

*Jolanta Baran\**, *Piotr Krawczyk\*\**, *Agnieszka Janik\**, *Adam Ryszko\**

## **PROBLEMATYKA OCENY EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ WYBRANYCH TECHNOLOGII ENERGETYCZNYCH W ASPEKCIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU**

### **Streszczenie**

Zrównoważony rozwój i ekoefektywność to pojęcia, które coraz częściej wkraczają w nasze życie. Wzrastające wymagania dotyczące ochrony środowiska powodują, że coraz bardziej istotna staje się kwestia oceny ekoefektywności technologii zarówno już istniejących, jak i przyszłościowych. W niniejszym artykule przedstawiono obliczenia efektywności ekonomicznej wybranych technologii energetycznych – a więc jednego z podstawowych parametrów w procesie wyznaczania wskaźnika ekoefektywności.

### **The problems of economic effectiveness of selected power engineering technologies in the aspect of sustainable development**

### **Abstract**

Sustainable development and eco-effectiveness are notions which more and more frequently appear in our life. The increasing requirements concerning environmental protection cause that more and more essential becomes the problem of eco-effectiveness assessment of technologies – both existing and future-related ones. The present article represents calculations regarding the economic effectiveness of selected power engineering technologies – thus one of the basic parameters in the process of determination of the eco-effectiveness index.

## **1. WPROWADZENIE**

Wzrastające wymagania w zakresie ograniczania emisji gazów cieplarnianych prowadzą między innymi do poszukiwania niskoemisyjnych rozwiązań w dziedzinie wytwarzania energii elektrycznej. Wyniknęła stąd potrzeba opracowania modelu oceny ekoefektywności zarówno już istniejących, jak i perspektywicznych technologii energetycznych, umożliwiające uwzględnienie wszystkich aspektów zrównoważonego rozwoju, tj. ekonomicznego, społecznego i ekologicznego.

Ekoefektywność jest wskaźnikiem zależnym od dwóch innych parametrów oceny: ekonomicznego oraz ekologicznego. W niniejszym artykule przedstawiono metodę wyznaczania pierwszego z nich. Zaproponowano uzasadnienie stosowania wybranej metody oceny efektywności ekonomicznej technologii na przykładzie wybranych technologii energetycznych. W tym celu przyjęto założenia obliczeniowe, pozwalające na uzyskanie wyników, które można wykorzystać do porównania różnych rozwiązań technologicznych. Umożliwia to podejmowanie obiektywnych decyzji na podstawie kryterium eko-

---

\* Politechnika Śląska

\*\* Główny Instytut Górnictwa

efektywności, z uwzględnieniem wyników oceny wpływu na środowisko, dokonanych za pomocą metody oceny cyklu życia (*Life Cycle Assessment – LCA*).

## 2. ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ JAKO UWARUNKOWANIE WPROWADZANIA NISKOEMISYJNYCH TECHNOLOGII ENERGETYCZNYCH

W literaturze występują liczne interpretacje pojęcia „zrównoważony rozwój”, jednak większość z nich nawiązuje do raportu Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju pt. „Nasza Wspólna Przyszłość”, w którym *sustainable development* oznacza zaspokajanie potrzeb dnia dzisiejszego w sposób, który nie ogranicza przyszłym pokoleniom możliwości zaspokojenia ich potrzeb (WCED 1987).

Warto zwrócić uwagę na często spotykany problem traktowania zrównoważonego rozwoju jako synonimu ekorozwoju. Takie zamienne stosowanie tych pojęć nie znajduje jednak uzasadnienia merytorycznego. Zrównoważony rozwój jest związany przede wszystkim z pojęciem zintegrowanego ładu, rozumianego jako spójne i jednocześnie tworzenie ładu (Borys 2005):

- środowiskowego (z którego można wyodrębnić ład przestrzenny),
- społecznego (z którego można wyodrębnić ład instytucjonalno-polityczny),
- ekonomicznego.

W takim ujęciu zrównoważony rozwój powinien zapewnić trwałą poprawę jakości życia współczesnych i przyszłych pokoleń przez kształtowanie właściwych proporcji w gospodarowaniu trzema rodzajami kapitału: ludzkiego, przyrodniczego, ekonomicznego. Ekorozwój (który należy rozumieć jako odpowiednik pojęcia *ecodevelopment*) powinien być natomiast utożsamiany z rozwojem skupiającym się na poszanowaniu środowiska przyrodniczego i kształtowaniu kapitału przyrodniczego, czyli uwzględniającym przede wszystkim zasady ochrony tego kapitału<sup>1</sup>.

