z szybszej poprawy innych regionów.

Podstawowym źródłem danych jest GUS, uzupełniany informacjami Urzędu Patentowego RP i KOBiZE. Dane o branżach zielonych przygotowywane są przez GUS na zamówienie Banku Millennium [13]. Ograniczeniem Eko-indeksu Millennium pozostają dostępność, jakość i ciągłość danych na poziomie regionów. Przykładem jest brak regionalnego wskaźnika produktywności materiałowej, mimo jego znaczenia dla oceny efektywności zasobów. Z tego względu Eko-indeks Millennium powinien być traktowany jako narzędzie diagnostyczne i porównawcze, uzupełniane analizą jakościową uwarunkowań gospodarczych, geograficznych i naturalnych poszczególnych województw.

Dobór danych w Eko-indeksie jest częściowo uwarunkowany ich dostępnością na poziomie wojewódzkim i może być modyfikowany wraz z rozwojem statystyki regionalnej [13]. Ma to szczególne znaczenie dla GOZ, gdzie regionalne dane o przepływach materiałowych są słabiej rozwinięte niż dane o odpadach. W interpretacji należy także pamiętać, że część wskaźników zależy od struktury terytorium: duża gęstość dróg rowerowych jest łatwiejsza do osiągnięcia w regionie silnie zurbanizowanym, a wysoki udział OZE może wynikać z warunków naturalnych.

Porównanie ilościowe powinno więc być uzupełnione informacją o kontekście danego województwa. Dlatego też obok publikacji wyników Eko-indeksu Millennium publikowany jest komentarz jakościowy dla każdego regionu. Ważnym elementem raportu są też komentarze przedstawicieli administracji samorządowej, przedsiębiorstw oraz organizacji pozarządowych, których celem jest prezentacja doświadczeń, dobrych praktyk i przykładów wdrażania ekoinnowacji, a także wskazywanie szans, wyzwań i kierunków rozwoju związanych z transformacją energetyczną, technologiczną oraz środowiskową.

## 5. Wyniki Eko-indeksu Millennium 2025 – zróżnicowanie regionalne ekoinnowacyjności w Polsce

Tabela 3. Wybrane wyniki Eko-indeksu Millennium 2025 i jego subindeksów

| Region              | Eko-indeks ogółem | Nakłady na ekoinnowacje | Efekty ekoinnowacji | Aktywność społeczno-ekonomiczna | Efektywność wykorzystania zasobów | Gospodarka o obiegu zamkniętym |
|---------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Polska              | 44                | 41                      | 33                  | 49                              | 57                                | 45                             |
| Małopolskie         | 61                | 73                      | 49                  | 58                              | 77                                | 57                             |
| Warmińsko-Mazurskie | 49                | 28                      | 34                  | 38                              | 76                                | 72                             |
| Podkarpackie        | 48                | 44                      | 32                  | 42                              | 71                                | 58                             |
| Dolnośląskie        | 46                | 54                      | 37                  | 47                              | 67                                | 34                             |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eko-indeksu Millennium 2025 [13].

### 5.1. Liderzy regionalnej ekoinnowacyjności

Małopolskie osiągnęło 61 punktów wobec 44 punktów dla Polski i wynik wyższy od krajowego w 17 z 21 zmiennych. Najmocniejsze były nakłady na ekoinnowacje (73pkt) i efektywność wykorzystania zasobów (77 pkt), co potwierdza znaczenie krakowskiego zaplecza naukowego i silnego środka B+R. Jednocześnie region nie dominuje w każdym wymiarze – udział OZE pozostaje relatywnie niski. Przykład ten pokazuje, że pierwsze miejsce w rankingu nie oznacza braku obszarów wymagających poprawy [13].

Pomorskie i Mazowieckie utrzymują miejsca w ścisłej czołówce dzięki połączeniu rozwiniętych ośrodków naukowych, zasobów finansowych, aktywności ekoinnowacyjnej przedsiębiorstw i infrastruktury innowacyjnej. Pomorskie zachowuje silną pozycję w efektach ekoinnowacji i efektywności zasobów, natomiast Mazowsze korzysta z koncentracji działalności gospodarczej, badawczej i instytucjonalnej w Warszawie. Stabilność tych województw potwierdza, że trwała ekoinnowacyjność wymaga szerokiego ekosystemu, a nie pojedynczych inwestycji [13].

### 5.2. Zróżnicowane ścieżki regionalne

Inny profil reprezentuje Warmińsko-Mazurskie, które awansowało z 8. na 4. miejsce i osiągnęło 49 punktów. Przy relatywnie niskich nakładach (28 pkt) i aktywności społeczno-ekonomicznej (38) region wyróżnia się efektywnością zasobową (76 pkt) oraz GOZ (72 pkt), będąc liderem tego drugiego subindeksu. Dodatkowo udział OZE w zużywanej energii wyniósł 69,2%, co było jednym z najwyższych rezultatów w kraju [13]. Przypadek ten dowodzi, że wysoki wynik można budować nie tylko przez koncentrację B+R, lecz również przez korzystne efekty środowiskowe, OZE i cyrkularność.

Podkarpackie osiągnęło 48 punktów, łącząc wysoką efektywność zasobową (71 pkt) z dobrym wynikiem GOZ (58), lecz słabszą aktywnością społeczno-ekonomiczną (42 pkt). Dolnośląskie uzyskało 46 punktów; a jego mocnymi stronami są nakłady na ekoinnowacje (54 pkt.) i efektywność zasobowa (67 pkt). Natomiast wynik ogranicza gospodarka o obiegu zamkniętym (34 pkt). Różnice te pokazują, że na pozycję województw wpływa zarówno struktura gospodarki, jak i poziom urbanizacji, warunki naturalne oraz możliwości rozwoju infrastruktury.

Profile regionów pokazują również, że nie wszystkie słabości wynikają bezpośrednio z jakości

polityki ekoinnowacyjnej. Na przykład wskaźniki mobilności zależą od gęstości zaludnienia i układu osadniczego, a ilość odpadów na mieszkańca może pozostawać pod wpływem funkcji turystycznej i poziomu konsumpcji. Z tego względu Eko-indeks Millennium najlepiej wykorzystuje się do wskazywania obszarów wymagających dalszej diagnozy, a nie do prostego wartościowania województw. Szczególnie ważne jest śledzenie zmian w czasie: poprawa konkretnego subindeksu może wskazywać na skuteczność działań nawet wtedy, gdy pozycja ogólna nie ulega zmianie.

Wyniki wskazują na co najmniej dwa dominujące modele regionalnej ekoinnowacyjności. Pierwszy, reprezentowany przede wszystkim przez Małopolskie, opiera się na wiedzy, B+R, kapitale ludzkim i wysokiej produktywności zasobów. Drugi, widoczny w Warmińsko-Mazurskim, bazuje głównie na efektach środowiskowych, OZE i gospodarce o obiegu zamkniętym. W praktyce województwa łączą te elementy w różnych proporcjach. Z punktu widzenia polityki regionalnej bardziej użyteczna od samej pozycji jest więc diagnoza struktury wyniku, która wskazuje źródła przewagi i największy potencjał dalszej poprawy.

## **6. Aktualizacja obrazu regionalnej ekoinnowacyjności na podstawie najnowszych danych statystycznych**

Aby ocenić aktualność wniosków Eko-indeksu Millennium 2025, zestawiono jego rezultaty z najnowszymi dostępnymi danymi GUS, Banku Danych Lokalnych i Komisji Europejskiej. Ze względu na odmienne harmonogramy publikacji dane dotyczą głównie lat 2024–2025, a część publikacji ukazała się w 2026 r. [22–27]. Analiza nie jest ponownym przeliczeniem Eko-indeksu, służy natomiast niezależnej weryfikacji głównych zależności regionalnych. Aktualizacja raportu Eko-indeks Millennium opublikowana zostanie w połowie listopada 2026 r.

### **6.1. Dane B+R, inwestycje środowiskowe, OZE i gospodarka odpadami**

Dane B+R potwierdzają silną koncentrację potencjału naukowo-technologicznego w regionach znajdujących się w czołowie indeksu. W 2024 r. nakłady wewnętrzne na B+R wyniosły 18,56 mld PLN w Mazowieckim, 7,40 mld PLN w Małopolskim, 4,65 mld PLN w Pomorskim i 4,30 mld PLN w Dolnośląskim. Personel B+R liczył 65,3 tys. osób w Mazowieckim, 33,3 tys. w Małopolskim i 15,5 tys. w Pomorskim [23]. Dane te wspierają wniosek, że trwała pozycja liderów wiąże się z koncentracją wiedzy i kapitału ludzkiego. Jednocześnie Warmińsko-Mazurskie, przy znacznie mniejszej skali B+R, potwierdza istnienie innych źródeł wysokiej ekoinnowacyjności.

Najnowsze dane wskazują też na wzrost skali inwestycji środowiskowych. W 2025 r. nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska wyniosły około 18,1 mld PLN wobec 15,1 mld PLN rok wcześniej, a na gospodarkę wodną 4,8 mld PLN wobec 3,6 mld PLN [24]. Największe wzrosty dotyczyły gospodarki odpadami oraz gospodarki ściekowej i ochrony wód. Efekty tych inwestycji mogą pojawiać się z opóźnieniem, dlatego nie należy utożsamiać wzrostu nakładów z natychmiastową poprawą rezultatu indeksu.

Silne różnice regionalne utrzymują się w energetyce. W 2024 r. OZE odpowiadały za 29,0% produkcji energii elektrycznej w Polsce. Najwyższy udział odnotowano w Warmińsko-Mazurskim – 93,7% – i Podlaskiem – 78,6%, natomiast największy udział w krajowej produkcji energii elektrycznej z OZE miały Wielkopolskie i Zachodniopomorskie [22]. Dane te potwierdzają środowiskową przewagę Warmińsko-Mazurskiego. Bezpośrednie porównywanie wartości z Eko-indeksiem wymaga jednak ostrożności, ponieważ publikacje wykorzystują różne definicje mianownika. W Eko-indeksie Millennium produkcja energii ze źródeł odnawialnych odnoszona jest to ilości energii elektrycznej zużytej w regionie. W skali całej gospodarki udział OZE w końcowym zużyciu energii brutto wyniósł 17,7% [27].

Również dane odpadowe są spójne z częścią wyników indeksu. W 2025 r. całkowita ilość odpadów w Polsce spadła o około 4%, a selektywnie zebrano ponad 6 mln ton odpadów komunalnych [11]. W 2024 r. średnia ilość odpadów komunalnych wynosiła 377 kg na mieszkańca, wobec 329 kg w Warmińsko-Mazurskim, 305 kg w Podlaskim i 398 kg w Pomorskim [26]. Niższa ilość odpadów w Warmińsko-Mazurskim wspiera jego dobry wynik GOZ, choć parametr ten zależy także od urbanizacji, wzorców konsumpcji i funkcji turystycznej. Jednocześnie w 2025 r. spadły pobór wody, ilość ścieków i emisje wybranych zanieczyszczeń [11], co wskazuje na poprawę części krajowych parametrów efektywności środowiskowej.

Weryfikacja danych z różnych źródeł wymaga zachowania zgodności definicyjnej. Ten sam obszar może być opisywany odmiennymi wskaźnikami, np. udział OZE może odnosić się do produkcji energii elektrycznej, zużycia energii lub końcowego zużycia energii brutto. Podobnie dane odpadowe mogą dotyczyć masy wytworzonej, odebranej lub poddanej określonej procesowi. Dlatego w niniejszej analizie dane z lat 2024–2026 służą przede wszystkim do potwierdzania kierunku i względnej pozycji regionów, a nie do bezpośredniego zastępowania wartości wykorzystywanych w metodologii Eko-indeksu.

## 6.2. Konfrontacja z Regional Innovation Scoreboard 2025

Porównanie z Regional Innovation Scoreboard 2025 pokazuje, że ogólna innowacyjność i ekoinnowacyjność są powiązane, ale nie tożsame. W RIS Polska jest reprezentowana przez 17 regionów NUTS 2, ponieważ Mazowsze dzieli się na Warszawski stołeczny i Mazowiecki regionalny. Warszawski stołeczny jest najwyżej klasyfikowanym polskim regionem, natomiast Warmińsko-Mazurskie odnotowało największą poprawę innowacyjności spośród polskich regionów w latach 2018–2025 [25]. Jest to zgodne z jego wyraźnym awansem w Eko-indeksie Millennium.

Odmienny przypadek stanowi Małopolska. Region pozostaje liderem Eko-indeksu Millennium 2025, ale RIS wskazuje na krótkookresowe obniżenie szerszego Regional Innovation Index w latach 2023–2025 [25]. Nie jest to sprzeczność, lecz wynik odmiennego zakresu obu narzędzi. RIS mierzy szeroko rozumianą zdolność innowacyjną, natomiast Eko-indeks koncentruje się na ekoinnowacjach, efektywności zasobowej i GOZ. Z tego względu oba systemy powinny być stosowane komplementarnie.

Przywołane dane potwierdzają główne zależności wskazane przez Eko-indeks: koncentrację B+R w regionach liderujących oraz środowiskową przewagę Warmińsko-Mazurskiego. Jednocześnie pokazują, że regionalne ścieżki transformacji są odmienne, a podobny poziom syntetyczny może mieć inną strukturę. Indeks powinien więc służyć do monitorowania trajektorii i struktury zmian, a nie jedynie do tworzenia rocznego rankingu

## 7. Dyskusja, wnioski i rekomendacje

### 7.1. Dyskusja

Przeprowadzona analiza potwierdza, że regionalna ekoinnowacyjność jest zjawiskiem wielowymiarowym i nie może być wyjaśniana jednym czynnikiem. Stabilna pozycja Małopolskiego, Pomorskiego i Mazowieckiego wiąże się z koncentracją wydatków w obszarze B+R, kapitału ludzkiego i silnych ośrodków akademickich [13,23], co pozostaje zgodne z teorią regionalnych systemów innowacji i ich transformacyjnymi rozszerzeniami [14–16,19]. Jednocześnie Warmińsko-Mazurskie pokazuje alternatywną ścieżkę opartą na OZE, efektywności zasobowej i GOZ [13,22,26]. Oznacza to, że polityka regionalna powinna odpowiadać specyficznej kombinacji zasobów, barier i wyzwań danego województwa.

Porównanie Eko-indeksu Millennium z RIS pokazuje także, że wysoka ogólna innowacyjność nie jest równoznaczna z wysoką ekoinnowacyjnością. Oba narzędzia opisują częściowo wspólne, ale odrębne wymiary: RIS

koncentruje się na zdolności systemu regionalnego do generowania innowacji, a Eko-indeks na ich kierunku środowiskowym oraz efektach dotyczących zasobów i cyrkularności. Z tego względu największą wartością Eko-indeksu nie jest sam ranking, lecz możliwość dekompozycji wyniku na subindeksy i zmienne. Jest to zgodne z zasadami interpretacji wskaźników złożonych, które zalecają analizę struktury wyniku i jego wrażliwości [21].

Włączenie odrębnego subindeksu GOZ w 2024 r. należy ocenić pozytywnie, ponieważ zielona transformacja obejmuje nie tylko dekarbonizację, lecz również ograniczanie materiałochłonności, zapobieganie powstawaniu odpadów, odzysk i wykorzystanie surowców wtórnych [3,20]. Jednocześnie konstrukcja indeksu ma ograniczenia. Najważniejsze to nierównomierna dostępność danych regionalnych, czy brak części istotnych wskaźników – m.in. produktywności materiałowej – oraz system równych wag. Równe wagi zwiększają przejrzystość, lecz mogą nie odzwierciedlać zróżnicowanego znaczenia poszczególnych czynników w regionach o odmiennej strukturze gospodarczej.

W przyszłych badaniach warto zatem przeprowadzać analizę wrażliwości indeksu na alternatywne systemy wag i metody agregacji oraz rozwijać regionalną bazę danych o wykorzystaniu surowców wtórnych, śladzie materiałowym, zielonych inwestycjach i komercjalizacji technologii środowiskowych. Weryfikacja danych z raportów Eko-indeks Millennium opublikowanych w latach 2024–2025 wskazuje jednak, że główne zależności identyfikowane przez Eko-indeks Millennium znajdują potwierdzenie w niezależnych źródłach, co wzmacnia jego wartość jako narzędzia diagnostycznego.

Z perspektywy polityki publicznej ważne jest również rozróżnienie pomiędzy poziomem a dynamiką ekoinnowacyjności. Stabilny lider może mieć wysoką wartość indeksu, ale niewielkie tempo poprawy, podczas gdy region o niższym poziomie początkowym może szybko zmniejszać dystans. Przykład Warmińsko-Mazurskiego pokazuje, że analiza zmian może ujawnić procesy niewidoczne w statycznym rankingu. Włączenie perspektywy wieloletniej zwiększa przydatność Eko-indeksu Millennium do oceny skuteczności regionalnych strategii i środków publicznych. Analiza zmian w ujęciu wieloletnim oraz analiza dystansu do liderów zawarta jest częściowo w opisach regionów włączonych do publikowanego raportu. W raportach Eko-indeks Millennium prezentowane są wyniki dla poszczególnych lat, w porównaniu z rokiem poprzednim. Niemniej autorzy raportu dysponują szeregami czasowymi danych od 2019 r. co pozwala na szerszą analizę trendów.

## 7.2. Wnioski

Eko-indeks Millennium stanowi użyteczne narzędzie oceny regionalnego potencjału ekoinnowacyjnego, ponieważ łączy klasyczne determinanty innowacji – B+R i kapitał ludzki – z efektami środowiskowymi, efektywnością wykorzystania zasobów i gospodarką o obiegu zamkniętym. Jego szczególną wartością jest skala wojewódzka, która uzupełnia krajowy Eco-Innovation Index oraz europejskie EIS i RIS [4,7,12,13].

Wyniki pokazują znaczące zróżnicowanie regionalne. Małopolskie, Pomorskie i Mazowieckie tworzą stabilną grupę liderów, których przewagą jest silnie związana z zapleczem naukowo-badawczym. Warmińsko-Mazurskie dowodzi jednak, że wysoki potencjał można rozwijać również poprzez OZE, efektywność środowiskową i GOZ. Nowsze dane

GUS i Komisji Europejskiej generalnie potwierdzają te zależności [22–26].

Ograniczenia danych i metodologii oznaczają, że końcowy ranking nie powinien być interpretowany jako bezwzględna miara zrównoważenia. Bardziej wartościowa jest analiza struktury subindeksów, dynamiki zmian i uwarunkowań regionalnych. W tym ujęciu Eko-indeks Millennium może wspierać identyfikację specjalizacji, barier i priorytetów interwencji oraz monitorowanie postępów zielonej transformacji.

## 7.3. Rekomendacje dla polityki regionalnej

Wyniki badania wskazują, że działania wzmacniające ekoinnowacyjność powinny być projektowane terytorialnie, a nie według jednego modelu. Najważniejsze kierunki przedstawiono w Tabeli 4.

**Tabela 4.** Główne rekomendacje wynikające z analizy Eko-indeksu Millennium

| Obszar               | Rekomendowane działania                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polityka regionalna  | Włączenie wyników Eko-indeksu do monitorowania regionalnych strategii rozwoju i inteligentnych specjalizacji; koncentracja interwencji na najsłabszych komponentach danego województwa.                                                                                                                                                   |
| B+R i kapitał ludzki | Wzmacnianie współpracy uczelni, jednostek badawczych i przedsiębiorstw; wspieranie komercjalizacji zielonych technologii; rozwój kompetencji związanych z GOZ, efektywnością zasobową i czystymi technologiami. Zwiększenie świadomości ekologicznej społeczeństwa i budowanie społecznego zaangażowania na rzecz zielonej transformacji. |
| Przedsiębiorstwa     | Zwiększanie dostępności instrumentów finansowych dla wdrażania ekoinnowacji, szczególnie w MŚP; wsparcie projektów demonstracyjnych i skalowania technologii środowiskowych.                                                                                                                                                              |
| Energia              | Rozwój OZE, magazynowania energii oraz poprawa efektywności energetycznej, szczególnie w regionach o dużym potencjale B+R, lecz relatywnie słabszych wynikach transformacji energetycznej.                                                                                                                                                |
| GOZ                  | Przesunięcie nacisku z samego recyklingu na zapobieganie powstawaniu odpadów, ponowne użycie, symbiozę przemysłową i wykorzystanie surowców wtórnych.                                                                                                                                                                                     |
| Dane i monitoring    | Rozszerzenie zakresu regionalnych danych statystycznych o produktywność materiałową, wykorzystanie surowców wtórnych, ślad materiałowy i bardziej szczegółowe dane dotyczące zielonych technologii.                                                                                                                                       |
| Metodologia indeksu  | Prowadzenie analiz wrażliwości na system wag, testowanie alternatywnych metod agregacji oraz systematyczne porównywanie Eko-indeksu z RIS i unijnymi wskaźnikami środowiskowymi.                                                                                                                                                          |
| Ocena rezultatów     | Monitorowanie nie tylko nakładów i liczby projektów, ale także rzeczywistych efektów: oszczędności energii i materiałów, redukcji emisji, ograniczenia odpadów i tworzenia zielonej wartości dodanej.                                                                                                                                     |

Źródło: opracowanie własne.

Na poziomie poszczególnych województw rekomendacje mogą wynikać z profilu subindeksów. W przypadku Małopolski, która dysponuje silną bazą naukową i wysoką efektywnością zasobową, zasadne wydaje się zwiększanie skali komercjalizacji i wdrażania zielonych technologii oraz poprawa słabszych parametrów, w tym udziału OZE. Dla Pomorskiego i Mazowieckiego potencjalnym kierunkiem jest dalsze wzmacnianie transferu rezultatów B+R do gospodarki, zwłaszcza w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw; w Mazowieckiem warto również uwzględnić duże

różnice między Warszawą i jej otoczeniem a pozostałą częścią regionu [25].

Warmińsko-Mazurskie może wykorzystać przewagę w OZE, efektywności zasobowej i GOZ do tworzenia trwałych specjalizacji gospodarczych. Zasadne byłoby przy tym silniejsze powiązanie dobrych parametrów środowiskowych z aktywnością w obszarze B+R i przedsiębiorczością technologiczną. W Podkarpackiem potencjalnym kierunkiem jest wzmacnianie społeczno-ekonomicznego wymiaru ekoinnowacji i zdolności przedsiębiorstw do wdrażania nowych rozwiązań, natomiast w Dolnośląskim – wykorzystanie silnej

bazy B+R i przemysłowej do rozwoju symbiozy przemysłowej, odzysku materiałów i innych rozwiązań GOZ [13].

Na poziomie krajowym kluczowe jest rozszerzanie dostępności danych regionalnych, szczególnie o produktywność materiałową, udział surowców wtórnych, ślad materiałowy i bardziej szczegółowe dane o zielonych technologiach.

