

Mariusz KUDEŁKO\*

## Metodyka i założenia wyceny kosztów zewnętrznych powodowanych przez planowane elektrownie wykorzystujące złoża węgla brunatnego Legnica i Gubin

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono ogólne założenia metodyki ExternE szacowania kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła emisji zanieczyszczeń gazowych, w tym elektrownie. Podano definicję kosztów zewnętrznych, scharakteryzowano kategorie niekorzystnego oddziaływania emisji zanieczyszczeń gazowych, takie jak: zdrowie ludzkie, szkody materiałowe, szkody w zbiorach rolnych, utrata bioróżnorodności. Opisano procedurę szacowania kosztów zewnętrznych, w tym emisję, sposób jej rozprzestrzeniania, jej wpływ na komponenty środowiska oraz ich monetarną wartość. Ponadto przedstawiono założenia wyceny monetarnej kosztów zewnętrznych powodowanych przez projektowane elektrownie wykorzystujące złoża węgla brunatnego Legnica i Gubin. Plany rozwoju wydobywania węgla brunatnego dla tych kompleksów złożowych zaczerpnięto z projektu Foresight koordynowanego przez Instytut Poltegor. Scharakteryzowano parametry techniczno-emisyjne projektowanych elektrowni, które stanowią wsad informacyjny do modelu EcoSense Web V 1.3, podstawowego narzędzia wykorzystywanego w tego typu badaniach. Na podstawie tych danych i za pomocą tego modelu przeprowadzony zostanie szacunek kosztów zewnętrznych powodowanych przez planowane elektrownie. Wyniki zostaną porównane z podanymi w artykule szacunkami kosztów tzw. technologii referencyjnych, pochodzącymi z projektu NEEDS.

**SŁOWA KLUCZOWE:** koszty zewnętrzne, sektor energetyczny, węgiel brunatny

---

\* Dr hab. inż., prof. – Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN,  
email: kudelko@meeri.pl

## Wprowadzenie

Problematyka szacowania i uwzględniania kosztów zewnętrznych w podejmowaniu strategicznych decyzji inwestycyjnych staje się nowym wyzwaniem dla naukowców i decydentów<sup>1</sup>. Teoria ekonomii przekonuje, że decyzje takie powinny uwzględniać nie tylko prywatne koszty budowy i eksploatacji budowanych zakładów, lecz także ich społeczne skutki objawiające się w postaci negatywnego oddziaływania na środowisko i człowieka. Tylko pełny rachunek kosztów społecznych stanowić może przesłankę do podjęcia racjonalnej i ekonomicznie uzasadnionej decyzji inwestycyjnej (skala mikro) czy prowadzenia właściwej polityki gospodarczej (skala makro).

Celem artykułu jest opis metodyki i założeń wyceny monetarnej kosztów zewnętrznych dla projektowanych elektrowni bazujących na węglu brunatnym pochodzącym ze złóż Legnica i Gubin oraz sektora energetycznego w Polsce. Rachunek ten zmierza do skwantyfikowania niekorzystnych efektów zewnętrznych powodowanych przez emisję najważniejszych zanieczyszczeń gazowych, takich jak SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pyły i CO<sub>2</sub>, pochodzących z energetycznego spalania paliw. Opisano zatem metodykę ExternE, stworzoną w trakcie realizacji kilku projektów europejskich, takich jak ExternE-POL, NewExt, NEEDS. Jest to w zasadzie jedyna tak kompleksowa metodyka wyceny kosztów zewnętrznych i choć niepełna, to w większości przypadków akceptowana przez naukowców. Nie uwzględnia ona bowiem niekorzystnych efektów związanych m.in. z oddziaływaniem na glebę i wody, hałasem czy widocznością, niemniej jednak kwantyfikuje najbardziej szkodliwą kategorię oddziaływania, jaką są emisje zanieczyszczeń gazowych, i to na całym etapie łańcucha produkcyjnego, tj. od budowy, poprzez eksploatację, aż do likwidacji elektrowni (zgodnie z metodą Oceny Cyklu Życia – LCA). Na tej podstawie i biorąc pod uwagę specyfikę planowanych do zagospodarowania złóż opisano założenia wyceny monetarnej kosztów zewnętrznych projektowanych elektrowni wykorzystujących złoża węgla brunatnego Legnica i Gubin.

### 1. Ogólna charakterystyka metodyki szacowania kosztów zewnętrznych

W trakcie procesu produkcji energii elektrycznej elektrownia emituje zanieczyszczenia, które wywołują niekorzystne skutki uboczne, powodujące wymierne skutki ekonomiczne. W przypadku braku regulacji środowiskowych przedsiębiorstwo nie ma ekonomicznej zachęty, aby powyższe szkody eliminować. W rezultacie szkody te, w postaci tak zwanych

---

<sup>1</sup> Prace na ten temat można znaleźć m.in. w: Friedrich i in. 1993, Spadaro i in. 1999, Friedrich i in. 2001, Radovic 2002, Freeman 2003, Strupczewski i in. 2004, Rabl i in. 2005, NEWEXT 2004, Melichar i in. 2004, ExternE 2005, Graczyk 2005.

„efektów zewnętrznych”, nie są brane pod uwagę w jego decyzjach produkcyjnych. Konwersja tych niekorzystnych efektów zewnętrznych na jednostki monetarne pozwala wyliczyć wysokość kosztów zewnętrznych. Koszty te z reguły nie są uwzględnione w rachunku ekonomicznym przedsiębiorstwa, przez co powstają tzw. nieefektywności alokacyjne (nadmierna konsumpcja dóbr i usług, których produkcja powoduje zanieczyszczenia środowiskowe i niekorzystne efekty zewnętrzne).

