

Marcin PIEKARSKI<sup>1</sup>, Klaudiusz GRÜBEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> EnobEMS firma INSTALPOL sp. z o.o., Bielska 13, 43-518 Ligota, Poland

<sup>2</sup> University of Bielsko-Biala, Department of Environmental Protection and Engineering, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland

ORCID / e-mail:

<sup>1</sup> [marcin.piekarski@enob.eu](mailto:marcin.piekarski@enob.eu)

<sup>2</sup> 0000-0002-0787-9324 / [kgrubel@ubb.edu.pl](mailto:kgrubel@ubb.edu.pl)

## Możliwości ograniczania śladu węglowego poprzez wykorzystanie systemu zarządzania energią (EMS)

### Słowa kluczowe:

energia elektryczna, ciepło systemowe, zarządzanie energią, kluczowe parametry efektywności energetycznej, przemysł, produkcja

## The possibilities of limiting the trace of coal through the use of the Energy Management System (EMS)

### Keywords:

electricity, system heat, energy management, key parameters of energy efficiency, industry, production

### Abstract

Increasing energy efficiency will be essential to achieving the climate goals laid out in European Union directives. This is particularly true for industries, whose share of heat and energy consumption, using Poland as an example, is about one-third of the total. This challenge has implications both in reducing greenhouse gas emissions, particularly CO<sub>2</sub>, but also for maintaining the competitiveness of EU countries' industries in the global market. Implementation in industrial processes of energy management systems - EMS, monitoring energy key performance indicators - KPI, is a tool for making informed investment decisions, in increasing energy efficiency of enterprises and industrial processes. There is the Industrial Energy Management System (IEMS), which focuses on energy efficiency in industrial processes, the Building Energy Management System (BEMS) for buildings, such as commercial buildings, and the Home Energy Management System (HEMS), which is becoming increasingly popular for residential users and small properties.

The concept of measuring, or rather calculating, the Product Carbon Footprint (PCF) of a manufacturing process is derived from the broader concept of Life Cycle Assessment (LCA) in general. The PCF is expressed in Greenhouse Gas (GHG) equivalent units, or CO<sub>2</sub>-eq. The essence of the PCF calculation is a multi-faceted approach to addressing the sources of GHG emissions, from the acquisition of raw materials, their processing with tools and the energy supplied to the process, through the supply chain and transport to the customer. Each of these stages generates a cost in the form of greenhouse gas equivalent (GHG) emissions to the environment, and the sum of these costs is the present carbon footprint (PCF). Typically, the majority of a product's PCF comes from the extraction and pre-processing of the raw material itself.

## 1. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA W PRZEMYSŁE

Rozwój systemów zarządzania energią we wspomaganiu procesów produkcyjnych ma swój początek wraz z upowszechnieniem techniki cyfrowej oraz kolejnymi odłonami kryzysów paliwowych, które wstrząsnęły światową gospodarką. Oba te czynniki zaistniały niezależnie od siebie w latach siedemdziesiątych dwudziestego wieku. Kryzys paliwowy wywołany szokiem, jakim był niespodziewany atak Egiptu i Syrii na Izrael w święto Jom Kipur w 1973 roku, sprawił, że naiwne, jak się okazało przekonanie, iż energia może być dostępna i tania, połączone z nieokielznanym konsumowaniem ropy z Zatoki Perskiej, musiało ulec drastycznemu ograniczeniu, aby w konsekwencji się zmienić [Wiech 2019].

W kontekście ekonomicznym w pierwszej kolejności produkcja przemysłowa uległa silnej presji na skutek potrzeby zmniejszenia kosztów i optymalizacji wydajności procesów produkcyjnych. To aspekt finansowy wywierał bowiem główny nacisk na zainteresowanie ze strony przemysłu w pierwszym okresie rozwoju Zarządzania Energią (Energy Management System, EMS). Przemysł zaczął poszukiwać odpowiedzi na pytanie, jak produkować taniej w nowej na tamte czasy sytuacji drożającego paliwa, co w konsekwencji prowadziło do optymalizacji, także w sensie energetycznym.

Pojawiające się rozwiązania techniczne poprawiające efektywność procesu produkcji, w sposób naturalny stały się podwaliną dla zastosowań, standardów i technologii w innych strefach. Doprowadziło to do przeniesienia uwagi stricte z obszaru wytwórczego, a następnie wypracowaniu rozwiązań, które z czasem stały się niezależnymi subkategoriami. Dominującym jest postrzeganie EMS jako części składowej systemu zarządzania budynkiem (Building Management System, BMS), przyznając tym samym nadrzędność BMS jako całości, spinającej obiekt wraz z procesami, które się w nim odbywają. W innym ujęciu EMS pojawia się jako człon niezależny od BMS. Jednocześnie od początku XXI wieku popularność zaczęły zyskiwać systemy, których akronimy doprecyzowujące wywodzą się z zawężonego w ten sposób obszaru zastosowań. Stąd funkcjonują systemy zarządzania energią w przemyśle (Industrial Energy Management System, IEMS) skupione na efektywności energetycznej w procesach przemysłowych, zarządzania energią w obiekcie jako takim (Building Energy Management System, BEMS) w obszarze budynków np. komercyjnych, a także domowy system do zarządzania energią (Home Energy Management System, HEMS), zyskujący na popularności, przeznaczony dla użytkowników indywidualnych oraz niewielkich obiektów mieszkalnych.

