

# **PORÓWNANIE WPŁYWU NA ZDROWIE CZŁOWIEKA I ŚRODOWISKO NATURALNE RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII – WYNIKI BADAŃ W PROGRAMIE EXTERNE**

**Uroš Radović**

*Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa*

## **1. WSTĘP**

Wytwarzanie energii elektrycznej związane jest z szeregiem ujemnych oddziaływań na środowisko naturalne, wśród których do najważniejszych można zaliczyć: zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego, wód powierzchniowych i gleby oraz globalne zmiany klimatu. Koszty wywoływanych w ten sposób szkód zwykle nie są odpowiednio odzwierciedlane w rynkowej cenie energii i określane są mianem „kosztów zewnętrznych”. Wiedza o wielkości kosztów zewnętrznych jest podstawą do zinternalizowania je, czyli obciążenia nimi sprawców. Zwiększa ona świadomość o potencjalnym ujemnym oddziaływaniu wszystkich technologii, ułatwia wybór priorytetów odnośnie sposobu działania zapobiegawczego i ocenę ewentualnych korzyści z tego wynikających. Skwantyfikowanie kosztów zewnętrznych odgrywa szczególnie ważną rolę w procesie wyboru przyszłych technologii energetycznych oraz jest pomocne przy ustalaniu polityki fiskalnej, na prz. rodzajów i wielkości podatków ekologicznych. Ponadto, koszty zewnętrzne powinny być brane pod uwagę przy określaniu polityki ekologicznej i energetycznej państwa oraz w procesie decyzyjnym, jeśli celem jest optymalne wykorzystywanie zasobów oraz zapewnienie największych korzyści dla społeczeństwa.

Pomimo, iż efekty zewnętrzne produkcji energii są przedmiotem wieloletnich intensywnych badań, obliczenie ich pieniężnej wartości jest sprawą ciągle kontrowersyjną. Obecnie za najbardziej zaawansowaną i autorytatywną metodykę do szacowania kosztów zewnętrznych uznaje się metodykę „ścieżki oddziaływań” rozwiniętą w ramach kolejnych faz projektu Komisji Europejskiej ExternE<sup>1</sup> i jego sukcesorach [NewExt<sup>2</sup>, ExternE-Pol<sup>3</sup>, NEEDS<sup>4</sup> i CASES<sup>5</sup>]. Stosując rozwiniętą i udoskonalony w kolejnych fazach projektu pakiet programów komputerowych EcoSense do wyceny szkód zdrowotnych i środowiskowych występujących przy produkcji energii elektrycznej, studium ExternE zapewnia jednolite podejście, i w efekcie porównywalność wyników różnych analiz. Metodyka ta już została wielokrotnie wykorzystana w tzw. analizach kosztów i korzyści popierających podejmowanie decyzji, kilku propozycjach dyrektyw Komisji Europejskiej w sprawie jakości powietrza atmosferycznego, przyjęcia państw emisji zanieczyszczeń dla krajów członkowskich UE, protokołu UN/ECE z Gothenbourga oraz w podobnych przedsięwzięciach w niektórych krajach członkowskich. Metodologia jest ciągle doskonała, a obszar jej zastosowań jest poszerzany<sup>6</sup>.

Poniżej przedstawiono krótkie podsumowanie metodyki ExternE oraz najnowszych wyników, w szczególności dotyczących obecnych oraz przyszłych kosztów zewnętrznych wytwarzania energii

---

<sup>1</sup> External costs of Energy

<sup>2</sup> New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies

<sup>3</sup> Externalities of Energy: Extension of accounting framework and Policy Applications

<sup>4</sup> New Energy Externalities Developments for Sustainability

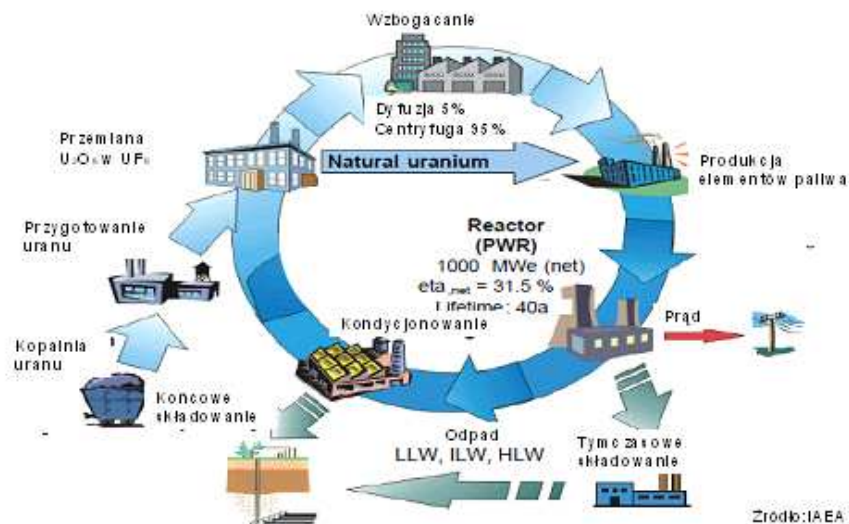
<sup>5</sup> Cost Assessment of Sustainable Energy Systems

<sup>6</sup> Wszystkie wyniki, w szczególności raporty w ramach każdego projektu są dostępne na oficjalnej stronie internetowej ExternE: [www.externe.info](http://www.externe.info)

elektrycznej w Polsce. Wyniki te posłużyły do porównania konkurencyjności przyszłych alternatywnych technologii wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, przyjmując jako kryterium do porównania społeczne (prywatne + zewnętrzne) koszty wytwarzania energii elektrycznej.

## 2. METODYKA EXTERNE

Prawidłowo i pełne określenie kosztów zewnętrznych technologii energetycznej wymaga analizy cyklu całego życia i systemu wytwarzania. W przypadku technologii wytwarzania energii elektrycznej skutki zewnętrzne mogą występować w wielu fazach cyklu paliwowego. W przypadku cyklu paliwa jądrowego, na przykład, może to nastąpić w każdej z ośmiu faz (Rys.1): górnictwie uranowym i przerobu rudy, konwersji i wzbogacaniu uranu, fabrykacji paliwa, wytwarzaniu energii elektrycznej, składowaniu odpadów nisko (LLW) i średnio (ILW) promieniotwórczych oraz przerób paliwa wypalonego i składowanie wysoko promieniotwórczych odpadów (HLW) lub finalnego składowania zużytego paliwa. Ponadto, uwzględnić należy transport materiałów radioaktywnych i odpadów pomiędzy różnymi fazami cyklu, jak również budowę infrastruktury i elektrowni oraz jej zamknięcie. Z drugiej strony, w przypadku elektrowni wiatrowej lub wodnej uwzględnienie procesu „dostarczania paliwa” nie jest stosowne i analiza obejmuje tylko fazę budowy i eksploatacji elektrowni.



