

## METODY ANALIZY ENERGOCHŁONNOŚCI W PRZEMYSŁE – REFERAT KONFERENCYJNY

Izabela SADOWSKA<sup>1</sup>

1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel: 58 347 26-63, fax: 58 347 18-98, e-mail: i.sadowska@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Artykuł zawiera przegląd stosowanych metod do oceny energochłonności przemysłu. Przedstawiono najważniejsze regulacje prawne decydujące o konieczności prowadzenia efektywnej gospodarki energetycznej. Zdefiniowano podstawowe założenia do obliczeń energochłonności bezpośredniej i skumulowanej. Opisano wady i zalety wykorzystania każdej z metod.

**Słowa kluczowe:** gospodarka energetyczna, energochłonność, przemysł

### 1. INFORMACJE OGÓLNE

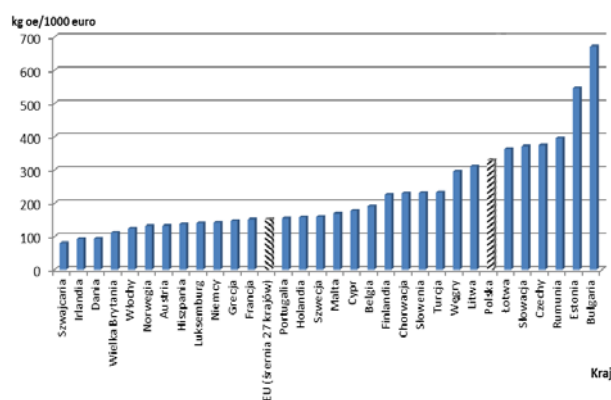
Jednym z podstawowych czynników umożliwiających budowanie wspólnej europejskiej polityki energetycznej staje się zagadnienie efektywnego gospodarowania energią. W okresie rosnącego zapotrzebowania na energię, a przez to rosnących kosztów wytwarzania i zużycia, podejście do racjonalizacji jej użytkowania staje się priorytetem poprawnego rozwoju gospodarczego. Warunkiem decydującym o prowadzeniu racjonalnej gospodarki energetycznej jest podejście całościowe obejmujące obszar gospodarki jako całości oraz jednostkowe, traktujące każdego uczestnika osobno. Rozważania obejmujące poprawę efektywności energetycznej należy zatem przeprowadzić równolegle dla działań politycznych, technicznych i ekonomicznych w celu weryfikacji poprawności funkcjonowania tych mechanizmów.

Unia Europejska traktuje zagadnienie energooszczędności jako jeden z trzech strategicznych celów w zakresie polityki energetycznej. Energochłonność polskiej gospodarki jest obecnie szacowana na dwa razy wyższym poziomie niż średnia w Unii Europejskiej (rys. 1.). Gospodarka polska wymaga konieczności poprawy tego stanu. Zgodnie z ustaleniami Komisji Europejskiej i Rady, zawartymi w Dyrektywie 2006/32/WE w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych [1] jednoznacznie wskazano że „istnieje potrzeba poprawy efektywności wykorzystania energii przez użytkowników końcowych (...)” [1]. Realizacja założeń zawartych w ww. dokumencie ma doprowadzić do:

- poprawy zabezpieczenia niezawodności dostaw energii,
- zmniejszenia zużycia energii pierwotnej,

- zapobiegania niebezpiecznym zmianom klimatycznym,
- wykorzystania potencjalnych oszczędności energii w sposób ekonomicznie efektywny, co miałyby doprowadzić do uniezależnienia od importu energii,
- rozwoju innowacyjności i konkurencyjności.