Celem artykułu jest przedstawienie sytuacji energetycznej w UE oraz celów energetycznych wytyczonych na przyszłość. Na tym tle starano się pokazać sytuację w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem energochłonności przemysłu. Te elementy zostały odniesione do śladu węglowego oraz możliwości jego ograniczenia z wykorzystaniem systemu zarządzania energią (EMS).

## 2. CELE ENERGETYCZNE UE

Głównym czynnikiem, który napędza rozwój przemysłowych systemów EMS, oprócz zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa w imię oczekiwanych korzyści finansowych, są cele stawiane przed przemysłem, przede wszystkim przez Regulatorów, takich jak administracja krajowa bądź Unii Europejskiej. Celem nadrzędnym tej polityki jest osiągnięcie neutralności klimatycznej już w roku 2050 [Guzik i in. 2020], a droga wiedzie między innymi poprzez poprawę efektywności energetycznej np. produkcję połączoną z przechodzeniem na pobór energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych [European Commission 2021]. Przyjęte przez Komisję Europejską ambitne cele w zakresie ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> przekładają się na konkretne wymagania, które KE przedstawia poprzez swoje dyrektywy [Bukowski i Śniegocki 2014,

Statement WEC 2003], a kraje członkowskie np. Polska ujmują w swoich programach narodowych [Poland 2022 Energy Policy]. Przyjęte i poprawione jeszcze w 2023 roku cele zakładają, że do końca dekady, czyli do roku 2030, kraje członkowskie osiągną minimalny udział na poziomie 42,5% energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w ogólnym „miksie energetycznym”. U podstawy tego ambitnego planu znalazł się fakt, że efektywność energetyczna jest jednym z kluczowych elementów na drodze do wypełnienia celu klimatycznej neutralności do roku 2050 [Chevuturi i in. 2022]. Wcześniejsze cele zakładały osiągnięcie 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w UE do roku 2020, który to został osiągnięty z 2% nadwyżką tj. na poziomie 22,1% [Bukowski i Śniegocki 2014, Eurostat 2022, Rogala 2022] przy różnym udziale w państwach członkowskich (Tabela 1).

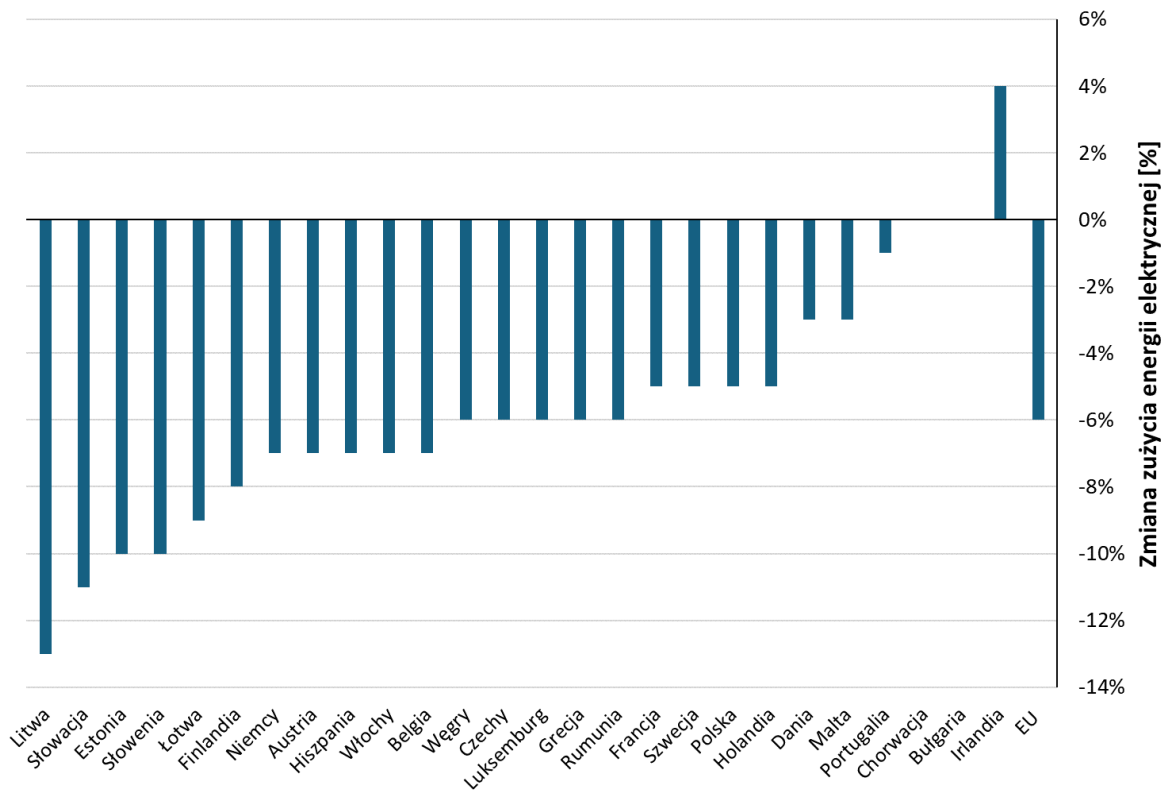
**Tab. 1.** Udział energii z odnawialnych źródeł w krajach członkowskich Unii Europejskiej na rok 2020 według danych Eurostatu [Eurostat 2022].

**Tab. 1.** Share of energy from renewable sources in the European Union member countries – year 2020 based on Eurostat data [Eurostat 2022].