Ogólna definicja kosztów zewnętrznych technologii energetycznych odnosi się do wszystkich negatywnych efektów związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepłej, na wszystkich etapach technicznego procesu, jakimi są: budowa i likwidacja elektrowni, wydobywanie i transport surowców energetycznych oraz emisja zanieczyszczeń w trakcie produkcji energii elektrycznej (Friedrich i in. 1993).

Jedną z najbardziej kompleksowych prób szacunku kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła zanieczyszczeń, w tym przede wszystkim elektrownie, zrealizowano w ramach europejskich projektów ExternE-POL, NewExt i NEEDS. Metodyka ExternE zmierza do uwzględnienia jak najszerszego spektrum niekorzystnych efektów zewnętrznych powodowanych na etapie produkcji i transportu paliw energetycznych i ich energetycznego zużycia.

Koszty zewnętrzne powodowane emisją zanieczyszczeń gazowych, powstających w trakcie produkcji energii, są – na obecnym etapie badań – szacowane dla takich kategorii oddziaływania, jak: zdrowie ludzkie, szkody materiałowe, szkody w zbiorach rolnych, bioróżnorodność oraz zmiana charakteru użytkowania powierzchni ziemi. Wpływ poszczególnych polutantów na rodzaj ponoszonych strat przedstawiono w tabeli 1.

Standardowa procedura wykorzystywana w badaniach kosztów zewnętrznych, w tym także w metodyce ExternE, obejmuje następujące etapy (rys. 1):

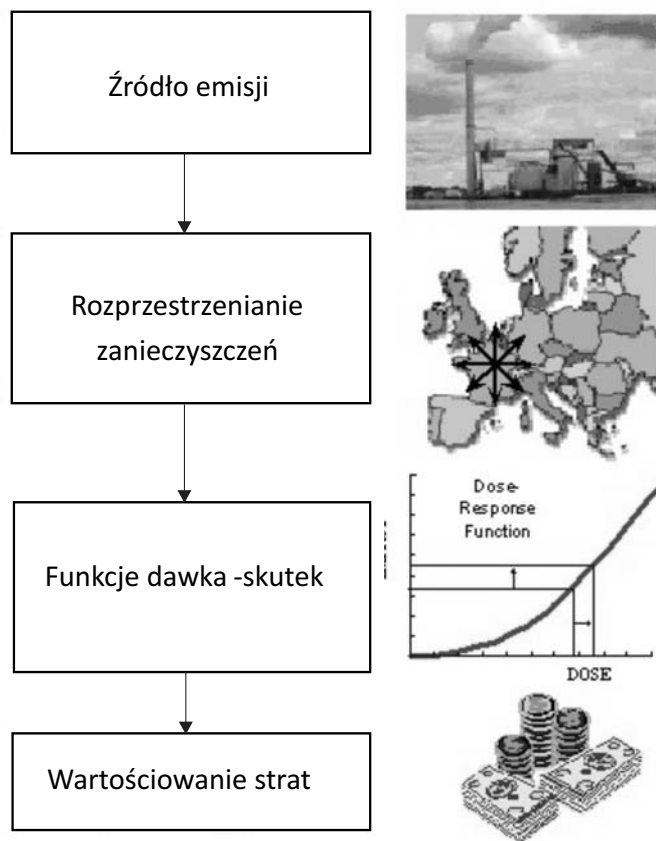
TABELA 1. Niekorzystne efekty zewnętrzne związane z emisją zanieczyszczeń gazowych

TABLE 1. Negative externalities associated with the emissions of air pollutants

Obszar oddziaływania	Polutant	Efekt zewnętrzny
Zdrowie ludzkie	PM, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , NMVOC, Cd, As, Ni, Pb, Hg, Cr, dioksyny	zmniejszenie długości życia ludzkiego, leczenie szpitalne związane z chorobami sercowo-naczyniowymi
Szkody materiałowe	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	korozja metali, niszczenie elewacji budynków, ubytki materiałów itp.
Szkody w zbiorach rolnych	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	zmniejszenie produktywności pól rolnych, straty leśne, konieczność zwiększenia azotowania gleb
Utrata bioróżnorodności	NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NMVOC	zachwianie równowagi biologicznej
Globalne ocieplenie	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, N, S	zagrożenie życia, powódzie, straty w rolnictwie, turystyce itp.

Źródło: ExternE – Externalities of Energy 2005

- ❖ **emisja** (*emission*): szacunek wielkości emisji zanieczyszczeń emitowanych przez dane źródło; zależy od zastosowanej technologii energetycznej i typu paliwa, wyrażana najczęściej w jednostkach fizycznej emisji przypadającej na jednostkę produkcji energii (np. kg NO<sub>x</sub>/GWh),
- ❖ **rozprzestrzenianie** (*dispersion*): oszacowanie zmian odpowiednich miar jakości środowiska jako funkcji emisji; np. poprzez wzrost koncentracji emisji na pewnym obszarze (wyrażony w µg/m<sup>3</sup>),
- ❖ **wpływ** (*impact*): oszacowanie fizycznych efektów zmian jakości środowiska dla poszczególnych rodzajów oddziaływań (np. zdrowia – jako ilość przypadków astmy u dzieci itp.); wykorzystywane są w tym celu tzw. funkcje „dawka-skutek” (*dose-response functions*),
- ❖ **koszt** (*cost*): zastosowanie jednostkowych miar do przekształcenia fizycznych efektów w monetarną wartość kosztów zewnętrznych (np. koszt leczenia astmy).