Rys. 1. Cykl energetyczny dla paliwa jądrowego.

Istnieje bardzo wiele różnego rodzaju zanieczyszczeń emitowanych w różnych fazach poszczególnych cykli paliwowych charakteryzujących się różnymi skutkami na zdrowie ludzi i środowisko naturalne. Niektóre działają bezpośrednio ponieważ są toksyczne, inne dlatego że biorą udział w reakcjach chemicznych których następstwem są szkodliwe związki chemiczne. Niektóre zanieczyszczenia lub ich kombinacja naruszają naturalną równowagę związków kwaśnych i azotu w środowisku, co może doprowadzić do zanikania różnorodności gatunków na niektórych obszarach wrażliwych. Inne natomiast, mogą przyczynić się do zmiany warunków globalnych, i potencjalnie doprowadzić do poważnych zmian klimatu i poziomu mórz. Najważniejsze substancje oraz ich skutki

uwzględnione w metodyce ExternE podsumowano w Tabeli 1. Wśród przedstawionych w tabeli skutków dominująca rolę odgrywają efekty zdrowotne oraz ocieplenia klimatu.

*Tabela 1. Szkodliwe substancje związane z wytwarzaniem energii elektrycznej oraz ich skutki uwzględnione w projekcie ExternE.*


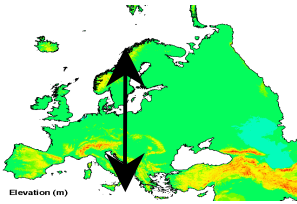

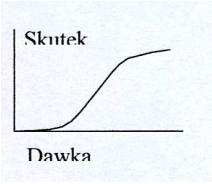

Zanieczyszczenie	Skutki
Dwutlenek siarki - SO <sub>2</sub> Bezpośrednio emitowany w procesie spalania paliw, w reakcjach w atmosferze tworzy kwas siarkowy, aerozole siarczanów oraz razem z NO <sub>x</sub> cząsteczki kwaśne.	Skutki zdrowotne wywołane pośrednio poprzez aerozole siarczanów (patrz: Drobne pyły). Obniżenie wydajności upraw rolniczych. Erozja, utrata koloru itp. materiałów budowlanych (cynk, stal ocynkowana, kamień wapienny, farba itp.). Zakwaszenie gleb i wód.
Tlenki azotu – NO <sub>x</sub> Rodzina związków chemicznych, w tym tlenków i dwutlenków azotu. Bezpośrednio emitowane w procesie spalania, w atmosferze tworzą kwasy azotowe, aerozole azotanów oraz w dniach słonecznych smog ozonowy.	Skutki zdrowotne wywołane pośrednio poprzez aerozole azotanów (patrz: Drobne pyły). Zakwaszenie gleb i wód oraz eutrofizacja wód powierzchniowych.
Drobne pyły – PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> (o średnicy < 2.5 (10) μm) Pierwotne - bezpośrednio emitowane w procesie spalania paliw węglowodorowych oraz wtórne – aerozole azotanów i siarczanów powstających w atmosferze w wyniku reakcji chemicznych SO <sub>2</sub> i NO <sub>x</sub>	Wzrost umieralności (zgony nagłe oraz zgony przedwczesne w wyniku przewlekłego narażenia na wdychanie zanieczyszczeń). Wzrost zachorowalności (choroby układu oddychania i krążenia, ataki astmy, bronchit przewlekli, kaszel, obniżenie zdolności płuc, dni ograniczonej aktywności, itd.)
Niemetanowe lotne związki organiczne – NMVOC Bardzo duża grupa związków organicznych, mających wybitną rolę w procesie powstania smogu ozonowego (fotochemicznego)	Obniżenie oczekiwanej długości życia w wyniku narażenia krótko i długookresowego. Ryzyko nowotworu (bez skutku fatalnego), osteoporoza, dysfunkcja nerek, zaburzenia układu nerwowego.
Ozon – O <sub>3</sub> Powstaje w atmosferze w reakcjach NO <sub>x</sub> i innych zanieczyszczeń, w tym NMVOC, w obecności światła słonecznego	Wzrost umieralności i zachorowalności (układ oddychania, podrażnienie oczu, dni obniżonej aktywności itd.). Obniżenie wydajności upraw rolniczych (zborze, ziemniaki, ryż, ziarno słonecznika...)
Metale ciężkie – Hg, As, Cd, Ni, Pb ... Naturalne składniki węgla, emitowane w procesie spalania.	Toksyczność i rakotwórczość.
Pierwiastki promieniotwórcze Ryzyko promieniowania występuje w całym łańcuchu obiegu paliwa jądrowego jak również z migracji pierwiastków radioaktywnych zawartych w węglu w trakcie procesu jego wykorzystania.	Nowotwory (uleczalne i nieuleczalne), wady dziedziczne.
Gazy cieplarniane – CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , ... Bezpośredni produkt spalania paliw węglowodorowych.	Oddziaływanie w skali globalnej na umieralność i zachorowalność ludzi, uprawy rolnicze, ekosystemy, zapotrzebowanie na energię, gospodarkę itd. w wyniku zmiany temperatury oraz wzrostu poziomu mórz i oceanów.

Źródło: ExternE1995

## 2.1. Metoda ścieżki oddziaływań

Metodyka ExternE określa koszty zewnętrzne stosując podejście „ścieżki oddziaływań”, innymi słowy analizując serię zdarzeń łączących każdą z rozpatrywanych aktywności (np. emisji SO<sub>2</sub>) z jej „skutkami” (oddziaływaniem na zdrowie ludzi, rośliny, dobra materialne itp.) we wszystkich lokalizacjach dotkniętych tymi skutkami a następnie określając wartość pieniężną tychże skutków. Główne kroki procedury przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe kroki metody ścieżki oddziaływań

Kroki analizy		Narzędzia, dane
1. EMISJE		<b>Charakterystyki źródła</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ lokalizacja</li> <li>⇒ technologie</li> <li>⇒ parametry komina</li> <li>⇒ emisyjności zanieczyszczeń</li> </ul>
1. ROZPRZESTRZENIENIE ZANIECZYSZCZEŃ		<b>Modele rozprzestrzenienia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dane meteorologiczne</li> <li>⇒ rozprzestrzenienie lokalne</li> <li>⇒ transport regionalny</li> </ul>
3. OSZACOWANIE SKUTKÓW	 	<b>Funkcje dawka-skutek (E-R) (lub stężenie-skutek)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Przestrzenny rozkład receptorów</li> <li>⇒ zdrowie ludzi</li> <li>⇒ rośliny, materiały budowlane ekosystem</li> </ul>
4. PIENIĘŻNA WARTOŚĆ SZKÓD Źródło: ExternE1995		<b>Analizy „Gotowości do zapłaty” – WTP, ceny rynkowe</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ koszt zewnętrzny</li> </ul>

W zasadzie szacowany jest koszt krańcowy, tzn. dodatkowy koszt zewnętrzny w wyniku wzrostu emisji rozpatrywanego zanieczyszczenia. Jest to konieczne, ponieważ powstawanie zanieczyszczeń wtórnych, jak np. aerozoli siarczanów i azotanów oraz ozonu, zależy między innymi od stężenia tła NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NMVOC itd. W konsekwencji obliczane są dwa scenariusza, jeden podstawowy, drugi z zwiększoną (lub obniżoną) emisją.