Państwo	%	Państwo	%	Państwo	%
Szwecja	60,1	Słowenia	25,0	Czechy	17,3
Finlandia	43,8	Rumunia	24,5	Cypr	16,9
Łotwa	36,5	Bułgaria	23,3	Irlandia	16,2
Austria	36,5	Grecja	21,7	Polska	16,1
Portugalia	34,0	Hiszpania	21,2	Holandia	14,0
Dania	31,6	Włochy	20,4	Węgry	13,9
Chorwacja	31,0	Niemcy	19,3	Szwecja	13,0
Estonia	30,2	Francja	19,1	Luksemburg	11,7
Litwa	26,8	Słowacja	17,3	Malta	10,7

W ocenie Komisji Europejskiej równie ważnym obszarem działań jest redukcja ilości konsumowanej w Europie energii. To zadanie jest i będzie prawdziwym wyzwaniem, jeżeli stary kontynent chce pozostać oraz liczyć się w wyścigu o miano lidera rozwoju technologicznego. Jak wskazuje Dalio [2021] pozycja zjednoczonej Europy jako globalnego gracza w ostatnich kilku dekadach została osłabiona i Europa zsunęła się do drugiej światowej ligi. Powodem tego są: za słaba ekonomia, duży i rosnący dług, konflikty polityczne między państwami, niewystarczająca innowacyjność, słabość militarna oraz wysokie nierówności dochodów prowadzące do wzrostu populizmu, które ostatecznie spowodowały odłączenie Wielkiej Brytanii od reszty Unii Europejskiej. Poza tym Unia Europejska przedstawia kolejne ograniczenia ilości zużywanej energii pierwotnej i końcowej, które na przykład w odniesieniu do energii elektrycznej były niższe w drugim kwartale 2023 roku, w stosunku do analogicznego okresu 2022 roku o 6% [European Commission 2023] – Rysunek 1.

W ostatnich dekadach maksymalne zużycie energii miało miejsce w okolicy roku 2005 i od tego czasu sukcesywnie spada. W roku 2022 zużycie energii pierwotnej w całej Unii było 4% poniżej celu wytyczonego na rok 2020, a jednocześnie 26% powyżej projekcji na rok 2030. Analogicznie zużycie energii końcowej było około 2% niższe od celu założonego na rok 2020 oraz 23% wyższe niż założenia przyjęte na rok 2030 [Eurostat 2023].



**Rys. 1.** Roczna zmiana zużycia energii elektrycznej w Unii Europejskiej i krajach członkowskich na podstawie danych DG Energy przy Komisji Europejskiej [European Commission 2023].

**Fig. 1.** Annual change in electricity consumption in the European Union and member countries based on data from DG Energy of the European Commission [European Commission 2023].

### 3. ENERGOCHŁONNOŚĆ PRODUKCJI PRZEMYSŁOWEJ W POLSCE

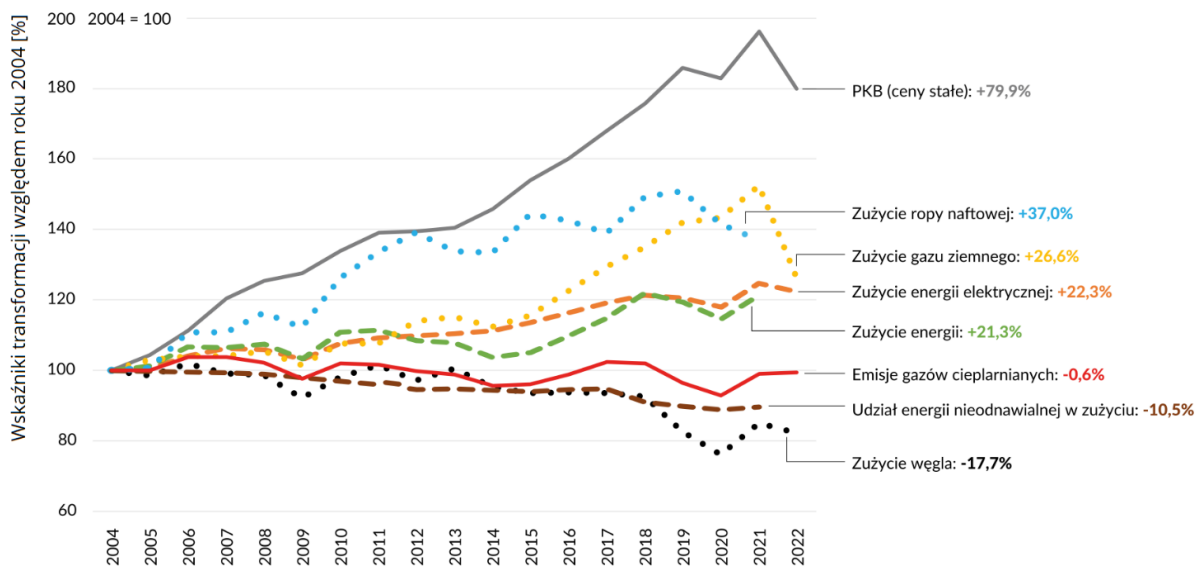
Jak podaje Główny Urząd Statystyczny [GUS 2023a], największy udział w zużyciu bezpośrednim energii w Polsce ma przemysł – w 2022 roku udział ten wynosił 32,8% i w ostatnich latach charakteryzował się niewielkimi wahaniami.

Podstawowym medium energetycznym dla przemysłu, a być może najważniejszym, bo takim, bez którego nowoczesna produkcja nie może funkcjonować, jest energia elektryczna. Bezpośrednie zużycie przez przemysł (wszystkie branże) w roku 2022 miało 51% udział w całości krajowej konsumpcji, z jednoczesnym udziałem przedsiębiorstw z grupy „przetwórstwo przemysłowe” na poziomie 33,5% [GUS 2023a].