Rys. 1. Procedura szacowania kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła emisji zanieczyszczeń gazowych  
 Źródło: EcoSenseWeb V 1.3 2008

Fig. 1. The procedure for estimating external costs caused by point sources of air emissions

Niekorzystny wpływ emisji zanieczyszczeń zależy od położenia geograficznego emitora, wysokości komina oraz koncentracji zanieczyszczeń w środowisku. W szczególności dla określenia fizycznych i ekonomicznych skutków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń niezbędne są techniczne, emisyjne i geograficzne dane, charakteryzujące badany obiekt energetyczny. Wymagane dane to:

- ✧ wielkość produkcji energii elektrycznej brutto [MWh],
- ✧ czas pracy elektrowni z pełnym obciążeniem [h],
- ✧ wskaźniki emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i pyłów [mg/Nm<sup>3</sup>],
- ✧ wysokość komina [m],
- ✧ średnica komina [m],
- ✧ natężenie wypływu gazów spalinowych [Nm<sup>3</sup>/h],
- ✧ temperatura gazów spalinowych [K],
- ✧ położenie elektrowni [m n.p.m., szerokość i długość geograficzna].

Proces rozprzestrzeniania zanieczyszczeń modelowany jest w zależności od typu zanieczyszczenia, tj. jego chemicznej charakterystyki i procesu atmosferycznego odpowiedzialnego za jego tworzenie. Inaczej określany jest sposób rozprzestrzeniania zanieczyszczeń pierwotnych, emitowanych bezpośrednio przez komin, a inaczej wtórnych – poprzez suchą i moką depozycję oraz utleniaczy fotochemicznych<sup>2</sup>. W przypadku zanieczyszczeń pierwotnych ich rozprzestrzenianie można szacować opierając się na modelu Gaussa (Brode i in. 1992). Zakłada on, że emisja z punkowego źródła jest transportowana przez wiatr jako linia prosta, mieszając się jednocześnie z powietrzem w poziomie i pionie, powodując koncentrację zanieczyszczeń na podstawie rozkładu normalnego (Gaussa). Zakres stosowania tego modelu wynosi około 100 km od źródła. W badaniach stwierdzono, że w odległości do 1000 km od źródła rejestrowanych jest około 80% zniszczeń związanych z emisją NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i pyłów. Dlatego bardzo ważne jest odpowiednie odwzorowanie transportu zanieczyszczeń w skali regionalnej. Służy do tego bardziej złożony od poprzedniego model Langrange'a (Derwent i in. 1986). Opisuje on sposób transportu zanieczyszczeń, reakcje chemiczne zachodzące w atmosferze oraz moką i suchą depozycję.

Model EcoSense (i jego najnowsza wersja EcoSenseWeb V 1.3), stworzony w ramach projektów ExternE i NEEDS przez Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung Uniwersytetu w Stuttgarcie, jest podstawowym narzędziem wykorzystywanym do modelowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń gazowych w skali lokalnej i regionalnej oraz szacunku kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła zanieczyszczeń gazowych. Model zawiera bazę danych, charakteryzującą poszczególne jednostki administracyjne (tzw. NUT-sy) krajów europejskich oraz dane meteorologiczne. Dane te obejmują takie informacje, jak: koncentracja tła, wielkość populacji, powierzchnia, produkcja roślin uprawnych, ilość i rodzaj budowli mogących ulec zniszczeniu, powierzchnia lasów. Dane meteorologiczne oparto na systemie koordynat EUROGRID, które charakteryzują poszczególne kraje europejskie (prędkość wiatru, kierunek i wilgotność).

Modele rozprzestrzeniania zanieczyszczeń dostarczają niezbędnych danych o wzroście koncentracji zanieczyszczeń w miejscach depozycji. Dane te wykorzystywane są w tzw. funkcjach dawka-skutek (*dose-response functions*), które opisują relacje pomiędzy związk-

<sup>2</sup> Formowane są w reakcjach chemicznych z węglowodorów i tlenków azotu w obecności słońca, np. ozon.

szoną wielkością koncentracji i fizycznymi skutkami (np. w postaci zwiększonej ilości zachorowań).

Dysponując wynikami wzrostu koncentracji zanieczyszczeń emitowanych przez dany obiekt energetyczny (w skali lokalnej oraz regionalnej) oraz wykorzystując funkcje dawka-skutek określa się rozmiary ich fizycznych skutków. Skutki te mierzone są w jednostkach naturalnych, a więc np. w postaci ilości dodatkowych zgonów ludzkich lub przypadków zachorowań na określony typ choroby, zmniejszenia plonów rolnych, dodatkowych remontów budynków itp. Przykładowo, efekt zdrowotny związany ze zwiększoną śmiertelnością ludzi jest wyrażony jako skumulowana redukcja oczekiwanej długości życia, tzw. YOLL (*years of life lost* – czyli ilość utraconych lat życia).