Eko-indeks Millennium warto zatem traktować nie jako narzędzie konkurencji między województwami, lecz jako instrument identyfikacji regionalnych ścieżek zielonej transformacji. W połączeniu z RIS, danymi GUS oraz europejskimi systemami monitorowania eko-innowacji i GOZ może wspierać bardziej precyzyjną, opartą na danych politykę rozwoju oraz koncentrację zasobów na obszarach o największym potencjale poprawy.

## Literatura

- [1]. Maliszewski, G. Eco-Index Millennium: An Impulse for Discussion on Eco-Innovations in Polish Regions. In *EUIndTech2025: Conference on Industrial Technology and Materials for a Sustainable Europe*; Kraków, Poland, 2–4 June 2025; pp. 15–21. Available online: <https://www.indtech2025.eu/wp-content/uploads/2025/07/EUIndTech2025-online-1.pdf> (accessed on 8 September 2026).
- [2]. European Commission. *A Competitiveness Compass for the EU*, COM(2025) 30 final; European Commission: Brussels, Belgium, 2025. <https://doi.org/10.2775/3752459>.
- [3]. European Commission. *The Clean Industrial Deal: A Joint Roadmap for Competitiveness and Decarbonisation*, COM(2025) 85 final; European Commission: Brussels, Belgium, 2025. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0085> (accessed on 8 September 2026).
- [4]. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation; Cambridge Econometrics. *EU Eco-Innovation Index 2024*; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2024. <https://doi.org/10.2777/4878812>.
- [5]. Chaparro-Banegas, N.; Mas-Tur, A.; Park, H.W.; Roig-Tierno, N. Factors Driving National Eco-Innovation: New Routes to Sustainable Development. *Sustain. Dev.* **2023**, *31*, 2711–2725. <https://doi.org/10.1002/sd.2541>.
- [6]. Chaparro-Banegas, N.; Mas-Tur, A.; Roig-Tierno, N. Driving Research on Eco-Innovation Systems: Crossing the Boundaries of Innovation Systems. *Int. J. Innov. Stud.* **2023**, *7*, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2023.04.004>.
- [7]. Budiakivska, Y. *European Innovation Scoreboard 2026—Country Profile Poland*; European Commission, Directorate-General for Research and Innovation: Brussels, Belgium, 2026. Available online: [https://ec.europa.eu/assets/rtd/eis/2026/ec\\_rtd\\_eis-country-profile-pl.pdf](https://ec.europa.eu/assets/rtd/eis/2026/ec_rtd_eis-country-profile-pl.pdf) (accessed on 8 September 2026).
- [8]. Statistics Poland; Statistical Office in Białystok. *Green Economy Indicators in Poland 2024*; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2024. Available online: <https://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/environment/green-economy-indicators-in-poland-2024%2C3%2C6.html> (accessed on 8 September 2026).
- [9]. Statistics Poland. *Energy from Renewable Sources in 2024*; Statistics in Focus; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2025. Available online: <https://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/energy/energy-from-renewable-sources-in-2024%2C9%2C4.html> (accessed on 8 September 2026).
- [10]. European Commission. *2026 Country Report—Poland*, SWD(2026) 221 final; European Commission: Brussels, Belgium, 2026. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52026SC0221> (accessed on 8 September 2026).
- [11]. Statistics Poland. *Environment in 2025*; Statistics in Focus; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2026. Available online: <https://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/environment/environment-in-2025%2C8%2C9.html> (accessed on 8 September 2026).
- [12]. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. *Regional Innovation Scoreboard 2025*; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2025. <https://doi.org/10.2777/2313906>.
- [13]. Bank Millennium. *Eko-indeks Millennium 2025: Potencjał eko-innowacyjności regionów*; Bank Millennium: Warsaw, Poland, 2025. Available online: <https://www.bankmillennium.pl/o-banku/centrum-prasowe/eko-indeks-millennium> (accessed on 8 September 2026).
- [14]. Tödtling, F.; Trippel, M.; Frangenheim, A. Policy Options for Green Regional Development: Adopting a Production and Application Perspective. *Sci. Public Policy* **2020**, *47*, 865–875. <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa051>.
- [15]. Isaksen, A.; Trippel, M.; Mayer, H. Regional Innovation Systems in an Era of Grand Societal Challenges: Reorientation versus Transformation. *Eur. Plan. Stud.* **2022**, *30*, 2125–2138. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2084226>.

- [16].Tödting, F.; Trippl, M.; Desch, V. New Directions for RIS Studies and Policies in the Face of Grand Societal Challenges. *Eur. Plan. Stud.* **2022**, *30*, 2139–2156. <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1951177>.
- [17].Moujaes, G. Moving to Smart Specialization for Sustainability: The Implications on the Design of Monitoring Indicators. *Sci. Public Policy* **2024**, *51*, 127–143. <https://doi.org/10.1093/scipol/scad056>.
- [18].Kesidou, E.; Krammer, S.M.S.; Wu, L. Subnational Institutions, Firm Capabilities and Eco-Innovation. *Ind. Corp. Chang.* **2024**, *33*, 1460–1486. <https://doi.org/10.1093/icc/dtae016>.
- [19].Trippl, M.; Baumgartinger-Seiringer, S.; Kastrup, J. Challenge-Oriented Regional Innovation Systems: Towards a Research Agenda. *Investig. Reg.—J. Reg. Res.* **2024**, *60*, 105–116. <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.24.026>.
- [20].European Commission. *On a Revised Monitoring Framework for the Circular Economy*, COM(2023) 306 final; European Commission: Brussels, Belgium, 2023. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0306> (accessed on 8 September 2026).
- [21].OECD; European Union; European Commission, Joint Research Centre. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*; OECD Publishing: Paris, France, 2008. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>.
- [22].Statistics Poland. *Rozwój regionalny Polski—Raport analityczny 2025*; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2026. Available online: <https://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/publikacje-regionalne/opracowania-zbiorcze/rozwój-regionalny-polski-raport-analityczny-2025%2C11%2C6.html> (accessed on 8 September 2026).
- [23].Statistics Poland. *Działalność badawcza i rozwojowa w Polsce w 2024 r.*; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2025. Available online: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/dzialalnosc-badawcza-i-rozwojowa-w-polsce-w-2024-r-%2C15%2C9.html> (accessed on 8 September 2026).
- [24].Statistics Poland. *Ekonomiczne aspekty ochrony środowiska w 2025 r.*; Statistics in Focus; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2026. Available online: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ekonomiczne-aspekty-ochrony-srodowiska-w-2025-r-%2C11%2C8.html> (accessed on 8 September 2026).
- [25].Elenské, A. *Regional Innovation Scoreboard 2025—Regional Profile Poland*; European Commission, Directorate-General for Research and Innovation: Brussels, Belgium, 2025. Available online: [https://ec.europa.eu/assets/rtd/ris/2025/ec\\_rtd\\_ris-regional-profile-pl.pdf](https://ec.europa.eu/assets/rtd/ris/2025/ec_rtd_ris-regional-profile-pl.pdf) (accessed on 8 September 2026).
- [26].Statistics Poland. *Rocznik Statystyczny Województw 2025*; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2025. Available online: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-wojewodztw-2025%2C4%2C20.html> (accessed on 8 September 2026).
- [27].Statistics Poland. *Energia ze źródeł odnawialnych w 2024 r.*; Statistics Poland: Warsaw, Poland, 2025. Available online: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/energia-ze-zrodel-odnawialnych-w-2024-r-%2C3%2C19.html> (accessed on 8 September 2026).

### Streszczenie

Zielona transformacja jest coraz częściej postrzegana nie tylko jako wyzwanie środowiskowe, lecz także jako istotny czynnik konkurencyjności gospodarczej, odporności oraz bezpieczeństwa zasobowego. W artykule oceniono przydatność diagnostyczną Eko-indeksu Millennium, regionalnego wskaźnika opracowanego w celu oceny potencjału ekoinnowacyjnego polskich województw. Indeks łączy wymiary środowiskowe, gospodarcze, innowacyjne oraz związane z gospodarką o obiegu zamkniętym, umożliwiając identyfikację mocnych i słabych stron poszczególnych regionów. W pracy przedstawiono podstawy koncepcyjne indeksu, jego założenia metodologiczne, strukturę oraz potencjalne zastosowania w polityce rozwoju regionalnego. Szczególną uwagę poświęcono pięciu subindeksom obejmującym nakłady na ekoinnowacje, efekty ekoinnowacji, aktywność społeczno-ekonomiczną związaną z ekoinnowacjami, efektywność wykorzystania zasobów oraz gospodarkę o obiegu zamkniętym. Wyniki Eko-indeksu Millennium 2025 zestawiono z najnowszymi danymi statystycznymi i opracowaniami GUS oraz Komisji Europejskiej publikowanymi w latach 2024–2026, co umożliwiło weryfikację trwałości zidentyfikowanych regionalnych przewag i słabości. Wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie przestrzenne poziomu ekoinnowacyjności w Polsce. Województwa małopolskie, pomorskie i mazowieckie pozostają wśród regionów o najwyższym poziomie ekoinnowacyjności, przy czym poszczególne województwa wykazują odmienne przewagi konkurencyjne, zależne od struktury gospodarczej, uwarunkowań naturalnych oraz potencjału innowacyjnego. Analiza wskazuje, że Eko-indeks Millennium może stanowić uzupełnienie istniejących europejskich narzędzi oceny innowacyjności oraz wspierać prowadzenie polityki regionalnej opartej na danych.

*Słowa kluczowe:* ekoinnowacje; Eko-indeks Millennium; gospodarka o obiegu zamkniętym; rozwój regionalny; efektywność wykorzystania zasobów; zielona transformacja.

### **The Millennium Eco-Index as a Tool for Assessing the Eco-Innovation Potential of Polish Regions**

#### *Abstract*

The green transformation is increasingly perceived not only as an environmental challenge but also as an important determinant of economic competitiveness, resilience and resource security. This paper assesses the diagnostic usefulness of the Millennium Eco-Index, a regional indicator developed to evaluate the eco-innovation potential of Polish voivodeships. The index combines environmental, economic, innovation and circular-economy dimensions and enables the identification of regional strengths and weaknesses. The study presents the conceptual background of the index, its methodological assumptions, structure and potential applications in regional development policy. Particular attention is paid to the five sub-indices covering eco-innovation inputs, eco-innovation outputs, socio-economic activity related to eco-innovation, resource efficiency and circular economy. The results of the Millennium Eco-Index 2025 were compared with the latest statistical data and reports published by Statistics Poland and the European Commission in 2024–2026, allowing the persistence of the identified regional strengths and weaknesses to be assessed. The results indicate considerable spatial differentiation in eco-innovation performance in Poland. Małopolskie, Pomorskie and Mazowieckie remain among the leading regions, although individual voivodeships demonstrate different competitive advantages depending on their economic structure, natural conditions and innovation potential. The analysis demonstrates that the Millennium Eco-Index may complement existing European innovation assessment tools and support evidence-based regional policy.

*Keywords:* eco-innovation; Millennium Eco-Index; circular economy; regional development; resource efficiency; green transformation.

## Bioinspirowane systemy fotowoltaiczne jako nowy kierunek rozwoju OZE

### 1. Wprowadzenie

Współczesna transformacja energetyczna, oparta na odnawialnych źródłach energii (OZE), wykracza poza tradycyjne podejście koncentrujące się wyłącznie na zwiększaniu mocy zainstalowanej oraz poprawie sprawności konwersji energii. Coraz większe znaczenie zyskują rozwiązania integrujące technologie energetyczne z architekturą, krajobrazem oraz koncepcjami bioinspirowanymi. W szczególności obserwuje się dynamiczny rozwój systemów fotowoltaicznych [1], a równolegle rozwój koncepcji łączących PV z architekturą i projektowaniem bioinspirowanym [2].

Skala rozwoju fotowoltaiki na świecie potwierdza jej dominującą rolę w globalnej transformacji energetycznej. Według danych IRENA na koniec 2025 roku całkowita globalna moc zainstalowana odnawialnych źródeł energii osiągnęła 5 149 GW, co oznacza wzrost o 692 GW, czyli 15,5% w ciągu roku. Energia słoneczna pozostawała głównym motorem tego wzrostu: jej moc zainstalowana wyniosła 2 392 GW, a w samym 2025 roku przybyło około 511 GW nowych mocy słonecznych, co odpowiadało za około 75% całkowitego przyrostu mocy OZE [3]. Z kolei IEA szacuje, że w 2025 roku fotowoltaika wyprodukowała niemal 2700 TWh energii elektrycznej, osiągając ponad 8% udziału w globalnej produkcji energii elektrycznej [4].

Na poziomie europejskim transformacja energetyczna znajduje odzwierciedlenie w systematycznym wzroście udziału odnawialnych źródeł energii zarówno w całkowitym zużyciu energii, jak i w sektorze elektroenergetycznym. Zmiany udziału OZE w końcowym zużyciu energii w Unii Europejskiej, obejmującym sektor elektroenergetyczny, ciepłownictwo i transport, przedstawiono w Tabeli 1.

**Tabela 1.** Udział OZE w zużyciu energii (najważniejszy wskaźnik)

| Rok  | UE – udział OZE |
|------|-----------------|
| 2004 | 9.6%            |
| 2013 | 16.7%           |
| 2023 | 24.6%           |
| 2024 | 25.2%           |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [5,6].

Udział odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej w UE przedstawiono w Tabeli 2.

**Tabela 2.** Udział OZE w produkcji energii elektrycznej (power mix)

| Rok  | UE – OZE w prądzie |
|------|--------------------|
| 2024 | 47.2%              |
| 2025 | 47.3%              |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [7].

Wskazane trendy ilościowe w zakresie rozwoju OZE stanowią podstawę do poszukiwania bardziej zaawansowanych koncepcji projektowych, w tym rozwiązań inspirowanych naturą. Projektowanie bioinspirowanych systemów konwersji energii koncentruje się na opracowywaniu rozwiązań minimalizujących oddziaływanie środowiskowe przy jednoczesnej maksymalizacji efektywności energetycznej. Podejście to wpisuje się w szerszy kontekst dążeń do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz rozwoju niskoemisyjnych systemów energetycznych [2].

Układy naturalne, charakteryzujące się wysokim stopniem optymalizacji oraz zdolnością adaptacji do zmiennych warunków środowiskowych, stanowią cenne źródło inspiracji dla inżynierii konstrukcyjnej. W praktyce przekłada się to na projektowanie struktur o podwyższonej elastyczności funkcjonalnej, trwałości oraz ograniczonych wymaganiach eksploatacyjnych. Dynamiczny rozwój OZE sprzyja implementacji innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych, czego przykładem jest pływająca turbina wiatrowa o mocy 2 MW opracowana w ramach europejskiego projektu Floatgen, stanowiąca istotny krok w kierunku rozwoju morskiej energetyki wiatrowej [8].

Podejście bioinspirowane stymuluje również rozwój niestandardowych metod rozwiązywania problemów projektowych, wykraczających poza klasyczne schematy inżynierskie. Pomimo rosnącego zainteresowania, potencjał biomimetyki nie został dotychczas w pełni wykorzystany i wymaga dalszych badań. Szczególne znaczenie mają tu zastosowania wymagające lekkich struktur o wysokiej zdolności pochłaniania energii, w których rozwiązania inspirowane naturą wykazują przewagę nad konstrukcjami konwencjonalnymi. Odwzorowanie mechanizmów i struktur biologicznych umożliwia projektowanie

zaawansowanych systemów o wysokiej efektywności energetycznej i funkcjonalnej [9].

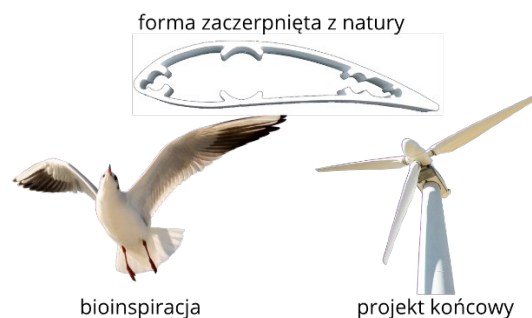
Rozwój bioinspirowanych systemów konwersji energii wskazuje na ich istotną rolę w przyszłości technologii odnawialnych oraz w procesie transformacji energetycznej. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie kompleksowej analizy trendów projektowych i produkcyjnych w tym obszarze, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań inspirowanych strukturą nenufara oraz słonecznika.

## 2. Bioinspiracje w projektowaniu struktur energetyki odnawialnej

Natura od wieków stanowi niewyczerpane źródło inspiracji dla inżynierów i projektantów, dostarczając rozwiązań charakteryzujących się wysoką efektywnością, adaptacyjnością oraz optymalnym wykorzystaniem zasobów. Współczesne podejście biomimetyczne polega na analizie struktur, procesów i mechanizmów biologicznych oraz ich implementacji w systemach technicznych, w tym w energetyce odnawialnej. Dzięki temu możliwe jest opracowywanie technologii bardziej wydajnych, trwałych oraz przyjaznych dla środowiska [10–12]. Szczególne znaczenie biomimikry zyskuje w kontekście globalnej potrzeby transformacji energetycznej i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych [13,14].

Jednym z najbardziej rozwiniętych obszarów zastosowania inspiracji naturą jest projektowanie turbin wiatrowych. Analiza biologicznych struktur aerodynamicznych pozwala na opracowywanie łopat o profilach i geometrii sprzyjających poprawie efektywności konwersji energii wiatru [13,15]. Charakterystyczne cechy, takie jak wygięcie profilu (camber) czy modyfikacje krawędzi, mogą przyczyniać się do ograniczania oporów aerodynamicznych i strat energii. Dodatkowo inspiracje płynące z obserwacji drzew, a zwłaszcza liści palmowych, umożliwiły rozwój koncepcji elastycznych łopat zdolnych do lepszej adaptacji do silnych wiatrów [9].

Biomimikra w energetyce wiatrowej może również wspierać redukcję hałasu generowanego przez łopaty. Rozwiązania inspirowane m.in. strukturą skrzydeł sów, takie jak ząbkowane krawędzie natarcia i spływu oraz mikrostruktury powierzchni, są analizowane jako pasywne metody ograniczania hałasu aerodynamicznego [16]. W rezultacie powstają systemy nie tylko bardziej efektywne, ale także potencjalnie lepiej zintegrowane z otoczeniem. Schemat przekroju bioinspirowanej łopaty turbiny wiatrowej przedstawiono na Rysunku 1.



**Rysunek 1.** Przekrój łopaty turbiny wiatrowej inspirowanej biomimikrą

Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym obszarem intensywnego rozwoju są technologie fotowoltaiczne inspirowane budową i funkcjonowaniem liści roślin. Naturalne liście charakteryzują się wysoką zdolnością absorpcji światła oraz efektywną regulacją temperatury, co stanowi wzór dla projektowania nowoczesnych paneli PV [17]. W szczególności biomimetyczne panele wykorzystują strukturę przypominającą układ liści i gałęzi, co umożliwia lepsze rozproszenie światła oraz zwiększenie powierzchni aktywnej. Dodatkowo w naturze istnieją mechanizmy chroniące liście przed przegrzewaniem – ich odwzorowanie w systemach technicznych może wspierać ograniczanie spadku sprawności wynikającego z wysokich temperatur [18,19].

Rozwiązania inspirowane liśćmi prowadzą również do powstawania lekkich, modułowych konstrukcji, które mogą być łatwo instalowane i dostosowywane do różnych warunków środowiskowych. Takie podejście zwiększa elastyczność systemów energetycznych oraz umożliwia ich zastosowanie w trudno dostępnych lokalizacjach [20].

Szczególnie interesującym przykładem biomimikry są struktury inspirowane liliami wodnymi (nenufarami), które znalazły zastosowanie w projektowaniu pływających systemów energetycznych. Lilie wodne posiadają unikalną zdolność do utrzymywania się na powierzchni wody przy jednoczesnym zachowaniu dużej stabilności oraz efektywnego wykorzystania przestrzeni. Cechy te są wykorzystywane jako inspiracja w projektowaniu pływających konwerterów energii [21].

Struktury tego typu umożliwiają wykorzystanie obszarów morskich i oceanicznych, które dotychczas pozostawały w mniejszym stopniu wykorzystywane pod względem produkcji energii [8,22]. Dodatkowo mechanizmy adaptacyjne mogą pozwalać takim systemom reagować na zmienne warunki środowiskowe, np. poprzez zmianę orientacji lub częściowe składanie konstrukcji podczas ekstremalnych zjawisk pogodowych. Dla porównania omówiony wcześniej przykład

adaptacyjnych łopat turbin inspirowanych liśćmi palm przedstawiono na Rysunku 2.



**Rysunek 2.** Elastyczne łopaty turbin wiatrowych inspirowane palmami

Źródło: Opracowanie własne

W projektowaniu pływających systemów energetycznych należy uwzględnić również aspekty ekologiczne. Literatura dotycząca pływającej fotowoltaiki wskazuje zarówno na potencjalne korzyści, jak i ryzyka dla ekosystemów wodnych, dlatego projektowanie takich instalacji powinno uwzględniać oddziaływania na jakość wody, organizmy i lokalne warunki środowiskowe [23].

Istotną rolę w bioinspirowanych systemach energetycznych odgrywa również słonecznik, który dzięki zjawisku heliotropizmu maksymalizuje absorpcję promieniowania słonecznego. Mechanizm podążania za ruchem słońca został zaadaptowany w strategiach śledzenia słońca stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych [24].

Nowoczesne rozwiązania wykorzystują zarówno mechaniczne, jak i materiałowe systemy umożliwiające automatyczne ustawianie paneli względem promieniowania słonecznego. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie ilości pozyskiwanej energii w porównaniu z systemami statycznymi [25]. Co więcej, rozwój materiałów inteligentnych pozwala na tworzenie struktur zdolnych do samoczynnego ruchu bez potrzeby stosowania rozbudowanej elektroniki [26].

Inspiracja słonecznikiem obejmuje również koncepcje integrujące pozyskiwanie i magazynowanie energii. Podobnie jak rośliny przekształcają energię promieniowania w energię chemiczną, technologie bioinspirowane mogą łączyć konwersję energii słonecznej z jej magazynowaniem, np. w postaci wodoru [27]. Takie podejście może zwiększać niezależność energetyczną oraz stabilność dostaw energii. Przykład komercyjnej realizacji idei „solarnego kwiatu” w postaci systemu SmartFlower przedstawiono na Rysunku 3.



**Rysunek 3.** System fotowoltaiczny Smartflower  
Źródło: opracowanie własne na podstawie projektu Nü-  
NRG Group [32].

Biomimikra w projektowaniu struktur energetyki odnawialnej stanowi obiecujący kierunek rozwoju nowoczesnych technologii. Wykorzystanie rozwiązań wypracowanych przez naturę pozwala na tworzenie systemów bardziej wydajnych, odpornych i zrównoważonych. Inspiracje takie jak skrzydła, liście roślin, lilie wodne czy słoneczniki pokazują, że natura może być źródłem rozwiązań projektowych dla współczesnych systemów energetycznych [9,28].