Ceny energii elektrycznej dla produkcji przemysłowej w 2022 roku były po raz pierwszy wyższe niż dla odbiorców indywidualnych. Z kolei za drugi kwartał 2023 roku przemysł zapłacił w Polsce ceny hurtowe energii elektrycznej, które były jednymi z wyższych w Europie [European Commission 2023], a ich dynamiczny wzrost w odniesieniu do poprzedniego roku wyniósł aż 44% [Dusiło 2023]. W kolejnych miesiącach nastąpiło przełamanie trendu i ceny na Towarowej Gieldzie Energii zaczęły spadać, co wiązało się z obniżką cen podstawowych surowców energetycznych (węgiel, gaz, biomasa), niższą aktywnością energochłonnego przemysłu oraz obniżeniem cen w handlu uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub> [Derski 2024].

Przemysł jako grupa nie jest bynajmniej homogeniczny, stanowi go bowiem zróżnicowana mieszanka branż, które działają w zgoła odmiennych warunkach ekonomicznych, energetycznych i specyfiki technicznej procesów produkcyjnych. Niektóre z przedsiębiorstw potrafiły w ostatnim czasie wypracować własną strategię ograniczania zużycia nośników energetycznych [Backlund i in. 2012].

Należy w tym miejscu zauważyć, że energia elektryczna nie jest bynajmniej jedynym medium energetycznym wykorzystywanym w przemyśle. Na dużą skalę występują w nim również gazy palne np. gaz ziemny lub LPG, jako paliwo do zamiany na ciepło potrzebne do ogrzewania hal produkcyjnych lub konwersji wody do pary wodnej. W odniesieniu do gazu ziemnego szacuje się, że sektor przemysłowy odpowiada za znaczące zużycie tego surowca. Dla przykładu w 2021 roku jego zużycie w tym sektorze stanowiło 41% krajowej konsumpcji tego surowca [Dusiło 2023]. Jednocześnie, z racji bardzo wysokich cen, znacznie spadło, bo aż o 17%, liczone rok do roku. Zauważyć jednak należy, że pomimo rekordowego spadku w ostatnim czasie, zużycie gazu w Polsce sumarycznie rośnie o około 10% w czasie ostatniej dekady, a od wejścia do Unii Europejskiej w 2004 roku zwiększyło się o niespełna 27% [Dusiło 2023] – Rysunek 2.



**Rys. 2.** Wskaźniki polskiej transformacji energetycznej od wejścia do Unii Europejskiej odniesione do PKB wg Dusilo [2023].

**Fig. 2.** Indicators of the Polish energy transition since entering the European Union related to GDP according Dusilo [2023].

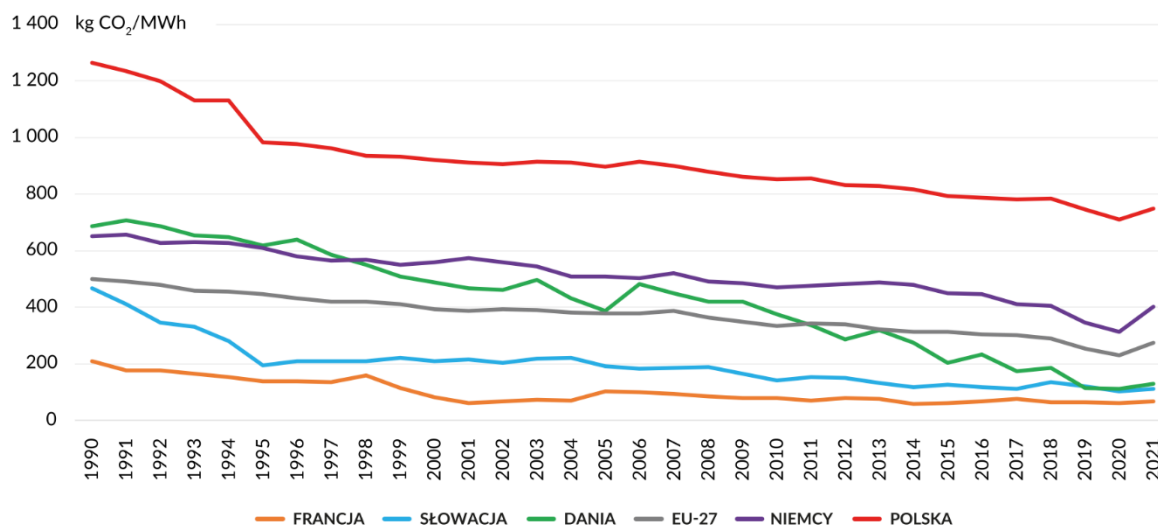
#### 4. ŚLAD WĘGLOWY W PRZEMYŚLE

Koncepcja mierzenia, a w zasadzie wyliczania śladu węglowego produktu (Product Carbon Footprint – PCF) wytwarzanego w procesie produkcyjnym wywodzi się z szerszego pojęcia, jakim jest ocena cyklu życia produktu (Life Cycle Assessment – LCA) w ogóle [Rüdele i Wolf 2023]. PCF wyrażana jest w jednostkach ekwiwalentnych gazu cieplarnianego (Green-Haus Gas – GHG), czyli CO<sub>2</sub>-eq. Istotą kalkulacji wskaźnika PCF jest wielopłaszczyznowe podejście do zagadnienia źródeł emisji GHG, od pozyskania surowego materiału, przetworzenia go przy wykorzystaniu narzędzi oraz dostarczanej do procesu energii, po łańcuch dostaw i transport do odbiorcy. Na każdym z tych etapów generowany jest koszt w postaci emisji ekwiwalentnego gazu cieplarnianego (GHG) do środowiska naturalnego, a suma kosztów stanowi bieżący ślad węglowy (PCF). Z reguły największy udział w PCF produktu ma pozyskanie i wstępna obróbka samego surowca [Rüdele i Wolf 2023].