Podstawą metodyczną wyceny monetarnej kosztów zewnętrznych jest fakt, iż dobra środowiskowe dostarczają dwóch kategorii korzyści: 1) związanych z aktywnym (bezpośrednim) użytkowaniem tego dobra, 2) wynikających z użytkowania pasywnego (pośredniego). Wycena monetarna ludzkiego życia, dominującego składnika kosztów zewnętrznych w metodyce ExternE, dokonywana jest na podstawie tzw. „wskaźnika wartości utraconego życia” (*Value of Statistical Life*, VSL). Jest on w zasadzie równoważny tzw. skłonności do zapłaty za uniknięcie ryzyka przedwczesnej utraty życia. Typowe wartości tego wskaźnika, rekomendowane w badaniach prowadzonych w Europie i USA, mieszczą się w zakresie 1–5 mln Euro. Wcześniej w metodyce ExternE przyjmowano jego wartość na poziomie 3–3,5 mln Euro; obecnie – 1 mln Euro. Wyliczany w tych badaniach wskaźnik VSL jest raczej odpowiedni dla nagłych zgonów, a nie śmiertelności na skutek długotrwałego narażenia na zanieczyszczenia. Dlatego w metodyce ExternE wykorzystywany jest wskaźnik tzw. wartości roku życia VOLY (*value of life year*). Wyliczany jest na bazie VSL, oszacowanego na podstawie badań prowadzonych dla Wielkiej Brytanii, Francji i Włoch, wynoszącego około 1 mln Euro. Transformacja tej wartości na VOLY polega na oszacowaniu zmiany długości życia związanej ze zmniejszeniem ryzyka śmierci 5 z 1000 osób w ciągu kolejnych 10 lat. Wyliczony w ten sposób wskaźnik, przy zastosowaniu stopy dyskonta 3%, wynosi 40000 Euro (narażenie chroniczne – długookresowe) oraz 60000 € (narażenie krótkookresowe). Oznacza to, że ludzie skłonni są wydawać rocznie taką kwotę przez okres 10 lat, aby przedłużyć swoje życie. Całkowity ekonomiczny efekt zwiększonej śmiertelności określany jest jako iloczyn wskaźnika VOLY i skumulowanej redukcji oczekiwanej długości życia (tzw. YOLL – *years of live lost*).

Wycena kosztów utraty zdrowia w metodyce ExternE zawiera ich trzy rodzaje:

- ✧ koszty materialne – tj. koszty ponoszone przez służbę medyczną lub towarzystwo ubezpieczeniowe oraz dodatkowe koszty wydatkowane przez osoby chore,
- ✧ koszty alternatywne – uwzględniające utratę produktywności w czasie choroby,
- ✧ pozostałe koszty społeczne i ekonomiczne związane z ograniczeniem czasu wolnego, dyskomfortem psychicznym, niepokojem o przyszłość itp.

W przypadku budowy niekorzystne efekty związane są z utratą ich własności mechanicznych i funkcji reprezentacyjnych. Pierwszy składnik jest stosunkowo łatwo identyfikowalny, gdyż szkody usuwane są poprzez renowację, przy czym wykorzystuje się odpowiednie ceny za wykonanie tego typu prac. Składnik drugi wymaga z kolei wyceny warunkowej. Można jednak przyjąć, że odnowienie budynku powoduje zanik tego składnika kosztów.

Straty w uprawach rolnych są określane dla wtórnej depozycji SO<sub>2</sub>, ozonu i NO<sub>x</sub>. Wykorzystuje się tutaj ceny rynkowe najważniejszych zbóż i upraw.

W projekcie NEEDS opracowano metodologię określania strat w bioróżnorodności związanych z zakwaszaniem (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>) i eutrofizacją (NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub>) oraz wykorzystaniem terenów pod budowę elektrowni. Te pierwsze określają straty w ekosystemach wodnych i lądowych, wodach powierzchniowych, uprawach rolnych i leśnych, budynkach i zdrowiu ludzkim. Niekorzystne efekty związane ze zmianami użytkowania terenów oraz ich transformacją bazują na tzw. *Potential Disappeared Fraction* (PDF), czyli funkcjach wyrażających relatywne zmiany między liczbą istniejących gatunków zwierząt i roślin w terenie niezabudowanym i zabudowanym przez elektrownię. Koszty zewnętrzne określane są zatem jako koszty przywrócenia naturalnego stanu środowiska sprzed degradacji. W odniesieniu do wyceny utraty bioróżnorodności związanej z zakwaszeniem i eutrofizacją szacunki bazują na wycenie metodą „gotowości do zapłaty” (WTP – *willingness to pay*) za zachowanie ekosystemu w stanie pierwotnym. Wyniki badań oscylują w granicach 63–350 Euro/ha (średnia dla całej Europy), przy czym przyjęta w metodyce ExternE jest wysokość 100 Euro/ha. Natomiast jeśli chodzi o utratę bioróżnorodności związaną ze zmianą funkcji terenu pod budowę elektrowni, szacunki opierają się na kosztach przywrócenia pierwotnego charakteru terenu i oscylują w zależności od typu terenu od 0,17 Euro/m<sup>2</sup> (grunty orne) do 2,66 Euro/m<sup>2</sup> (las).