### 3. Przykłady bioinspirowanych i adaptacyjnych systemów fotowoltaicznych

Współczesne technologie fotowoltaiczne coraz częściej łączą wysoką efektywność energetyczną z inspiracją naturą oraz estetyką architektoniczną. Szczególnie widoczne jest to w projektach wykorzystujących mechanizmy śledzenia słońca, strukturę roślin czy integrację z przestrzenią miejską [29,30]. Poniżej przedstawiono wybrane rozwiązania stanowiące rozwinięcie idei bioinspirowanego projektowania systemów solarnych.

Pierwszym i najbardziej rozpoznawalnym przykładem jest system SmartFlower Solar System, określany jako „mechaniczny kwiat”. Konstrukcja składa się z zestawu paneli ułożonych w formie przypominającej płatków, które automatycznie rozkładają się o świcie i podążają za ruchem słońca dzięki mechanizmowi dwuosiowego śledzenia (dual-axis tracking) [30,31]. Producent deklaruje uzysk energii nawet o około 40% wyższy niż w przypadku konwencjonalnych systemów stacjonarnych; system wykorzystuje także rozwiązania wspierające samooczyszczanie i chłodzenie modułów [31]. SmartFlower stanowi przykład połączenia technologii z designem, funkcjonując nie tylko jako źródło energii, ale również jako element architektoniczny [29].

Rozwinięciem tej koncepcji jest SmartFlower Plus+, który oprócz funkcji podstawowej wersji może być wyposażony w zintegrowany magazyn energii [32]. Dzięki temu możliwe jest gromadzenie nadwyżek produkowanej energii i jej wykorzystanie w późniejszym czasie, co zwiększa poziom autokonsumpcji i możliwości pracy autonomicznej [32].

Kolejnym przykładem inspiracji naturą jest koncepcja Solar Tree Charging Station, czyli tzw. „drzew solarnych”. Konstrukcje te naśladują formę drzewa, gdzie „liście” pełnią funkcję paneli fotowoltaicznych [29]. Oprócz produkcji energii mogą oferować dodatkowe funkcjonalności, takie jak punkty ładowania urządzeń mobilnych czy

pojazdów elektrycznych. Tego typu rozwiązania są stosowane w przestrzeniach miejskich, gdzie łączą funkcję użytkową z estetyką oraz integracją z otoczeniem [29].

Bardziej technologicznym podejściem do zwiększania efektywności są systemy dwuosioowego śledzenia słońca. W przeciwieństwie do rozwiązań skoncentrowanych przede wszystkim na bioinspirowanej formie, ich głównym celem jest maksymalizacja uzysku energii poprzez precyzyjne śledzenie położenia słońca [30]. Dzięki zastosowaniu mechanizmów sterowania systemy te mogą zwiększać ekspozycję modułów na promieniowanie słoneczne w ciągu dnia.

Istotnym kierunkiem rozwoju są również technologie BIPV (Building-Integrated Photovoltaics), w których elementy fotowoltaiczne stają się integralną częścią przegród budowlanych, np. elewacji, dachów czy przeszkleń, łącząc funkcję energetyczną z architektoniczną [33]. Rozwiązania te umożliwiają wykorzystanie powierzchni budynku do produkcji energii bez konieczności stosowania odrębnej konstrukcji wsporczej. Przykładem praktycznego wdrożenia jest elewacyjny system BIPV oferowany przez Energy5, w którym moduły pełnią funkcję zewnętrznej okładziny, a szczelina wentylacyjna wspomaga cyrkulację powietrza i odprowadzanie wilgoci [37]. Choć systemy BIPV zazwyczaj nie wykorzystują mechanizmów ruchu, ich znaczenie wynika z integracji funkcji energetycznej z formą i strukturą architektoniczną.

Uzupełnieniem bioinspirowanego projektowania formy są rozwiązania wykorzystujące materiały pochodzenia biologicznego. W finansowanym przez Unię Europejską projekcie PRO-S opracowano elastyczny moduł fotowoltaiczny wykorzystujący technologię białkową do absorpcji światła widzialnego i ultrafioletowego. Według CORDIS moduł zaprojektowano z myślą o recyklingu i ponownym wykorzystaniu, a jego zdolność do generowania energii przy małym natężeniu promieniowania może zwiększać możliwości zastosowania w budynkach [38]. Rozwiązanie to pokazuje, że biologiczne źródła inspiracji w fotowoltaice mogą dotyczyć nie tylko geometrii i sposobu orientacji modułów, lecz również doboru materiałów i zasad ich funkcjonowania.

Na szczególną uwagę zasługują także pływające systemy fotowoltaiczne (floating photovoltaics, FPV). Instalacje tego typu są rozwijane m.in. w regionach o ograniczonej dostępności gruntów, a ich położenie na wodzie może sprzyjać chłodzeniu modułów i poprawie warunków pracy paneli [23]. Jednocześnie wymagają one uwzględnienia specyficznych wyzwań konstrukcyjnych i środowiskowych [23].

Podsumowując, rozwój bioinspirowanych i adaptacyjnych systemów fotowoltaicznych pokazuje wyraźny trend łączenia technologii, natury i

architektury. Rozwiązania takie jak SmartFlower czy Solar Tree podkreślają znaczenie estetyki i integracji z otoczeniem, podczas gdy systemy śledzenia słońca i instalacje pływające koncentrują się na maksymalizacji efektywności energetycznej. Wszystkie te podejścia wspólnie wskazują kierunek rozwoju nowoczesnej energetyki – ku systemom inteligentnym, elastycznym i harmonijnie współistniejącym ze środowiskiem.

#### **4. Bioinspiracja jako odpowiedź na społeczne kontrowersje oraz Social Licence to Operate w energetyce fotowoltaicznej**

Rozwój wielkoskalowych instalacji fotowoltaicznych, mimo ich kluczowego znaczenia dla transformacji energetycznej, coraz częściej napotyka na opór społeczny związany z przekształcaniem krajobrazu. Jednym z głównych zarzutów wobec farm PV jest ich wysoki wpływ wizualny, który prowadzi do uprzemysłowienia przestrzeni otwartych oraz utraty ich dotychczasowych walorów estetycznych i kulturowych. Zjawisko to wpisuje się w szerszy kontekst konfliktów przestrzennych charakterystycznych dla rozwoju odnawialnych źródeł energii, określanych w literaturze jako „energy landscape conflicts” [34,35].

W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera koncepcja Social Licence to Operate (SLO), rozumiana jako nieformalna, społeczna akceptacja dla realizacji inwestycji infrastrukturalnych. SLO nie wynika wyłącznie ze zgodności z przepisami prawa, ale z poziomu zaufania społecznego, akceptacji lokalnych interesariuszy oraz postrzeganej sprawiedliwości procesu i rezultatów projektu. Brak tej akceptacji może prowadzić do opóźnień inwestycyjnych, protestów społecznych, a nawet blokowania projektów OZE, mimo ich strategicznego znaczenia dla polityki klimatycznej [36].

W odpowiedzi na te wyzwania coraz większą rolę odgrywa podejście bioinspirowane, które redefiniuje sposób projektowania infrastruktury fotowoltaicznej. Zamiast traktować instalacje PV jako dominujące, techniczne struktury w krajobrazie, podejście to zakłada ich integrację z formami naturalnymi oraz strukturami przypominającymi elementy przyrody. Przykłady takie jak SmartFlower czy Solar Tree pokazują, że technologia może być projektowana nie tylko pod kątem efektywności energetycznej, ale również percepcji wizualnej i akceptacji społecznej.

Bioinspirowane systemy fotowoltaiczne pełnią w tym ujęciu funkcję „estetycznego bufora” pomiędzy technologią a krajobrazem. Ich forma – nawiązująca do roślin, drzew czy obiektów organicznych – zmniejsza efekt wizualnej inwazyjności, co może wpływać na redukcję

sprzeciwu społecznego oraz wzmacniać lokalną akceptację inwestycji. W efekcie tego typu rozwiązania mogą wspierać budowanie Social Licence to Operate poprzez zwiększenie poczucia zgodności technologii z otoczeniem oraz poprawę relacji między inwestorem a społecznością lokalną.

Jednocześnie bioinspiracja wpisuje się w szerszy trend tzw. „energy landscape design”, w którym infrastruktura energetyczna jest projektowana jako element krajobrazu, a nie jego zakłócenie. Oznacza to przesunięcie paradygmatu z czysto inżynierskiego podejścia do projektowania systemów PV w kierunku podejścia interdyscyplinarnego, łączącego inżynierię, architekturę krajobrazu oraz nauki społeczne. W tym sensie bioinspirowane fotowoltaiki mogą być traktowane nie tylko jako innowacja technologiczna, ale również jako narzędzie zarządzania akceptacją społeczną transformacji energetycznej.

Rosnące znaczenie Social Licence to Operate oraz konflikty krajobrazowe związane z farmami PV wskazują na konieczność redefinicji sposobu projektowania systemów energetycznych. Bioinspiracja staje się w tym ujęciu nie tylko estetycznym wyborem, ale strategicznym narzędziem minimalizowania oporu społecznego i zwiększania akceptacji dla odnawialnych źródeł energii w przestrzeni publicznej.

## 5. Wnioski i rekomendacje

Przeprowadzona analiza wskazuje, że bioinspirowane systemy fotowoltaiczne stanowią rozwijający się kierunek transformacji technologicznej w obszarze odnawialnych źródeł energii, w którym klasyczne podejście inżynierskie zostaje rozszerzone o komponenty środowiskowe, architektoniczne oraz społeczne. Integracja zasad biomimetyki z projektowaniem systemów PV pozwala na jednoczesne zwiększanie ich efektywności funkcjonalnej oraz redukcję negatywnych oddziaływań percepcyjnych w krajobrazie.

Wyniki rozważań wskazują, że dynamiczny wzrost mocy zainstalowanej fotowoltaiki, przy jednoczesnej intensywnej urbanizacji i przekształcaniu terenów otwartych, prowadzi do narastania konfliktów przestrzennych. Konflikty te mają charakter nie tylko środowiskowy, lecz przede wszystkim społeczno-kulturowy, ponieważ dotyczą sposobu postrzegania krajobrazu jako dobra wspólnego. W tym kontekście coraz większego znaczenia nabiera koncepcja Social Licence to Operate (SLO), która stanowi nieformalny, lecz kluczowy warunek powodzenia inwestycji energetycznych. Jej brak może skutkować opóźnieniami, wzrostem kosztów inwestycyjnych, a nawet całkowitą blokadą projektów, mimo ich zgodności z obowiązującymi regulacjami prawnymi.

Analiza wskazuje, że bioinspiracja może pełnić funkcję częściowego narzędzia redukcji konfliktów krajobrazowych poprzez zmianę sposobu projektowania infrastruktury PV z dominująco technicznego na bardziej adaptacyjny i kontekstowy. Systemy inspirowane strukturami organicznymi, takimi jak liście, drzewa czy formy pływających roślin wodnych, umożliwiają łagodniejsze wprowadzenie technologii energetycznych do przestrzeni otwartych. W konsekwencji może to wpływać na zmniejszenie tzw. efektu „industrializacji krajobrazu”, który jest jedną z głównych przyczyn sprzeciwu społecznego wobec farm fotowoltaicznych.

Jednocześnie należy podkreślić, że bioinspiracja nie eliminuje fundamentalnych napięć wynikających z zajmowania dużych powierzchni przez instalacje PV, lecz modyfikuje ich percepcję oraz sposób integracji z otoczeniem. Oznacza to, że jej skuteczność w kontekście SLO zależy od wielu czynników dodatkowych, takich jak lokalizacja inwestycji, stopień partycypacji społecznej, transparentność procesu decyzyjnego oraz realne korzyści ekonomiczne dla społeczności lokalnych. Bioinspirowane rozwiązania mogą zatem wspierać proces akceptacji, ale nie stanowią autonomicznego rozwiązania problemu konfliktów przestrzennych.

Istotnym wnioskiem jest również to, że rozwój bioinspirowanych systemów PV wpisuje się w szerszą zmianę paradygmatu projektowania infrastruktury energetycznej, określaną jako przejście od podejścia „infrastruktura jako obiekt techniczny” do podejścia „infrastruktura jako element krajobrazu”. W tym ujęciu systemy energetyczne przestają być traktowane jako obce struktury w przestrzeni, a stają się jej integralnym komponentem, co ma bezpośrednie znaczenie dla ich społecznej akceptowalności.

W świetle przeprowadzonych analiz zasadne jest wskazanie, że dalszy rozwój bioinspirowanych systemów fotowoltaicznych powinien być realizowany w sposób interdyscyplinarny, łączący inżynierię energetyczną, architekturę krajobrazu, urbanistykę oraz nauki społeczne. Kluczowe znaczenie ma w tym zakresie wczesna integracja aspektów krajobrazowych w procesie projektowym, tak aby kwestie wizualne i przestrzenne nie były traktowane jako etap wtórny, lecz jako równorzędny komponent projektowania systemów PV.

Rekomenduje się rozwój metodologii projektowania uwzględniających tzw. „energy landscape design”, które pozwalają na systemowe włączanie infrastruktury energetycznej w strukturę krajobrazu. Podejście to powinno obejmować zarówno analizę widokową i przestrzenną, jak i ocenę wpływu inwestycji na wartości kulturowe i społeczne danego obszaru.

Z perspektywy społecznej szczególne znaczenie ma wzmocnienie procesów partycypacyjnych, które umożliwiają włączenie interesariuszy lokalnych w

proces decyzyjny już na etapie koncepcyjnym. W tym kontekście bioinspiracja może pełnić funkcję narzędzia wspierającego dialog społeczny, jednak jej skuteczność zależy od rzeczywistej transparentności procesu inwestycyjnego oraz poziomu zaufania do inwestorów i instytucji publicznych.

Dodatkowo zasadne jest opracowanie bardziej precyzyjnych kryteriów oceny wpływu wizualnego instalacji fotowoltaicznych, które uwzględniałyby nie tylko parametry techniczne, lecz również subiektywną percepcję krajobrazu. Brak takich narzędzi stanowi obecnie istotne ograniczenie w ocenie rzeczywistego wpływu bioinspirowanych systemów PV na akceptację społeczną.

Wreszcie, rekomenduje się prowadzenie dalszych badań empirycznych nad zależnością pomiędzy formą bioinspirowaną a poziomem Social Licence to Operate, w tym analiz porównawczych między tradycyjnymi a adaptacyjnymi systemami PV. Szczególnie istotne wydaje się również badanie długoterminowych efektów percepcyjnych oraz ich wpływu na trwałość akceptacji społecznej dla inwestycji energetycznych.

## Literatura

- [1] International Energy Agency (IEA). Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028; IEA: Paris, France, 2024. Available online: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023> (accessed on 7 September 2026).
- [2] Assoa, Y.B.; Ratovonkery, J.; Ménézo, C.; Morlot, R. Towards a bio-inspired design of a photovoltaic facade. *Renew. Energy* 2024, 229, 120679. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120679>
- [3] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Capacity Statistics 2026; IRENA: Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2026. Available online: <https://www.irena.org/Publications/2026/Mar/Renewable-capacity-statistics-2026> (accessed on 7 September 2026).
- [4] International Energy Agency (IEA). Global Energy Review 2026; IEA: Paris, France, 2026. Available online: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026> (accessed on 7 September 2026).
- [5] Eurostat. Shedding Light on Energy in Europe – 2025 Edition. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2025> (accessed on 7 September 2026).
- [6] Eurostat. 25.2% of Energy EU Used in 2024 Came from Renewables. 18 December 2025. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251218-2> (accessed on 7 September 2026).
- [7] Eurostat. 47% of EU's Electricity Came from Renewables in 2025. 19 March 2026. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260319-2> (accessed on 7 September 2026).
- [8] Ramachandran, R.C.; Desmond, C.; Judge, F.; Serraris, J.-J.; Murphy, J. Floating wind turbines: Marine operations challenges and opportunities. *Wind Energy Sci.* 2022, 7, 903–924. <https://doi.org/10.5194/wes-7-903-2022>
- [9] Regassa, Y.; Dabasa, T.; Amare, G.; Lemu, H.G. Bio-inspired design trends for sustainable energy structures. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2023, 1294, 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1294/1/012044>
- [10] Ilieva, L.; Ursano, I.; Traista, L.; Hoffmann, B.; Dahy, H. Biomimicry as a Sustainable Design Methodology—Introducing the “Biomimicry for Sustainability” Framework. *Biomimetics* 2022, 7, 37. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020037>
- [11] Jamei, E.; Vrcelj, Z. Biomimicry and the Built Environment: Learning from Nature's Solutions. *Appl. Sci.* 2021, 11, 7514. <https://doi.org/10.3390/app11167514>
- [12] Ha, N.S.; Lu, G. A review of recent research on bio-inspired structures and materials for energy absorption applications. *Compos. Part B Eng.* 2020, 181, 107496. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107496>
- [13] Guchhait, R.; Sarkar, B. Increasing Growth of Renewable Energy: A State of the Art. *Energies* 2023, 16, 2665. <https://doi.org/10.3390/en16062665>
- [14] Kapoor, R.T.; Rafatullah, M.; Qamar, M.; Qutob, M.; Alosaimi, A.M.; Alorfi, H.S.; Hussein, M.A. Review on Recent Developments in Bioinspired-Materials for Sustainable Energy and Environmental Applications. *Sustainability* 2022, 14, 16931. <https://doi.org/10.3390/su142416931>
- [15] Herrera, C.; Correa, M.; Villada, V.; Vanegas, J.D.; García, J.G.; Nieto-Londoño, C.; Sierra-Pérez, J. Structural design and manufacturing process of a low scale bio-inspired wind turbine blades. *Compos. Struct.* 2019, 208, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.08.061>
- [16] Wang, Y.; Zhao, K.; Lu, X.-Y.; Song, Y.-B.; Bennett, G.J. Bio-Inspired Aerodynamic Noise Control: A Bibliographic Review. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2224. <https://doi.org/10.3390/app9112224>
- [17] Zähr, M.; Friedrich, D.; Kloth, T.Y.; Goldmann, G.; Tributsch, H. Bionic Photovoltaic Panels Bio-Inspired by Green Leaves. *J. Bionic Eng.* 2010, 7, 284–293. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(10\)60252-1](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(10)60252-1)
- [18] Usman, Z.; Tah, J.; Abanda, H.; Nche, C. A Critical Appraisal of PV-Systems' Performance. *Buildings* 2020, 10, 192. <https://doi.org/10.3390/buildings10110192>
- [19] Luceño-Sánchez, J.A.; Díez-Pascual, A.M.; Peña Capilla, R. Materials for Photovoltaics: State of Art and Recent Developments. *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 976. <https://doi.org/10.3390/ijms20040976>

- [20] Chenaghlou, M.R.; Kheirollahi, M.; Abedi, K.; Akbari, A.; Fathpour, A. Inherent Adaptive Structures Using Nature-Inspired Compound Elements. *Front. Built Environ.* 2020, 6, 561902. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.561902>
- [21] Díaz, H.; Rodrigues, J.M.; Guedes Soares, C. New Wave Energy Converter Design Inspired by the Nenufar Plant. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 1612. <https://doi.org/10.3390/jmse10111612>
- [22] Wang, C.M.; Utsunomiya, T.; Wee, S.C.; Choo, Y.S. Research on floating wind turbines: A literature survey. *IES J. Part A Civ. Struct. Eng.* 2010, 3, 267–277. <https://doi.org/10.1080/19373260.2010.517395>
- [23] Essak, L.; Ghosh, A. Floating Photovoltaics: A Review. *Clean Technol.* 2022, 4, 752–769. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4030046>
- [24] Sabran, R.U.; Fajardo, A.C. An Improved Sunflower-Inspired Solar Tracking Strategy for Maximizing Photovoltaic Panel Power Generation. *Int. J. Recent Technol. Eng.* 2019, 8, 1756–1762. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1013.078219>
- [25] Kurtz, S. Analysis of Photovoltaic System Energy Performance Evaluation Method; NREL/TP-5200-60628; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 2013. <https://doi.org/10.2172/1111193>
- [26] Baytekin, B.; Cezan, S.D.; Baytekin, H.T.; Grzybowski, B.A. Artificial Heliotropism and Nyctinasty Based on Optomechanical Feedback and No Electronics. *Soft Robot.* 2018, 5, 93–98. <https://doi.org/10.1089/soro.2017.0020>
- [27] Koike, K.; Fujii, K.; Kawano, T.; Wada, S. Bio-mimic energy storage system with solar light conversion to hydrogen by combination of photovoltaic devices and electrochemical cells inspired by the antenna-associated photosystem II. *Plant Signal. Behav.* 2020, 15, 1723946. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1723946>
- [28] Mallard, K.; Debusschere, V.; Garbuio, L. Multi-Criteria Method for Sustainable Design of Energy Conversion Systems. *Sustainability* 2020, 12, 6513. <https://doi.org/10.3390/su12166513>
- [29] Miller, A. Are Smart Solar Flowers Worth the Recent Hype? *Earth.Org*, 6 May 2022. Available online: <https://earth.org/smart-solar-flowers/> (accessed on 7 September 2026).
- [30] Technical University of Munich. Smartflower. Available online: <https://www.epe.ed.tum.de/en/res/research/smartflower/> (accessed on 7 September 2026).
- [31] SmartFlower Solar. Products—SmartFlower vs. Traditional Solar. Available online: <https://smartflower.com/products/> (accessed on 7 September 2026).
- [32] Nü-NRG Group. Smartflower. Available online: <https://nunrggroup.com/smartflower/> (accessed on 7 September 2026).
- [33] Jelle, B.P. Building Integrated Photovoltaics: A Concise Description of the Current State of the Art and Possible Research Pathways. *Energies* 2016, 9, 21. <https://doi.org/10.3390/en9010021>
- [34] Walker, B. Energy-Landscape Conflicts and the Politics of Scale around Photovoltaic Parks in Germany. In *Landscape Conflicts*; Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, Germany, 2024; pp. 335–349. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-43352-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-658-43352-9_18)
- [35] Castán Broto, V. Energy Landscapes and the Transition to Sustainable Energy. In *A Research Agenda for Landscape Studies of Planning*; Edward Elgar Publishing: Cheltenham, UK, 2025; pp. 45–58. <https://doi.org/10.4337/9781803929705.00009>
- [36] Ó Maonaigh, C.; Fitzgerald, L.M.; Reilly, L. Revisiting the social licence to operate in the energy transition: An intersectional agenda for research and practice. *Energy Res. Soc. Sci.* 2025, 126, 104139. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.104139>
- [37] Energy5. BIPV – co to jest i na czym polega? Available online: <https://energy5.pl/bipv-co-to-jest-i-na-czym-polega/>
- [38] European Commission, CORDIS. Making Green Greener: Bio-Based Solar Panels for Smart Buildings; PRO-S Project, 2020. Available online: <https://cordis.europa.eu/article/id/422350-making-green-greener-bio-based-solar-panels-for-smart-buildings>

### *Streszczenie*

Systemy odnawialnych źródeł energii (OZE), a w szczególności fotowoltaika, stanowią jeden z kluczowych filarów współczesnej transformacji energetycznej, jednak ich dynamiczny rozwój prowadzi do narastających napięć w zakresie integracji z krajobrazem oraz akceptacji społecznej inwestycji. W odpowiedzi na te wyzwania coraz większe znaczenie zyskuje podejście bioinspirowane, które umożliwia projektowanie systemów energetycznych w sposób bardziej zharmonizowany z otoczeniem przyrodniczym i kulturowym. Zastosowanie zasad biomimetyki w projektowaniu instalacji fotowoltaicznych pozwala nie tylko na poprawę ich efektywności i adaptacyjności, ale również na redukcję negatywnego oddziaływania wizualnego, które stanowi jedną z głównych przyczyn sprzeciwu społecznego wobec farm PV. Rozwiązania inspirowane strukturami biologicznymi, takimi jak liście roślin, słonecznik czy lilie wodne, wskazują na możliwość tworzenia infrastruktury energetycznej lepiej wpisującej się w krajobraz. Wyniki rozważań podkreślają, że akceptacja społeczna, ujmowana w ramach koncepcji Social Licence to Operate, staje się równie istotnym warunkiem rozwoju fotowoltaiki jak czynniki technologiczne i ekonomiczne. Bioinspiracja może wspierać budowanie tej akceptacji poprzez ograniczenie konfliktów krajobrazowych i poprawę percepcji inwestycji, jednak jej skuteczność zależy od szerszej integracji z procesami planowania przestrzennego i partycypacji społecznej.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, biomimikra, bioinspiracja, OZE, krajobraz energetyczny, Social Licence to Operate, integracja krajobrazowa.