Ustalony cel ogólny w zakresie oszczędności energii na poziomie 9% w dziewiątym roku stosowania dyrektywy ma być osiągnięty poprzez zastosowanie lepszych technologii, a nie np. ograniczenia produkcji. Sformułowanie to zawarto w art. 3 p. c) „poprawa efektywności energetycznej: zwiększenie efektywności końcowego wykorzystania energii dzięki zmianom technologicznym, gospodarczym lub zmianom zachowań” [1]. Oszczędność energii jest definiowana jako „ilość zaoszczędzonej energii ustalona poprzez pomiar oraz szacowanie zużycia przed i po wdrożeniu jednego lub kilku środków poprawy efektywności energetycznej(...)” [1]. Dyrektywa narzuca na państwa członkowskie konieczność podjęcia wykonalnych i kosztownych działań prowadzących do realizacji stawianego minimum.



Rys. 1. Energochłonność gospodarek krajów UE w 2010 r., wyrażona jako stosunek zużycia energii do PKB (opracowanie własne; źródło: Eurostat)

W odpowiedzi na wymagania stawiane w dyrektywie 2006/32/WE Ministerstwo Gospodarki opracowało w czerwcu 2007 r. Krajowy Plan Działań dotyczący efektywności energetycznej [2]. Zgodnie z art. 4 ww. dyrek-

tywy, w dokumencie tym założono „osiągnięcie celu *indykatorywnego oszczędności energii (...)* 9% w roku 2016” [2]. Przedstawiono założenia do realizacji, obliczenia ilościowego krajowego celu, jak również zestawiono w punkcie 3.3. środki służące poprawie efektywności energetycznej w sektorze przemysłu.

## 2. METODY ANALIZY ENERGOCHŁONNOŚCI W PRZEMYSŁE

### 2.1. Stosowane metody – uwagi ogólne

Zapewnienie zrównoważonego rozwoju gospodarczego kraju podyktowane jest prowadzeniem efektywnej gospodarki energetycznej. W obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię ocena racjonalizacji jej użytkowania staje się niezbędna do realizacji wyżej wymienionego założenia. Ocena stanu gospodarki energetycznej powinna odbywać się w ramach określonej branży przemysłu za pomocą określonego miernika. Wyznaczenie miernika zużycia energii umożliwia przeprowadzenie porównania energochłonności na danym poziomie zużycia. Stosowane są obecnie dwie podstawowe metody określania tych wskaźników. Ze względu na zakres badań wyróżnia się wskaźniki energochłonności bezpośredniej oraz wskaźniki energochłonności skumulowanej [3]. Ocena efektów ekonomicznych działań racjonalizujących w ramach zdefiniowanej gałęzi przemysłu odbywa się z wykorzystaniem wskaźników zużycia energii bezpośrednio zużywanego w analizowanym procesie. Wpływ powyższych działań na całość gospodarki dyktuje konieczność przeliczenia zużycia energii bezpośredniej na zużycie energii sumarycznej w postaci przetworzonej energii pierwotnej. Realizacja tego zagadnienia sprowadza się do wyznaczenia wskaźników skumulowanego zużycia energii. Wyrażają one zużycie energii pierwotnej ogółem wszystkich ogniw sieci technologicznej służącej do wytworzenia rozpatrywanego wyrobu.

Energia pierwotna to energia pozyskiwana bezpośrednio z zasobów naturalnych. Zasoby energii pierwotnej mają postać odnawialną lub nieodnawialną. Odnawialne źródła energii charakteryzują się naturalną powtarzalnością procesów przyrodniczych. Energia odnawialna pochodzi między innymi z promieniowania słonecznego, wiatru, biomasy, geotermii czy przepływu naturalnego wód. Surowce nieodnawialne, takie jak paliwa kopalne, gazowe czy ropa naftowa są przetwarzane tylko raz, a ich wykorzystanie w istotny sposób pogarsza stan przyrody wywołując szkody ekologiczne [4]. Sumaryczne zapotrzebowanie na energię pierwotną zestawione w tabeli 1 jednoznacznie wskazuje na proporcje zużycia energii odnawialnej do nieodnawialnej oraz na prognozy zmian tych wielkości do 2030 r. Udział energii odnawialnej w energii pierwotnej ma wzrosnąć z 5% w 2006 r. do 12,4% w 2030 r. Prognozowany wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną w 2030 r. w odniesieniu do 2006 r. jest na poziomie 21% [5]. Wyznaczone wielkości decydują w znacznym stopniu o konieczności przeprowadzania szeregu działań zmierzających do jak największych oszczędności nieodnawialnych zasobów energii.