Koszty efektu cieplarnianego są przedmiotem żywej dyskusji wśród ekonomistów, gdyż cechuje je największy stopień niepewności. Metodyka ExternE zaleca stosowanie wartości zastępczych, czyli wysokości ceny emisji tony CO<sub>2</sub> na istniejącym rynku handlu emisjami lub – alternatywnie – wysokości kosztów redukcji emisji wymaganej dla osiągnięcia przyjętych pułapów emisji gazów cieplarnianych. Oba sposoby z dość dużym przybliżeniem odzwierciedlają gotowość społeczeństwa do zapłaty (WTP) kwoty umożliwiającej uniknięcie potencjalnych skutków ocieplenia klimatu. Z przeprowadzonych analiz wynika, że wymaganą przez protokół z Kioto 8% redukcję emisji (w stosunku do roku 1990) można osiągnąć – przy zastosowaniu mechanizmów elastyczności zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej – po koszcie krańcowym około 20 Euro zredukowanej emisji 1 Mg CO<sub>2</sub>. Szacunek ten bazuje na wynikach modeli makroekonomicznych (podejście *top-down*), jak i sektorowych – np. energetycznych (podejście *bottom-up*). Ewentualne rozszerzenie listy krajów sygnatariuszy porozumienia z Kioto i wprowadzenie mechanizmu handlu pozwoleniami zbywalnymi w szerszym niż dotychczas zakresie pozwoliłoby zredukować ten koszt do 5 Euro/Mg. Zatem w metodyce ExternE wykorzystywany jest przedział wartości 5–20 Euro/Mg jako najbardziej prawdopodobny zakres kosztów związanych z globalnym ociepleniem, przy czym górna wartość (dokładnie 19 Euro/Mg) jest przyjmowana jako najlepsze ich przybliżenie.



## 2. Założenia wyceny monetarnej kosztów zewnętrznych powodowanych przez projektowane elektrownie wykorzystujące złoża węgla brunatnego Legnica i Gubin

Plany rozwoju wydobycia węgla brunatnego i budowy elektrowni dla kompleksów złożowych Legnica i Gubin zawarto w publikacji pt. *Perspektywiczne scenariusze rozwoju wydobycia i przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną*<sup>3</sup>. Publikacja opiera się na niedostępnym, choć opublikowanym raporcie z projektu pod nazwą: *Scenariusze Rozwoju Technologicznego Przemysłu Wydobycia i Przetwórstwa Węgla Brunatnego. Projekt celowy – Foresight*, którego koordynatorem był Instytut Poltegor.

W projekcie założono, że w najbliższej perspektywie predysponowane do eksploatacji będą dwa kompleksy złożowe: legnicki i gubiński. Dla obu kompleksów opracowano wielowariantowe scenariusze udostępnienia zasobów, przy zbliżonym docelowym wydobyciu około 24 mln Mg rocznie. W projekcie przeanalizowano również możliwości budowy dwóch elektrowni zapewniających najlepsze wykorzystanie węgla brunatnego pochodzącego z obu złóż i jako najkorzystniejsze analizowano:

- ✧ technologię konwencjonalną ze spalaniem pyłów węgla w powietrzu (typu PC),
- ✧ technologię spalania węgla w powietrzu (typu *oxy-fuel*),
- ✧ technologię fluidalnego spalania węgla w powietrzu i tlenie.

Do szczegółowych analiz – zgodnie z wyborem dokonany w wspomnianym projekcie Foresight – wybrano dwa warianty technologiczne, oba z czterema blokami o mocy zainstalowanej  $4 \cdot 1150$  MW, których parametry przedstawiono w niniejszych tabelach. Przewiduje się ośmioletni cykl budowy kopalni w złożu Legnica i dziesięcioletni cykl budowy kopalni w złożu Gubin (do osiągnięcia pełnego wydobycia) oraz 3–4 letni okres budowy elektrowni. W tych warunkach planowana produkcja energii elektrycznej mogłaby się rozpocząć po 2022 roku. Zakłada się ponadto, również za danymi z dokumentacji wspomnianego wyżej projektu Foresight, średnią produkcję energii elektrycznej 30 TWh/rok dla każdej z analizowanych elektrowni.

Jeśli chodzi o metodykę wyceny kosztów zewnętrznych powodowanych przez pojedynczą elektrownię można jej dokonać na dwa sposoby:

- ✧ przeprowadzenie obliczeń za pomocą modelu EcoSenseWeb V 1.3 dla konkretnego typu i rzeczywistej lokalizacji elektrowni,
- ✧ oszacowanie kosztów zewnętrznych na podstawie istniejących wyliczeń dla tzw. referencyjnych technologii energetycznych, określonych w projekcie NEEDS.

W obu przypadkach niezbędne są parametry techniczno-emisyjne ocenianych technologii energetycznych. W pierwszym przypadku obliczenia możliwe są do przeprowadzenia za pomocą modelu EcoSenseWeb V 1.3, a wyniki uzyskuje się dla konkretnego rodzaju i lokalizacji elektrowni. Brak odpowiednich danych uniemożliwia w tym przypadku sza-

<sup>3</sup> J. Bednarczyk, *Perspektywiczne scenariusze rozwoju wydobycia i przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną*, *Polityka Energetyczna*, Tom 11, zeszyt 1, Wydawnictwa IGSMiE PAN, 2008.