Zrównoważony rozwój można rozpatrywać również jako realizację określonych społecznie pożądaných celów, takich jak (Pearce, Barbier, Markandya 1990):

- wzrost realnego dochodu na osobę,
- poprawa stanu zdrowotnego i poziomu wyżywienia,
- równy dostęp do zasobów środowiska przyrodniczego obecnych i przyszłych pokoleń,
- poprawa poziomu wykształcenia jako podstawowego warunku bezpieczeństwa ekonomicznego.

W węższym, ekorozwojowym ujęciu, podstawą jest realizacja celów, ściśle związanych z utrzymaniem funkcji ekologicznych środowiska przyrodniczego, które powinny obejmować między innymi:

- długotrwałe wykorzystywanie odnawialnych zasobów naturalnych,
- efektywną eksploatację nieodnawialnych źródeł energii,

---

<sup>1</sup> Zasadami tymi mogą być na przykład zasada reprodukcji zasobów odnawialnych, integralności środowiska przyrodniczego, ekologizacji gospodarki czy zasada ekonomizacji środowiska.

- utrzymywanie stabilności procesów ekologicznych.

Realizacja zrównoważonego rozwoju powinna dotyczyć wszystkich aspektów aktywności człowieka, w tym podejmowanej przez niego działalności gospodarczej. Jednym z podstawowych obszarów, dla którego wymagania dotyczące zrównoważonego rozwoju stanowią niezmiernie istotne uwarunkowanie, jest wdrażanie innowacyjnych niskoemisyjnych technologii energetycznych. Mogą one stanowić istotny czynnik wzrostu ekonomicznego, podstawę zaspokajania różnorodnych potrzeb ludzkich, a także znacząco ograniczać negatywny wpływ energetyki na środowisko.

Wytwarzanie energii w Unii Europejskiej powoduje prawie 80% całkowitej emisji gazów cieplarnianych, uznawanej za jedną z głównych przyczyn zmian klimatycznych. W 2007 r. Rada Europejska określiła cele polityki energetycznej i zmian klimatu do 2020 r. Wśród nich znalazło się ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do 1990 r. (z możliwością zwiększenia tej redukcji do 30%), zwiększenie udziału energii odnawialnej do 20% oraz uzyskanie 20% poprawy w zakresie efektywności energetycznej. W grudniu 2008 r. przez Unię Europejską został przyjęty pakiet klimatyczno-energetyczny, w którym zawarto konkretne narzędzia prawne do realizacji wymienionych celów. Podjęto również długoterminowe zobowiązania dotyczące dekarbonizacji gospodarki UE, w których założono redukcję emisji o 80–95% do 2050 r. Potrzeba będzie jednak dziesięcioleci, aby sektor energetyczny rozwijał się zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Przewiduje się, że już w ciągu najbliższych 10 lat w sektorze tym będą konieczne inwestycje rzędu biliona euro (Komunikat Komisji... 2010).

Zobowiązania dotyczące ograniczania emisji gazów cieplarnianych zmuszają Polskę do poszukiwania rozwiązań niskoemisyjnych w zakresie wytwarzania energii elektrycznej. Biorąc pod uwagę krajową bazę zasobową założono, że będą wykorzystywane wszystkie dostępne technologie wytwarzania energii z węgla, jednak przy założeniu osiągnięcia znaczącej redukcji emisji zanieczyszczeń. Obecnie szczególnego znaczenia nabiera wykorzystywanie wszelkich dostępnych technologii z równoczesnym zwiększaniem bezpieczeństwa energetycznego, zmniejszaniem emisji zanieczyszczeń i zachowaniem efektywności ekonomicznej. W związku z powyższym niezmiernie ważnym problemem staje się opracowanie modeli służących do oceny zarówno istniejących, jak i perspektywicznych technologii energetycznych, które uwzględniłyby wszystkie aspekty zrównoważonego rozwoju, tj. ekonomiczny, społeczny i ekologiczny.