### ***Bio-Inspired Photovoltaic Systems as an Emerging Direction in Renewable Energy Development***

#### *Abstract*

Renewable energy systems (RES), particularly photovoltaics, represent one of the key pillars of the contemporary energy transition; however, their rapid development is accompanied by increasing tensions related to landscape integration and social acceptance of investments. In response to these challenges, bio-inspired design approaches are gaining importance, enabling the development of energy systems that are more harmoniously integrated with both natural and cultural environments. The application of biomimetic principles in photovoltaic system design not only improves their efficiency and adaptability but also reduces their visual impact, which is one of the main drivers of public opposition to large-scale PV farms. Solutions inspired by biological structures, such as plant leaves, sunflowers, and water lilies, demonstrate the potential for creating energy infrastructure that is better embedded within the landscape. The findings highlight that social acceptance, conceptualised within the framework of the Social Licence to Operate, has become as critical for photovoltaic deployment as technological and economic factors. Bio-inspired design may support the development of this acceptance by mitigating landscape conflicts and improving the public perception of energy infrastructure; however, its effectiveness depends on broader integration with spatial planning processes and participatory approaches.

Keywords: photovoltaics, biomimicry, bioinspiration, renewable energy, energy landscape, Social Licence to Operate, landscape integration.

# Ekonomiczne i pozaekonomiczne czynniki wpływające na giełdowy handel miedzią i jej cenę

## 1. Wprowadzenie

Miedź jest jednym z kluczowych surowców zapewniających stabilny rozwój gospodarczy. Jest wykorzystywana w przemyśle zarówno w czystej postaci, jak i w połączeniu z cynkiem (stop o nazwie mosiądz) oraz cyną (stop o nazwie brąz). Dzięki wysokiemu przewodnictwu prądu i ciepła znajduje szerokie zastosowanie w urządzeniach elektrycznych, elektronicznych i grzewczych. Miedź cechuje się też wyjątkową plastycznością i odpornością na korozję, co czyni ją niezastąpioną zarówno w sektorze motoryzacyjnym (m.in. w silnikach, okablowaniu, chłodnicach, złączach, hamulcach), jak i w budownictwie (m.in. w instalacjach elektrycznych i grzewczych, pokryciach dachowych) oraz innych zastosowaniach gospodarczych. Tak szerokie pole zastosowań miedzi wskazuje na to, że przy wzroście jej ceny nastąpi też wzrost cen wielu towarów, w których jest ona wykorzystywana.

Mimo wydobycia w Polsce surowca do produkcji miedzi rafinowanej, została ona zakwalifikowana do grupy surowców strategicznych jak w naszym kraju, tak i w całej Unii Europejskiej. Co więcej, stanem na 16.03.2023 wpisano ją również na listę surowców krytycznych w UE [1].

W miarę rozwoju gospodarki światowej zapotrzebowanie na miedź stale rośnie. Dlatego nie dziwi fakt, że to gospodarki azjatyckie, które w ostatnich dekadach cechowały się najwyższą dynamiką wzrostu gospodarczego (wyrażonego w PKB), spowodowały gwałtowny wzrost popytu na ten metal.

Celem niniejszego badania jest analiza trendów na giełdowym rynku miedzi oraz prognoz jej ceny. Aby zrealizować postawiony cel zastosowano metodę kompleksowej analizy danych zastanych oraz krytyczny przegląd literatury przedmiotu.

## 2. Rola miedzi dla rozwijającej się gospodarki światowej

Zgodnie prognoz [2], globalne zapotrzebowanie na miedź w 2050 roku wzrośnie ponad dwukrotnie, w porównaniu do roku 2021. Oczekuje się też, że niedobory miedzi mogą się wahać od 1,7 Mt (Mt – tona metryczna) miedzi do nawet 9,9 Mt, co pokrywa się z obawami wyrażonymi również przez Międzynarodową Agencję Energetyczną [3]. Będzie to zależało od średniego światowego i regionalnego PKB oraz wzrostu populacji na świecie [4].

Co istotne, zmiany zaszły również w produkcji i podaży tego metalu, co potwierdzają dane z raportu The World Copper Factbook, opublikowanego w 2025 roku przez International Copper Study Group. Według [5] w ciągu przeszło sześciu dekad (1960-2024) zaszły znaczące zmiany w geografii producentów miedzi na świecie (Tabela 1).

**Tabela 1.** Udział (%) regionów w produkcji miedzi górniczej w roku 1960 vs rok 2024

| Region           | 1960 | 2024 | Zmiana |
|------------------|------|------|--------|
| Ameryka Północna | 36 % | 10 % | -72 %  |
| Afryka           | 25 % | 18 % | -28 %  |
| Ameryka Łacińska | 19 % | 38 % | 100 %  |
| Europa           | 11 % | 9 %  | -18 %  |
| Azja             | 6 %  | 21 % | 250 %  |
| Oceania          | 3 %  | 4 %  | 3 %3   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Ameryka Północna straciła dominującą pozycję na rzecz Ameryki Łacińskiej. Jednak najbardziej spektakularny wzrost produkcji odnotowano w Azji – ponad dwukrotny, choć przy mniejszym udziale w rynku.

Tak istotne zmiany wpływają również na cenę globalną tego metalu. Wszystko wskazuje na to, że mimo poprzednich zawirowań (gwałtownych spadków i powolnych wzrostów), cena miedzi będzie zmierzała w kierunku powolnego, lecz stabilnego wzrostu [6]. I nie ostatnią rolę (a może nawet decydującą) odgrywać w tym procesie będzie handel giełdowy.

## 3. Zorganizowany handel miedzią – zróżnicowane narzędzia handlu

Zorganizowany handel miedzią odbywa się przede wszystkim na trzech rynkach giełdowych: London Metal Exchange (LME), COMEX (Commodity Exchange) oraz Shanghai Futures Exchange (SHFE). Każdą z tych giełd cechuje inna specyfika handlu, dlatego ważnym wydaje się być zbadanie szczegółów obrotu miedzią właśnie na tych trzech rynkach.

Historycznie, to Londyńska Giełda Metali LME była miejscem, które kojarzy się z obrotem metalami. Obecnie LME realizuje obroty hurtowe i od niedawna quasi detaliczne. Następuje tutaj ciągłe i masowe przenikanie się transakcji na rynku spot z transakcjami na rynku terminowym (futures, opcje amerykańskie oraz europejskie). Londyńska giełda to także „miejsce spotkania” – z jednej strony wielkich producentów tego

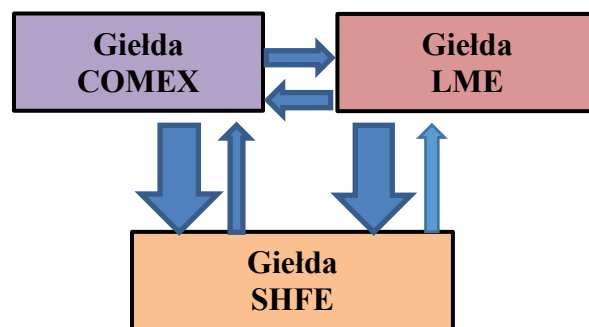
metal, a z drugiej – potężnych struktur przetwórczych i przemysłowych [7]. Giełda LME nie prowadzi własnej izby rozliczeniowej, co oznacza, że wszelkie transakcje prowadzone są przez firmy brokerskie. Alternatywą dla LME jest nowojorska giełda COMEX (działająca w ramach CME Group), na której możliwy jest obrót tylko kontraktami terminowymi na miedź (futures, opcje), przy czym handel tymi instrumentami realizowany jest praktycznie całodobowo – wyłącznie w formie elektronicznej. Z kolei giełda w Szanghaju, najmłodsza giełda z tak zwanej Wielkiej Trójki – powstała w 1998 roku w wyniku połączenia trzech giełd towarowych: Shanghai Metal Exchange (SHME), Shanghai Cereals and Oil Exchange (SHCOE) oraz Shanghai Commodity Exchange (SHCE), a handel kontraktami terminowymi na miedź rozpoczął się na niej w maju 1990 roku [8].

Dynamiczny wzrost gospodarczy Chin spowodował jednocześnie istotny wzrost znaczenia szanghajskiej giełdy na arenie międzynarodowej. Jest to o tyle ważne, że od czasu, gdy to właśnie Chiny stały się głównym importem oraz konsumentem miedzi, SHME konkuruje z londyńską LME oraz nowojorską giełdą COMEX o miano miejsca stanowienia cen światowych na ten surowiec [9].

Giełdy prowadzą handel miedzią zarówno na rynku spot, jak i na rynku terminowym. Przykładowo na giełdzie LME w dniu 04.09.2026 miedź była sprzedawana po 14371 USD/Mt na rynku spot, natomiast w 3-miesięcznych kontraktach terminowych jej cena wynosiła 14365 USD/Mt. Sprzedawano też kontrakty z przyszłą dostawą na konkretną datę – 27, 28 i 29 grudnia 2026 roku [10].

Badania naukowców [11] dowodzą, że istnieje ścisła korelacja pomiędzy cenami na wszystkich tych giełdach. Gdyby tak nie było, to zaistniałyby warunki do skutecznego arbitrażu, który jednak po pewnym czasie doprowadziłby do wyrównania cen. Inne badania wskazują, że ceny na giełdach szanghajskiej (SHFE) i londyńskiej (LME) znajdują się w relacji równowagi długookresowej i wzajemnie na siebie oddziałują. Przy czym giełda LME wykazuje silniejsze oddziaływanie na szanghajską SHFE niż SHFE na LME. Z kolei autorzy artykułu [8] dowodzą, że podobna zależność istnieje pomiędzy giełdami SHFE oraz COMEX. Stwierdzają przy tym silniejsze oddziaływanie obu

rynków rozwiniętych na rynek chiński niż rynku chińskiego na rynki rozwinięte. Podkreślają, że to giełda LME jest ciągle wiodącym rynkiem, jeśli chodzi o ustanowienie cen miedzi (rys. 1).



**Rys. 1.** Powiązania między trzema najważniejszymi giełdami metali na świecie

Kolejni badacze [12] udowodnili, że istnieje związek między kontraktami terminowymi na miedź, notowanymi na giełdzie szanghajskiej (SHFE) i giełdzie londyńskiej (LME). Pomimo wysokiej korelacji między cenami (wynoszącej 0,9869), dopatrzili się okresowo znaczących różnic pomiędzy notowaniami na obu rynkach, wynikających z dwóch przyczyn. Po pierwsze, oczywista różnica wynikająca z zastosowania kursu wymiany do obliczenia ceny miedzi spot w dolarach. Po drugie, przed październikiem 2016 roku popyt na miedź w Chinach był jeszcze niski. Jednocześnie rezerwy miedzi były wysokie, a ta nierównowaga między podażą a popytem spowodowała porównywalnie niższe ceny spot na rynkach chińskich. Jednak począwszy od października 2016 roku chińskie firmy zaczęły odnotowywać zwiększony popyt na miedź, co znalazło odzwierciedlenie zarówno we wzroście ceny spot miedzi, jak i różnicy w cenach między dwiema giełdami.

W tabeli 2 przedstawiono wykaz instrumentów pochodnych (które zajmują dominującą pozycję w handlu giełdowym) na miedź i ich specyfikacji handlowanych na nowojorskiej giełdzie COMEX, a w tabeli 3 – na londyńskiej giełdzie LME.

**Tabela 2.** Wykaz instrumentów pochodnych na miedź – COMEX

| Nazwa instrumentu | Opis oferty instrumentu                                                                                     | Jednostka obrotu, minimalna zmiana ceny                  | Sposób i czas handlu |                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|
|                   |                                                                                                             |                                                          | parkiet              | elektronicznie                                          |
| HG Copper futures | W wymiarze czasowym oferta obejmuje kontrakty futures na okres od 1 miesiąca do 13 kolejnych miesięcy       | USD/funt, obrót blokami 25 tys. funtów, tick: 0,0005 USD | 8:10 – 13:00         | Całodobowo (tj. od 18:00 w niedzielę do 17:15 w piątek) |
| HG Copper Option  | Oferta obejmuje kontrakty opcyjne (na tzw. opcje amerykańskie) w wymiarze czasowym kontrakty obejmują okres | USD/funt, tick: 0,0005 USD                               | 8:10 – 13:00         | Całodobowo (tj. od 18:00 w niedzielę do 17:15 w piątek) |

|                  |                                                                                                       |                                                           |                     |                                                         |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|
|                  | od 1 do 22 kolejnych miesięcy                                                                         |                                                           |                     |                                                         |
| E-QC Mini Copper | W wymiarze czasowym oferta obejmuje kontrakty futures na okres od 1 miesiąca do 23 kolejnych miesięcy | USD/funt, Obrót blokami 12,5 tys. funtów, tick: 0,002 USD | Nie jest prowadzony | Całodobowo (tj. od 18:00 w niedzielę do 17:15 w piątek) |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7]

**Tabela 3.** Wykaz instrumentów pochodnych na miedź – London Metal Exchange

| Nazwa instrumentu | Opis oferty instrumentu                                                                                                                             | Jednostka obrotu, minimalna zmiana ceny                                                   | Sposób i czas handlu                                                                    |                                                                                  |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                   |                                                                                                                                                     |                                                                                           | parkiet                                                                                 | elektronicznie                                                                   |
| Futures Copper    | W wymiarze czasowym oferta może obejmować okres od 1 miesiąca do 123 kolejnych, ale podstawą jest obrót kontraktami zapadającymi w ciągu 3 miesięcy | USD/Mt, obrót katodowymi blokami 25 Mt tick: ring: 0,50 USD; kerb 0,25 USD; łączy 0,1 USD | 1 ring:11:45-12:15;<br>2 ring:15:10-16:30;<br>1 kerb:13:15-15:10;<br>2 kerb:16:35-17:00 | W ciągu dni roboczych, elektronicznie od 1:00 do 19:00, telefonicznie całodobowo |
| Option Copper     | Oferta obejmuje kontrakty opcyjne (na tzw. opcje amerykańskie) w wymiarze czasowym kontrakty obejmują okres od 1 do 63 miesięcy w przód             | USD/Mt tick: 0,01 USD                                                                     | 1 ring:11:45-12:15;<br>2 ring:15:10-16:30;<br>1 kerb:13:15-15:10;<br>2 kerb:16:35-17:00 | W ciągu dni roboczych, elektronicznie od 1:00 do 19:00, telefonicznie całodobowo |
| TAPO Copper       | Oferta obejmuje kontrakty opcyjne (na tzw. opcje europejskie) w wymiarze czasowym kontrakty obejmują okres od 1 do 63 miesięcy w przód              | USD/Mt tick: 0,01 USD                                                                     | 1 ring:11:45-12:15;<br>2 ring:15:10-16:30;<br>1 kerb:13:15-15:10;<br>2 kerb:16:35-17:00 | W ciągu dni roboczych, elektronicznie od 1:00 do 19:00, telefonicznie całodobowo |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7]

Ceny miedzi na rynkach terminowych wspomnianych giełd różnią się między sobą, ze względu na zróżnicowanie parametrów zawieranych na nich kontraktów, co doskonale widać w przytoczonych tabelach 2 i 3.

#### 4. Cena miedzi na rynku globalnym a ceny giełdowe

Analizując ceny miedzi na rynku globalnym należy uwzględnić wpływ Stanów Zjednoczonych jako potęgi gospodarczej w skali świata. Dane makroekonomiczne (m.in. o bezrobociu oraz inflacji, stanie rynku nieruchomości, decyzjach monetarnych amerykańskiego banku centralnego FED) płynące z gospodarki amerykańskiej oddziałują na ceny tego metalu, w pierwszej kolejności na amerykańskiej giełdzie COMEX. Jednak bardzo szybko to przekłada się na notowania miedzi handlowanej na giełdzie LME. Przykładowo, w ostatnich dniach pojawiły się obawy wśród inwestorów i handlowców miedzią fizyczną odnośnie do konsekwencji polityki celnej Białego domu. Przyczyniło się to do gwałtownego wzrostu ceny tego metalu [13, 14].

Z kolei notowania tego metalu na londyńskiej giełdzie LME są wynikiem wpływu gospodarki europejskiej, a na szanghajskiej giełdzie SHFE – gospodarki chińskiej.

Jednak w ostatnich latach zapotrzebowanie na miedź ze strony Państwa Środka zdominowało globalny rynek tego surowca i ściśle zależało od koniunktury gospodarczej w tym kraju. Ożywienie gospodarcze i rozkwit oznaczały zwiększony popyt na miedź, co prowadziło do wzrostu jej ceny na giełdzie szanghajskiej a następnie na innych giełdach na świecie.

Taka sytuacja miała miejsce w roku 2005, kiedy to popyt ze strony Chin znacznie wpłynął na wzrost ceny tego metalu na światowych rynkach – z ok. 2000 USD/Mt w roku 2005 do ok. 8000 USD/Mt w roku 2008, co doskonale widać również na rysunkach 2 i 3. Pierwszy z nich pokazuje zmiany ceny miedzi na giełdzie londyńskiej LME, drugi zaś – na giełdzie nowojorskiej COMEX.



**Rys. 2.** Cena miedzi (USD/Mt) na giełdzie LME w latach 2003-2026

Źródło: [15]



**Rys. 4.** Cena miedzi (USD/Mt) na giełdzie LME w latach 2022-2026

Źródło: [15]



**Rys. 3.** Cena miedzi (USD/Mt) na giełdzie COMEX w latach 1990-2026

Źródło: [16]



**Rys. 5.** Cena miedzi (USD/Mt) na giełdzie COMEX w latach 2022-2026

Źródło: [16]

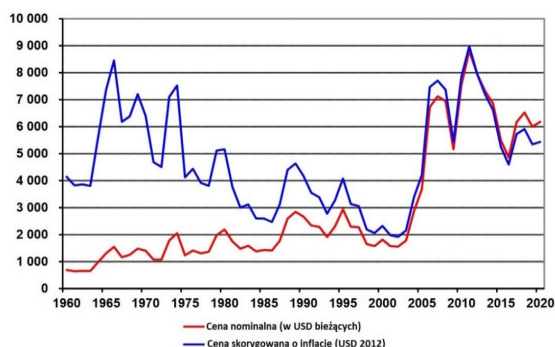
Dalszym wzrostom przeszkodził kryzys z 2008 roku, lecz już rok później, po spadku do ok. 3000 USD/Mt, cena zaczęła ponownie rosnąć pod wpływem ożywienia gospodarczego, aby w roku 2012 odnotować rekord, przekraczając barierę 10 000 USD/Mt. Po spowolnieniu gospodarczym, spowodowanym pandemią koronawirusa w 2020 roku, już w kolejnym roku nastąpił znaczący wzrost zapotrzebowania na miedź. Cena tego surowca, po spadku do ok. 4000 USD/Mt, gwałtownie wzrosła, ponownie przekraczając poziom 10 000 USD/Mt w połowie 2021 roku, aby w maju 2026 roku przebić barierę 14 000 USD/Mt. Przy czym, jak można zauważyć, to w roku 2026 rozpoczął się intensywny wzrost ceny tego surowca, do wyraźnie widać na rysunkach 4 i 5.

Jeśli przyjrzeć uważniej ostatnim czterem rysunkom, zauważyć można silną, pozytywną korelację cen na tych giełdach. Oznacza to, że mimo krótkoterminowych różnic cen na różnych giełdach, ich trendy zachowują wspólny kierunek.

Badania literaturowe oraz danych zastanych wskazują, że zasadniczo na rynek miedzi oddziaływała prawie każda informacja wpływająca z gospodarki Chin – m.in. wielkość produkcji przemysłowej, dane dotyczące eksportu oraz importu, sytuacja geopolityczna, ale także informacje o stanie zapasów tego metalu.

Pod wpływem tych czy innych czynników cena miedzi ulegała ciągłym fluktuacjom, co dobitnie pokazuje rys. 6. Zaprezentowano na nim kształtowanie się realnej ceny miedzi (w latach 1960-2020), czyli przeliczonej z uwzględnieniem inflacji. Za rok bazowy wybrano 2012.

Na wykresie (rys. 6) zauważyć można, że w latach 1975-2005 realna cena miedzi ulegała obniżeniu. Miało to związek ze wzrostem wydobycia tego surowca w Chile, co wpłynęło na zwiększenie podaży, a to z kolei przyczyniło się do obniżenia ceny miedzi. Dopiero gwałtowny wzrost zapotrzebowania ze strony prężnie



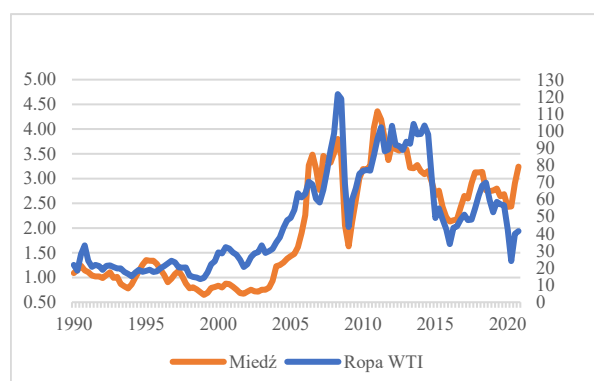
**Rys. 6.** Cena miedzi (USD/Mt) 1960-2020 wg cen nominalnych oraz cen z roku 2012

Źródło: [17]

rozwijającej się gospodarki chińskiej przywrócił trend wzrostowy na rynku tego metalu.