TABELA 2. Założenia techniczne dwóch wariantów budowy elektrowni

TABLE 2. Technical assumptions of two variants of power plant construction

Lp.	Wyszczególnienie	Elektrownia konwencjonalna		Elektrownia Oxy-fuel z sekwestracją i lokowaniem CO <sub>2</sub> pod ziemią	
		w Legnicy	w Gubinie	w Legnicy	w Gubinie
1.	Moc bloku [MW]	1150		1150	
2.	Paliwo – węgiel brunatny o wartości opałowej [MJ/kg]	9,4–9,1		9,4–9,1	
3.	Zużycie węgla brunatnego [Mg/h]	886,7	810,6	886,6	810,6
4.	Cena węgla [zł/Mg]	70	89	70	89
5.	Sprawność netto [%]	48,5		39,0	
6.	Nakłady inwestycyjne [mln zł]	18 216,0		23 680,80	
7.	Okres budowy bloku [lat]	3 do 4			
8.	Dyspozycyjność w roku [h]	7500			
9.	Stopa dyskonta [%]	11			
10.	Emisja CO <sub>2</sub> [Mg CO <sub>2</sub> /Mg węgla]	0,7/1,0			

Źródło: Bednarczyk 2008

TABELA 3. Parametry ekonomiczne dwóch wariantów budowy elektrowni

TABLE 3. Economic parameters of two variants of power plant construction

Lp.	Wyszczególnienie	Elektrownia konwencjonalna		Elektrownia Oxy-fuel z sekwestracją i lokowaniem CO <sub>2</sub> podziemnym	
		w Legnicy	w Gubinie	w Legnicy	w Gubinie
1.	Wysokość kredytu [mln zł]	10 410		13 551	
2.	Zaktualizowana wartość netto kapitału NPV [mln zł]	72,52		91,81	
3.	Wewnętrzna stopa zwrotu inwestycji IRR [%]	11,06		11,06	
4.	Prosty okres zwrotu [lata]	17		17	
5.	Cena energii elektrycznej w elektrowni [zł/MW-h]	160	183	według Poltegoru	
				234	265
				według IASE	
6.	Roczna produkcja energii elektrycznej średnio [TWh/rok]	32	30	25,7	24,1

Źródło: Bednarczyk 2008

cunek kosztów w całym cyklu życia elektrowni, wyniki odnoszą się tylko do negatywnych skutków powodowanych na etapie produkcji energii elektrycznej. W drugim przypadku skorzystać można z wyników szacunków przeprowadzonych dla tzw. technologii referencyjnych, a szacunki kosztów dotyczą całego cyklu życia elektrowni.

Do obliczeń za pomocą modelu EcoSenseWeb V 1.3 przyjęto następujące założenia:

- ✧ szacunki przeprowadzono dla dwóch wytypowanych elektrowni w trzech wariantach:
  - ✧ konwencjonalnej PC (bez LCA, tylko etap produkcji energii),
  - ✧ konwencjonalnej PC, referencyjnej z projektu NEEDS (cały cykl życia, bez CCS),
  - ✧ typu *oxy-fuel*, referencyjnej z projektu NEEDS (cały cykl życia z CCS);
- ✧ wybór technologii podyktowany był różnym zakresem ich negatywnych skutków – od największego wpływu (technologia PC, praktycznie BAT, produkcja zgodna z normami emisyjnymi obowiązującymi od 2015 roku), poprzez średni wpływ (technologia PC, BAT, wskaźniki emisyjne niższe od poprzedniej), aż do najniższego wpływu (technologia typu *oxy-fuel*, wskaźniki emisyjne bardzo niskie, efekt cieplarniany minimalny),
- ✧ w przypadku dwóch ostatnich technologii koszty zewnętrzne były liczne w projekcie NEEDS dla całego cyklu życia technologii (tzw. podejście LCA), tj. dla emisji powodowanych na etapie budowy, eksploatacji i likwidacji elektrowni; szacunki były sporządzone dla typowej konfiguracji poszczególnych typów elektrowni,
- ✧ elektrownia typu *oxy-fuel* z podziemną sekwestracją CO<sub>2</sub> wytwarza minimalne ilości zanieczyszczeń gazowych na etapie produkcji, w praktyce niekorzystne efekty zewnętrzne powodowane są jedynie na etapie budowy i likwidacji elektrowni,
- ✧ parametry technologiczne rozważanych technologii, takie jak wysokość i średnica kominów, natężenie i temperatura gazów odlotowych są zbliżone do tych, którymi charakteryzuje się elektrownia Bełchatów – o podobnej mocy i wielkości produkcji.

Przyjęto zatem do obliczeń następujące parametry techniczno-środowiskowe technologii (tab. 4):

Obliczenia prowadzi się dla warunków tzw. tła emisyjnego dla roku 2020. Przyjęto, że elektrownia typu *oxy-fuel* na etapie produkcji energii nie będzie emitować CO<sub>2</sub>, całość zostanie zdeponowana pod ziemią<sup>4</sup>.

Poniżej w tabelach przedstawiono szacunek kosztów zewnętrznych przeprowadzony dla elektrowni referencyjnych w projekcie NEEDS (w całym cyklu życia), wykorzystujących węgiel brunatny jako paliwo podstawowe – dla kategorii oddziaływań opisanych w metodyce ExternE. Choć podana moc bloków referencyjnych jest nieco niższa niż dla ww. projektowanych elektrowni, to jednak wyliczone wysokości kosztów zewnętrznych, mimo iż różne, są ze sobą spójne. Niewielkie różnice w mocy nie wpływają na wyniki, gdyż parametry pracy są podobne, a wielkość produkcji energii taka sama.

Powyższe szacunki posłużą do ich porównania z wynikami modelu EcoSenseWeb V 1.3 dla technologii o parametrach podanych w tabeli 4.

---

<sup>4</sup> Gdyby przyjąć założenie, że elektrownia konwencjonalna nie jest wyposażona w instalację CCS, wówczas przy wskaźniku emisyjności energii wyprodukowanej z węgla brunatnego na poziomie 1 Mg/MWh wyemituje ona rocznie około 30 mln ton CO<sub>2</sub>.