Tablica 1. Zapotrzebowanie na energię pierwotną w podziale na nośniki [Mtoe, jednostki naturalne] (źródło: [5])

	Jedn.	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Węgiel brunatny <sup>*)</sup>	Mtoe	12,6	11,22	12,16	9,39	11,21	9,72
	mln ton	59,4	52,8	57,2	44,2	52,7	45,7
Węgiel kamienny <sup>**)</sup>	Mtoe	43,8	37,9	35,3	34,6	34,0	36,7
	mln ton	76,5	66,1	61,7	60,4	59,3	64,0
Ropa i produkty naftowe	Mtoe	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
	mln ton	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
Gaz ziemny <sup>***)</sup>	Mtoe	12,3	12,0	13,0	14,5	16,1	17,2
	mld m <sup>3</sup>	14,5	14,1	15,4	17,1	19,0	20,2
Energia odnawialna	Mtoe	5,0	6,3	8,4	12,2	13,8	14,7
Pozostałe paliwa	Mtoe	0,7	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6
Paliwo jądrowe	Mtoe	0,0	0	0	2,5	5,0	7,5
Eksport energii elektrycznej	Mtoe	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>RAZEM ENERGIA PIERWOTNA</b>	<b>Mtoe</b>	<b>97,8</b>	<b>93,2</b>	<b>95,8</b>	<b>101,7</b>	<b>111,0</b>	<b>118,5</b>

<sup>\*)</sup> – wartość opałowa węgla brunatnego 8,9 MJ/kg

<sup>\*\*)</sup> – wartość opałowa węgla kamiennego 24 MJ/kg

<sup>\*\*\*)</sup> – wartość opałowa gazu ziemnego 35,5 MJ/m<sup>3</sup>

W każdej ze stosowanych metod oceny energochłonności, czy bezpośredniej czy skumulowanej używa się dwójakiego podejścia do przedstawienia danych liczbowych. Dane dotyczące nakładów energetycznych, ilości zużytych surowców lub ilości wykonanych produktów wyrazić można w postaci naturalnej, fizycznej tj. w jednostkach energii, masy, objętości itp. albo w postaci wartościowej, ekonomicznej ujętej w kategoriach kosztów lub ceny z pomocą jednostek pieniężnych. To pierwsze podejście jest analizą procesu w kontekście technologicznym, natomiast to drugie oznacza podejście ekonomiczne [6].

Rozpatrywanie energochłonności bezpośredniej odnosi się do badania poszczególnych wyrobów. Wykonywana w ten sposób analiza technologiczna jest najbardziej interesująca bezpośrednio dla wytwórcy – zakładu przemysłowego. Przedstawiane wyniki w jednostkach produkcji jednoznacznie prezentują stan procesu produkcyjnego oraz wyniki przeprowadzonych zabiegów innowacyjnych. Mogą również bezpośrednio wskazywać na celowość zmiany technologii lub sytuację wymagającą natychmiastowej interwencji. Ocena energochłonności całej gałęzi przemysłu uniemożliwia posługiwanie się bezpośrednio jednostkami w wymiarze naturalnym. Wykorzystując analizę energochłonności skumulowanej ocenia się skutki ekonomiczne wytwarzania, a nie techniczne warunki wytwarzania. Weryfikacja ekonomiczna w jednostkach pieniężnych jest uznawana za uniwersalną oraz bardziej praktyczną w porównaniu do jednostek naturalnych. W badaniach perspektywicznych należy jednak uwzględnić wartość pieniądza w czasie oraz trudności w przewidywaniu cen w ogóle.