W typowej konwencjonalnej elektrowni emisje kominowe transportowane są przez wiatr i rozpraszane w wyniku turbulencji atmosferycznych. Każda elektrownia zachowuje się trochę inaczej odnośnie emisji, biorąc pod uwagę rodzaj emitowanych zanieczyszczeń (który między innymi zależy od stosowanej technologii i składu chemicznego paliwa), wysokość komina oraz przeważające warunki meteorologiczne. Dalszy los emitowanego zanieczyszczenia zależy od jego natury chemicznej.

Będąc stabilnymi związkami gazy cieplarniane (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) zostają na końcu, mniej czy więcej, równomiernie rozproszone w atmosferze ziemskiej.

Inne zanieczyszczenia pierwotne (emitowane z komina) mogą brać udział w powstawaniu zanieczyszczeń wtórnych (np. aerozolu azotanów i siarczanów, kwasu siarkowego, ozonu itp.). Poprzez grawitację lub opadając z deszczem i śniegiem zanieczyszczenia te trafiają na powierzchnię ziemi. Jednak, zanim to się stanie mogą zostać rozproszone setki czy tysiące kilometrów od źródła emisji, powodując ujemne skutki nie tylko w skali lokalnej, ale również w skali regionalnej. ExternE stosuje kombinację modeli lokalnych (model Gaussa - ISC, US-EPA) oraz bardziej złożonych regionalnych (model Lagrange'a - *Wind Trajectory Model*) do obliczenia wzrostu stężenia oraz depozycji zanieczyszczeń powietrza.

Kolejnym krokiem po obliczeniu wzrostu stężenia poszczególnych składowych zanieczyszczenia jest zastosowanie odpowiednich funkcji dawka-skutek lub stężenie-skutek (E-R) w celu oszacowania wielkości skutków. Funkcje E-R określane są na podstawie badań epidemiologicznych lub szpitalnych, badań laboratoryjnych oraz danych doświadczalnych.

Większość dotychczasowych badań dotyczy efektów zdrowotnych w wyniku krótkookresowego wzrostu stężenia zanieczyszczenia powietrza, natomiast tylko nieliczne poświęcone są bardziej istotnemu zagadnieniu, jakim jest wieloletnie (chroniczne) narażenie ludności na zwiększone stężenie zanieczyszczeń. W analizach ExternE efekty zwiększonej śmiertelności ludzi szacowane są jako przedwczesne zgony, wyrażone jako skumulowana redukcja oczekiwanej długości życia (YOLL - ilość utraconych lat życia) dla rozpatrywanej populacji. YOLL są określane z odpowiednich krzywych E-R biorąc pod uwagę rozkład wieku oraz prawdopodobieństwo długości życia rozpatrywanej populacji.

Ostatnim krokiem procedury jest analiza ekonomiczna lub oszacowanie pieniężnych wartości szkód. W niektórych przypadkach do określenia jednostkowych kosztów szkód stosowane są po prostu wartości rynkowe lub księgowo utraconych dóbr materialnych lub usług związanych z usuwaniem szkód (na prz. cena rynkowa plonów rolnych, koszty wymiany zniszczonych materiałów itp.). Niestety określenie pieniężnej wartości szkód środowiskowych i zdrowotnych pozostaje w dużym stopniu kwestią subiektywnej oceny, gdyż najczęściej nie istnieje cena rynkowa tych wartości. Dotychczas stosowano w tym celu różne metody, przy czym żadna z nich nie rozwiązuje tego problemu w zadowalający sposób. Najważniejsze i jednocześnie najbardziej kontrowersyjne w analizach kosztów zewnętrznych są koszty szkód związanych ze zdrowiem ludzi (wzrost zachorowalności/ umieralności). Koszty te określane są poprzez szacunek „gotowości do zapłaty” (WTP) za obniżenie ryzyka zdrowotnego lub „gotowości do zaakceptowania” (WTA) zapłaty za zwiększone ryzyko. W przypadku zachorowań uwzględniane są również koszty leczenia oraz stracone zarobki i produkcja. Dla oszacowania kosztów związanych ze zwiększoną umieralnością najważniejszym parametrem jest wskaźnik określany jako „wartość statystycznego życia”, VSL<sup>7</sup> (value of statistical life), gdyż jest on podstawą do określenia wartości straconego statystycznego roku życia (value of lost year-VOLY).

W kolejnych raportach ExternE jako źródło największej niepewności w metodyce szacowania efektów zdrowotnych uznawane są funkcje E-R (reakcja receptorów na narażenie jest różna, a synergiczne oddziaływanie zanieczyszczeń może odgrywać dużą rolę na wielkość skutku), oraz metodologia określenia wartości WTP (Pierce (2001) zauważa, że, jeśli zanieczyszczenie powietrza jest częstszą przyczyną zgonu starszych osób, niż wypadki samochodowe, to czy WTP nie powinno być funkcją wieku?). Dlatego też, w różnych fazach projektu ExternE oraz jego sukcesorach, oprócz uwzględnienia nowych efektów (zakwaszenie i eutrofizacja gleb i wód, emisje metali ciężkich itd.) dużo wysiłku włożono w doskonalenie metodyki szacowania efektów zdrowotnych jako

<sup>7</sup> VSL (value of statistical life) nie należy mylić z wartością życia ludzkiego (kategoria moralna), gdyż VSL to tylko wskaźnik podsumowujący informację o gotowości ludzi do zapłaty za obniżenia ryzyka anonimowego zgonu: np. jeśli średnie WTP za obniżenie ryzyka 1 wypadku na 10,000 wynosi 100 Euro, wtedy VSL ma wartość  $100/(1/10,000) = 1$  mln. Euro.

najważniejszych (razem z efektami zmian klimatu tworzą ponad 95% ujętych kosztów zewnętrznych), w celu poprawy wiarygodności wyników. Dotyczy to przede wszystkim wyboru odpowiedniego zbioru funkcji E-R i ich wartości (dostosowanych do warunków europejskich, jeżeli były wynikiem badań amerykańskich) oraz określeniu wartości pieniężnej wzrostu umieralności.