TABELA 4. Parametry techniczno-środowiskowe analizowanych technologii energetycznych

TABLE 4. Technical and environmental parameters of the analysed energy technologies

Parametr	konwencjonalna typu PC	konwencjonalna typu PC (referencyjna)	typu oxy-fuel (referencyjna)
Moc [MW]	4 · 1150	4 · 1150	4 · 1150
Produkcja energii elektrycznej brutto [GWh]	30 000	30 000	30 000
Czas pracy elektrowni z pełnym obciążeniem [h]	6 600	6 600	6 600
Wskaźniki emisji SO <sub>2</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	38	28
Wskaźniki emisji NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200	168	69
Wskaźniki emisji pyłów [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	30	18
Emisja całkowita CO <sub>2</sub> [tys. ton rocznie]	30 000	30 000	810
Wysokość komina [m]	300	300	300
Powierzchnia komina [m <sup>2</sup> ]*	21	21	21
Natężenie wypływu gazów spalinowych [Nm <sup>3</sup> /h]	20 000 000	20 000 000	20 000 000
Temperatura gazów spalinowych [K]	386	386	386
Położenie elektrowni [m n.p.m.], szerokość i długość geogr.	130, 51°23',6°12'	130, 51°23',6°12'	130, 51°23',6°12'
Charakter przekształcenia terenu	z leśnego na przemysłowy	z leśnego na przemysłowy	z leśnego na przemysłowy

Źródło: obliczenia własne

\* Jest to łączna powierzchnia wszystkich, najprawdopodobniej 4 kominów.

TABELA 5. Koszty zewnętrzne – elektrownia z turbiną parową PC [Euro centy/kWh]

TABLE 5. External costs – steam turbine PC [Euro cents/kWh]

Kategoria oddziaływania	Dziś	2025	2050
Wpływ na zdrowie	0,72	0,67	0,60
Bioróżnorodność	0,07	0,06	0,06
Straty w płonach	0,02	0,03	0,02
Zniszczenie materiałów	0,01	0,01	0,01
Wykorzystanie ziemi	0,01	0,01	0,01
Razem	0,84	0,78	0,70
Zmiany klimatyczne – niskie koszty strat	0,68	0,59	0,38
Zmiany klimatyczne – wysokie koszty strat	9,40	7,21	3,98
Zmiany klimatyczne – niskie koszty ich zwalczania	2,16	2,59	5,63
Zmiany klimatyczne – wysokie koszty ich zwalczania	2,16	4,12	13,89

Źródło: NEEDS, New Energy Externalities 2009

TABELA 6. Koszty zewnętrzne – elektrownia z turbiną parową PC, 800 MW, z instalacją CCS, Euro centy/kWh

TABLE 6. External costs – steam turbine PC, 800 MW, with CCS [Euro cents/kWh]

Kategoria oddziaływania	2025	2050
Wpływ na zdrowie	0,95	0,83
Bioróżnorodność	0,16	0,14
Straty w płonach	0,03	0,02
Zniszczenie materiałów	0,01	0,01
Wykorzystanie ziemi	0,02	0,01
Razem	1,16	1,02
Zmiany klimatyczne – niskie koszty strat	0,12	0,07
Zmiany klimatyczne – wysokie koszty strat	1,40	0,74
Zmiany klimatyczne – niskie koszty ich zwalczania	0,40	0,78
Zmiany klimatyczne – wysokie koszty ich zwalczania	0,64	1,93

Źródło: NEEDS, New Energy Externalities 2009

TABELA 7. Koszty zewnętrzne – elektrownia z turbiną parową PC, 800 MW, typu oxy-fuel, z instalacją CCS [Euro centy/kWh]

TABLE 7. External costs – steam turbine PC, 800 MW, oxy-fuel, with CCS [Euro cents/kWh]

Kategoria oddziaływania	2025	2050
Wpływ na zdrowie	0,47	0,42
Bioróżnorodność	0,03	0,03
Straty w płonach	0,01	0,01
Zniszczenie materiałów	0,01	0,01
Wykorzystanie ziemi	0,02	0,01
Razem	0,54	0,47
Zmiany klimatyczne – niskie koszty strat	0,05	0,03
Zmiany klimatyczne – wysokie koszty strat	0,55	0,30
Zmiany klimatyczne – niskie koszty ich zwalczania	0,09	0,12
Zmiany klimatyczne – wysokie koszty ich zwalczania	0,14	0,31

Źródło: NEEDS, New Energy Externalities 2009

## Podsumowanie

Zaprezentowane w niniejszym artykule założenia umożliwiają przeprowadzanie szacunku kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła emisji zanieczyszczeń gazowych, jakimi są projektowane elektrownie dla kompleksów złożowych węgla brunatnego Legnica i Gubin. Należy podkreślić, że przedstawiona metodyka szacowania kosztów zewnętrznych jest jak na razie najbardziej wszechstronną – choć uproszczoną – próbą wyceny negatywnego wpływu na środowisko technologii energetycznych wykorzystujących tradycyjne nośniki energetyczne. Zaprezentowane założenia metodyczne posłużą do przeprowadzenia autorskiego rachunku kosztów zewnętrznych, pozwalającego na szczegółową analizę negatywnych skutków powodowanych przez projektowane elektrownie.