### **3. ANALIZA EKONOMICZNA NA POTRZEBY ANALIZY EKOEFEKTYWNOŚCI**

Metody oceny produktów, procesów, technologii, w tym także technologii energetycznych, a więc metody przetwarzania dóbr naturalnych na energię, z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych, ekologicznych i społecznych, są rozwijane niezależnie od siebie. Jedną z przyczyn takiej sytuacji jest trudność w integracji i interpretacji wyników uzyskiwanych w różnych jednostkach badawczych, co uniemożliwia ich bezpośrednie porównanie. Przykładowo, wpływ na warunki przebiegu określonego

procesu można wyrazić w punktach za pomocą ekowskaźnika, który jest wynikiem analiz z wykorzystaniem metody LCA, natomiast efektywność ekonomiczną wyraża się w jednostkach pieniężnych. Osobny problem stanowi ocena społecznych efektów podejmowanych przedsięwzięć, której podstawę z reguły stanowią kryteria subiektywne. Dotyczy ona najczęściej zagadnień niemierzalnych oraz trudno mierzalnych. Możliwość bezpośredniego wykorzystania wartości opisujących różne wielkości, wyrażone w różnych jednostkach, w procesie podejmowania decyzji, jest ograniczona. Z tego względu bardzo pożądanym kierunkiem rozwoju metod wspomaganie decyzji bazujących na koncepcji zrównoważonego rozwoju jest ich integracja, która umożliwiłaby spójną ocenę określonego problemu, z uwzględnieniem różnych rodzajów kryteriów.

Metodą integrującą dwa z tych wymiarów, tj. ekologiczny i ekonomiczny<sup>2</sup> jest analiza ekoefektywności. Należy zaznaczyć, że o ekoefektywności można mówić jako o koncepcji osiągnięcia zrównoważonego rozwoju, a także jako o praktycznym sposobie umożliwiający przedstawianie relacji między kosztami a wpływem na środowisko określonego rozwiązania, wykorzystywanym do wspomaganie podejmowania decyzji (Huppel, Ishikawa 2007). W niniejszym artykule autorzy odnieśli się do drugiego z tych podejść.

### 3.1. Pojęcie ekoefektywności i jej determinanty

Pojęcie ekoefektywności po raz pierwszy zostało użyte w 1989 r. przez Sturma oraz Shalteggera (1989), którzy stwierdzili, że „celem zarządzania środowiskowego jest zwiększanie ekoefektywności poprzez zmniejszanie negatywnego wpływu na środowisko, przy jednoczesnym zwiększaniu wartości przedsiębiorstwa”. Cztery lata później, z inicjatywy Rady Biznesu na rzecz Zrównoważonego Rozwoju (obecnie: Światowa Rada Biznesu na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju – *World Business Council for Sustainable Development*, WBCSD) wydano pierwszy raport techniczny dotyczący ekoefektywności.

Ekoefektywność została zdefiniowana przez WBCSD jako „dostarczanie konkurencyjnie wycenionych dóbr i usług, które zaspokajają potrzeby ludzi i podnoszą jakość życia przy jednoczesnym dążeniu do zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko oraz zużycia zasobów w całym cyklu życia, przynajmniej do poziomu odpowiadającego oszacowanej wydolności Ziemi” (Eco-efficiency... 2000; DeSimone, Popoff 2000). Ekoefektywność określa się również jako „zwiększanie wartości, przy jednoczesnym zmniejszaniu negatywnego wpływu” (*creating more value with less impact*) (Eco-efficiency... 2000; DeSimone, Popoff 2000).

---

<sup>2</sup> Ekoefektywność obejmuje dwa wymiary rozwoju zrównoważonego – ekologiczny (środowiskowy) oraz ekonomiczny, nie zawiera elementów społecznych, a przynajmniej nie określa wprost ich roli. Choć brak tego wymiaru w bezpośrednich kalkulacjach związanych z ekoefektywnością, to warto zauważyć, że określenie takich kategorii jak np. minimalizacja zużycia zasobów naturalnych, minimalizacja ilości powstających odpadów i ścieków, zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza itp. zwykle prowadzą do powstania korzyści społecznych, które towarzyszą większemu poszanowaniu środowiska naturalnego.