W konsekwencji, w ramach projektu NewExt po pierwszy raz w projekcie ExternE określono wartość statystycznego życia VSL na podstawie własnych badań przeprowadzonych w trzech krajach europejskich (Anglii, Włoszech i Francji), przy użyciu ujednoliconego kwestionariusza przygotowanego na wzór stosowanych poprzednio w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie. W następstwie, uzyskano wartość VSL trzykrotnie mniejszą (1 mln €2000), niż poprzednio stosowaną. Wartość ta posłużyła, przy użyciu aparatu matematycznego, do określenia nowej wartości statystycznego roku życia VOLY (50 000 €2000), przed tym jednego z najbardziej niepewnych parametrów.

Kolejny istotny krok w kierunku zwiększenia wiarygodności szacowania pieniężnej wartości wzrostu śmiertelności podjęto w projekcie NEEDS (RS1b, work package 6). Nową wartość VOLY określono na podstawie badań ankietowych przeprowadzonych w 9 krajach europejskich, stosując specjalnie przygotowany do tego kwestionariusz. Podejście było innowacyjne, gdyż wartość pieniężna zmiany oczekiwanej długości życia określono po pierwszy raz bezpośrednio, a nie z wartości VSL. Bazując na wynikach tej ankiety oszacowana wartość VOLY dla krajów EU15+Szwajcaria wynosiła 41000 €2000, natomiast dla nowych krajach członkowskich 30000 €2000. Jednak, do analiz kosztów i korzyści odnośnie dyrektyw oraz polityki energetycznej UE zalecane jest stosowanie jednolitej wartości 40000 €2000 dla wszystkich krajów członkowskich.

W zasadzie, końcowym wynikiem uwzględnienia nowych efektów był wzrost kosztów zewnętrznych, natomiast udoskonalenie narzędzi obliczeniowych (np. narzędzia statystycznego do wartościowania wzrostu śmiertelności) doprowadziło do obniżenia niektórych składowych kosztów zewnętrznego. Krótki przegląd ważniejszych faz w rozwoju metodyki ExternE odnośnie szacowania kosztów zdrowotnych zanieczyszczeń powietrza przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Przegląd ważniejszych faz w rozwoju metodyki ExternE odnośnie szacowania kosztów zdrowotnych zanieczyszczeń powietrza.

	Charakterystyki / rozwój metodyki	Zmiana w kosztach zewnątrz.
ExternE 1995	Ograniczona liczba E-R funkcji, przyjętych głównie na podstawie badań epidemiologicznych w USA odnośnie wzrostu zachorowalności i śmiertelności w wyniku krótkotrwałego narażenia. Zanieczyszczeniami uwzględnionymi były cząstki drobne: PM <sub>10</sub> , ozon, siarczan i azotan. Podstawą do obliczenia kosztu wzrostu umieralności była ilość przedwczesnych zgonów przemnożona przez „wartość straconego życia”, VSL – 2.6 mln ECU <sub>1990</sub>	
ExternE 1999	Europejskie badanie epidemiologiczne użyte do poprawy funkcji E-R odnośnie narażeniu krótkotrwałego. Uwzględniono wzrost umieralności w wyniku długookresowego (chronicznego) narażenia na pyły drobne. Rozrózono toksyczność pyłów drobnych PM <sub>2,5</sub> i siarczanów od toksyczności cząstek PM <sub>10</sub> i aerozoli azotanów. Uwzględniono bezpośrednie oddziaływanie SO <sub>2</sub> na zdrowie ludzi, oraz dodatkowe oddziaływania (funkcje E-R) odnośnie wzrostu zachorowania Uwzględniono metale ciężkie Za podstawę do obliczenia kosztu zwiększonego ryzyka zgonu przez zanieczyszczenie powietrza przyjęto liczbę straconych lat oczekiwanego życia (wartości straconego roku życia VOLY - 84000 ECU <sub>1995</sub> przy 3% stopy dyskonta).	<p>↘</p> <p>↗</p> <p>→</p> <p>→</p> <p>↓</p>
ExternE Transport 2001	Poprawa funkcji E-R dla ilości lat straconego życia w kontekście europejskim.	↘
ExternE 2005 (NewExt)	Zamodelowano obciążenie łańcuchu pokarmowego przez metale ciężkie. Bezpośrednie oddziaływanie SO <sub>2</sub> nie jest już uwzględniane. Na podstawie badań europejskich określono wartość VLS na 1 mln €, a następnie wartość straconego roku życia na 50 000 € <sub>000</sub> (znacznie mniejsza niż poprzednio).	<p>→</p> <p>→</p> <p>↘</p>
ExternE-Pol 2005	Poprawiono funkcje E-R dla oddziaływań zdrowotnych, w wyniku czego stopień oddziaływania PM zwiększono, natomiast NO <sub>x</sub> i SO <sub>2</sub> zmniejszono w stosunku do poprzednich wartości. Nowa, wyższa wartość kosztu bronchitu chronicznego (200 tys. € <sub>000</sub> ).	<p>↘</p> <p>↗</p>
NEEDS 2009 CASES 2009	Toksyczność wszystkich cząsteczek o jednakowej średnicy, niezależne czy pierwotne PM czy aerozoli siarczanów lub azotanów zakłada się równoważną. Po pierwszy raz wartość utraconego roku życia określono nie z VSL, ale bezpośrednio przeprowadzając odpowiednio przygotowaną ankietę (dla krajów UE-27 wartość rekomendowana - 40 000 € <sub>000</sub> ).	<p>↗</p> <p>↘</p>

W tabeli 4. przedstawiono najważniejsze oraz budzące największe zaufanie funkcje dawka – skutek dla efektów zdrowotnych, proponowane do wykorzystania w ostatnich projektach ExternE (NEEDS (b), CASES (a)). Należy zauważyć, że są to funkcje liniowe bez progu. Dodatkowo, pokazano również wartości jednostkowych kosztów skutków zdrowotnych, które mogą być zastosowane do ludności ogółem (grupy wiekowe oraz grupy ryzyka zostały zagregowane). Łatwo zauważyć, że oczekiwane skrócenie długości życia (lata utracone - YOLL) ma największy udział wśród kosztów zdrowotnych.

Tabela 4: Podstawowe funkcje E-R oraz jednostkowe koszty skutków zdrowotnych.