## 5. Rynek miedzi a rynki innych walorów strategicznych

Dokonując analizy trendu cenowego na globalnym rynku miedzi, warto także porównać kształtowanie się ceny tego metalu z innym surowcem, którego notowania, podobnie jak miedzi, także zależą od stanu gospodarki światowej. Surowcem tym jest ropa naftowa, której korelacja z miedzią była przedmiotem wielu badań oraz analiz. Na rysunku 7 przedstawiono wykresy cen miedzi oraz ropy naftowej WTI w latach 1990-2020 (lewa oś – cena miedzi USD/lb, prawa oś – USD/bbl). Łatwo zauważyć dodatnią (z wyjątkiem roku 2013) korelację pomiędzy tymi surowcami wynoszącą, według obliczeń przeprowadzonych dla cen z okresu 2003-2018, nawet 0,93 (tab. 4). Potwierdzają to również dane z innych źródeł [18, 19].



**Rys. 7.** Korelacja pomiędzy ceną miedzi a ceną ropy naftowej marki WTI w latach 1990-2020

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [20]

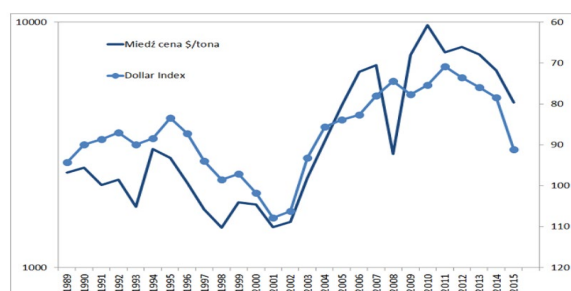
**Tabela 4.** Korelacja pomiędzy ceną miedzi a ceną ropy WTI w latach 2003-2018

| Rok  | Współczynnik korelacji Pearsona |
|------|---------------------------------|
| 2003 | 0,06                            |
| 2004 | 0,39                            |
| 2005 | 0,68                            |

|      |             |
|------|-------------|
| 2006 | 0,39        |
| 2007 | 0,37        |
| 2008 | <b>0,91</b> |
| 2009 | <b>0,93</b> |
| 2010 | <b>0,80</b> |
| 2011 | 0,26        |
| 2012 | 0,71        |
| 2013 | -0,32       |
| 2014 | 0,51        |
| 2015 | <b>0,82</b> |
| 2016 | 0,40        |
| 2017 | 0,58        |
| 2018 | 0,16        |

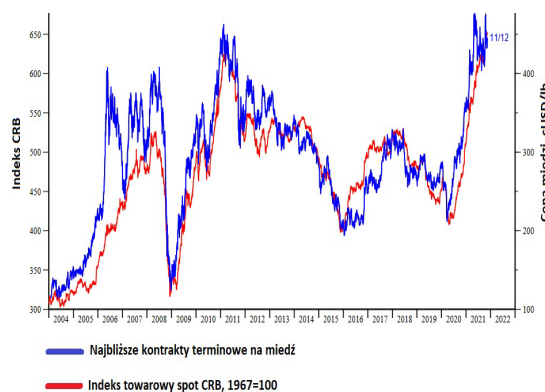
Źródło: opracowanie własne na podstawie: [21]

Z kolei na rysunku 8 przedstawiono korelację indeksu dolara z ceną miedzi – tutaj także widoczna jest zależność, podobnie jak ma to miejsce w przypadku indeksu Industrials Commodity Price vs miedź (rys. 9).



**Rys. 8.** Korelacja pomiędzy ceną miedzi a indeksem dolara (1989-2015)

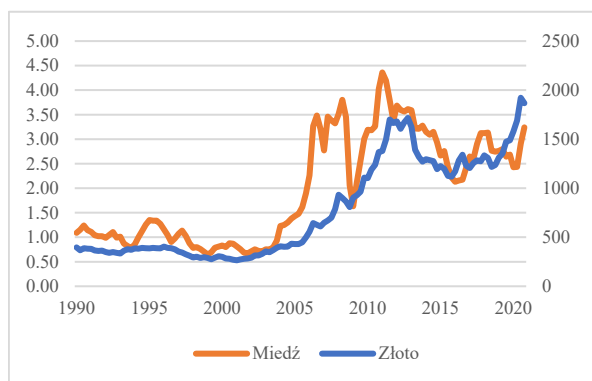
Źródło: [19]



**Rys. 9.** Korelacja pomiędzy ceną miedzi a indeksem towarowym CRB (2004-2021)

Źródło: [18]

Badając zależności pomiędzy rynkami surowców, nie sposób pominąć swistego „punktu odniesienia”, czyli powiązania danego surowca ze złotem. W przypadku miedzi, jak widać na rysunku 10 wprowadzie taka współzależność ma miejsce, jednak jest zdecydowanie słabsza niż w przypadku wcześniej omówionych surowców i indeksu (lewa oś – cena miedzi USD/lb, prawa oś – cena złota USD/oz).



**Rys. 10.** Korelacja pomiędzy ceną miedzi a ceną złota w latach 1990-2020

Źródło: [20]

Wynikać to może z tego faktu, że złoto będące głównie przedmiotem inwestycji, zachowuje się odmiennie niż surowiec przemysłowy, jakim jest miedź. Oczywiście, pewna zależność zachodzi z przyczyn naturalnych – przykładowo wzrost gospodarczy powoduje inwestycje zarówno w przemysł, jak i dobra luksusowe czy tezauryzacyjne. Z kolei recesja może spowodować przeniesienie części inwestycji z przemysłu do „bezpiecznych przystani” (m.in. kruszców szlachetnych), szczególnie jeśli dodatkowo podejmowane są działania np. w zakresie polityki monetarnej, które niekorzystnie wpływają na dochód inwestycyjny lub zwiększają ryzyko inwestycji w inne walory.

## 6. Podsumowanie

Ceny miedzi charakteryzują się zależnością od wielu czynników zarówno ekonomicznych jak i poza-ekonomicznych. Niebagatelną rolę odgrywają przy tym giełdy metali, zwłaszcza te uważane za najważniejsze pod względem kształtowania cen na świecie. Jednak giełdy to tylko zwierciadło tego, co się dzieje w największych i najprężniej rozwijających się gospodarkach świata. W przypadku miedzi ogromne znaczenie ma rynek chiński, który odpowiada za blisko 50% globalnego zapotrzebowania (popytu), jednocześnie duże znaczenie (i stale rosnące) ma także Chile, które jest światowym liderem w jego produkcji (podaży). Podobnie jak na każdym rynku, to zmiany podaży-popytu doprowadzają do zmian cen na globalnym rynku miedzi. Jednak cena ta (analogicznie do innych metali przemysłowych) reaguje na pozostałe dane – gospodarcze, polityczne, makroekonomiczne; niekoniecznie powiązane bezpośrednio z rynkiem tego metalu. Przykładowo, ogólne trendy na rynku ropy naftowej czy na rynku walutowym w pewien sposób oddziałują na rynek tego surowca. Inne towary i surowce też mogą mieć wpływ, choć w mniejszym stopniu. Jeśli chodzi o skalę globalną, to wszystkie te wpływy i zmiany (wraz z handlem giełdowym) doprowadzają do kształtowania się jednej, światowej

ceny dla metali przemysłowych, zwłaszcza tych o znaczeniu strategicznym.

Przeprowadzone badania pokazują, że współczesny handel miedzią, jako ściśle powiązany z gospodarką Chin, bardzo mocno jest od niej zależny. To powoduje, że cena tego surowca reaguje w znacznie większym stopniu na dane z tej gospodarki, niż na dane z Europy lub USA, które to już nie są głównym odbiorcą tego metalu. Z drugiej strony, to właśnie Chiny, za sprawą giełdy SHFE wywierają zarówno pośredni, jak i bezpośredni wpływ na kształtowanie się cen miedzi na całym świecie.

## Literatura i źródła internetowe

- [1]. Surowce strategiczne i krytyczne dla Polski i UE, <https://www.gov.pl/web/klimat/surowce-strategiczne-i-krytyczne-dla-polski-i-ue> [dostęp 7.09.2026]
- [2]. S&P Global. The Future of Copper 2022 [dostęp 7.09.2026]
- [3]. IEA, International Energy Agency. World energy outlook 2023 [dostęp 7.09.2026]
- [4]. Guj P., Schodde R., Will future copper resources and supply be adequate to meet the net zero emission goal? *Geosystems and Geoenvironment* 4, 2025, 100320. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2024.100320>
- [5]. ICSG, International Copper Study Group. The World Copper Factbook 2025.
- [6]. IMF, International Monetary Fund. Special feature: commodity market developments and forecasts 2021.
- [7]. Monitorfx, <https://monitorfx.pl/rynek-miedzi/> [dostęp 12.11.2021]
- [8]. Chylińska M., Miłobędzki P., Zależności między cenami kontraktów terminowych na miedź na Giełdzie Kontraktów Terminowych w Szanghaju, *Zarządzanie i Finanse*, tom 13, nr 4/2, 2015, s. 5-23.
- [9]. Figuerola-Ferretti I., Gilbert C.L., Yan J., Copper Price Discovery on Comex, the LME and the SHFE, 2001–2013, *Universidad Carlos III de Madrid, Working Paper Business Economic Series*, vol. 2, No. 4., Madrid, 2014
- [10]. LME, <https://www.lme.com/market-data/reports-and-data/lme-official-prices#LME+Official+prices> [dostęp 7.09.2026]
- [11]. Rutledge R.W., Karim K., Wang R., International Copper Futures Market Price Linkage and Information Transmission: Empirical Evidence from the Primary World Copper Markets, *Journal of International Business Research*, Vol. 12, No. 1, 2013, Elsevier, Amsterdam, s. 113-131.
- [12]. Xiao, C., Florescu, I., Zhou, J., A comparison of pricing models for mineral rights: Copper mine in China. *Resources Policy*, 65, 2020, 101546. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2019.101546>.

- [13]. Bankier, <https://www.bankier.pl/surowce>  
[dostęp 7.09.2026]
- [14]. PB Newsletter, Na giełdzie w Londynie padł rekord kursu miedzi, To skutek spekulacji dotyczących cła w USA, 07.09.2026, <https://www.pb.pl/na-gieldzie-w-londynie-padl-rekord-kursu-miedzi-to-skutek-spekulacji-dotyczacych-cla-w-usa-1266644>  
[dostęp 09.09.2026]
- [15]. Investing.com, Plany Waszyngtonu ws. cel na miedź utknęły, premie spadają, 10.09.2026, <https://pl.investing.com/news/commodities-news/plany-waszyngtonu-ws-cel-na-miedz-utknely-premie-spadaja-93CH-1562604>  
[dostęp 11.09.2026]
- [16]. COMEX, <https://comexlive.org/copper/>  
[dostęp 7.09.2026]
- [17]. ICSG, International Copper Study Group, The World Copper Factbook 2021, <https://icsg.org/wp-content/uploads/2021/11/ICSG-Factbook-2021.pdf> [dostęp 06.02.2022]
- [18]. Yardeni, 2021, <https://www.yardeni.com/pub/coppercorrelation.pdf> [dostęp 13.11.2021]
- [19]. Oilprice, <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Crashing-Copper-Prices-Spell-Trouble-For-Oil.html> [dostęp 13.11.2021]
- [20]. Stooq, <https://stooq.pl> [dostęp 13.11.2021]
- [21]. Goldgeologist, [http://www.goldgeologist.com/mercenary\\_musings/musing-190204-A-Commentary-on-the-Correlation-of-Copper-and-Crude.pdf](http://www.goldgeologist.com/mercenary_musings/musing-190204-A-Commentary-on-the-Correlation-of-Copper-and-Crude.pdf) [dostęp 14.11.2021]
- [22]. Stopka M. Inwestor Profesjonalny, 28.07.2016, <https://www.michalstopka.pl/fundamentalna-analiza-ryнку-miedzi-w-kontekście-kghm/>  
[dostęp 12.02.2022]

### Streszczenie

Celem niniejszej publikacji jest analiza rynku jednego z najpopularniejszych surowców przemysłowych, jakim jest miedź. W badaniu skupiono się na trzech najważniejszych giełdach organizujących handel tym metalem. Zbadano dynamikę zmian jego ceny w przeciągu ostatnich dwóch dekad. Dokonano przeglądu sposobów sprzedaży giełdowej. Zweryfikowano powiązanie cen giełdowych z globalną ceną metalu. Zbadano korelację pomiędzy rynkiem miedzi a innymi, istotnymi rynkami – złota, ropy naftowej, dolara oraz indeksu towarowego *Industrials Commodity Price*. Jednocześnie wskazano diametralną zmianę kierunku zapotrzebowania na ten surowiec w ostatnich latach, co jest związane z intensywnym rozwojem gospodarek azjatyckich, przy głównym udziale Chin. W rezultacie nastąpił znaczący wzrost popytu na ten metal w ujęciu czasowym i jego zmiany geograficzne. Istotne zmiany dokonały również po stronie podaży, jak w wydobywaniu surowca, tak i w produkcji metalu. Należy zatem spodziewać się przesunięcia szczytu zapotrzebowania na miedź i jej stopy o kolejne kilkadziesiąt lat.

Słowa kluczowe: surowce, miedź, metale przemysłowe, popyt, podaż, cena, rynek, giełda

### ***Economic and non-economic factors influencing copper trading on the stock exchange and its price***

#### ***Abstract***

*This publication aims to analyze the market for copper, one of the most popular industrial raw materials. The study focuses on the three major exchanges where this metal is traded. It examines price dynamics over the past two decades and reviews exchange-based trading methods. The relationship between exchange prices and the global price of the metal is verified. Furthermore, the study investigates correlations between the copper market and other key markets—gold, crude oil, the US dollar, and the *Industrials Commodity Price Index*. It also highlights a dramatic shift in demand patterns for this commodity in recent years, driven by the rapid growth of Asian economies, particularly China. Consequently, there has been a significant rise in demand for the metal over time, accompanied by geographical shifts. Significant changes have also occurred on the supply side, affecting both raw material extraction and metal production. Therefore, a shift in the peak demand for copper and its alloys—pushing it decades further into the future—is to be expected.*

Keywords: raw materials, copper, industrial metals, demand, supply, price, market, exchange

Publikacja powstała w ramach badań finansowanych z subwencji na rozwój potencjału badawczego Politechniki Krakowskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz z projektu IDUB dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

# Ekoprojektowanie i marketing ekologiczny w praktyce inżynierskiej - między rzeczywistą zmianą a greenwashingiem

## 1. Wprowadzenie

Rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństw oraz zastrzegające się wymogi regulacyjne Unii Europejskiej sprawiają, że kategorie środowiskowe stają się integralnym elementem procesu projektowania i komercjalizacji produktów technicznych. Presja ta ma dwójaki charakter. Z jednej strony wynika z konieczności dostosowania procesów produkcyjnych i konstrukcyjnych do wymogów prawnych, takich jak unijne rozporządzenie w sprawie ekoprojektowania dla zrównoważonych produktów (z ang. Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR) [1] czy rozporządzenie w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (z ang. Packaging and Packaging Waste Regulation, PPWR) [18]. Z drugiej strony wynika z rosnących oczekiwań konsumentów wobec transparentności komunikacji środowiskowej producentów.

Zjawiskiem towarzyszącym tej transformacji jest gwałtowny wzrost liczby deklaracji ekologicznych formułowanych przez przedsiębiorstwa w materiałach marketingowych. Proliferacji „zielonych” twierdzeń rynkowych towarzyszy równoległy wzrost liczby prac naukowych poświęconych zjawisku greenwashingu, rozumianemu jako praktyka formułowania mylących lub przesadzonych twierdzeń środowiskowych [2]. Powstaje zatem istotne napięcie pomiędzy dwoma obszarami działalności przedsiębiorstw technicznych: inżynierią projektową, dążącą do rzeczywistej redukcji oddziaływań środowiskowych produktu w całym jego cyklu życia, a komunikacją marketingową, która (nie zawsze w sposób uzasadniony) wykorzystuje argumenty ekologiczne jako narzędzie budowania przewagi konkurencyjnej.

Napięcie to nie jest wyłącznie problemem komunikacyjnym czy wizerunkowym, a ma również wymiar organizacyjny. W wielu przedsiębiorstwach technicznych procesy projektowe (realizowane przez działy R&D lub inżynierii produktu) oraz procesy komunikacyjne (realizowane przez działy marketingu) funkcjonują w istotnym stopniu niezależnie od siebie. Sprzyja to sytuacjom, w których komunikat marketingowy powstaje w oderwaniu od faktycznie zweryfikowanych danych środowiskowych lub je istotnie upraszcza. Zrozumienie tej dynamiki organizacyjnej jest równie istotne, co znajomość samych metod technicznych czy przepisów prawa, ponieważ to na styku tych dwóch funkcji przedsiębiorstwa dochodzi najczęściej do powstania

ryzyka greenwashingu - nie zawsze w sposób zamierzony przez którąkolwiek ze stron.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie, w oparciu o aktualny stan wiedzy naukowej, dwóch komplementarnych perspektyw: metodycznych podstaw ekoprojektowania jako dyscypliny inżynierskiej oraz mechanizmów i ryzyk związanych z marketingiem ekologicznym, ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska greenwashingu i odpowiadających mu regulacji prawnych. Właściwe zrozumienie obu tych perspektyw staje się obecnie warunkiem koniecznym skutecznego i zgodnego z prawem wprowadzania produktów na rynek zarówno dla inżynierów jak również osób odpowiedzialnych za komunikację produktową w przedsiębiorstwach.

Literatura przedmiotu rozwija metodyczne podstawy ekoprojektowania oraz mechanizmy greenwashingu w istotnej mierze równoległe i w izolacji dyscyplinarnej. Pierwsza z tych ścieżek badawczych rozwijana jest głównie w naukach inżynierskich i naukach o środowisku (przeglądy metodyk LCA, S-LCA, norm zarządczych), druga zaś w naukach o zarządzaniu i marketingu (bibliometria greenwashingu, typologie twierdzeń środowiskowych, percepcja konsumentów). Rzadko natomiast te dwie perspektywy są zestawiane w ramach jednego, spójnego wywodu odnoszącego się do tej samej kategorii produktowej i osadzonego jednocześnie w aktualnym, dynamicznie zmieniającym się otoczeniu regulacyjnym Unii Europejskiej (takich jak: ESPR, PPWR, dyrektywa 2024/825, ISO 14075:2024). Dodatkowo regulacje, których większość weszła w życie lub została opublikowana dopiero w latach 2024-2025 nie zostały jeszcze w pełni omówione w literaturze przeglądowej.

Niniejszy artykuł proponuje zintegrowane ujęcie procesu projektowego i procesu komunikacyjnego jako dwóch faz tego samego łańcucha wartości środowiskowej produktu. Greenwashing jest tu traktowany nie jako odrębne zjawisko marketingowe, lecz jako symptom niedostatecznej integracji organizacyjnej między działami R&D/inżynierii a działem marketingu. Perspektywa ta pozostaje słabo obecna w dotychczasowej literaturze, koncentrującej się zazwyczaj wyłącznie na jednym z tych dwóch obszarów działalności przedsiębiorstwa. Ponadto, niniejszy artykuł systematyzuje i syntetyzuje w jednym opracowaniu najnowsze, w większości nieomówione jeszcze łącznie w literaturze przeglądowej, ramy normatywne i regulacyjne z lat 2024-2025 (normę ISO 14075:2024 dotyczącą społecznej oceny cyklu życia,

rozporządzenie PPWR oraz dyrektywę 2024/825), wskazując na ich wzajemne powiązania i implikacje praktyczne w odniesieniu do sektora opakowań przemysłowych. Niniejszy artykuł ilustruje powyższe ustalenia teoretyczne udokumentowanym i osadzonym w realnym postępowaniu sądowym studium przypadku. Pozwala to prześledzić ewolucję oceny tego samego stanu faktycznego w toku jednego postępowania i zestawień ją bezpośrednio z wymogami obecnie obowiązującego prawa unijnego. W ten sposób artykuł wypełnia częściowo wskazywaną w literaturze lukę dotyczącą niedostatku analiz opartych na

rzeczywistych, rozstrzygniętych sporach rynkowych, w miejsce dominujących dotąd badań ankietowych i eksperymentalnych opartych na deklarowanych intencjach konsumentów.

Ze względu na dynamikę zmian prawnych i normatywnych w omawianym obszarze, w Tabeli 1 zestawiono aktualny status kluczowych aktów prawa unijnego oraz norm technicznych przywoływanych w niniejszym artykule. Wszystkie dalsze odniesienia do tych aktów w kolejnych rozdziałach są z tym zestawieniem spójne.

**Tabela 1.** Akty prawa unijnego oraz normy techniczne kluczowe dla omawianego obszaru (wg. stanu na wrzesień 2026 roku)

| Akt prawny / norma               | Oznaczenie formalne                                     | Status (IX 2026)                      | Data przyjęcia / wejścia w życie / publikacji                                                                                     | Data rozpoczęcia stosowania                                                                                                                                                        |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ESPR                             | Rozporządzenie (UE) 2024/1781                           | Obowiązuje                            | Weszło w życie 18 lipca 2024 r.                                                                                                   | Stosowane bezpośrednio; wymogi szczegółowe i rejestr cyfrowego paszportu produktu (DPP) wdrażane sukcesywnie aktami delegowanymi (m.in. od 19 lipca 2026 r.)                       |
| PPWR                             | Rozporządzenie (UE) 2025/40                             | Obowiązuje (okres przejściowy)        | Opublikowane w Dzienniku Urzędowym UE 22 stycznia 2025 r.; weszło w życie 11 lutego 2025 r.                                       | Ogólne stosowanie od 12 sierpnia 2026 r.; wybrane wymogi (m.in. minimalne poziomy recyklatu, kryteria projektowania pod kątem recyklingu) wchodzi stopniowo do 2040 r.             |
| Dyrektywa 2024/825 (EmpCo/E CGT) | Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/825 | Obowiązuje, wchodzi w fazę stosowania | Przyjęta 28 lutego 2024 r.; weszła w życie 26 marca 2024 r.                                                                       | Termin transpozycji do prawa krajowego: 27 marca 2026 r.; stosowanie od 27 września 2026 r.                                                                                        |
| Dyrektywa Green Claims (projekt) | Wniosek COM(2023)166                                    | Zawieszona, formalnie niewycofana     | Zaproponowana przez Komisję Europejską w marcu 2023 r.; stanowisko negocjacyjne Parlamentu Europejskiego przyjęte w marcu 2024 r. | Nie weszła w życie; Komisja zapowiedziała wycofanie wniosku 20 czerwca 2025 r., lecz proces legislacyjny pozostaje formalnie zawieszony, a nie zakończony (stan na połowę 2026 r.) |
| ISO 14006                        | Norma międzynarodowa ISO 14006:2020                     | Obowiązuje                            | Pierwsze wydanie 2011 r.; aktualizacja 2020 r.                                                                                    | Stosowana dobrowolnie jako uzupełnienie systemu zarządzania środowiskowego ISO 14001                                                                                               |
| ISO 14075                        | Norma międzynarodowa ISO 14075:2024                     | Obowiązuje                            | Opublikowana w październiku 2024 r.                                                                                               | Stosowana dobrowolnie od dnia publikacji                                                                                                                                           |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1, 3, 11, 18, 23, 26].