Należy podkreślić, że efektywność oznacza nie tylko poprawę efektywności istniejących rozwiązań, lecz także działania stymulujące tworzenie i wdrażanie innowacji, czyli nowych metod, technik, technologii, produktów, usług itp. Ponadto, efektywność nie jest ograniczona tylko do działań w ramach przedsiębiorstwa i procesu produkcyjnego; może dotyczyć wszystkich etapów cyklu życia produktu, usługi czy procesu. Tym samym w tworzenie efektywnych rozwiązań mogą być zaangażowani inżynierowie, dostawcy, odbiorcy, menedżerowie produktu, specjaliści ds. marketingu, a nawet specjaliści ds. finansów.

Miarą efektywności jest wskaźnik zależny od wskaźników ekonomicznego oraz ekologicznego, co można przedstawić następująco

$$\text{wskaźnik efektywności} = \frac{\text{wskaźnik ekonomiczny}}{\text{wskaźnik ekologiczny}}$$

Zależność tę można wyrazić również, tak jak we wspomnianym wyżej raporcie technicznym i w innych publikacjach (Calculating... 2001; Keffer, Shimp, Lehn 2000), w których wskaźnik ekonomiczny został określony jako wartość produktu lub usługi, a wskaźnik ekologiczny jako wielkość wpływu na środowisko.

Powyższy wzór przyjmując zatem postać

$$\text{wskaźnik efektywności} = \frac{\text{wartość produktu/usługi}}{\text{wielkość wpływu na środowisko}}$$

Formuła ta stanowi ogólne ramy wyznaczania efektywności, w których mieszczą się różne sposoby i metody obliczeniowe, a ich wybór zależy głównie od specyfiki przedmiotu analizy (Hukkinen 2001; Korhoner, Luptacik 2004). W zależności od potrzeb, można wyznaczać efektywność wyrobu, usługi, przedsiębiorstwa, inwestycji, technologii (np. Weaver i in. 2000) itp.

### 3.2. Wskaźnik ekonomiczny w równaniu określającym efektywność

Podobnie jak w przypadku wskaźnika określającego wpływ na środowisko, wskaźnik ekonomiczny, znajdujący się w liczniku ilorazu określającego efektywność, może być wyznaczany za pomocą różnych metod. Zaleca się, aby wyrażać go w odniesieniu do:

- rozmiarów produkcji wyrażonych na przykład przez liczbę pracowników, czas pracy (lata, miesiące), jednostkę powierzchni,
- liczby/ilości wyrobów gotowych lub sprzedanych,
- funkcji, na przykład czasu życia wyrobu, ładowności środków transportu,
- wartości pieniężnej, wyrażonej na przykład przez wartość sprzedaży brutto, obroty, dochód, zysk, inwestycje, koszty, wartość księgową,
- innych wskaźników, takich jak cena wyrobu/usługi, wartość udziałów.

W badaniach nad sposobami wyznaczania efektywności zaleca się, aby używać standaryzowanych wskaźników ekonomicznych, jak na przykład wartość dodana w przypadku określania efektywności produktu lub usługi.

Wśród metod wykorzystywanych do szacowania wskaźnika ekonomicznego można wyróżnić przede wszystkim dwie:

- analizę CBA (*Cost-Benefit Analysis*) – analizę kosztów i korzyści – która służy do porównywania i oceny pełnych kosztów i korzyści dla społeczeństwa i ekosystemów, związanych z określoną działalnością oraz obejmujących zarówno jej materialne, jak i niematerialne koszty i korzyści,
- analizę LCC (*Life Cycle Costing*) – analizę kosztów cyklu życia – która służy do identyfikacji i szacowania wszystkich kosztów związanych z cyklem życia produktu lub procesu, dotyczących bezpośrednio jednego lub większej liczby decydentów w cyklu życia (dostawca, producent, użytkownik/konsument, przedsiębiorstwo utylizacji), z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych, które mogą mieć wpływ na decyzje podejmowane w przyszłości.

Oprócz wymienionych metod, wykorzystywanych do analizy efektywności, można wskazać inne, które mogą być stosowane do oceny projektów, w szczególności technologii. Ich wybór może być uwarunkowany celem analizy, a także tym, kto inicjuje jej przeprowadzenie. Na przykład inne będą oczekiwania najwyższego kierownictwa w odniesieniu do analizy rocznej działalności przedsiębiorstwa, wyników osiągniętych ze sprzedaży, a inne podejście do analizy będzie towarzyszyło menedżerowi projektu, który ocenia efektywność określonej technologii zarówno pod względem ekonomicznym, jak i ekologicznym. Ta ostatnia grupa decydentów korzysta przede wszystkim z dyskontowych metod oceny opłacalności przedsięwzięć, do których zalicza się między innymi wartość zaktualizowaną netto *NPV* (Burritt, Saka 2006).