W warunkach gospodarki rynkowej istnieje pewna niepewność cen ze względu na konieczność budowania rynków konkurencyjnych. Szczególnie wielkie znaczenie ma koszt zakupu energii podyktowany kosztami jej ekologicznego i efektywnie ekonomicznego wytworzenia. Odnosząc się do rozwoju konkurencyjnego rynku ważnym aspektem pozostaje sprostanie potrzebom indywidualnego wytwórcy, co dodatkowo wykazuje wyższość analizy bezpośredniej nad skumulowaną.

### 2.2. Energochłonność bezpośrednia

Zastosowanie energochłonności jednostkowej wiąże się z przeprowadzeniem pomiarów i badań struktury zużywanych nośników energii wydatkowanych bezpośrednio w procesie wytwarzania wyrobu lub realizacji usługi. Innymi słowy jest to „energia nośników energii doprowadzonej do wytwórcy”.

dzonych bezpośrednio do procesu technologicznego (...) pomniejszona o energię odzyskaną” [6]. W sensie fizycznym zużycie bezpośrednie należy rozumieć jako zużycie końcowe energii w takiej postaci, w jakiej została ona doprowadzona, bez dalszej przemiany na inne nośniki energii. Narzędzie to służy do określania poziomu energochłonności procesu technologicznego oraz do oceny możliwości przeprowadzenia zabiegów racjonalizacyjnych.

Energochłonność jednostkowa wyrażona jest zazwyczaj w postaci wskaźnika jednostkowego bezpośredniego zużycia energii lub wskaźnika energochłonności bezpośredniej. Wykonywana na ich podstawie ocena porównawcza ma zastosowanie lokalne [3]. Stosowanie tych mierników wymaga zatem wyodrębnienia ciągu produkcyjnego, określenia wielkości produkcji wyrobu oraz pomiaru zużytej w tym ciągu energii. Należy zatem rozpatrzyć nie tylko główne aspekty badanych urządzeń typu zastosowana technologia, rodzaj i sposób pracy, ale również dodatkowe informacje decydujące o wyznaczanych wielkościach.

Obliczany miernik daje informację zarówno do porównania efektów zużycia energii przez samodzielne urządzenia, jak i badane ciągi technologiczne. Analiza energochłonności bezpośredniej może odnosić się do zakładu przemysłowego w ujęciu:

- agregatu produkcyjnego – traktowanego jako pojedyncze urządzenie lub zespół urządzeń stanowiące całość pod względem technologicznym,
- zespołu technologicznego – stanowiąc jeden agregat główny i wiele agregatów pomocniczych,
- wydziału produkcyjnego – obejmującego jeden lub więcej zespołów technologicznych specjalizujących się w wytwarzaniu produktów podobnych,
- zakładu przemysłowego – czyli całości pojmowanej jako suma wszystkich wydziałów produkcyjnych wraz z urządzeniami i obiektami pomocniczymi typu socjalne czy administracja [3].

Zdefiniowanie poziomu odniesienia wykonane w celu porównawczym może w konsekwencji uniemożliwić zastosowanie aspektu konfrontacji. Fakt ten wynika z istnienia nawet niewielkich różnic wpływających na przebieg analizowanego procesu.