Ważną zaletą śledzenia produkcji z PCF jest ujęcie w metodologii perspektywy „od kołyski do teraz”. Oznacza to, że surowiec (np. importowany), który ma wysoki udział GHG w jego pozyskaniu, automatycznie „odkłada” się w PCF produktu, co pogarsza jego atrakcyjność na rynku. Wymieniony mechanizm w zamyśle stanowić będzie dla producenta impuls do korzystania z surowca pochodzącego z ekologicznie lepszych źródeł.

Zagadnienie samego wyliczenia PCF stanowi na tyle złożony problem, że już w roku 2010 Komisja Europejska zidentyfikowała 62 „wiodące” inicjatywy i metody wyliczania PCF oraz przynajmniej 80 metodologii raportowania GHG, z których zarekomendowała dwie [European Commission 2021].

Problemem polskiej branży przemysłowej w kontekście śladu węglowego, który zaczął już być odczuwalny, a w przyszłości będzie coraz większym obciążeniem, jest bardzo wysoka emisja CO<sub>2</sub> z energetyki zawodowej (Rysunek 3). W 2022 roku cechowała ją bowiem emisyjność wynosząca 750 kg CO<sub>2</sub> na MWh, co stanowi jedną z gorszych wartości w Europie, a wyższy współczynnik wśród krajów Unii ma tylko nieodległa i stosunkowo niewielka Estonia [GUS 2023b].



**Rys. 3.** Emisyjność energetyki zawodowej Polski na tle Unii Europejskiej i krajów członkowskich wg Dusiło [2023].

**Fig. 3.** Emissivity of Poland's professional power industry in comparison with the European Union and member countries according Dusiło [2023].

Źródłem problemu wysokiej, polskiej emisji jest oparcie energetyki zawodowej (produkcji energii elektrycznej) w głównej mierze na węglu [Dusiło 2023], co jest stanem wyniesionym i utrwalonym jeszcze z drugiej połowy dwudziestego wieku. Ten czynnik będzie w latach następnych zwiększał presję ekonomiczną na poprawianie efektywności energetycznej, gdyż przekłada się on na ceny i to nie tylko energii, ale również na wzrost PCF, który producenci są zobowiązani raportować. Już obecnie bowiem wyprodukowanie pojedynczego przykładowego elementu np. poprzeczniczy (część konstrukcyjna samochodu) przekłada się, zależnie od krajowego „miksi energetycznego”, na wynik 169 g CO<sub>2</sub>-eq w Austrii, 256 g CO<sub>2</sub>-eq w Niemczech i 591 g CO<sub>2</sub>-eq w Polsce [Rüdele i Wolf 2023]. Znacząca zmiana emisyjności jest wszakże możliwa poprzez stosowanie odnawialnych źródeł energii skojarzonych z magazynowaniem energii np. w postaci sprężonego wodoru, wymaga jednak każdorazowo poważnych inwestycji [Łukasik i in. 2023, Woszczyk i Kaczkowski 2022].

## 5. PODZIAŁ OBIEKTÓW PRODUKCYJNYCH WG PROCESÓW ORAZ OKRESU BUDOWY/PRZEBUDOWY

Przez ostatnią dekadę XX wieku, aż do roku 2017, w samej branży automotive (użytej w niniejszym opracowaniu jako przykład) powstało w Polsce co najmniej 325 nowych fabryk na łączną liczbę około 600 obiektów tego rodzaju [Guzik i in. 2020]. Pośrednią informację na temat czasu powstawania, czyli budowy nowych zakładów przemysłowych w Polsce, przynoszą

także dane o zatrudnieniu pracowników w sektorze przedsiębiorstw. Sięgając wstecz, do końca ubiegłego wieku, wyraźnie zarysowuje się zmiana o przeciwstawnych trendach. W okresie od 1990 do 2005 roku zatrudnienie w sektorze spadało z około 6 milionów do 4,6 miliona zatrudnionych, aby następnie od 2006 do 2023 roku ponownie zwiększać się, z mniej niż 5 do 6,5 miliona osób [Łukasz 2024].

Nieco mniej radykalny, ale zbliżony obraz wyłania się z danych na temat przeciętnego zatrudnienia w przemyśle, które wyłącznie w sektorze prywatnym, od 2005 do 2021 roku wzrosło z niespełna 2,1 mln osób do przeszło 2,6 miliona. Co istotne zmiana zatrudnienia, czyli zwiększenie go o niespełna 24%, korelowało ze wzrostem produkcji sprzedanej (z 564 do 1760 miliardów złotych), a więc o więcej niż 310% [Rocznik Statystyczny Przemysłu 2022].

Można zatem „roboczo” przyjąć, że zgodnie z przewidywaniami, w okresie transformacji przemysłu nastąpiło wygaszanie zakładów modelu „gospodarki centralnie planowanej”, co skutkowało redukcją liczby zatrudnionego personelu, a następnie tworzenie nowych, których zdolności produkcyjne (mierzone sprzedażą) osiągnęły wielokrotność stanu ostatniej dekady dwudziestego wieku, przy nieznacznie tylko zmodyfikowanym w górę zatrudnieniu.