Metody dyskontowe mogą być zarówno częścią analizy ekonomicznej, prowadzącej do oszacowania wartości wskaźnika ekonomicznego w ramach analizy efektywności (np. w ramach analizy CBA lub LCC), jak i mogą być wykorzystywane do szacowania wartości tego wskaźnika bezpośrednio. Przykładem bezpośredniego wykorzystania wskaźnika *NPV* (*Net Present Value*) w analizie efektywności, jest szacowanie efektywności technologii oczyszczania gazów (Meier, Hungerbühler 2000). W niniejszym artykule przedstawiono metodykę i wyniki wykorzystania metod dyskontowych do oceny efektywności ekonomicznej na przykładzie wybranych technologii energetycznych, jako etap pośredni w ramach przeprowadzania analizy efektywności uwzględniającej również wskaźnik ekologiczny.

#### **4. OPIS PRZYJĘTEJ METODY OCENY EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ I JEJ ZAŁOŻEŃ**

Wykorzystana w procesie obliczeń efektywności metoda ekonomiczna, to jedna z metod dynamicznych zwanych również złożonymi lub dyskontowymi, w których jest uwzględniana zmienna wartość pieniądza w czasie. Za pomocą współczynnika dyskontującego dokonuje się w nich sprowadzenia wartości nominalnej do wartości bieżącej w danym roku bazowym.

Kapitał, jak każde ograniczone dobro, ma cenę, w analizie efektywności inwestycji konieczne jest więc uwzględnienie stopy dyskontowej. Dotyczy to zarówno kapitału już funkcjonującego w przedsiębiorstwie (składniki pasywów bilansu przedsiębior-



stwa stanowiących źródło finansowania majątku trwałego i obrotowego przedsiębiorstwa), jak i nowego kapitału dopływającego do przedsiębiorstwa z zewnątrz w celu sfinansowania podejmowanej inwestycji (kapitał obcy). Cena, którą przedsiębiorstwo ponosi za wykorzystanie kapitału, stanowi jego koszt. Z punktu widzenia dostawców kapitału jest to natomiast stopa zysku, której oczekują oni od zainwestowanego kapitału (Marcinek 1997).

Najczęściej inwestycje są finansowane przez przedsiębiorstwa z kilku źródeł, o różnym koszcie kapitału. Stąd oblicza się średni koszt kapitału, który jest średnią kosztów pozyskania jego poszczególnych składników, ważoną ich udziałem w całości kapitału (Sierpińska, Jachna 2000).

W ramach prowadzonych prac, w celu uzyskania porównywalnych wyników obliczeń, konieczne było przyjęcie jednolitej stopy dyskontowej do analizy wszystkich wybranych technologii energetycznych, niezależnie od potencjalnych źródeł ich finansowania. Odwołano się także do międzynarodowych praktyk i wytycznych. Stopę dyskontową przyjęto na podstawie doświadczeń i rekomendacji Komisji Europejskiej, a nie indywidualnych przypadków. Konieczne było bowiem przyjęcie jak najbardziej uniwersalnej formuły, którą można zastosować do różnych inwestycji i technologii.

Szacunki realnych stóp zwrotu z aktywów finansowych, będące punktem wyjścia do określenia, przez Komisję Europejską, rekomendowanej finansowej stopy dyskontowej, przedstawiono w tabeli 1. Należy zaznaczyć, że więksi inwestorzy i doświadczeni specjaliści są w stanie osiągnąć zwroty wyższe od przeciętnych.