Zanieczyszczenie / skutki zdrowotne	Efekt fizyczny <sup>8)</sup> /osobę/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	jednostka	Wartość € <sub>000</sub> /jednostkę	Koszt zewnętrz. /osobę/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PM <sub>2.5</sub> (cząsteczki pierwotne i wtórne < 2.5 $\mu\text{m}$ )				
Obniżenie oczekiwanej długości życia (narażenie długookresowe, YOLL)	6.51 E-04	YOLL	40 000	2.60 E+01
Netto dni obniżonej aktywności	9.59 E-03	dni	130	1.25 E+00
Strata dni pracy	1.39 E-02	dni	295	4.10 E+00
Dni nieznacznie obniżonej aktywności	3.69 E-02	dni	38	1.40 E+00
PM <sub>10</sub> (cząsteczki pierwotne i wtórne < 10 $\mu\text{m}$ )				
Zwiększone ryzyko umieralności (niemowlęta)	6.84 E-08	przypadki	3 000 000	2.05 E-01
Nowe przypadki bronchitu przewlekłego	1.86 E-05	przypadki	200 000	3.71 E+00
Przyjęcia do szpitala - choroby układu oddechowego	7.03 E-06	przypadki	2 000	1.41 E-02
Przyjęcia do szpitala - choroby układu krążenia	4.34 E-06	przypadki	2 000	8.68 E-03
Użycie lekarstw / substancji rozkurcza oskrzeli (dzieci)	4.03 E-04	przypadki	1	4.03 E-04
Użycie lekarstw / substancji rozkurcza oskrzeli (dorosły)	3.27 E-03	przypadki	1	3.27 E-03
Trudności dolnych dróg oddechowych (dorosły)	3.24 E-02	dni	38	1.23 E+00
Trudności dolnych dróg oddechowych (dzieci)	2.08 E-02	dni	38	7.92 E-01
Ozon [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] - (suma 8-h średnich dziennych wzrostów stężenia >70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )/365				
Zwiększone ryzyko umieralności	2.23 E-06	YOLL	60 000	1.34 E-01
Przyjęcia do szpitala - choroby układu oddechowego	1.98 E-06	przypadki	2 000	3.95 E-03
Dni nieznacznie obniżonej aktywności	7.36 E-03	dni	38	2.80 E-01
Użycie lekarstw / substancji rozkurcza oskrzeli	2.62 E-03	przypadki	1	2.62 E-03
Trudności dolnych dróg oddechowych (kaszel wyłączony)	1.79 E-03	dni	38	6.81 E-02
Dni z kaszlem	1.04 E-02	dni	38	3.96 E-01

Źródło: NEEDS (b)

Wszystkie składowe metodyki ścieżki oddziaływań są zawarte w rozwiniętym w ramach projektu ExternE integralnym pakiecie komputerowym EcoSense<sup>8</sup>, pozwalający na ujednoczone określenie priorytetowych (powodujących potencjalnie największe szkody) skutków oraz wynikających kosztów zewnętrznych związanych z produkcją energii elektrycznej. System stosuje kombinacje modeli rozprzestrzenienia zanieczyszczeń w atmosferze razem z własną bazą danych, w której oprócz zbioru funkcji E-R i wartości pieniężnych jednostkowych kosztów skutków, zawarta jest szczegółowa informacja w skali europejskiej dotycząca receptorów (ludzi, roślin uprawnych, budynków itd.) oraz uśrednionych danych meteorologicznych. Warunki kominowe (wysokość, temperatura i przepływ spalin), emisje zanieczyszczeń z danego obiektu oraz lokalne dane meteorologiczne to dane wejściowe dla modelu.

<sup>8</sup> [www.EcoSenseWeb.ier.uni-stuttgart.de](http://www.EcoSenseWeb.ier.uni-stuttgart.de)



Szkody i ich koszty sumowane są dla wszystkich receptorów. Dzielać sumaryczne koszty szkód w wyniku emisji wybranego zanieczyszczenia przez całkowitą emisję tego zanieczyszczenia otrzymujemy koszty na jednostkę emitowanego zanieczyszczenia ( np. Euro/t SO<sub>2</sub>), alternatywnie dzieląc łączne koszty przez wielkość produkcji energii w rozpatrywanym okresie można obliczyć koszty zewnętrzne wyrażone na jednostkę wyprodukowanej energii (np. Euro/kWh).

**Przykład:** Jeśli następstwem emisji jednej tony SO<sub>2</sub> z elektrowni węglowych w Polsce jest średnioroczny wzrost stężenia wtórnych cząsteczek drobnych<sup>9</sup> (PM2.5) w wysokości 0.038 ng/m<sup>3</sup> w pewnej celi (50km x 50km) europejskiej sieci EMEP-u w której żyje 100 tys. ludzi, wtedy ilość lat utraconego życia (YOLL) oraz koszt zewnętrzny dla tej jednej celi można obliczyć jako:

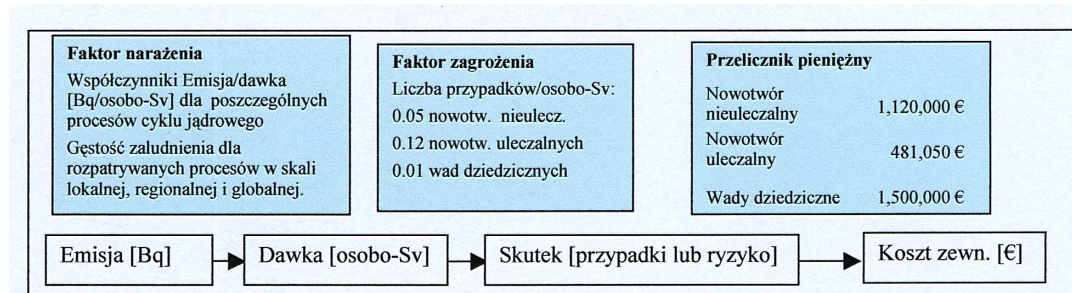
$$YOLL/\text{tonę SO}_2 = 0.038 \text{ ng/m}^3 \times 6.51\text{E-}04 \text{ YOLL}/\mu\text{g/m}^3/\text{osobę} \times 100\ 000 \text{ osób} = 0.0025 \text{ YOLL}$$

$$\text{Koszt} = 0.0025 \text{ YOLL} \times 40\ 000 \text{ €/YOLL} = 100 \text{ €/tonę SO}_2 \text{ emitowanej w Polsce}$$

Wynikiem powtórzenia powyższej procedury dla wszystkich cel sieci europejskiej oraz wszystkich mierzalnych efektów byłby średni koszt zewnętrzny w wysokości ok. 7767 €/tonę SO<sub>2</sub> emitowanej z elektrowni w Polsce. Przy średniej emisyjności dwutlenku siarki w 2008r. w wysokości 3.3 kg/MWh koszt zewnętrzny wytwarzanej energii elektrycznej w wyniku emisji siarki byłby ok. 25 €/MWh.

## 2.2. Koszt zewnętrzny cyklu paliwa jądrowego

Chociaż w poszczególnych fazach cyklu jądrowego uwalniane są do środowiska różne substancje, najważniejsze efekty ujemne występują w wyniku uwolnienia substancji promieniotwórczych i ich oddziaływaniu na zdrowie ludzi. Uproszczony schemat szacowania skutków i kosztów w następstwie uwolnienia substancji promieniotwórczych przedstawiono na Rys.2.