Warto podkreślić, że dyrektywa 2024/825 wchodzi w fazę faktycznego stosowania 27 września 2026 roku, a więc w bezpośrednim sąsiedztwie czasowym powstania niniejszego artykułu, co nadaje omawianej problematyce szczególną aktualność praktyczną dla przedsiębiorstw technicznych planujących swoje kampanie komunikacyjne na najbliższe miesiące.

## 2. Ekoprojektowanie - podstawy i metodyka

Ekoprojektowanie definiowane jest jako podejście do projektowania produktów i usług, które uwzględnia ich oddziaływanie środowiskowe na wszystkich etapach cyklu życia - od pozyskania surowców, poprzez

produkcję i użytkowanie, aż po fazę wycofania z eksploatacji [3]. Koncepcja ta wywodzi się z projektowania ekologicznego lat 70-90 XX wieku. Od 2005 roku jest ściśle powiązana z unijną dyrektywą Ecodesign 2009/125/WE regulującą wymagania konstrukcyjne i eksploatacyjne dla wyrobów związanych z energią [4, 5]. Zgodnie z obowiązującą definicją ekoprojekt oznacza „uwzględnienie aspektów związanych ze zrównoważeniem środowiskowym w charakterystyce produktu i procesach zachodzących w całym łańcuchu wartości tego produktu” [1].

Podstawowym narzędziem metodycznym ekoprojektowania pozostaje sformalizowana w normach ISO 14040 [6] ocena cyklu życia (z ang. Life Cycle Assessment, LCA). Metoda ta umożliwia ilościowy pomiar oddziaływań środowiskowych produktu lub usługi, a jej zaletą jest mierzalność. W przeciwieństwie do trudniej kwantyfikowalnych pojęć „zrównoważoności” czy „cyrkularności”, LCA pozwala na porównywanie wariantów projektowych i obiektywizację procesu decyzyjnego. Tym samym zastosowanie tej techniki czyni ekoprojektowanie najbardziej operacyjnym spośród podejść projektowych zorientowanych środowiskowo. Jest ono jednym z narzędzi zrównoważonego rozwoju, opierającym się na jednym z trzech jego filarów. Ekoprojektowanie koncentruje się na aspekcie związanym z planetą, ograniczając negatywny wpływ produktów na środowisko już na etapie tworzenia ich koncepcji.

Istotnym uzupełnieniem metodyki LCA na poziomie organizacyjnym jest norma ISO 14006 („Systemy zarządzania środowiskowego - Wytyczne dotyczące uwzględniania ekoprojektowania”), opublikowana po raz pierwszy w 2011 roku i zaktualizowana w 2020 roku. Norma ta nie ustanawia samodzielnie kryteriów efektywności środowiskowej ani nie służy bezpośrednio do certyfikacji wyrobu, lecz dostarcza wytycznych umożliwiających organizacjom ustanowienie, udokumentowanie, wdrożenie, utrzymanie i systematyczne doskonalenie zarządzania ekoprojektowaniem jako elementu systemu zarządzania środowiskowego [3]. Istotną cechą praktyczną normy ISO 14006 jest jej komplementarność względem normy ISO 14001. Organizacje posiadające wdrożony system zarządzania środowiskowego zgodny z ISO 14001 mogą stosunkowo efektywnie rozszerzyć go o wymagania dotyczące ekoprojektowania. Z perspektywy niniejszego artykułu istotne jest to, że systemowe podejście proponowane przez ISO 14006, w odróżnieniu od jednostkowych analiz LCA prowadzonych ad hoc, tworzy trwałą infrastrukturę organizacyjną, która może stanowić rzetelną podstawę dowodową dla przyszłych komunikatów marketingowych. Jawi się ona tym samym jako metoda na ograniczenie ryzyka formułowania twierdzeń środowiskowych nieopartych na udokumentowanych danych.

W literaturze przedmiotu rozwijane są też liczne rozszerzenia i uzupełnienia klasycznej metodyki LCA. Przykładowo, w celu wsparcia procesu decyzyjnego na wczesnym etapie rozwoju produktu proponowane jest łączenie LCA z metodami wielokryterialnymi opartymi

na logice rozmytej, takimi jak COPRAS, co umożliwia ocenę wariantów konstrukcyjnych w warunkach niepewności danych wejściowych [7]. Innym istotnym kierunkiem rozwoju jest prospektywna ocena cyklu życia (z ang. prospective LCA, pLCA), stosowana do szacowania przyszłych oddziaływań środowiskowych technologii znajdujących się jeszcze na wczesnym etapie dojrzałości technologicznej. Obecnie obserwowany jest rozwój technik upscalingu danych, m.in. symulacji procesowych, obliczeń inżynierskich oraz krzywych uczenia technologicznego, jako narzędzi umożliwiających wiarygodne prognozowanie wpływu środowiskowego technologii jeszcze przed ich pełnym wdrożeniem przemysłowym [8].

Warto również zaznaczyć, że metodyka LCA, mimo swojej dojrzałości metodologicznej, pozostaje przedmiotem dalszych prac udoskonalających. Najczęściej wskazuje się na nierozwiązane w pełni zagadnienia metodyczne, takie jak ocena produktów i procesów wielofunkcyjnych, praktyki cyrkularne, dynamiczna LCA, regionalizacja danych, monetaryzacja skutków środowiskowych czy ocena wpływu na bioróżnorodność [9]. Należy również podkreślić, że LCA jest ściśle powiązane z analizą kosztów cyklu życia (z ang. Life-Cycle Costing, LCC) [10] oraz analizą społecznych kosztów życia (z ang. Social Life Cycle Assessment, SLCA) [11]. Połączenie tych trzech analiz pozwala objąć wszystkie trzy aspekty zrównoważonego rozwoju, tj. środowiskowy, ekonomiczny i społeczny.

Skalę i dojrzałość dziedziny dobrze ilustruje przegląd literatury poświęconej ekoprojektowaniu, w której zidentyfikowano pięć głównych obszarów badawczych: terminologię, ewolucję koncepcji, bariery i czynniki sukcesu wdrożenia, metody i narzędzia oraz synergie między nimi [12, 13, 14]. Większość publikacji pochodzi z Europy i koncentruje się na identyfikacji barier oraz czynników sukcesu wdrażania ekoprojektowania w praktyce przemysłowej, co sugeruje, że mimo bogatego dorobku metodycznego, praktyczne upowszechnienie tych narzędzi w przedsiębiorstwach wciąż napotyka istotne ograniczenia organizacyjne i kompetencyjne [15, 16].

Z punktu widzenia ram regulacyjnych kluczowe znaczenie ma wspomniane już rozporządzenie ESPR, które w istotny sposób rozszerza zakres wcześniejszej dyrektywy 2009/125/WE [5] z wyrobów energochłonnych na niemal wszystkie kategorie produktów wprowadzanych na rynek UE. Rozporządzenie to wprowadza również koncepcję cyfrowego paszportu produktu (z ang. Digital Product Passport, DPP), tj. elektronicznego systemu rejestrowania, przetwarzania i udostępniania informacji o produkcie w całym łańcuchu dostaw [1]. Rozwiązanie to ma istotne implikacje inżynierskie, ponieważ wymaga systematycznego gromadzenia danych środowiskowych już na etapie projektowania, co w praktyce oznacza konieczność integracji metodyki LCA z systemami zarządzania cyklem życia produktu (z ang. Product Lifecycle Management, PLM) na poziomie infrastruktury informatycznej przedsiębiorstwa.

### 3. Ekoprojektowanie w branży opakowań przemysłowych

Opakowania stanowią kategorię produktową o szczególnym znaczeniu dla praktyki ekoprojektowania. Z jednej strony pełnią funkcję ochronną i logistyczną niezbędną do dystrybucji niemal wszystkich towarów przemysłowych i konsumpcyjnych, z drugiej zaś strony generują istotny strumień odpadów. Jak pokazano w opisanym w rozdziale 6 studium przypadku, często odpowiadają też za znaczną część śladu środowiskowego całego produktu. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że decyzje projektowe dotyczące opakowań powinny opierać się na wynikach oceny cyklu życia obejmujących pełny system opakowaniowy, a nie na pojedynczym, wyizolowanym wskaźniku, takim jak masa materiału czy udział recyklatu. Optymalizacja jednego parametru może prowadzić do pogorszenia innych aspektów środowiskowych lub funkcjonalnych, np. redukcja masy opakowania może obniżać jego wytrzymałość mechaniczną i w konsekwencji zwiększać straty produktu w łańcuchu dystrybucji [17]. W tym samym ujęciu wyróżnia się trzy komplementarne poziomy interwencji projektowej: poziom komponentu (dobór materiału, redukcja jego ilości), poziom struktury produktu (konstrukcja opakowania, liczba warstw, separowalność materiałów) oraz poziom systemu produktowego, obejmujący optymalizację logistyki, wielokrotnego użytku oraz zagospodarowania opakowania po zakończeniu jego funkcji użytkowej [17].

Praktyka ekoprojektowania opakowań w Unii Europejskiej wkracza obecnie w nowy etap regulacyjny wraz z przyjęciem rozporządzenia w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (z ang. Packaging and Packaging Waste Regulation, PPWR) [18]. Rozporządzenie to opublikowane zostało w Dzienniku Urzędowym UE 22 stycznia 2025 roku, a jego ogólne stosowanie rozpoczyna się od 12 sierpnia 2026 roku, zastępując tym samym dotychczasową dyrektywę 94/62/WE. Zgodnie z aktualnym stanem na dzień powstania niniejszego artykułu, przedsiębiorstwa znajdują się zatem w ostatniej fazie 18-miesięcznego okresu przejściowego przewidzianego na dostosowanie się do nowych wymogów. W odróżnieniu od zastępowanej dyrektywy, rozporządzenie PPWR ma charakter bezpośrednio obowiązujący we wszystkich państwach członkowskich, co ma istotnie ograniczyć dotychczasowe rozbieżności we wdrażaniu wymogów dotyczących opakowań pomiędzy poszczególnymi krajami UE.

Rozporządzenie PPWR wprowadza szereg wymogów o bezpośrednim znaczeniu dla praktyki ekoprojektowania. Główne cele to:

- ograniczenie ilości odpadów opakowaniowych (minimalizacja stosowania opakowań),
- promowanie recyklingu (wymogi dotyczące możliwości recyklingu, minimalna zawartość materiałów pochodzących z recyklingu, projektowanie z myślą o recyklingu – z ang. Design4Recycling),

- poprawa zgodności z wymogami ochrony środowiska (obowiązki w zakresie ponownego użycia, przepisy dotyczące ponownego użycia),

- zwiększenie przejrzystości (jednolite wymogi dotyczące etykietowania, zakazy).

Najważniejsze cele w zakresie ponownego użycia dotyczące opakowań przemysłowych wraz z ustanowionymi terminami przedstawione zostały w tabeli 2.

**Tabela 2.** Cele w zakresie ponownego użycia dotyczące opakowań przemysłowych (w %% w odniesieniu do roku kalendarzowego)

| Rodzaj opakowania                                        | Cel        | Termin             |
|----------------------------------------------------------|------------|--------------------|
| Opakowania transportowe nadające się do ponownego użycia | 40%<br>70% | 2030 r.<br>2040 r. |
| Opakowania zbiorcze nadające się do ponownego użycia     | 10%<br>25% | 2030 r.<br>2040 r. |
| Opakowania wielokrotnego użytku do napojów               | 10%<br>40% | 2030 r.<br>2040 r. |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [18].

Od 1 stycznia 2030 roku wszystkie opakowania wprowadzane na rynek unijny będą musiały być zaprojektowane pod kątem recyklingu materiałowego (z ang. design for recycling, DfE) zgodnie z kryteriami opracowywanymi obecnie przez Komisję Europejską dla poszczególnych kategorii opakowań. Każda jednostka opakowaniowa wprowadzana na rynek będzie musiała osiągnąć co najmniej 70% wskaźnika zdolności do recyklingu do 2030 roku oraz 80% do 2038 roku. Rozporządzenie wprowadza również obowiązkowe minimalne poziomy zawartości materiału z recyklingu w opakowaniach z tworzyw sztucznych, które w zależności od kategorii opakowania wynoszą od 30% do 65% od 2030 roku. Wprowadzaną zmianą są także wymogi dotyczące minimalizacji objętości i masy opakowania, ograniczające udział pustej przestrzeni wewnątrz opakowania transportowego do maksymalnie 50% [18]. Uzupełnieniem tych wymogów są regulacje dotyczące etykietowania i przejrzystości informacyjnej opakowań oraz wprowadzenie zasady rozszerzonej odpowiedzialności producenta (z ang. Extended Producer Responsibility, EPR).

Z perspektywy inżynierskiej rozporządzenie PPWR oznacza konieczność systematycznego przeprojektowania istniejących linii opakowaniowych z wyprzedzeniem sięgającym niejednokrotnie kilku lat, ponieważ zmiany konstrukcyjne opakowań pociągają za sobą zwykle także zmiany w liniach produkcyjnych, testach jakościowych oraz w łańcuchu dostaw materiałów opakowaniowych. Jednocześnie harmonogram wdrażania rozporządzenia, z kluczowymi kryteriami projektowania pod kątem recyklingu (z ang. Design for Recycling, DfR), ma zostać przyjęty dopiero do 2028 roku. Tworzy to istotną niepewność planistyczną dla przedsiębiorstw, które już dziś muszą podejmować długoterminowe decyzje inwestycyjne dotyczące materiałów i technologii

opakowaniowych. Warto zaznaczyć, że ta sama niepewność regulacyjna, opisana w kontekście przepisów dotyczących komunikacji marketingowej w rozdziale 5, występuje zatem również na poziomie samych wymogów projektowych. Uzasadnia to rekomendowane w poprzednim rozdziale 2 podejście oparte na systemowym zarządzaniu ekoprojektowaniem zgodnym z ISO 14006, umożliwiającym elastyczne dostosowywanie praktyk projektowych do ewoluujących wymogów prawnych, zamiast jednorazowych, kosztownych interwencji podejmowanych dopiero w obliczu zbliżającego się terminu wdrożenia.

Istotnym elementem praktyki ekoprojektowania opakowań pozostaje ponadto wybór między materiałami alternatywnymi, tj. tworzywami sztucznymi pochodzącymi z recyklingu, materiałami biopochodnymi oraz materiałami tradycyjnymi, takimi jak szkło czy metal, którego nie należy podejmować w oderwaniu od pełnej oceny cyklu życia. Rozporządzenie PPWR wprowadza w tym zakresie odrębne wymogi dotyczące tworzyw biopochodnych (art. 8 PPWR) oraz opakowań kompostowalnych (art. 9 PPWR), sygnalizując, że sama zmiana surowca na pochodzenia roślinnego lub biodegradowalnego nie jest automatycznie równoznaczna z niższym oddziaływaniem środowiskowym opakowania w ujęciu pełnego cyklu życia [18]. Jest to ważne również w kontekście bezpośredniego znaczenia dla ryzyka formułowania niedostatecznie zweryfikowanych twierdzeń marketingowych dotyczących „naturalności” lub „biodegradowalności” opakowania.

#### **4. Marketing ekologiczny - mechanizmy i cele**

Marketing ekologiczny definiowany jest jako element strategii komunikacyjnej przedsiębiorstwa, wykorzystujący atrybuty środowiskowe produktu, procesu produkcyjnego lub organizacji jako argumentu w procesie budowania wartości rynkowej. W odróżnieniu od klasycznego marketingu produktowego, marketing ekologiczny operuje kategoriami trudniej weryfikowalnymi z perspektywy przeciętnego odbiorcy, takimi jak „neutralność klimatyczna”, „biodegradowalność” czy „równoważoność”. Z tego względu czyni to tę formę komunikacji szczególnie wrażliwą na ryzyko niezamierzonego lub też celowego wprowadzenia w błąd.

W kontekście przedsiębiorstw technicznych i przemysłowych szczególne znaczenie ma perspektywa relacji między przedsiębiorstwami (z ang. business-to-business, B2B), w której komunikacja środowiskowa podlega odmiennym mechanizmom niż w klasycznym marketingu konsumenckim. Systematyczny przegląd literatury interdyscyplinarnej wskazuje, że przedsiębiorstwa działające na rynkach B2B mierzą się z rosnącą presją aktywizmu środowiskowego przy formułowaniu strategii marketingowych, co wymaga identyfikowania rozbieżności między deklarowanymi komunikatami a faktycznymi praktykami organizacyjnymi w warunkach zaostrażającego się

otoczenia regulacyjnego [19]. Istotną cechą odróżniającą komunikację B2B od komunikacji B2C (z ang. business to consumer) jest to, że odbiorcą komunikatu środowiskowego bywa dział zaopatrzenia lub inżynier odpowiedzialny za dobór komponentów, dysponujący zazwyczaj większą wiedzą techniczną i możliwością żądania dokumentacji potwierdzającej twierdzenia środowiskowe (np. raportów LCA, deklaracji środowiskowych produktu EPD) niż przeciętny konsument, co z jednej strony ogranicza skuteczność powierzchownych komunikatów marketingowych w tym segmencie, z drugiej zaś strony zwiększa znaczenie rzetelnie prowadzonej dokumentacji technicznej jako elementu strategii sprzedażowej. Mechanizm ten ma szczególne znaczenie w sektorze opakowań przemysłowych, w którym producenci materiałów i systemów opakowaniowych komunikują atrybuty środowiskowe swoich rozwiązań przede wszystkim odbiorcom instytucjonalnym (markom właścicielskim i sieciom dystrybucyjnym), a nie bezpośrednio konsumentom finalnym. Przesuwa to punkt ciężkości komunikacji z prostych haseł marketingowych na udokumentowane parametry techniczne, takie jak wskaźnik zdolności do recyklingu zgodny z kryteriami PPWR czy udział materiału pochodzącego z recyklingu.

Istotnym elementem współczesnego marketingu ekologicznego są narzędzia weryfikacji i egzekwowania wiarygodności komunikatów środowiskowych, w tym rozwijające się zastosowania sztucznej inteligencji. W literaturze wskazuje się na wykorzystanie modeli uczenia maszynowego oraz przetwarzania języka naturalnego (z ang. Natural Language Processing, NLP) do wykrywania wzorców selektywnego doboru języka w raportach zrównoważonego rozwoju, a także do przewidywania rozbieżności między deklarowaną polityką środowiskową przedsiębiorstw a ich rzeczywistymi działaniami operacyjnymi [2]. Rozwój tych narzędzi analitycznych stanowi istotną zmianę jakościową w stosunku do wcześniejszych metod weryfikacji, opartych głównie na analizie treści raportów niefinansowych i audytach zewnętrznych. Z perspektywy przedsiębiorstw technicznych oznacza to rosnące prawdopodobieństwo automatycznego wykrycia niespójności między komunikatem marketingowym a dokumentacją techniczną produktu - zarówno przez regulatorów, jak i przez organizacje pozarządowe oraz media wyspecjalizowane w analizie danych korporacyjnych.

Warto podkreślić, że skuteczność komunikacji ekologicznej w istotnym stopniu zależy od percepcji konsumenckiej, która ma charakter złożony, obejmujący komponenty poznawcze, afektywne i behawioralne. W literaturze proponowana jest typologia kognitywno-afektywno-behawioralna, pozwalająca analizować reakcje konsumentów na komunikaty środowiskowe poprzez pryzmat zrozumienia poznawczego, reakcji emocjonalnej oraz wpływu na zachowania zakupowe [20, 2]. Zrozumienie tej złożoności ma bezpośrednie znaczenie praktyczne dla działów marketingu przedsiębiorstw technicznych,

ponieważ wskazuje, że sama poprawność merytoryczna komunikatu środowiskowego nie gwarantuje jego skuteczności rynkowej ani pozytywnego odbioru przez odbiorców. W praktyce oznacza to, że komunikat oparty wyłącznie na precyzyjnych, lecz trudnych w odbiorze danych technicznych (np. wynikach LCA wyrażonych w jednostkach ekwiwalentu CO<sub>2</sub>) może okazać się równie nieskuteczny marketingowo, co komunikat uproszczony do granic akceptowalności regulacyjnej. Wskazuje to na potrzebę opracowywania komunikatów środowiskowych we współpracy interdyscyplinarnej między inżynierami a specjalistami ds. komunikacji, łączącej rzetelność merytoryczną z przystępnością przekazu.

Szczególnie dobrze udokumentowanym w literaturze obszarem zastosowania marketingu ekologicznego jest komunikacja dotycząca opakowania. Pełni ono w tym kontekście podwójną funkcję. Z jednej strony jest nośnikiem fizycznych atrybutów środowiskowych produktu (takich jak: materiał, masa, zdolność do recyklingu), itp.), z drugiej zaś jest głównym punktem kontaktu komunikacyjnego z konsumentem w miejscu sprzedaży, co czyni je niewątpliwie elementem strategii ekomarketingowej. Badania eksperymentalne wskazują, że etykiety ekologiczne umieszczane na opakowaniu wpływają na intencje zakupowe konsumentów przede wszystkim w sposób pośredni. Kształtują one postrzeganą przyjazność środowiskową produktu, a nie są związane z bezpośrednią interakcją z samym materiałem opakowaniowym [21]. Oznacza to, że sama zmiana materiału opakowania na bardziej zrównoważony, bez towarzyszącej jej czytelnej komunikacji tego faktu na etykiecie, może nie przełożyć się na zauważalną zmianę percepcji konsumentckiej. Stanowi to istotny argument praktyczny przemawiający za integracją decyzji projektowych i komunikacyjnych już na etapie planowania opakowania.