**Tabela 1.** Przybliżone szacunki długoterminowej rocznej finansowej stopy zwrotu z papierów wartościowych (Komisja Europejska... 2008)

Klasa aktywów	Szacowany nominalny roczny zwrot, %	Szacowany realny roczny zwrot, %
Akcje dużych spółek	9,0	6,4
Akcje średnich i małych spółek	10,7	8,1
Akcje spółek międzynarodowych	9,1	6,5
Obligacje	4,8	2,2
Środki pieniężne w formie lokat bankowych	3,2	0,6
Średnia prosta	–	4,76

Jeżeli przyjmie się, że podmioty realizujące projekt są doświadczonymi inwestorami, stopa zwrotu nieznacznie wyższa od średniej z wartości podanych w tabeli 1 będzie bardziej odpowiadała wymaganiom dotyczącym procesu obliczeń efektywności. Dlatego na podstawie danych zawartych w tej tabeli przyjęto, że rekomendowana przez Komisję Europejską, w momencie realizacji tych ocen efektywności, finansowa stopa dyskontowa wynosząca 5%, która jest nieco wyższa od średniej wartości portfela różnych papierów wartościowych, była najbardziej odpowiednia do analiz przeprowadzanych w cenach stałych. Przyjmując ją, uniezależniono wyniki analiz od specyficznych warunków wdrażania technologii, takich jak źródła finansowania czy sytuacja finansowa przedsiębiorcy. Oceniono więc samą technologię, przez co uzyskane wyniki stały się bardziej obiektywne i porównywalne z wynikami innych analizowanych technologii.

Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na porównywalność uzyskiwanych wyników jest horyzont czasowy prowadzonych analiz. Ponieważ wyniki oceny efektywności ekonomicznej, wraz z wynikami oceny cyklu życia LCA, stanowią podstawę wyliczenia efektywności, uznano, że dla obu rodzajów ocen powinny być one jednakowe. Do obliczeń przyjęto więc przewidywane okresy użytkowania technologii podane przez ich użytkowników bądź określone na podstawie danych dostępnych w literaturze.

Istnieje wiele dyskontowych metod oceny opłacalności projektów inwestycyjnych. Jednak konieczność uzyskania wyników oceny efektywności ekonomicznej w formie wskaźnika odzwierciedlającego wartość produktu zadecydowała o wyborze metody wartości bieżącej netto (*NPV*). Wskaźnik *NPV* służy bowiem do oceny korzyści, jakie przyniesie inwestycja w całym okresie życia. Wiedząc, że przepływy pieniężne netto w roku  $t$  stanowią różnicę między wartością nadwyżki pieniężnej w roku  $t$  z działalności bieżącej ( $CF_t$ ) a wartością wydatków inwestycyjnych poniesionych w roku  $t$  ( $I_t$ ), *NPV* można przedstawić jako (Rogowski 2008)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - \sum_{t=0}^m \frac{I_t}{(1+k)^t}$$

Dodatnia wartość *NPV* oznacza, że inwestycja jest opłacalna. W zależności od przyjętej stopy dyskonta, dodatnie *NPV* wskazuje, że zyski z inwestycji są wyższe niż koszty kredytu, wyższe niż stopa zwrotu z projektów alternatywnych lub projektów realizowanych dotychczas w danym podmiocie gospodarczym. Ujemna wartość *NPV* jest wskazówką, że przy przyjętej stopie dyskonta, zyski z inwestycji będą mniejsze niż zamierzone. Nie można jednak jednoznacznie powiedzieć, że inwestycja będzie wówczas generować ujemny wynik finansowy wyrażony w wartościach nominalnych. Taka sytuacja może się zdarzyć w przypadku użycia jako stopy dyskontowej, na przykład średniego poziomu zwrotu z projektów alternatywnych lub stopy oprocentowania lokat bankowych.

## 5. ZASTOSOWANIE PRZYJĘTEJ METODY OCENY EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ DO ANALIZY WYBRANYCH TECHNOLOGII ENERGETYCZNYCH

Dane do oceny technologii pozyskiwano metodą ankietyzacji. W tym celu opracowano kartę technologii, zawierającą pytania o informacje niezbędne do prawidłowego określenia efektywności ekonomicznej technologii. W rezultacie otrzymano 11 kompletnych kart technologii, które umożliwiły przeprowadzenie pełnych obliczeń i uzyskanie wiarygodnych wyników (tab. 2).