## 2.3. Energochłonność skumulowana

### 2.3.1. Definicja

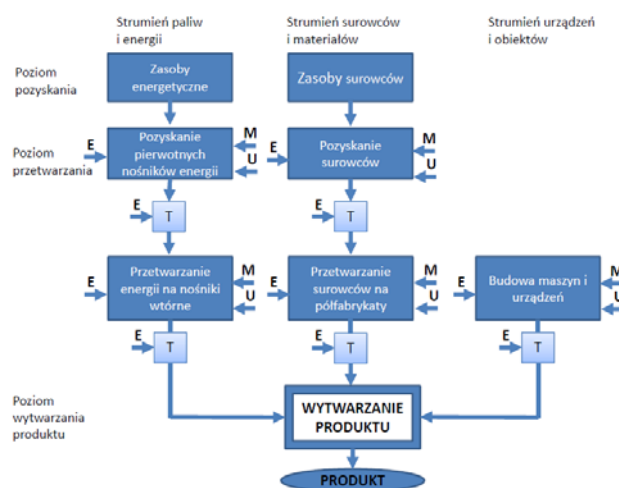
Energochłonność skumulowana obejmuje całą energię, jaka jest potrzebna do wytworzenia produktu począwszy od energii pozyskania nośników zużywanych w procesie produkcji, transportie i przetworzeniu tych nośników skończywszy na energii użytej bezpośrednio w procesie produkcyjnym. Przedstawia zatem całkowitą ilość energii pierwotnej, która została rzeczywiście zużyta we wszystkich procesach. W efekcie do obliczenia energochłonności skumulowanej są uwzględniane następujące strumienie energii:

- a) paliw i energii, czyli procesów pozyskania pierwotnych nośników energii, przetworzenia ich na nośniki wtórne i przesłania ich do procesu wytwarzania,
- b) surowców i materiałów, rozumiany jako proces pozyskania surowców naturalnych,

- c) urządzeń i obiektów, do którego zaliczane są procesy budowy maszyn, urządzeń, oraz budynków składających się na obiekty ciągu technologicznego procesu wytwarzania [3].

Rysunek nr 2 uwzględnia tylko trzy podstawowe poziomy procesów produkcyjnych. Pierwszy to pozyskanie pierwotnych nośników energii i surowców, kolejny to przetworzenie nośników pierwotnych na wtórne oraz surowców na materiały oraz ostatni reprezentujący wytwarzanie produktu [6].

W warunkach gospodarki wolnorynkowej stosowano dotychczas dwie najpopularniejsze metody określania energochłonności skumulowanej, mianowicie metodę analizy procesu oraz przepływów międzygałęziowych.



Rys. 2. Schemat ideowy do obliczeń energochłonności skumulowanej. E – energia dostarczona bezpośrednio, M, U – energia zawarta w użytych maszynach i urządzeniach, T – transport (wg. [3, 6])

### 2.3.2. Analiza procesu

Metoda analizy procesu wywodzi się z podstaw oceny energochłonności procesu opartych na wskaźnikach jednostkowego zużycia energii bezpośredniej. Prowadzi ona do obliczenia wskaźników energochłonności skumulowanej przy użyciu trzech etapów. Pierwszy z nich to tworzenie wstecz siatki technologicznej. Jest ona reprezentowana za pomocą schematu ideowego odwzorowującego kolejne fazy powstawania produktu. Rozpatruje się drogę od poziomu I czyli produktu gotowego do poziomu ostatniego czyli pozyskania energii pierwotnej. Kolejną czynnością to wypełnianie siatki technologicznej danymi liczbowymi. Zestawienie liczbowe uzyskuje się określając ilość produkcji rozpatrywanego wyrobu oraz zużycia kolejnych składników i niezbędnej do ich produkcji energii. Trzeci krok to przeliczenie wszystkich wartości na jednostkę badanego wyrobu, co jest niezbędne do sumowania po wszystkich poziomach wyznaczonej siatki [6].

### 2.3.3. Analiza przepływów międzygałęziowych

Stosowanie podejścia od strony przepływów międzygałęziowych oznacza możliwość powiązania ekonomicznego pomiędzy zdefiniowanymi branżami np. całej gospodarki państwa. Implikacja tej metody prowadzi do wykorzystania sporządzanych statystycznie dla gospodarki tablic przepływów międzygałęziowych. Wyrażone pieniężnie zużycie produkcji jednych branż przez inne zmierza do formułowania wyników w postaci uzyskanych

wskaźników również w jednostkach pieniężnych. Dzięki tej procedurze otrzymuje się uniwersalne oraz czytelne dla każdej gałęzi przemysłu wyniki.