Jednocześnie badania wskazują na poważne ryzyko towarzyszące niespójnej komunikacji dotyczącej opakowań. Eksperymentalna analiza reakcji konsumentów na produkty pakowane w sposób niespójnie zrównoważony, a więc łączące np. materiał opakowaniowy o wysokiej zdolności do recyklingu z etykietą sugerującą dodatkowe, niepotwierdzone korzyści środowiskowe, wykazała, że tego typu niespójność jest przez konsumentów odbierana jako potencjalnie zwodnicza i obniża zaufanie do marki silniej niż brak jakiegokolwiek komunikacji środowiskowej [22]. Wniosek ten ma istotne znaczenie dla praktyki ekomarketingu opakowań. Sugeruje on bowiem, że częściowe lub wybiórcze komunikowanie korzyści środowiskowych opakowania (nawet jeśli poszczególne twierdzenia są z osobna prawdziwe) może być odbierane jako mniej wiarygodne niż komunikacja pełna i jednoznaczna. Koresponduje to z wymogami substancjonowania twierdzeń środowiskowych wprowadzanymi przez dyrektywę 2024/825 [23]. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest rozbieżność między obiektywną oceną środowiskową materiału opakowaniowego a jego subiektywną percepcją przez konsumentów, którzy, jak wskazują

badania, definiują opakowanie „przyjazne środowisku” przede wszystkim przez pryzmat prostych heurystyk, takich jak zdolność do recyklingu, możliwość ponownego użycia oraz minimalna ilość zastosowanego materiału, niekoniecznie pokrywających się z wynikami pełnej oceny cyklu życia [24]. Z perspektywy przedsiębiorstw z branży opakowań przemysłowych oznacza to konieczność uwzględniania w strategii ekomarketingowej nie tylko rzeczywistych wyników LCA, lecz również dominujących w danej grupie docelowej heurystyk percepcyjnych przy jednoczesnym unikaniu komunikacji, która wykorzystywałaby te uproszczone skojarzenia w sposób nieoparty pełną dokumentacją środowiskową, co byłoby równoznaczne z ryzykiem greenwashingu opisanym szczegółowo w rozdziale 5. Analogiczne mechanizmy percepcyjne i komunikacyjne dotyczą coraz częściej formułowanych przez przedsiębiorstwa techniczne komunikatów o charakterze społecznym dotyczących np. „etycznego łańcucha dostaw”, „odpowiedzialnego pozyskiwania surowców” czy „bezpiecznych warunków pracy” u dostawców. O ile w przypadku twierdzeń środowiskowych podstawą substancjonowania może być środowiskowa LCA, o tyle analogiczną rolę wobec twierdzeń społecznych może pełnić opisana w rozdziale 2 społeczna ocena cyklu życia, sformalizowana niedawno w normie ISO 14075:2025 [11]. Rosnące znaczenie tego wymiaru komunikacji marketingowej wynika z obserwowanego w praktyce zjawiska przenikania się ryzyk środowiskowych i społecznych w ramach raportowania ESG, gdzie komunikaty dotyczące filaru społecznego (S) są, obok komunikatów środowiskowych (E), przedmiotem rosnącej uwagi inwestorów, regulatorów i organizacji pozarządowych [25].

## **5. Dysonans między rzeczywistością a wizerunkiem - zjawisko greenwashingu**

Centralnym zagadnieniem łączącym perspektywę inżynierską i marketingową jest zjawisko greenwashingu. Definiowane jest ono jako praktyka formułowania mylących lub przesadzonych twierdzeń dotyczących korzyści środowiskowych produktu, procesu lub organizacji. W literaturze przedmiotu można wyodrębnić pięć głównych sposobów konceptualizacji tego zjawiska. Są to: (1) greenwashing jako celowe wprowadzanie w błąd lub dezinformacja (2) greenwashing jako symboliczne działanie środowiskowe pozbawione rzeczywistych zmian operacyjnych, (3) greenwashing jako przesada w formułowaniu twierdzeń środowiskowych, (4) greenwashing jako intencjonalne oszustwo służące uzyskaniu przewagi konkurencyjnej, oraz (5) greenwashing jako źródło dezorientacji i erozji zaufania konsumentów [2].

Skala zjawiska oraz jego konsekwencje dla zaufania rynkowego skłoniły prawodawcę unijnego do podjęcia zdecydowanych działań regulacyjnych. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/825, przyjęta 28 lutego 2024 roku, nowelizuje dyrektywy

2005/29/WE oraz 2011/83/UE, wprowadzając mechanizmy ochrony konsumentów przed nieuczciwymi praktykami rynkowymi związanymi z transformacją ekologiczną [23]. Państwa członkowskie zobowiązane są do transpozycji dyrektywy do prawa krajowego do 27 marca 2026 roku, a jej faktyczne stosowanie rozpoczyna się 27 września 2026 roku. Dyrektywa ta w szczególności zakazuje stosowania ogólnikowych etykiet środowiskowych, takich jak „przyjazny dla środowiska” czy „biodegradowalny”, bez odpowiedniego uzasadnienia opartego na uznanych i istotnych wskaźnikach efektywności środowiskowej [23]. Wprowadza również wymóg, aby etykiety zrównoważonego rozwoju opierały się na systemach certyfikacji zatwierdzonych przez organy publiczne lub weryfikowanych przez niezależną stronę trzecią, zgodnie ze standardami międzynarodowymi, unijnymi lub krajowymi [23]. Istotnym elementem regulacji jest także ograniczenie możliwości formułowania twierdzeń o neutralności klimatycznej opartych wyłącznie na kompensacji emisji gazów cieplarnianych, co bezpośrednio adresuje jedną z najczęściej krytykowanych praktyk [23].

Warto zauważyć, że otoczenie regulacyjne w tym obszarze pozostaje dynamiczne i nie w pełni ustabilizowane. Powiązana z powyższą regulacją dyrektywa dotycząca twierdzeń środowiskowych (z ang. Green Claims Directive) [26], miała wprowadzić dodatkowe wymogi w zakresie substancjonowania i weryfikacji twierdzeń ekologicznych przed ich publikacją [26]. Mimo wycofania tej dyrektywy przez Komisję Europejską w czerwcu 2025 roku, wprowadzone przez nią standardy pozostają istotnym punktem odniesienia w kontekście obowiązywania dyrektywy 2024/825 [23] oraz odpowiednich regulacji krajowych państw członkowskich. Ta niejednoznaczność stanowi istotne wyzwanie praktyczne dla działów prawnych, projektowych i marketingowych przedsiębiorstw technicznych, które muszą planować swoje działania komunikacyjne w warunkach niepewności co do ostatecznego kształtu regulacji. Rekomendowaną praktyką w takich warunkach pozostaje przyjęcie zasady ostrożności, a więc formułowanie komunikatów środowiskowych zgodnie z bardziej rygorystycznym z obowiązujących lub projektowanych standardów, niezależnie od ostatecznego rozstrzygnięcia losów poszczególnych aktów prawnych.

Z perspektywy metodologicznej istotne jest wskazanie ograniczeń dotychczasowych badań nad greenwashingiem, ponieważ wyznaczają one kierunki dalszych prac naukowych istotnych również dla praktyki inżynierskiej. W literaturze wskazuje się na przewagę badań o charakterze przekrojowym, uniemożliwiających identyfikację długoterminowych skutków ekspozycji na komunikaty typu greenwashing dla wartości marki, ograniczoną liczbę badań eksperymentalnych analizujących rzeczywiste zachowania zakupowe (w miejsce deklarowanych intencji), częste wykorzystywanie prób wygodnych o niskiej reprezentatywności oraz utrzymujący się spór metodologiczny dotyczący standardów pomiaru

„autentycznego” marketingu ekologicznego w odróżnieniu od twierdzeń niepełnych, lecz niekoniecznie nieuczciwych [27, 28, 29]. Ten ostatni problem ma szczególne znaczenie dla przedsiębiorstw technicznych, ponieważ granica między uproszczoną, lecz uczciwą komunikacją korzyści środowiskowych a komunikacją wprowadzającą w błąd nie zawsze jest jednoznaczna z perspektywy samego nadawcy komunikatu.

## **6. Studium przypadku: opakowanie wody butelkowanej Evian a twierdzenie „carbon neutral”**

### **6.1. Metodyka studium przypadku**

Przyjęta w niniejszym artykule metoda badawcza opiera się na jakościowym, opisowym studium przypadku pojedynczego (single case study), którego celem jest egzemplifikacja i pogłębienie ustaleń teoretycznych przedstawionych w rozdziałach 2-5. Wybór przypadku Evian/Danone podyktowany był trzema przesłankami. Po pierwsze, jest to przypadek o wysokiej jednoznaczności dokumentacyjnej. W przeciwieństwie do większości domniemyanych przypadków greenwashingu, opisywanych w literaturze głównie na podstawie analizy treści komunikatów marketingowych lub deklaracyjnych badań konsumenckich, analizowany przypadek doczekał się formalnego rozstrzygnięcia w postępowaniu sądowym. Dostarcza to rzadko dostępnego w tej dziedzinie materiału źródłowego o charakterze dowodowym, a nie wyłącznie interpretacyjnym. Po drugie, wybrany do analizy przypadek ten charakteryzuje się reprezentatywnością dla kategorii produktowej będącej przedmiotem rozdziału 3, tj. opakowania FMCG opartego na tworzywach sztucznych, w których to właśnie opakowanie, a nie sam produkt, generuje większość śladu środowiskowego. Przypadek ten jest więc typowym, a nie skrajnym przykładem dylematów projektowo-komunikacyjnych opisywanych w niniejszym opracowaniu. Po trzecie, wybrany do analizy przypadek ilustruje aktualność napięcia regulacyjnego. Rozstrzygnięcie sądu amerykańskiego, oparte na kryterium „technicznej prawdziwości” komunikatu, może być bezpośrednio zestawione z wymogami dyrektywy 2024/825, co pozwala na porównawczą analizę dwóch odmiennych podejść prawnych do tego samego stanu faktycznego.

Materiał źródłowy wykorzystany w analizie obejmuje trzy kategorie dokumentów: (1) dokumentację procesową sprawy sądowej *Dorris v. Danone Waters of America* (nr 22 Civ. 8717, Sąd Okręgowy USA dla Południowego Dystryktu Nowego Jorku), w tym treść postanowienia z 10 stycznia 2024 roku oraz późniejszego rozstrzygnięcia po wniosku o ponowne rozpatrzenie sprawy [32, 33]. oraz relacji prasowych dokumentujących finalne rozstrzygnięcie [35]; (2) publicznie dostępne materiały producenta oraz analizy branżowe dotyczące struktury śladu węglowego marki i deklarowanych działań ekoprojektowych opakowania

[30, 31]; (3) literaturę naukową dotyczącą ekoprojektowania opakowań [17] oraz typologii greenwashingu [2, 36], wykorzystaną jako ramy interpretacyjne do klasyfikacji analizowanego przypadku. Należy przy tym zaznaczyć ograniczenie źródłowe: analiza nie objęła bezpośredniego dostępu do wewnętrznej dokumentacji LCA producenta ani do pełnych akt sądowych, lecz opierała się na wtórnych, publicznie dostępnych opracowaniach tych materiałów, co jest typowym ograniczeniem metodycznym studiów przypadku opartych na źródłach zastanych.

Analiza przypadku została przeprowadzona według czterostopniowego schematu, odzwierciedlonego w strukturze podrozdziałów 6.2–6.5: (a) opis produktu i kontekstu rynkowego, w tym skali oddziaływania środowiskowego opakowania; (b) rekonstrukcja zastosowanych narzędzi i deklarowanych działań ekoprojektowych, ze szczególnym uwzględnieniem rozróżnienia między redukcją emisji u źródła a ich kompensacją; (c) analiza treści komunikatu marketingowego oraz przebiegu jego weryfikacji sądowej; (d) ocena spójności przypadku względem typologii greenwashingu przedstawionej w rozdziale 5 oraz względem wymogów dyrektywy 2024/825, nieobowiązującej w momencie wydania rozstrzygnięcia sądu amerykańskiego, lecz stanowiącej właściwy punkt odniesienia dla oceny analogicznych praktyk na rynku unijnym. Przyjęte kryterium oceny spójności nie ma charakteru ilościowego (nie jest to audyt zgodności w rozumieniu formalnym), lecz jakościowe i polega na zestawieniu treści komunikatu marketingowego z mechanizmem faktycznie zastosowanym do jego uzasadnienia (redukcja vs. kompensacja emisji) oraz wymogami substancjonowania twierdzeń środowiskowych wynikającymi z aktualnego prawa unijnego.

## 6.2. Opis produktu i kontekstu rynkowego

Przedmiotem analizy jest opakowanie wody źródlanej Evian. Jest to marka należąca do koncernu Danone, który jest liderem światowej sprzedaży wody niegazowanej pod względem wolumenu [30]. Do 2025 roku opakowanie wody źródlanej Evian wykonane było w przeważającej mierze z politereftalanu etylenu (PET). Jest to tworzywo pochodzenia ropopochodnego, którego produkcja i utylizacja stanowią istotny udział w całkowitym oddziaływaniu środowiskowym produktu, w tym również śladzie węglowym. Warto podkreślić, że w przypadku tej kategorii wyrobów opakowanie odpowiada za większość oddziaływania środowiskowego całego produktu. Według danych producenta, w przypadku Evian opakowanie generuje 51% całkowitego śladu węglowego marki, podczas gdy produkcja rocznie ok. 50 miliardów butelek PET tej kategorii wymaga surowca odpowiadającego 1,5 miliona baryłek ropy naftowej [31]. W 2020 roku Evian ogłosiła osiągnięcie statusu marki „carbon neutral” w skali globalnej jako pierwsza marka w portfolio Danone, opierając tę deklarację na dwóch filarach: redukcji własnego śladu węglowego oraz na

kompensacji pozostałych emisji poprzez programy ochrony i odtwarzania ekosystemów wodnych [31].

## 6.3. Zastosowane narzędzia i deklarowane działania ekoprojektowe

Z perspektywy ekoprojektowania działania producenta koncentrowały się na dwóch typowych dla tej kategorii produktowej strategiach: (1) redukcji ilości materiału opakowaniowego oraz zwiększaniu udziału tworzywa pochodzącego z recyklingu (rPET), a także (2) poszukiwaniu alternatyw materiałowych, w tym tworzyw opartych na surowcach roślinnych, z deklarowanym celem osiągnięcia 25% udziału tworzyw z recyklingu w butelkach do 2020 roku [31]. Działania te wpisują się w klasyczne strategie ekoprojektowania opakowań opisywane w literaturze przedmiotu obejmujące poziom komponentu (ograniczenie ilości zużywanego materiału czy też dobór materiałów o niższym wskaźniku oddziaływania), poziom struktury produktu oraz poziom systemu produktowego, uwzględniający optymalizację końca cyklu życia opakowania [17]. Istotnym ograniczeniem tych działań pozostaje jednak fakt, że deklarowana neutralność klimatyczna w znacznej mierze opierała się nie na rzeczywistej redukcji emisji netto w procesie produkcyjnym, lecz na mechanizmie kompensacji (offsetu) emisji poprzez finansowanie zewnętrznych projektów środowiskowych, co stanowi metodologicznie odmienne podejście od redukcji emisji u źródła.

## 6.4. Analiza komunikacji marketingowej i jej weryfikacja sądowa

Twierdzenie „carbon neutral” umieszczone zostało na etykiecie produktu obok wizerunku alpejskiego krajobrazu, sugerującego naturalne pochodzenie i ekologiczny charakter produktu. W 2022 roku konsumenci, Stephanie Dorris i John Axiotakis, wnieśli pozew zbiorowy przeciwko spółce Danone Waters of America [32]. Główny zarzut dotyczył oznaczenia „carbon neutral”, które wprowadzało w błąd co do rzeczywistego wpływu środowiskowego produktu, ponieważ proces produkcyjny w dalszym ciągu wiązał się z emisją dwutlenku węgla do atmosfery, a redukcja netto opierała się w istotnej mierze na kompensacji, a nie na eliminacji emisji u źródła [33].

W orzeczeniu z 10 stycznia 2024 roku sąd federalny odmówił oddalenia powództwa, uznając, że termin „carbon neutral” stanowi pojęcie techniczne, nienależące do potocznego słownika przeciętnego konsumenta i mogące mieć wiele znaczeń, a zatem nie można było z góry wykluczyć jego zdolności do wprowadzania w błąd [33]. Sąd zakwalifikował to sformułowanie jako przykład ogólnego twierdzenia o korzyści środowiskowej (z ang. *general environmental benefit claim*), przed którym ostrzegają wytyczne Federalnej Komisji Handlu USA [34], oraz uznał, że oczekiwanie od konsumenta, iż w celu zrozumienia znaczenia etykiety odwiedzi on stronę internetową

marki, jest wobec niego nadmiernym wymaganiem [33]. Na tej podstawie sąd dopuścił do dalszego postępowania roszczenia oparte na przepisach o ochronie konsumentów stanów Massachusetts i Kalifornia, uznając za wystarczające twierdzenie powodów, że zapłacili cenę premium w przekonaniu o rzeczywistej korzyści środowiskowej produktu [33]. Warto jednak odnotować dalszy przebieg postępowania, istotny z perspektywy analizy tego przypadku. Po wniosku firmy Danone o ponowne rozpatrzenie sprawy, sędzia Nelson Roman zmienił swoje wcześniejsze stanowisko, uznając, że rozsądny konsument powinien „spojrzeć poza etykietę frontową” i sprawdzić etykietę tylną, zawierającą odesłanie do strony internetowej z pełniejszym wyjaśnieniem pojęcia „carbon neutral”. W rezultacie sąd oddalił powództwo, stwierdzając, że oświadczenia Danone są „technicznie prawdziwe”, a odpowiednie wyjaśnienia zostały udostępnione konsumentom [35].

### 6.5. Ocena spójności w świetle typologii greenwashingu

Analizowany przypadek dobrze ilustruje kategorię greenwashingu określaną w literaturze jako twierdzenie na poziomie firmy (z ang. *firm-level claim*), a więc wprowadzanie konsumentów w błąd co do praktyk środowiskowych organizacji poprzez formułowanie deklaracji (np. o neutralności klimatycznej) bez dostarczenia jednoznacznego dowodu potwierdzającego rzeczywisty mechanizm jej osiągnięcia [36]. Jednocześnie przypadek ten uwidacznia praktyczną trudność w jednoznacznym rozstrzygnięciu granicy między komunikacją uczciwą a wprowadzającą w błąd. Sąd zmienił swoją ocenę tego samego stanu faktycznego w toku jednego postępowania, co potwierdza wskazywany w literaturze brak ugruntowanych standardów pomiaru „autentyczności” twierdzeń środowiskowych [27]. Z perspektywy obowiązującego obecnie prawa unijnego ocena tego przypadku mogłaby być prawdopodobnie odmienna niż ostateczne rozstrzygnięcie sądu amerykańskiego. Dyrektywa 2024/825 wprost ogranicza możliwość formułowania twierdzeń o neutralności klimatycznej opartych wyłącznie na kompensacji emisji gazów cieplarnianych, uznając taką praktykę za potencjalnie wprowadzającą w błąd niezależnie od tego, czy stosowne wyjaśnienia zostały udostępnione konsumentowi w innym miejscu niż główna etykieta produktu [23]. Przypadek Evian stanowi zatem instruktywny przykład rozbieżności między dotychczasową praktyką orzecniczą opartą na kryterium „technicznej prawdziwości” komunikatu a kierunkiem rozwoju regulacji unijnych, które koncentrują się na kryterium substancjonowania i jednoznaczności twierdzenia niezależnie od jego formalnej poprawności. Dla praktyki inżynierskiej i marketingowej przedsiębiorstw z branży opakowań przemysłowych płynie stąd wniosek o konieczności opierania komunikatów o neutralności klimatycznej przede wszystkim na udokumentowanej redukcji emisji

w cyklu życia opakowania (np. poprzez zwiększenie udziału materiałów z recyklingu, redukcję masy opakowania czy zmianę źródła energii w procesie produkcyjnym), z kompensacją emisji traktowaną wyłącznie jako uzupełniający, wyraźnie oznaczony element strategii, a nie jako samodzielna podstawa twierdzenia marketingowego.

## 7. Wnioski i rekomendacje

Przeprowadzona analiza jest próbą zintegrowanego ujęcia dwóch obszarów działalności przedsiębiorstw przemysłowych i technicznych, które w praktyce funkcjonują często w oderwaniu od siebie, tj. inżynierskiej metodyki ekoprojektowania oraz komunikacji marketingowej wykorzystującej argumenty środowiskowe i społeczne. Przegląd literatury wykazał, że ekoprojektowanie dysponuje dziś dojrzałym i wielowymiarowym aparatem metodycznym obejmującym środowiskową ocenę cyklu życia (LCA), jej rozszerzenia (metody wielokryterialne, prospektywna LCA, analiza kosztów cyklu życia), społeczną ocenę cyklu życia (S-LCA) sformalizowaną w normie ISO 14075:2024 oraz systemowe ramy zarządcze w postaci normy ISO 14006. Równolegle wykazano, że marketing ekologiczny, mimo rosnącego znaczenia rynkowego, pozostaje obszarem podwyższonego ryzyka reputacyjnego i prawnego ze względu na zjawiska greenwashingu i social washingu, których mechanizmy i typologie zostały szczegółowo omówione. Sektor opakowań przemysłowych, będący przedmiotem odrębnej analizy w rozdziale 3 oraz studium przypadku w rozdziale 6, okazał się szczególnie instruktywnym kontekstem ilustrującym powyższe zjawiska zarówno ze względu na newralgiczną rolę opakowania w całkowitym śladzie środowiskowym wielu produktów, jak i ze względu na nadchodzącą, głęboką transformację regulacyjną tego sektora wynikającą z rozporządzenia PPWR.

Przeprowadzony przegląd literatury, uzupełniony o studium przypadku dotyczące sektora opakowań przemysłowych, pozwala sformułować kilka wniosków istotnych zarówno dla praktyki inżynierskiej, jak i dla zarządzania komunikacją produktową w przedsiębiorstwach technicznych.

Po pierwsze, praktyczne wdrożenie ekoprojektowania w przedsiębiorstwach przemysłowych i technicznych, pomimo dojrzałości samych narzędzi metodycznych, wciąż napotyka bariery organizacyjne i kompetencyjne. Po drugie, rozwój regulacji unijnych, a w szczególności ESPR wraz z cyfrowym paszportem produktu, PPWR, dyrektywy 2024/825, wskazuje na trwałe kierunek zaostrzania wymogów wobec substancjonowania twierdzeń środowiskowych przy jednoczesnym budowaniu wspólnej infrastruktury danych, na której takie twierdzenia mogłyby się opierać. Studium przypadku opisane w rozdziale 6 pokazuje konsekwencje zaniedbania tej zasady. Twierdzenie uznane za „technicznie prawdziwe” na gruncie prawa amerykańskiego najprawdopodobniej nie spełniałoby dziś wymogów prawa unijnego.