Uzyskane wyniki obliczeń wykazały zróżnicowany stopień efektywności poszczególnych rodzajów technologii. Do obliczeń przyjęto aktualne średnie ceny surowców energetycznych i energii elektrycznej. Poza nakładami inwestycyjnymi, istotny wpływ na osiąganą efektywność ekonomiczną ma ilość i rodzaj produktu końcowego. Rzeczywista efektywność ekonomiczna poszczególnych technologii jest w praktyce zależna od lokalizacji inwestycji (kosztów dostarczania surowców oraz przesyłu/



transportu produktów do odbiorców końcowych) oraz zmienna w czasie – zależnie od sytuacji rynkowej (ceny surowców i produktów). W aspekcie porównawczym analizowanych technologii wyniki nie powinny jednak ulegać znacznym odchyleniom. Bazując na tych samych założeniach dla wszystkich technologii, niezależnie od wartości wejściowych, przyjętych do obliczeń, przeprowadzona analiza wykazała, które z badanych technologii są mniej, a które bardziej efektywne względem siebie.

**Tabela 2.** Podsumowanie wyników analizy ekonomicznej wybranych technologii energetycznych

Nazwa technologii	Docelowa wielkość produkcji – produkt główny		Okres użytkowania technologii lata	Suma zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych, tys. zł	Suma zdyskontowanych przychodów tys. zł	NPV tys. zł
Spalanie węgla w kotle pyłowym w parametrach ultranadkrytycznych USCPC	4 095 300	MWh/rok	30	10 925 408	20 186 896	9 261 487
Spalanie węgla w kotle pyłowym w parametrach nadkrytycznych SPCP	4 095 300	MWh/rok	30	11 856 020	21 403 210	9 547 190
Spalanie węgla w kotłach fluidalnych w parametrach nadkrytycznych SFBC	2 991 877	MWh/rok	30	3 633 200	10 575 714	6 942 513
Spalanie węgla w tlenie (Oxyspalanie)	4 095 370	MWh/rok	30	10 875 681	19 755 660	8 879 978
IGCC	4 486 872	MWh/rok	30	9 557 706	18 623 039	9 065 333
Bezpośrednie uwodornienie węgla	848	Gg/rok	25	30 190 646	46 247 496	16 056 851
Spalanie gazu w układach zintegrowanych NGCC	4 172 441	MWh/rok	30	9 264 781	11 635 491	2 370 710
Energetyczne wykorzystanie paliw alternatywnych – spalanie odpadów komunalnych	478	GWh/rok	25	1 663 314	2 267 815	604 501
Elektrownia wiatrowa	41 000	MWh/rok	20	127 633	137 957	10 324
Piaski roponośne	13 463 025	m <sup>3</sup> /rok	40	111 770 334	122 912 848	11 142 514
Ogniwa paliwowe	1 775 757	MWh/rok	30	4 240 471	7 485 738	3 245 267

Przedstawione wartości zdyskontowanych nakładów i kosztów oraz przychodów posłużyły w dalszym toku obliczeń do uzyskania wskaźników efektywności z wykorzystaniem wyników LCA dla tych technologii. Przyjęta metodyka pozwoliła również na włączenie do obliczeń wyników oceny społecznej technologii.

Do wyliczenia wskaźnika efektywności zdecydowano się wykorzystać modele optymalizacyjne DEA (*Data Envelopment Analysis*) oraz modele ekonometryczne. W obliczeniach wykorzystano wyniki oceny efektywności ekonomicznej w postaci dwóch zmiennych dotyczących warunków ekonomicznych:

- 1) kosztów wprowadzenia technologii (zmienna traktowana jako nakład w modelu DEA),
- 2) przychodów z tytułu wprowadzenia technologii (zmienna traktowana jako rezultat w modelu DEA).

Końcowym efektem analizy był wyznaczony wskaźnik efektywności, w którym został uwzględniony aspekt ekologiczny, ekonomiczny oraz społeczny.

## 6. PODSUMOWANIE

W artykule omówiono metodykę obliczania efektywności ekonomicznej, służącą do analiz efektywności oraz przedstawiono wyniki obliczeń dla wybranych technologii energetycznych. Uzasadniono wybór metody określania wartości bieżącej netto (*NPV*) oraz wskazano na konieczność ujednoczenia założeń obliczeniowych w zakresie stopy dyskontowej oraz horyzontu czasowego prowadzonych analiz. Metodę *NPV* zastosowano z uwagi na możliwość dokonania obliczeń strumienia zdyskontowanych wpływów i wydatków związanych z realizacją fazy inwestycyjnej oraz operacyjnej analizowanych technologii, co pozwoliło na uzyskanie wyników, które mogą być porównywane między sobą w odniesieniu do technologii o bardzo różnorodnej specyfice. Uzyskane wyniki obliczeń wykazały zróżnicowany stopień efektywności ekonomicznej analizowanych technologii energetycznych. Jednak pełniejszą ocenę tych technologii, szczególnie w aspekcie zrównoważonego rozwoju, umożliwia wskaźnik efektywności. Obliczone w ramach analizy efektywności ekonomicznej wartości zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych oraz zdyskontowanych przychodów, stanowią zmienne dla modeli optymalizacyjnych *DEA* (*Data Envelopment Analysis*) oraz modeli ekonometrycznych zastosowanych do wyliczenia wskaźnika efektywności.