## 6. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA NA PRZYKŁADZIE ZAKŁADÓW AUTOMOTIVE

Międzynarodowa Agencja Energii (International Energy Agency – IEA) ocenia ogólny potencjał do zwiększenia efektywności energetycznej w procesach przemysłowych na 18 do 26% [Batorska 2022]. Badanie przeprowadzone wśród przedstawicieli szwedzkiego przemysłu wskazało niższe wartości. Ocenili oni bowiem połączony potencjał zastosowania efektywniejszych energetycznie technologii oraz wdrożenia dobrych praktyk w zarządzaniu nią w swoich przedsiębiorstwach na 12% [Backlund i in. 2012]. Energochłonność przemysłu branży automotive należy oceniać przy uwzględnieniu skali działania oraz efektu, jaki przedsiębiorstwa przemysłowe wywierają na otoczenie (Rysunek 4).



**Rys. 4.** Zużycie energii elektrycznej w przemyśle z podziałem na grupy w roku 2022 [GUS 2023a].

**Fig. 4.** Industrial electricity consumption by group in 2021 [GUS 2023a].

Kraje Europy Środkowej i Wschodniej, w tym Polska, Czechy i Słowacja, w okresie po transformacji ustrojowej zaczęły wyrabiać sobie pozycję i status zaplecza motoryzacyjnego Europy [Domański i in. 2013]. Skupienie branży nastąpiło na dostarczaniu części i komponentów dla produkcji samochodów w fabrykach funkcjonujących już od wielu lat w krajach Europy Zachodniej. Dodatkowo następowała koncentracja związana z lokalizowaniem nowych podmiotów gospodarczych tej branży, głównie w Polsce południowo-zachodniej, czyli na terenach



Górnego i Dolnego Śląska [Domański 2015], skąd linie zaopatrzenia do sąsiednich Czech i Niemiec były najkrótsze. Nic więc dziwnego, że zakłady branży automotive w Polsce i krajach sąsiednich to głównie obiekty nowe, budowane według standardów właściwych dla czasu ich zaprojektowania oraz uzyskania pozwolenia na budowę. Co należy jednak mieć na uwadze, oceniając ich energochłonność, to fakt, że zależnie od intensywności produkcji wskaźnik powierzchniowy (np. kWh/m<sup>2</sup> na rok), a więc informujący o skuteczności wykorzystania samego obiektu do celu procesu produkcyjnego, w porównaniu z obiektami o innym charakterze, czyli nieprodukcyjnymi, jest i będzie dalece różny. Dla przykładu wartość zapotrzebowania na energię końcową w obiektach administracyjnych i biurowych, budowanych w analogicznym okresie, będzie oscylować w okolicy 100 kWh/m<sup>2</sup> na rok, a w obiekcie przemysłowym, zależnie od rodzaju prowadzonej w nim produkcji, ta wartość wyniesie od na przykład 300 do 600 kWh/m<sup>2</sup> na rok.

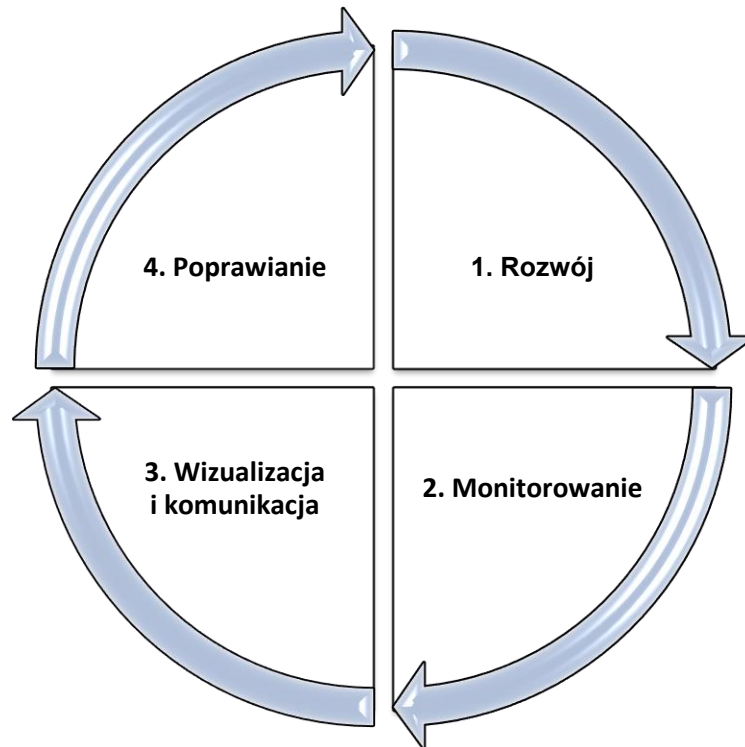
## 7. KLUCZOWE WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

Kluczowe wskaźniki efektywności (Key Performance Indicator – KPI) są ważnym elementem każdego systemu nadzorującego. Celem KPI jest wsparcie procesu decyzyjnego osób odpowiedzialnych za efektywność np. organizacji, na podstawie faktycznego związku przyczynowo-skutkowego. Innymi słowy przekazują one najważniejsze (kluczowe) dane odpowiednim osobom, żeby podejmowały one coraz lepiej poinformowane decyzje. KPI stanowią zatem bazę informacyjną, a jej reprezentacją może być np. zestaw wskazań (dashboard), na którym obrazowane są krytyczne dane o tym, jak przebiega proces. Wskaźniki te opierają się na odczytach stanu procesu, które mogą być zbierane ręcznie, albo pochodzić z oprogramowania np. nadzorującego proces produkcyjny [André i Goepp 2024].