Obliczenia z wykorzystaniem tej metody polegają na umiejętnym posługiwaniu się tablicami przepływów międzygałęziowych. Tablice zawierające jednakową ilość wierszy i kolumn, którym odpowiadają kolejne branże gospodarki mają na przecięciu i-tego wiersza i j-tej kolumny wartości produkcji i-tej gałęzi, przekazywanej dalej do gałęzi j-tej.

### 3. PODSUMOWANIE

Zestawienie bilansów energetycznych pozwala na ocenę stanu gospodarki energetycznej. Konieczność prowadzenia jej efektywnego zarządzania wymusza na analitykach przyjęcie odpowiedniej metody analizy. Wybór jest uzależniony głównie od zasięgu, jakim będzie objęta ocena. Stosowane obecnie analizy energochłonności mają szereg wad i zalet, co ogranicza ich możliwości zastosowania. Posługiwanie się metodą wyznaczania wskaźników energochłonności bezpośredniej prowadziło w wielu przypadkach do wyznaczania obowiązujących wszystkich producentów norm. Poprzez ten zabieg doprowadzono do ograniczenia kontroli ilościowego zużycia energii. Przemysł dążył do zachowania stawianych priorytetów nie różnicując stopnia zużycia i jakości wyposażenia w urządzenia energetyczne. Premiowano zakłady nowoczesne, posiadające wysokosprawne urządzenia. Należy zatem umożliwić poszczególnym zakładom poprawne wykorzystanie energochłonności bezpośredniej przez odpowiednie zdefiniowanie stanu pierwotnego oraz efektów osiągniętych za pomocą działań oszczędnościowych. Aby to zastosować należy między innymi wyposażyć zakłady w rozbudowane systemy pomiarowe.

Decydującą wadą uniemożliwiającą obecnie implementację energochłonności skumulowanej jest zdaniem autorki progres w obszarze postępu technicznego. Szeroko stosowana w przemyśle automatyka i elektronika doprowadziła do zmian procesów na każdym analizowanym

poziomie i przez to uniemożliwia wykorzystanie wyznaczonych historycznie wartości wskaźników energochłonności skumulowanej.

Autorka dostrzega rozwiązanie tej sytuacji w opracowaniu koncepcji wykorzystania wskaźników energochłonności do poprawy efektywności zużycia nośników energii poprzez bieżącą weryfikację ich wartości. Wykonywana w ten sposób analiza wskaźnikowa będzie narzędziem umożliwiającym systematyczną ocenę badanego procesu produkcyjnego. Ocena typowych zmienności nośników energii na podstawie danych historycznych umożliwia przeprowadzenie badań modelowych zużycia tych nośników w określonych przedziałach czasu w przyszłości.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej.: Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG
2. Ministerstwo Gospodarki.: Krajowy Plan Działań dotyczący efektywności energetycznej. W-wa, czerwiec 2007.
3. Charun H.: Podstawy gospodarki energetycznej. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2004.
4. Szargut J., Ziębik A., Kozioł J., Janiczek R., Kurpisz K., Chmielniak T., Wilk R.: Racjonalizacja użytkowania energii w zakładach przemysłowych. Poradnik audytora energetycznego. Fundacja Poszanowania Energii. Warszawa 1994.
5. Ministerstwo Gospodarki.: Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030. Warszawa 10 listopada 2009 r.
6. Bibrowski Z.: Energochłonność skumulowana. PWN. Warszawa 1983.
7. Mejro Cz.: Podstawy gospodarki energetycznej. WNT. Warszawa 1980.

## ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS METHODS IN INDUSTRY – CONFERENCE PAPER

**Key-words:** energetic economy, energy consumption, industry

This paper overviews applied methods to evaluate energy consumption in industry. Most important law regulations are presented, which decide on necessity to conduct effective energetic economy. Basic assumptions are defined to calculate direct and cumulative energy consumption. Pros and cons of using each method are presented.