*Publikacja została opracowana w ramach projektu pt. „Opracowanie modelu oceny efektywności technologii zrównoważonego rozwoju”, współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.*

### Literatura

1. Borys T. (2005): Wskaźniki zrównoważonego rozwoju. Warszawa – Białystok, Wydaw. Ekonomia i Środowisko.
2. Burritt R.L., Saka Ch. (2006): Environmental management accounting applications and eco-efficiency: case studies from Japan. *Journal of Cleaner Production* No. 14.
3. Calculating Eco-efficiency Indicators: A workbook for industry (2001). Ottawa, National Round Table on the Environment and the Economy.
4. DeSimone L.D., Popoff F. (2000): Eco-efficiency: the business link to sustainable development. Cambridge, Massachusetts, USA, MIT Press.
5. Eco-efficiency. Creating more value with less impact. World Business Council for Sustainable Development (2000): [http://www.wbcsd.org/DocRoot/BugWjalu0wHL0IMoiYDr/eco\\_efficiency\\_creating\\_more\\_value.pdf](http://www.wbcsd.org/DocRoot/BugWjalu0wHL0IMoiYDr/eco_efficiency_creating_more_value.pdf) (dostęp: 3.04.2011).
6. Hukkinen J. (2001): Eco-efficiency as abandonment of nature. *Ecological Economics* No. 38.
7. Huppes G., Ishikawa M. (2007): Quantified eco-efficiency: an introduction with applications. Dordrecht, Springer.
8. Keffer C., Shimp R., Lehni M. (2000): Eco-efficiency indicators and reporting. Report on the status for the Final Printed Report. WBCSD.
9. Komisja Europejska (2008): Dyrekcja Generalna ds. Polityki Regionalnej: Przewodnik do Analizy Kosztów i Korzyści projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne. Fundusz

- Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny. Raport końcowy przedłożony przez TRT Transporti e Territorio oraz CSIL Centre for Industrial Studiem.
10. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów (2010): Energia 2020. Strategia na rzecz konkurencyjnego, zrównoważonego i bezpiecznego sektora energetycznego, KOM(2010)639 wersja ostateczna. Bruksela, UE.
  11. Korhoner P.J., Luptacik M. (2004): Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* No. 154.
  12. Marcinek K. (1997): Finansowa ocena przedsięwzięć inwestycyjnych przedsiębiorstw. Katowice, Wydaw. Uczelniane Akademii Ekonomicznej im. K. Adamieckiego w Katowicach.
  13. Meier M.A., Hungerbühler K. (2000): Uncertainty analysis and toxicity classification in life cycle assessment using the case-study of gas purification system. *International Journal of Life Cycle Assessment* No. 5 (2).
  14. Nowak E., Pielichaty E., Poszwa M. (1999): Rachunek opłacalności inwestowania. Warszawa, PWE.
  15. Pearce D., Barbier E., Markandya A. (1990): Sustainable Development. Economics and the Environment in the Third World. London, Edward Elgar Publishing Limited.
  16. Rogowski W.: (2008): Rachunek efektywności inwestycji. Kraków, Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o.
  17. Sierpińska M., Jachna T. (2000): Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
  18. Sturm A., Shaltegger S. (1989): Ökologieinduzierte Entscheidungsinstrumente des Managements, WWZ-Discussion Paper No. 8914. Universität Basel.
  19. WCED (1987): Our Common Future. World Commission on Environment and Development. Oxford, Oxford University Press.
  20. Weaver A., Jansen L., van Grootveld G., van Spiegel E., Vergragt P. (2000): Sustainable technology development. Sheffield, UK, Greenleaf Publishing.

**Recenzent:** prof. dr hab. inż. Marian Turek