Jeżeli w ogólnej teorii zarządzania KPI mają za zadanie iteracyjnie poprawiać skuteczność działania organizacji i wpływać w ten sposób na jej przyszły sukces, co ilustruje Rysunek 5, to w obszarze ciepła oraz energii mamy do czynienia z energetycznymi EKPI, których cel jest analogiczny do KPI, ale zawężony do efektywności energetycznej i ograniczania jej zużycia. W tym zastosowaniu jednak podstawowe wskaźniki, czyli takie, które obrazują np. całkowite zużycie ciepła i energii na rok albo per produkt, przekazują informacje zbyt ogólnie. Brakuje im bowiem dokładności i przejrzystości, czyli nie będą wystarczająco przydatne do wskazywania np. czynników odpowiedzialnych za bieżącą sytuację [May i in. 2015].

Różnego rodzaju KPI funkcjonują zatem zależnie od obszaru, który mają monitorować, i na który mają wpływać, a tym samym poprawiać jego efektywności. Spotykane jest wykorzystanie i przykłady KPI właściwych dla całych branż gospodarki narodowej np. papierniczej w Vietnamie [Le-Anh 2023], na poziomie zarządu np. korporacji mających w swoim portfolio różne obiekty przemysłowe, pojedynczej fabryki albo konkretnej linii produkcyjnej i procesu [Andersson i Thollander 2019], maszyny, a nawet szczególnie istotnej z punktu widzenia wydajności energetycznej części składowej [May i in. 2015], np. silnika. Różnorodność ta wynika z tego, że ogólne KPI na ogół nie wystarczają, by z precyzją monitorować proces i wnioskować o niezbędnych zmianach do wprowadzenia [May i in. 2015]. Co więcej, dobrze skonfigurowany KPI, na odpowiednim poziomie zagłębienia w proces, oprócz opisanej wcześniej funkcji w procesie decyzyjnym, można wykorzystywać także do identyfikacji zaburzeń samego procesu. Dla przykładu wzrost zużycia energii, nie korelujący ze zwiększeniem produkcji, może być spowodowany np. przedwczesnym zużyciem któregoś z elementów, części lub maszyny na linii produkcyjnej [Andersson i in. 2021].





**Rys. 5.** Pętla tworzenia/rozwoju KPI wg koncepcji Schulze i in. [2016].  
**Fig. 5.** KPI creation/development loop according to Schulze's et al. [2016] concept.

## 8. PODSUMOWANIE

Zachowanie konkurencyjności w produkcji przemysłowej zależy od wielu czynników. Niebagatelnym z nich jest udział nośników energii w koszcie produkcji. Ten fakt pozostaje w ścisłym związku z regulacjami na poziomie unijnym i krajowym, które implikują z jednej strony obniżanie ilości zużywanej w procesach produkcyjnych energii, ale z drugiej przechodzenie na jej odnawialne źródła. Te, ogólnie kosztowne działania, wywierają wpływ na cenę kluczowego dla przemysłu czynnika, jakim jest ciepło i energia. Pozycja przedsiębiorstw branży automotive w Polsce w tym kontekście jest historycznie obciążona wysoką energochłonnością, która ulega stopniowej poprawie wraz z nowymi inwestycjami. Poważnym wyzwaniem dla konkurencyjności przemysłu automotive jest i w najbliższym okresie pozostanie wysokoemisyjna energetyka zawodowa, która w Polsce jest nadal oparta w największym stopniu na węglu.

Droga do poprawy konkurencyjności oraz skutecznego wykorzystania ciepła i energii w przemyśle wiedzie przez zwiększanie efektywności energetycznej procesów. Jedną z możliwości jest wykorzystanie systemów zarządzających EMS, umożliwiających bieżącą analizę kluczowych wskaźników – energetycznych KPI. Wdrożenie takiego systemu na poziomie całego przedsiębiorstwa, względnie wyizolowanego procesu produkcyjnego, w dół, aż do pojedynczej maszyny, pozwala najcelniej lokować inwestycje modernizacyjne. Dzięki takim narzędziom można realizować, ale także weryfikować, faktycznie najskuteczniejsze rozwiązania ograniczające zużycie ciepła i energii. Wykorzystanie KPI, iteracyjnie powtarzane w pętli, połączone z wypracowaniem własnych, najlepiej dopasowanych do specyfiki produkcji wskaźników, zadecyduje o wejściu na szybką ścieżkę optymalizacji. Alternatywą jest pozostanie w coraz mniej korzystnym położeniu względem silnej i nadal rosnącej presji konkurencyjnej producentów z rynków poza Unią Europejską.