Rys. 2. Schemat oceny narażenia, skutku fizycznego oraz kosztu zewnętrznego w wyniku uwolnienia substancji promieniotwórczych.

Efekty zdrowotne szacowane są stosując wskaźniki łączące emisję (wyrażonej w [Bq]) poprzez dawkę kolektywną<sup>10</sup> (wyrażoną w [osobo-Sv]) z liczbą nowotworów uleczalnych i nieuleczalnych oraz wad dziedzicznych. Współczynniki łączące dawkę kolektywną z efektem narażenia nazywane są faktorem zagrożenia, i zakładają liniową zależność funkcji dawka-skutek, czyli ryzyko szkód zdrowotnych obliczono jest nawet w przypadku najmniejszych mocy dawki.

Koszty zewnętrzne cyklu paliwa jądrowego oszacowane zostały w wcześniejszej fazie projektu ExternE (podsumowane w ExternE 1999) dla pięciu krajów (Francja, Belgia, Niemcy, Holandia i

<sup>9</sup> Aerozoli siarczanów powstające w wyniku dyspersji i transformacji chemicznej SO<sub>2</sub> w obecności NH<sub>3</sub>.

<sup>10</sup> Łączna dawka, którą przyjmuje ludność

Królestwo Zjednoczone) oraz w ramach projektu ExternE-Pol 2005 dla typowego ciśnieniowego reaktora lekkowodnego. Oszacowania te dotyczyła pełnego cyklu paliwowego.

Oszacowane w ExternE 1999 koszty zewnętrzne mieszczą się w szerokim przedziale wartości (od 0.6 €/MWh do 7 €/MWh) i zależą wyraźnie od przyjętej wartości statystycznego życia (VSL) i stopy dyskonta. Późniejsze oszacowanie (ExternE-Pol) określa koszt zewnętrzny elektrowni jądrowej w wysokości ok. 2 €/MW.

Wg ExternE ponad 95% kosztu zewnętrznego nie jest związane z samym wytwarzaniem energii elektrycznej w elektrowni jądrowej. Ok. 70-80% kosztu stanowią koszty zdrowotne w następstwie promieniowania, pozostałych 20-30% związane są z emisją w wyniku użycia energii elektrycznej z elektrowni opalanych paliwami konwencjonalnymi podczas budowy elektrowni oraz w różnych fazach cyklu jądrowego. Gazy cieplarniane odpowiedzialne są za mniej niż 10% łącznego kosztu.

Niewielkie, w porównaniu z kosztami zewnętrznymi elektrowni konwencjonalnych, koszty zewnętrzne elektrowni jądrowych nie powinny dziwić. Każda faza cyklu jądrowego podlega ostrym normom odnośnie bezpieczeństwa i ochrony radioaktywnej<sup>11</sup>, w wyniku czego potencjalne efekty na zdrowie ludzi i środowisko są ograniczone do bardzo niskich poziomów. W konsekwencji, koszty inwestycyjne oraz koszty operacyjne elektrowni jądrowych już zinternalizowały bardzo dużą część potencjalnych kosztów zewnętrznych, i te są odzwierciedlone w cenie, którą musi zapłacić odbiorca elektryczności z elektrowni jądrowej.

W przypadku cyklu jądrowego, dominujący wkład w koszty zewnętrzne powodują bardzo małe dawki promieniowania jonizującego, stanowiące znikomą część dawek dla normalnego tła promieniowania, ale otrzymywane przez wielu ludzi i przez wiele pokoleń. Kwantyfikacja kosztów zdrowotnych elektrowni jądrowych wymaga ekstrapolację krzywych dawka-skutek do poziomów znacznie niższych niż te, dla których obecnie robione są pomiary efektów zdrowotnych. Hipoteza liniowej bez progowej zależności skutków promieniowania od dawki jest mocno kwestionowana, gdyż wiele badań doświadczalnych wykazało, że istnieje wartość progowa, poniżej której nie zaobserwowano nigdy ujemnych skutków promieniowania. Oznacza to, że i tak niewielkie oszacowane koszty zewnętrzne elektrowni jądrowych mogą być jeszcze niższe, i mało jest prawdopodobne, że są większe niż przedstawione.

Niestety, pomimo że wszystkie analizy techniczne wykonane w ramach projektu ExternE wskazują na bardzo niskie koszty zewnętrzne elektrowni jądrowych, nie miało to istotnego wpływu na zmianę opinii publicznej w krajach UE wobec energii jądrowej. Z ankiety przeprowadzonej w ramach projektu NEEDS dotyczącej stosunku społeczności do wielkości oszacowanych kosztów, większość z 2000 ankietowanych zgadza się, że paliwa kopalne mają najwyższe, gaz umiarkowane, a źródła odnawialne niskie koszty zewnętrzne. Jednak ponad połowa ankietowanych nie zgodziła się z propozycją, że energia jądrowa ma niskie koszty zewnętrzne. Prawdopodobnie powodowane jest to niespójnością proponowanej odpowiedzi z pospolitą percepcją niebezpieczeństw związanych z energią jądrową, przy czym oponenty energii jądrowej wskazują przede wszystkim na awarie reaktora, składowanie odpadów oraz proliferację broni nuklearnej. Awarie i proliferacja mieszczą się w kategorii rzadkich zdarzeń o bardzo dużych skutkach (ryzyko Damoklesa), dla których oszacowania pieniężna są, i możliwe, że zawsze będą problematyczne. Metodyka ExternE szacuje „oczekiwane” koszty zewnętrzne w następstwie awarii reaktora uwzględniając prawdopodobieństwo takiego zdarzenia. Pomimo, że potencjalne skutki w niektórych scenariuszach (ExternE1995) mogą być bardzo poważne (ponad 10000 nowotworów nieuleczalnych, czyli potencjalna szkoda liczona w miliardach Euro) biorąc pod uwagę bardzo niskie prawdopodobieństwo awarii reaktorów stosowanych w Europie zachodniej (awarie typu Czarnobyla nie są możliwe) „oczekiwany koszt

---

<sup>11</sup> Np. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (US EPA) szacuje roczną dawkę w wysokości 0.03 mili-rem dla osób żyjących w promieniu 80 km od elektrowni węglowej oraz 0.009 mili-rem dla elektrowni jądrowej (dla porównania typowe prześwietlenie płuc to dawka o ok. 6 mili-remów).

awarii” przeliczony na jednostkę wyprodukowanej energii jest stosunkowo niewielki (poniżej 0.35 €/MW, ExternE1999). Niestety dla zdarzeń o niskim prawdopodobieństwie/potencjalnie bardzo dużymi szkodami publiczna percepcja ryzyka różni się od sposobu traktowania ryzyka w pracach ExternE. Poprzednie próby uwzględnienia publicznej awersji do ryzyka nie powiodły się i nie zostały zaakceptowane<sup>12</sup>, i obecnie brak jest zadowalającej metody uwzględnienia awersji do ryzyka w analizach kosztów zewnętrznych. Podobna luka percepcyjna istnieje pomiędzy poziomem publicznej obawy odnośnie składowania odpadów jądrowych, a kosztami ich składowania, które są uwzględnione w cenie energii. Niechęć akceptacji przez opinię publiczną, że energia jądrowa ma niskie koszty zewnętrzne może ewentualnie ulec zmianie poprzez otwartą komunikację, szczerą dyskusję oraz lepsze zrozumienie przez społeczność powyższych zagadnień.