Mimo istniejących kontrowersji w zakresie metodyki badania te mają za zadanie określenie stopnia istotności generowanych kosztów zewnętrznych w stosunku do tradycyjnie określanych kosztów produkcji energii technologii energetycznych. Jak wynika z wcześniejszych wyliczeń (Kudełko 2009) porównanie to wskazuje na wysoki koszt społeczny technologii energetycznych wykorzystujących paliwa kopalne, które tracą w ten sposób swoją konkurencyjność w stosunku do technologii alternatywnych (jądrowych, gazowych, wiatrowych itp.). Ważny jest przy tym nie tyle sam ranking technologii pod względem wysokości kosztów społecznych, lecz ich wpływ na optymalną strukturę wytwarzania energii, biorąc pod uwagę pozostałe uwarunkowania rozwojowe. Wyniki badań modelowych, które w tym celu przeprowadzono dla polskiej energetyki, publikowane m.in. w pracach (Kudełko 2006, 2007, 2008), dają mocny argument za prowadzeniem restrykcyjnej polityki środowiskowej, w tym także polityki postulującej zmianę obecnej struktury wytwarzania energii w Polsce.

## Literatura

- BEDNARCZYK J., 2008 – Perspektywiczne scenariusze rozwoju wydobycia i przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną. *Polityka Energetyczna* t. 11, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN.
- BRODE R. W., JIEFU WANG, 1992 – User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC2) Dispersion Models. Volumes I–III, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711.
- DERWENT R.G., NODOP K., 1986 – Long-range Transport and Dispersion of Acid Nitrogen Species in North-west Europe. *Nature* 324.
- EcoSenseVeb V 1.3, User's Manual, IER 2008.
- ExternE – Externalities of Energy. Methodology 2005 Update, European Commission, 2005.
- FREEMAN A.M., 2003 – The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods. Resources for the Future, Washington.
- FRIEDRICH R., BICKEL P., 2001 – Environmental External Costs of Transport. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- FRIEDRICH R., VOSS A., 1993 – External costs of electricity generation. *Energy Policy*, Vol. 21, no 2, Elsevier Science, Amsterdam.

- GRACZYK A., 2005 – Ekologiczne koszty zewnętrzne. Identyfikacja, szacowanie, internalizacja. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- KUDEŁKO M., 2009 – External costs of Power Plants – Results of the NEEDS Project. Rynek Energii, nr 4(84), Lublin.
- KUDEŁKO M., 2006 – Internalisation of external costs in the Polish power generation sector: a partial equilibrium model. Energy Policy, Elsevier Science, Vol. 34, Issue 18.
- KUDEŁKO M., 2008 – Internalizacja kosztów zewnętrznych powodowanych przez krajowy sektor energetyczny – analiza kosztów i korzyści. Polityka Energetyczna t. 11, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN.
- KUDEŁKO M., SUWAŁA W., KAMIŃSKI J., 2007 – Koszty zewnętrzne w energetyce – zastosowanie w badaniach modelowych. Studia, Rozprawy, Monografie 139, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- MELICHAR J., HAVRANEK M., MACA V., SCASNY M., KUDEŁKO M., 2004 – Implementation of ExternE Methodology in Eastern Europe. Final Report on Work Package 7 of the ExternE-Pol: Externalities of Energy: Extension of accounting framework and Policy Applications, Funded by European Community. Available at <http://www.externe.info>
- NEEDS, New Energy Externalities Developments for Sustainability, External costs from emerging electricity generation technologies. Deliverable n° 6.1 – RS1a, 2009.
- NEWEXT – New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies, coordinator Rainer Friedrich, Final Report to the European Commission, DG Research, Technological Development and Demonstration (RTD), IER, Germany, ARMINES / NSMP, France, PSI, Switzerland, Université de Paris I, France, University of Bath, United Kingdom, VITO, Belgium 2004.
- RABL A., SPADARO J.V., van der ZWAAN B., 2005 – Uncertainty of Pollution Damage Cost Estimates: to What Extent does it Matter? Environmental Science and Technology, vol. 39(2).
- RADOWIC U., 2002 – Assessment of external costs of power generation in Poland. Part of the IAEA's Co-ordinated Research Project in "Estimating the external costs associated with electricity generating options in developing countries using simplified methodologies", ARE S.A., Warsaw.
- SPADARO J.V., RABL A., 1999 – Estimates of real damage from air pollution: site dependence and simple impact indices for LCA. International J. of Life Cycle Assessment, Vol. 4 (4).
- STRUPCZEWSKI A., RADOVIĆ U., 2006 – Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej w Polsce. Biuletyn Miesięczny PSE Energetyka atomowa, Warszawa.

Mariusz KUDELKO

## The methodology and assumptions of the valuation of external costs caused by the planned power plants using lignite in Legnica and Gubin

### Abstract

This paper presents the general assumptions of ExternE methodology for estimating external costs caused by point sources of air emissions, including power plants. It defines the external costs, the categories of adverse effects of air pollutants, and the procedure for estimation of external costs including emissions, dispersion, impact, and monetary valuation. In addition, the paper presents the assumptions of the monetary valuation of external costs caused by the planned lignite power plants Legnica and Gubin. Technical parameters of these plants are the input for the EcosenseWeb 1.3 model, the basic tool used in this type of research. The estimation of external costs caused by the planned power plants was performed using the model and data presented. The results are compared with the estimations of reference power plants derived from the NEEDS project.

KEY WORDS: external costs, energy sector