## LITERATURA

- Andersson E., Dernegård H., Wallén M., Thollander P. 2021. Decarbonization of industry: Implementation of energy performance indicators for successful energy management practices in kraft pulp mills. *Energy Reports*, 7, 1808–1817, DOI: 10.1016/j.egy.2021.03.009
- Andersson E., Thollander P. 2019. Key performance indicators for energy management in the Swedish pulp and paper industry. *Energy Strategy Reviews*, 24, 229–235. DOI: 10.1016/j.esr.2019.03.004
- André P., Goepp V.A. 2024. Framework for defining customised KPI in manufacturing systems. [W:] Borangiu T., Trentesaux D., Leitão P., Berrah L., Jimenez JF. (red.) Service oriented, holonic and multi-agent manufacturing systems for industry of the future. Conference paper SOHOMA 2023. *Studies in Computational Intelligence*, 1136. DOI: 10.1007/978-3-031-53445-4\_26
- Backlund S., Ottosson M., Broberg S. 2012. Energy efficiency potentials and energy management practices in Swedish firms. ECEEE 2012 Summer study on Energy efficiency in industry, 669–677.
- Batorska S. 2022. Droga polskiego przemysłu do zrównoważonego rozwoju. *Automatyka*, 3, 1–6.
- Bukowski M., Śniegocki A. 2014. Electricity and industrial competitiveness. Forum Energii, Warszawa, <https://www.forum-energii.eu/en/electricity-and-industrial-competitiveness>
- Chevturi A., Klingaman N.P., Turner A.G., Guo L., Vidale P.L. 2022. Projected changes in the East Asian hydrological cycle for different levels of future global warming. *Atmosphere* (Basel), 13(3), 35–115, DOI: 10.3390/atmos13030405
- Dalio R. 2021. Principles for dealing with the changing world order: Why nations succeed and fail. Avid Reader Press / Simon & Schuster; 1<sup>st</sup> edition.
- Derski B. 2024. Prąd już poniżej 30 gr/kWh. WysokieNapięcie.pl, <https://wysokienapiecie.pl/97999-prad-juz-ponizej-30-gr-kwh/>
- Domański B. 2015. Współczesne procesy przemian regionalnych przemysłu Polski – próba interpretacji. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 29, 4, 40–53.
- Domański B., Guzik R., Gwosdz K., Dej M. 2013. The crisis and beyond: The dynamics and restructuring of automotive industry in Poland. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 13(2), 151–166, DOI: 10.1504/IJATM.2013.052998
- Dusiło M., 2023. Transformacja Energetyczna w Polsce Edycja 2023. Forum Energii, Warszawa, <https://www.forum-energii.eu/transformacja-energetyczna-w-polsce-edycja-2023>
- European Commission 2021. Questions & Answers: Environmental Footprint Methods Recommendation, [https://environment.ec.europa.eu/news/environmental-footprint-methods-2021-12-16\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/environmental-footprint-methods-2021-12-16_en)
- European Commission 2023. Quarterly Report On European Electricity Markets. Market Observatory for Energy DG Energy, [https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/market-analysis\\_en](https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/market-analysis_en)
- Eurostat 2022. EU overachieves 2020 renewable energy target - Products Eurostat News – Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220119-1>
- Eurostat 2023. Energy efficiency statistics - Statistics Explained. Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=324721>
- GUS 2023a. Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2021 i 2022. GUS, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/gospodarka-paliwowo-energetyczna-w-latach-2021-i-2022,4,18.html>
- GUS 2023b. Efektywność wykorzystania energii w latach 2011-2021. GUS, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/efektywnosc-wykorzystania-energii-w-latach-2011-2021,5,18.html>
- Guzik R., Domański B., Gwosdz K. 2020. Automotive industry dynamics in Central Europe. [W:] New frontiers of the automobile industry, 377–397, DOI: doi:10.1007/978-3-030-18881-8\_15
- Le-Anh T. 2023. Energy benchmark and energy saving potential in the pulp and paper industry. *AIMS Energy*, 11(6), 1306–1327, DOI: 10.3934/energy.2023059
- Łukasik J., Jeartowski M., Wajs J. 2023. Optimisation of cooperation of hybrid renewable energy sources with hydrogen energy storage toward the lowest net present cost. *Instal*, 12, 9–16. DOI: 10.36119/15.2023.12.2
- Łukasz K. 2024. Przeciętne zatrudnienie w sektorze przedsiębiorstw. RynekPracy.org., <https://rynek-pracy.org/statystyki/przecietne-zatrudnienie-w-sektorze-przedsiębiorstw/>
- May G., Barletta I., Stahl B., Taisch M. 2015. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. *Applied Energy*, 149, 46–61. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.03.065
- Poland 2022 Energy Policy Review. International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/poland-2022>
- Rocznik Statystyczny Przemysłu 2022. GUS, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-przemyslu-2022,5,16.html>

- Rogała B. 2022. Energia odnawialna w Polsce coraz ważniejsza. Osiągnęliśmy cele UE, ale jest haczyk. 300Gospodarka, [https://300gospodarka.pl/news/osiagniecie-unijnego-celu-oze-to-nie-wszystko-jest-jeszcze-duzo-do-zrobienia#google\\_vignette](https://300gospodarka.pl/news/osiagniecie-unijnego-celu-oze-to-nie-wszystko-jest-jeszcze-duzo-do-zrobienia#google_vignette)
- Rüdele K., Wolf M. 2023. Identification and reduction of product carbon footprints: Case studies from the Austrian Automotive Supplier Industry. *Sustainability*, 15(20), 14911, DOI: 10.3390/su152014911
- Schulze M., Nehler H., Ottosson M., Thollander P. 2016. Energy management in industry: a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3692–3708, DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.06.060
- Statement WEC 2003. Renewable energy targets. European Commission, [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en)
- Wiech J. 2019. Dzień, w którym stanęła Ziemia. 46 lat temu świat tonął w kryzysie naftowym. Energetyka24, <https://energetyka24.com/ropa/dzien-w-ktorym-stanela-ziemia-46-lat-temu-swiat-tonal-w-kryzysie-naftowym-komentarz>
- Woszczyk P., Kaczkanowski M. 2022. O korzyściach technologii wychwytu dwutlenku węgla w polskich realiach. *Instal*, 12, 8–13, DOI: 10.36119/15.2022.12.1