Trzeba podkreślić, że możliwość poważnych awarii o skutkach katastrofalnych dotyczy również innych cykli paliwowych (awarie tam wodnych, eksplozje gazu, wybuchy metanu w kopalniach węgla, wycieki ropy naftowej itp.). Niemniej jednak, analizy przeprowadzone w ramach projektu ExternE1995, wznowione w projekcie NEEDS, wskazały, że podobnie jak i w przypadku cyklu jądrowego, koszt zewnętrzny tychże zdarzeń, obliczony jako „oczekiwany koszt” na jednostkę wytwarzanej energii, z powodu małego prawdopodobieństwa, jest pomijalny.

### **2.3. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na produkty rolnicze, materiały budowlane oraz ekosystemy**

Skutki oraz koszty szkód oddziaływania zanieczyszczeń powietrza na uprawy rolnicze i materiały budowlane szacowane są metodą ExternE poprzez stosowanie odpowiednich funkcji dawka-skutek oraz rynkowych wartości plonów rolniczych i materiałów budowlanych. Jeśli chodzi o plony rolnicze relevantnym zanieczyszczeniami są SO<sub>2</sub> i ozon, przy czym różne badania potwierdziły, że przy niskich stężeniach tła (poniżej ok. 15 µg/m<sup>3</sup>) SO<sub>2</sub> działa jako nawóz zwiększając wydajność (ujemny koszt zewnętrzny). Szkody na materiałach budowlanych występujące w następstwie emisji zanieczyszczeń powietrza przewyższają naturalny rozkład materiałów 10-100 krotnie. SO<sub>2</sub> oraz kwaśne opady powodują korozję metali i materiałów nieorganicznych, ozon natomiast materiałów organicznych. W obu przypadkach końcowym efektem jest wzrost kosztu utrzymania oraz przedwczesnej poprawki lub wymiany. Pomimo powtarzających się prób nadal jest brak zadowalającej metodyki szacowania wielkości szkód na pomnikach i budynkach historycznych.

Ponieważ relacje dawka-skutek, jak w przypadku produktów rolniczych, tak i materiałów budowlanych, mogą być określone eksperymentalnie, a do określenia wartości pieniężnych szkód używane są ceny rynkowe, przedział niepewności wyników jest stosunkowo mały.

Pierwsze próby określenia pieniężnych wartości szkód w wyniku zakwaszenia (tylko gleb) i eutrofizacji podjęto w ramach projektów NewExt i NEEDS. Zakwaszenie występuje głównie poprzez depozycję substancji kwaśnych w następstwie emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub>, eutrofizacja natomiast jest ujemnym efektem emisji NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub>. Do oszacowania kosztów szkód zastosowano podejście potencjalnej straty różnorodności biologicznej (zmniejszenia liczby różnych gatunków) w wyniku zakwaszenia i eutrofizacji oraz zaobserwowanej gotowości do zapłaty w celu uniknięcia strat. Zdobyte w ten sposób pierwsze oszacowania pozwalają na uwzględnienie oraz ocenę ważności tej kategorii szkód w porównaniu z innymi kategoriami.

Okazuje się również, że udział powyższych kosztów w całkowitym koście zewnętrznym w porównaniu z kosztami zdrowotnymi jest niewielki.

---

<sup>12</sup> Takie obliczenia były przeprowadzone w 1998r. (CEPN 1998), przy czym uwzględniając awersji społeczności do ryzyka obliczony koszt zewnętrzny poważnej awarii reaktora jądrowego wynosił 0.087 €/MW.

## 2.4. Koszty zewnętrzne w wyniku emisji gazów cieplarnianych

Koszty szkód w wyniku emisji gazów cieplarnianych (globalnej zmiany klimatu) są jedną z najważniejszych kategorii szkód związanych z wykorzystaniem paliw kopalnych, ale również wśród najbardziej kompleksowych, niepewnych i kontrowersyjnych. Obecnie praktycznie nie jest możliwe dokładniejsze określenie pieniężnej wartości zmian globalnego klimatu, gdyż prawdopodobne skutki tychże zmian są niezwykle złożone, obejmują ogromną liczbę różnych efektów które mogą mieć miejsce w bliższej lub znacznie bardziej odległej przyszłości. Wyniki dotychczasowych analiz są trudne do porównania, gdyż charakteryzują się bardzo szerokim wachlarzem wartości oczekiwanych szkód, różniących się nawet do dwóch rzędów wielkości (zależnie od przyjętych scenariuszy klimatycznych i założeń dotyczących dostosowania się do zmian klimatu, metody i modelu ekonomicznego, założeń i danych wejściowych, stosowanej stopy dyskonta itd.). W szczególności krytycznym parametrem jest wielkość zakładanej stopy dyskonta, która jest sprawą filozoficzną będącą przedmiotem dyskusji wielu ekonomistów.

Metodyka ExternE stosuje dwa podejścia do określenia wartości efektów zmian klimatu. Pierwsze podejście to oszacowanie, poprzez stosowanie odpowiednich modeli, **kosztów szkód** w wyniku zmian klimatu, natomiast druga metoda to oszacowanie **kosztów redukcji lub uniknięcia szkód**, jak na prz. poprzez ograniczenie emisji do docelowej wielkości. W obu przypadkach obliczany jest koszt krańcowy, tzn. koszt związany z przyrostem szkody lub redukcji emisji. Optymalny poziom emisji gazów cieplarnianych zostaje osiągnięty wtedy, kiedy realne krańcowe koszty szkód są równe realnym krańcowym kosztom uniknięcia emisji. Niestety koszty te nie są znane, i mogą być szacowane tylko stosując różne modeli.