Po trzecie, wskazane w literaturze luki badawcze dotyczące zwłaszcza długoterminowych efektów ekspozycji na komunikaty środowiskowe, standardów pomiaru autentyczności marketingu ekologicznego oraz mechanizmów rozstrzygania sporów o granice greenwashingu na poziomie orzecznictwa wyznaczają obiecujące kierunki dalszych badań interdyscyplinarnych, które mogłyby być prowadzone we współpracy między ośrodkami inżynierskimi a badaczami zarządzania, marketingu i prawa.

Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułować można następujące rekomendacje szczegółowe dla przedsiębiorstw projektujących, produkujących i komunikujących opakowania przemysłowe:

1. *Wczesne, etapowe dostosowanie do wymogów PPWR i ESPR.* Mimo że szczegółowe kryteria projektowania pod kątem recyklingu (z ang. Design for Recycling, DfE) mają zostać przyjęte przez Komisję Europejską dopiero do 2028 roku, przedsiębiorstwa powinny już dziś wdrażać zmiany konstrukcyjne o wysokim prawdopodobieństwie zgodności z przyszłymi wymogami, np. redukcję liczby warstw materiałowych, zwiększanie separowalności komponentów opakowania oraz ograniczanie objętości pustej przestrzeni w opakowaniach transportowych zgodnie z limitami określonymi w rozporządzeniu. Równolegle mogłyby też budować infrastrukturę informatyczną zdolną do gromadzenia danych wymaganych przez cyfrowy paszport produktu. Traktowanie obu tych obowiązków łącznie jako jednego procesu przygotowawczego, a nie odrębnych inicjatyw mogłoby przynieść wielowymiarowe korzyści.

Rekomenduje się przyjęcie harmonogramu wdrożeniowego rozłożonego na kolejne lata, unikającego kosztownych, jednorazowych interwencji podejmowanych dopiero pod presją narzuconych terminów.

2. *Opieranie decyzji materiałowych na pełnej LCA systemu opakowaniowego, a nie na pojedynczym wskaźniku.* Wybór między materiałami z recyklingu, materiałami biopochodnymi a materiałami tradycyjnymi powinien wynikać z oceny cyklu życia obejmującej cały system opakowaniowy łącznie z konsekwencjami dla wytrzymałości mechanicznej, strat produktu w dystrybucji oraz realnej dostępności infrastruktury recyklingowej, a nie z optymalizacji jednego, wyizolowanego parametru, takiego jak masa czy udział recyklatu.

3. *Integracja danych projektowych z komunikacją marketingową już na etapie rozwoju opakowania.* Ze względu na wykazany w literaturze pośredni mechanizm oddziaływania etykiet środowiskowych na intencje zakupowe konsumentów, decyzje dotyczące treści komunikacji na opakowaniu powinny być podejmowane równolegle z decyzjami projektowymi, a nie jako odrębny, następczy etap procesu, tak aby komunikat rynkowy wiernie i w pełni odzwierciedlał udokumentowane parametry środowiskowe opakowania.

4. *Unikanie częściowej lub wybiórczej komunikacji korzyści środowiskowych.* Wyniki analizy wskazują, że niespójne łączenie realnych atrybutów

środowiskowych opakowania z niepotwierdzonymi lub przesadzonymi twierdzeniami dodatkowymi obniża zaufanie konsumentów silniej niż brak jakiejkolwiek komunikacji środowiskowej. Rekomenduje się formułowanie komunikatów pełnych i jednoznacznych, zgodnych z wymogami substancjonowania wprowadzanymi przez dyrektywę 2024/825, oraz unikanie ogólnikowych sformułowań w rodzaju „przyjazny dla środowiska” bez odniesienia do konkretnego, zweryfikowanego wskaźnika.

5. *Uwzględnianie heurystyk percepcyjnych konsumentów bez ich instrumentalnego nadużywania.* Konsumenti definiują opakowanie „ekologiczne” przede wszystkim przez pryzmat prostych sygnałów, takich jak zdolność do recyklingu, możliwość ponownego użycia i minimalna ilość materiału. Komunikacja marketingowa powinna uwzględniać te skojarzenia jako punkt wyjścia edukacji rynku, nie zaś jako pretekst do formułowania twierdzeń niepopartych pełną dokumentacją środowiskową, co byłoby równoznaczne z ryzykiem greenwashingu.

6. *Przygotowanie do wdrożenia cyfrowego paszportu produktu jako narzędzia budowania zaufania.* Przedsiębiorstwa z sektora opakowaniowego powinny z wyprzedzeniem budować infrastrukturę informatyczną zdolną do gromadzenia i udostępniania danych środowiskowych wymaganych przez DPP w ramach ESPR, traktując to rozwiązanie nie wyłącznie jako obciążenie regulacyjne, lecz jako szansę na wiarygodne odróżnienie się od konkurentów stosujących powierzchowną komunikację ekologiczną.

7. *Rozszerzenie oceny o wymiar społeczny zgodny z ISO 14075:2024.* Biorąc pod uwagę wykazany w studium przypadku związek między komunikacją środowiskową a jej wymiarem społecznym (np. wpływ programów kompensacyjnych na lokalne społeczności), przedsiębiorstwa opakowaniowe powinny rozważyć rozszerzenie istniejących procesów oceny środowiskowej o systematyczną ocenę społeczną obejmującą łańcuch dostaw surowców opakowaniowych, co pozwoli wyprzedzająco ograniczać ryzyko zarówno greenwashingu, jak i social washingu.

## Literatura

- [1]. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1781 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie ustanowienia ram ustalania wymogów ekoprojektu w odniesieniu do zrównoważonych produktów oraz zmiany dyrektywy (UE) 2020/1828 i rozporządzenia (UE) 2023/1542 i uchylenia dyrektywy 2009/125/WE. Dostępne na: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=OJ:L\\_202401781#pbl\\_1](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401781#pbl_1) [dostęp: 10.07.2026]
- [2]. Persakis, A., Nikolopoulos, T., Negkakis, I.C., Pavlopoulos, A. (2025) *Greenwashing in marketing: a systematic literature review and bibliometric analysis*. International Review on Public and Nonprofit Marketing, 22, 957–992. <https://doi.10.1007/s12208-025-00452-x>

- [3]. PN-EN ISO 14006:2020-08, Systemy zarządzania środowiskowego – Wytyczne do wdrażania ekoprojektowania.
- [4]. DYREKTYWA 2005/32/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 6 lipca 2005 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię oraz zmieniająca dyrektywę Rady 92/42/EWG, oraz dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 96/57/WE i 2000/55/WE. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005L0032> [dostęp: 10.07.2026].
- [5]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0125> [dostęp: 10.07.2026].
- [6]. PN-EN ISO 14040:2006/zm.1:2020. Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.
- [7]. Ng, C. Y., & Law, Kris. M. Y. (2024). Eco-performance evaluation of product designs - an integrated fuzzy complex proportional assessment with life cycle assessment. *Enterprise Information Systems*, 18(3). <https://doi.org/10.1080/17517575.2023.2300995>
- [8]. Marson, A., Benozzi, A., Manzardo, A. (2025). Looking to the Future: Prospective Life Cycle Assessment of Emerging Technologies. *Chemistry – A European Journal*, Vol. 31(25). <https://doi.org/10.1002/chem.202500304>
- [9]. Birat, J.P., Fick, G. (2025). *Recent Advances in Life Cycle Assessment and Other Sustainability Metrics*. cScience, Vol. 1(1). <https://doi.org/10.1002/csc3.70007>
- [10]. ISO 15686-5:2017. Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 5: Life-cycle costing.
- [11]. ISO 14075:2025. Environmental management - Principles and framework for social life cycle assessment (S-LCA).
- [12]. Rossi, M., Germani, M., Zamagni, A. (2016) Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 129, 361-373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.051>
- [13]. Schäfer, M., & Löwer, M. (2021). Ecodesign—A Review of Reviews. *Sustainability*, 13(1), 315. <https://doi.org/10.3390/su13010315>
- [14]. Johansson, G. (2002) Success factors for integration of ecodesign in product development. A review of state of the art. *Environmental Management and Health*, Vol. 13(1), 98-107. <https://doi.org/10.1108/09566160210417868>
- [15]. Ren, J., Toniolo, S. (Eds.), (2020) *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*, Elsevier Inc., Amsterdam, Oxford, Cambridge. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02095-2>
- [16]. Kiemel, S., Rietdorf, C., Schutzbach, M., Mieke, R. (2022) How to simplify life cycle assessment for industrial applications - a comprehensive review. *Sustainability* 14, 23 (2022). <https://doi.org/10.3390/su142315704>
- [17]. Yudison, D.P.Y., Bher, A., Auras, R. (2026). *Leveraging Life Cycle Assessment for Informing Packaging Eco-Design and Eco-Modulation*. *Sustainable Development*, 0:1-20. <https://doi.org/10.1002/sd.70659>
- [18]. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmiany rozporządzenia (UE) 2019/1020 i dyrektywy (UE) 2019/904 oraz uchylenia dyrektywy 94/62/WE, Dz.U. L, 2025/40, 22.1.2025. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32025R0040> [dostęp: 12.07.2026].
- [19]. Vangeli, A., Małecka, A., Mitreğa, M., Pfajfar, G. (2023). From greenwashing to green B2B marketing: A systematic literature review. *Industrial Marketing Management*, 115, 281–299. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2023.10.002>
- [20]. Shi, J., Omar, N.A. (2024) The effect of greenwashing on green purchase intention: Perceived betrayal as a mediator and brand loyalty as a moderator. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(9), 7520. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i9.7520>
- [21]. Ollitervo, V., Sipilä, J., Terho, H. (2025). *The Package Says More Than a Thousand Words: The Effect of Eco-Labeling and Package Material on Consumer's Purchase Intentions*. *Journal of Consumer Behaviour*, 24(3), 1421–1440. <https://doi.org/10.1002/cb.2473>
- [22]. Steenis, N., van Herpen, E., van der Lans, I., van Trijp H.C.M. (2022) *Partially Green, Wholly Deceptive? How Consumers Respond to (In)Consistently Sustainable Packaged Products in the Presence of Sustainability Claims*. *Journal of Advertising*, 52(4), 1-20. <https://doi.org/10.1080/00913367.2022.2047841>
- [23]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/825 z dnia 28 lutego 2024 r. w sprawie zmiany dyrektyw 2005/29/WE i 2011/83/UE w odniesieniu do wzmocnienia pozycji konsumentów w procesie transformacji ekologicznej poprzez lepszą ochronę przed nieuczciwymi praktykami oraz lepsze informowanie. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32024L0825> [dostęp: 15.07.2026].
- [24]. Oloyede, O.O., Lignou, S. (2021) Sustainable Paper-Based Packaging: A Consumer's Perspective. *Foods* 10(5), 1035; <https://doi.org/10.3390/foods10051035>
- [25]. Leung, C.T-L. (2026) *Social Washing and Authentic Accountability*. *Encyclopedia*, 6(4), 92; <https://doi.org/10.3390/encyclopedia6040092>

- [26]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie uzasadniania wyraźnych oświadczeń środowiskowych i informowania o nich (dyrektywa w sprawie oświadczeń środowiskowych). COM (2023) 166 final. Bruksela, dnia 22.3.2023. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52023PC0166&qid=1788438928334> [dostęp: 15.07.2026].
- [27]. Prasanthi, M. (2025) *Greenwashing vs. Green Marketing: Consumer Perceptions and Brand Trust*, Journal of Marketing & Social Research (2025). 2(7), 251-257.
- [28]. Srivastava, P. (2025) *Greenwashing vs. Green Trust: A Review Study of Consumer Perceptions and Responses to Sustainability Claims in Marketing*. International Journal for Multidisciplinary Research, 7(4). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i04.52697>
- [29]. Daou, L., Sayegh, E., Atallah, E., Jabbour Al Maalouf, N., & Sarkis, N. (2025). *Greenwashing as a Barrier to Sustainable Marketing: Expectation Disconfirmation, Confusion, and Brand–Consumer Relationships*. Sustainability, 17(22), 9979. <https://doi.org/10.3390/su17229979>
- [30]. MarketsandMarkets™ (2024) Bottled Water Processing Market. Raport 3195. Dostępne na: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/bottled-water-processing-market-73331968.html> [dostęp: 5.07.2026].
- [31]. Shackleton, C. (2016) From Evian to Naïve – it's time to throttle the plastic bottle. Dostępne na: <https://aainstitute.hbs.edu/platform-rectom/submission/from-evian-to-naive-its-time-to-throttle-the-plastic-bottle/> [dostęp: 2.07.2026].
- [32]. Dorris v. Danone Waters of America, 7:22-cv-08717, (S.D.N.Y. Oct 13, 2022) ECF No. 1. Dostępne na: <https://www.courtlistener.com/docket/65421949/1/dorris-v-danone-waters-of-america/> [dostęp: 10.07.2026].
- [33]. Barry, M., Tigre, M.A. (2024) February 2024 Updates to the Climate Case Charts. Dostępne na <https://climate.law.columbia.edu/news/february-2024-updates-climate-case-charts> [dostęp: 10.07.2026].
- [34]. Federal Trade Commission (2012) Guides for the Use of Environmental Marketing Claims. Federal Register/Vol. 77, No. 197/. Dostępne na: <https://www.ftc.gov/news-events/topics/truth-advertising/green-guides> [dostęp: 10.07.2026].
- [35]. Stempel, J. (2024) Evian maker Danone defeats lawsuit over 'carbon neutral' claim. Reuters. Dostępne na: <https://www.reuters.com/legal/evian-maker-danone-defeats-lawsuit-over-carbon-neutral-claim-2024-11-18/> [dostęp: 10.07.2026].
- [36]. Ruggieri, M., Vinci, G., Ruggieri, R. and Savastano, M. (2025), *Facing the Risk of Greenwashing in the ESG Report of Global Companies: The Importance of Life Cycle Thinking*. Corp Soc Responsib Environ Manag, 32: 4216-4234. <https://doi.org/10.1002/csr.3178>

### Streszczenie

Artykuł podejmuje problematykę napięcia pomiędzy dwoma obszarami działalności przedsiębiorstw technicznych: ekoprojektowaniem, rozumianym jako inżynierska metodyka ograniczania oddziaływań środowiskowych i społecznych produktu w całym cyklu jego życia, a marketingiem ekologicznym, wykorzystującym atrybuty środowiskowe i społeczne produktu jako narzędzie budowania przewagi konkurencyjnej. Na podstawie przeglądu aktualnej literatury naukowej oraz obowiązujących i projektowanych aktów prawa unijnego (rozporządzenie ESPR, rozporządzenie w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych PPWR, dyrektywa 2024/825, dyrektywa Green Claims) omówiono metodyczne podstawy ekoprojektowania - w tym środowiskową ocenę cyklu życia (LCA), jej rozszerzenia, społeczną ocenę cyklu życia (Social Life Cycle Assessment, S-LCA) sformalizowaną w opublikowanej w październiku 2024 roku normie ISO 14075, a także normy zarządzania środowiskowego (ISO 14006), ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki sektorowej branży opakowań przemysłowych, podlegającej obecnie istotnej transformacji regulacyjnej. Odrębną część artykułu poświęcono mechanizmom i ryzykom towarzyszącym komunikacji marketingowej o charakterze środowiskowym i społecznym, ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska greenwashingu oraz pokrewnego zjawiska social washing, a także empirycznym dowodom na to, że niespójna lub wybiórcza komunikacja atrybutów środowiskowych opakowań obniża zaufanie konsumentów silniej niż brak takiej komunikacji. Rozważania teoretyczne zilustrowano studium przypadku dotyczącym opakowania wody butelkowanej marki Evian i towarzyszącego mu twierdzenia „carbon neutral”, które stało się przedmiotem sporu sądowego w Stanach Zjednoczonych. Artykuł kończą wnioski i rekomendacje dotyczące integracji procesów projektowych i komunikacyjnych w przedsiębiorstwach technicznych, sformułowane z myślą o praktyce inżynierskiej oraz o kierunkach dalszych badań interdyscyplinarnych.

Słowa kluczowe: zrównoważone zarządzanie opakowaniami, ekoprojektowanie, marketing ekologiczny, ocena cyklu życia (LCA), greenwashing, social washing.

### **Ecodesign and Green Marketing in Engineering Practice - Between Real Change and Greenwashing**

#### Abstract

The paper addresses the tension between two areas of activity within technical enterprises: ecodesign, understood as an engineering methodology for reducing the environmental and social impacts of a product across its entire life cycle, and green marketing, which uses a product's environmental and social attributes as a tool for building competitive advantage. Based on a review of current scientific literature and both existing and proposed EU legal acts (the Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR; the Packaging and Packaging Waste Regulation, PPWR; Directive 2024/825; and the Green Claims Directive), the article discusses the methodological foundations of ecodesign including environmental Life Cycle Assessment (LCA) and its extensions, Social Life Cycle Assessment (S-LCA) as formalized in ISO 14075, published in October 2024, and the environmental management standard ISO 14006 with particular attention to the sector-specific context of industrial packaging, currently undergoing significant regulatory transformation. A separate part of the article is devoted to the mechanisms and risks associated with environmental and social marketing communication, with particular emphasis on the phenomenon of greenwashing and the related phenomenon of social washing, as well as empirical evidence that inconsistent or selective communication of packaging's environmental attributes undermines consumer trust more severely than the absence of such communication. The theoretical discussion is illustrated with a case study concerning the packaging of Evian bottled water and the accompanying "carbon neutral" claim, which became the subject of litigation in the United States. The paper concludes with findings and recommendations regarding the integration of design and communication processes within technical enterprises, formulated with a view to engineering practice and directions for further interdisciplinary research.

Keywords: sustainable packaging management, ecodesign, green marketing, life cycle assessment (LCA), greenwashing, social washing.

## Spis Treści

**mgr Grzegorz Maliszewski , prof. dr hab. Joanna Kulczycka**

Eko-indeks Millennium jako narzędzie oceny potencjału ekoinnowacyjnego polskich regionów ..... 2

**mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk**

Bioinspirowane systemy fotowoltaiczne jako nowy kierunek rozwoju OZE ..... 16

**dr Aleksander Iwaszczuk, mgr Jarosław Baran, dr hab. inż. Natalia Iwaszczuk**

Ekonomiczne i pozaekonomiczne czynniki wpływające na giełdowy handel miedzią i jej cenę ..... 24

**dr. inż. Joanna Witczak**

Ekoprojektowanie i marketing ekologiczny w praktyce inżynierskiej - między rzeczywistością a greenwashingiem ..... 32

**WYDAWCA: KRAKOWSKIE TOWARZYSTWO TECHNICZNE**

30-563 Kraków, ul. Malborska 10/6

Redaguje: **KOMITET**

Redaktor Naczelny: dr **OLGA JANIKOWSKA**, IGSMiE PAN, Kraków, e-mail: [olgajan@min-pan.krakow.pl](mailto:olgajan@min-pan.krakow.pl)

Z-ca Redaktora Naczelnego: prof. dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**

Sekretarz: dr inż. **NATALIA GENEROWICZ- CABA**, IGSMiE PAN, Kraków

Redaktor zeszytu nr 207:

prof. dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**

Kolegium Redakcyjne:

dr inż. **JERZY BANAS**

mgr inż. **MIECZYSLAW MAJCHER**

dr inż. **WIESLAWA STYKA**

Redakcja Naukowa:

prof. dr hab. inż. **AGNIESZKA GENEROWICZ**

dr hab. inż. **NATALIA IWASZCZUK**, prof. AGH

prof. dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**

prof. **GENNADIY PIVNYAK**

prof. **ROMAN EMILIAN DYCHKOVSKI**

prof. **NATALIIA IVANIVNA SHTEMENKO**

prof. dr hab. inż. **RYSZARD TADEUSIEWICZ**

Redaktor techniczny - skład i łamanie tekstu: mgr **MACIEJ MAŃKA**

Redakcja nie zwraca nadesłanych materiałów.

W publikowanych artykułach redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów. Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń.

© Copyright by Krakowskie Towarzystwo Techniczne 2026

**ISSN 1425-8390**

**NR INDEKSU 334008**



# EKO-INDEKS MILLENNIUM

Co to jest, jak działa i z czego składa się ten wskaźnik?

Potencjał ekoinnowacyjności regionów

*Zielona transformacja w liczbach*

CZYSZYSZE  
REGIONY  
SIŁNIEJSZA  
POLSKA

LUDZIE  
INNOWACJE  
ŚRODOWISKO  
PRZYSZŁOŚĆ



## 1. Co to jest?

Eko-indeks Millennium ocenia potencjał ekoinnowacyjności 16 polskich województw.

Pokazuje, jak regiony radzą sobie z zieloną transformacją, wykorzystaniem zasobów i rozwojem gospodarki o obiegu zamkniętym.



16  
województw  
w analizie



## 3. 5 obszarów indeksu

Kompleksowe spojrzenie na ekoinnowacyjność regionów



## 4. Metodyka w skrócie



**16**  
województw



**21**  
wskaźników



**5**  
subindeksów



Porównywalna  
skala wyników



Równe znaczenie  
analizowanych  
obszarów



Wynik końcowy  
pokazuje potencjał  
ekoinnowacyjności  
regionu



## 2. Jak działa?

Od danych do wyniku – w 4 prostych krokach



Z WIEDZY  
O REGIONACH  
DO ZIELONYCH  
MOŻLIWOŚCI

*Dane dziś.  
Lepsze jutro.*



## 5. Po co powstał ten indeks?

Realne korzyści dla regionów, ludzi i przyszłości



pokazuje liderów  
i obszary do poprawy



ułatwia  
porównanie regionów



wspiera dyskusję  
o zielonej transformacji



pomaga lepiej  
rozumieć rozwój regionów

*Zrównoważone  
regiony,  
większe możliwości*

# WARSZTATY TECHNICZNO-EKONOMICZNE

31 sierpnia - 1 września 2026

EUIndTech2025

EU  
IND  
TECH  
2025

Spotkanie połączone z promocją sponsorów i partnerów konferencji EUIndTech2025, prezentacją najważniejszych rezultatów konferencji oraz jubileuszem 80. urodzin prof. Zygmunta Kowalskiego.



Warsztaty były przestrzenią wymiany wiedzy, doświadczeń i dyskusji o współczesnych wyzwaniach nauki, przemysłu i gospodarki.

1

## W PROGRAMIE

**Prof. Zenon Fotynowicz**

„Wspólne fundamenty metodologiczne chemii i ekonomii”

Wykład poświęcony wspólnym podstawom metodologicznym obu dziedzin.

2

## EUIndTech2025

**Dr Agnieszka Nowaczek**

Prezentacja dokumentu „Deklaracja Małopolska” oraz partnerów i sponsorów konferencji.



Deklaracja



Partnerzy

80

## JUBILEUSZ



**Prof. Zygmunt Kowalski**

Podczas warsztatów świętowano 80. urodziny Profesora - wyjątkowy jubileusz i okazję do wspólnego spotkania.

### Partnerzy konferencji



### Patroni medialni

Radio  
Kraków

TVP3  
KRAKÓW

TVP info