Do określenia możliwych do ujęcia kosztów szkód ExternE stosuje model zintegrowanej oceny zmian klimatu FUND<sup>13</sup> w którym zamodelowano zestaw scenariuszy (zawierających stopę wzrostu zaludnienia, wzrost gospodarczy, autonomiczną poprawę efektywności energetycznej i zużycia energii zdekarbonizowanej, emisje CO<sub>2</sub> ze zmiany użytkowania gruntów oraz metanu - CH<sub>4</sub> i podtlenku azotu - N<sub>2</sub>O) uwzględniających 16 regionów świata w okresie 1950-2300r. Model szacuje szereg możliwych efektów zmian klimatu na rolnictwo, leśnictwo, niezagospodarowane ekosystemy, wzrost poziomu mórz, śmiertelność ludzi, konsumpcję energii i zasoby wodne. Efekty są obliczane jako zdyskontowana różnica między strumieniem realnej konsumpcji (dobrobytu) dla wybranego scenariusza oraz tegoż scenariusza zakłóconego małą dodatkową emisją gazów cieplarnianych w określonym przedziale czasowym.

Koszt uniknięcia szkód natomiast, jest kosztem krańcowym osiągnięcia redukcji emisji CO<sub>2</sub> do wyznaczonego poziomu. W konsekwencji zależy on od wyznaczonego celu oraz podejmowanych miar i działań niezbędnych do osiągnięcia tegoż celu.

Jeśli obliczenie krańcowych kosztów szkód jest oparte na zaobserwowanych preferencjach społeczności (określonym wyborze wielkości stopy dyskonta oraz zróżnicowanym wartościowaniu szkód dla biednych i bogatych regionów świata<sup>14</sup>) oszacowane wartości są stosunkowo małe. Z drugiej strony zastosowanie alternatywnych wartości prowadzi do bardzo szerokiego przedziału wartości. W projekcie NEEDS podobnie jak i w poprzednich fazach projektu ExternE prowadzone były intensywne dyskusje odnośnie dużych różnic oszacowanych kosztów w stosunku do przyjętych założeń. W efekcie, biorąc pod uwagę duże niepewności i potencjalne luki związane z określeniem wielkości kosztów szkód w wyniku zmian klimatu zalecane jest stosowanie, jako wartości zastępczych, kosztów uniknięcia szkód, opartych na wspólnie uzgodnionych celach. Jest to uzasadnione również tym, że koszty osiągnięcia zaakceptowanych przez społeczność celów mogą w

---

<sup>13</sup> Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution

<sup>14</sup> equity weighting

przybliżeniu być wykorzystane jako gotowość społeczności do zapłaty w celu uniknięcia ryzyka szkód związanych ze zmianą klimatu.

Na podstawie wyczerpującego przeglądu literatury i wewnętrznej debaty w projekcie NEEDS zaproponowano referencyjne wartości marginalnych kosztów redukcji emisji gazów cieplarnianych dla dwóch scenariuszy (Tabela 5).

*Tabela 5: Zalecane w projekcie NEEDS krańcowe koszty zewnętrzne gazów cieplarnianych (Euro2005/tonę CO<sub>2ekw</sub>).*

Scenario	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Realistyczny (Kyoto+)	23.5	27	29	32	34	37	50	66	77
Ambitny (2°C)	23.5	31	46	51	74	87	110	146	198

*Źródło: NEEDS (a,d)*

Pierwsze oszacowanie uważane za bardziej realne, zwłaszcza dla okresu krótko – średnioterminowego, dotyczy krańcowego kosztu redukcji emisji CO<sub>2</sub> wynikającej z Protokołu z Kyoto (8% redukcja w okresie 2008-2012 w stosunku do emisji w 1990r.) oraz z zakładanego scenariuszu post-Kyoto (20% redukcja w 2020r.). Drugie oszacowanie odzwierciedla bardziej ambitne cele – osiągnięcie maksymalnie 2°C globalnego wzrostu temperatury w stosunku do okresu przed-przemysłowego.

Oszacowania kosztów uniknięcia emisji gazów cieplarnianych mieszczą się również w szerokim przedziale zależnie od przyjętych scenariuszy i celów dotyczących wielkości redukcji emisji, więc potrzeba zwiększenia stopnia pewności jest oczywista. Ponieważ w analizach zakładana jest kontynuacja handlu pozwoleniami do emisji CO<sub>2</sub>, proponowane wartości powinny odzwierciedlać poziom przyszłych rynkowych cen pozwoleń do emisji CO<sub>2</sub>.

## 2.5. Wiarygodność oszacowań

Z oszacowaniami kosztów zewnętrznych wiąże się wiele niepewności, które zostały sklasyfikowane i skwantyfikowane w (NEEDS (f,g)). W pierwszej aproksymacji za dolną granicę obszaru możliwych wartości (68% interwał ufności) dla głównych zanieczyszczeń powietrza można przyjąć 1/3 średniej wartości oszacowań, natomiast jako górna 3 razy wartość średnia. Dla metali ciężkich i skutków ocieplenia klimatu współczynnik niepewności jest ok. 4-5. Chociaż z powodu tak dłużej niepewności wiele osób kwestionuje przydatność kosztów zewnętrznych, trzeba podkreślić, że źródło niepewności w dużym stopniu nie jest natury naukowej (dane i niepewności związane z modelem), lecz raczej natury etycznej (przydzielenie wartości pieniężnej YOLL, uwzględnienie czy nie, różnicy w gotowości do zapłaty bogatych i biednych, wybór stopy dyskonta itp.) oraz niepewności związanych z przyszłością. Jasne jest, że, najlepszym sposobem obniżenia stopnia niepewności oszacowań kosztów zewnętrznych jest osiągnięcie zgody, co do wielkości powyższych kluczowych wartości. Przybliżone oszacowanie oparte na przejrzystym i udokumentowanym podejściu jest zawsze lepsze, nawet przy znaczącym stopniu niepewności, niż subiektywna ocena oparta na emocjach i dowolnych założeniach. Niepewności towarzyszące oszacowaniom kosztów zewnętrznych muszą być brane pod uwagę w związku z niekrytycznym wykorzystaniem oszacowanych pojedynczych liczby, w szczególności jeśli chodzi o oszacowania kosztów zdrowotnych.

### 3. KOSZTY ZEWNĘTRZNE WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE

#### 3.1. Koszty zewnętrzne na jednostkę emitowanego zanieczyszczenia

Koszty zewnętrzne na tonę emitowanego zanieczyszczenia powietrza dla elektrowni krajowych dla lat 2007-2008 przedstawiono w Tabeli 3. Obliczenia przeprowadzono w ramach projektów NEEDS i CASES z pomocą modelu komputerowego EcoSenseWeb (NEEDS(a)). Uwzględnione zostały koszty zdrowotne, koszty oddziaływania na uprawy rolnicze i materiały budowlane oraz koszty strat różnorodności gatunków na obszarach niezagospodarowanych. Przedstawione koszty są wartościami średnimi oszacowane uwzględniając przestrzenny rozkład źródeł emisji w kraju. Do tabeli dodano koszt emisji CO<sub>2</sub> w wysokości zalecanej w projekcie NewExt dla ten okres (19 €2000/t CO<sub>2</sub> ≈ 21 €2005/t CO<sub>2</sub>).

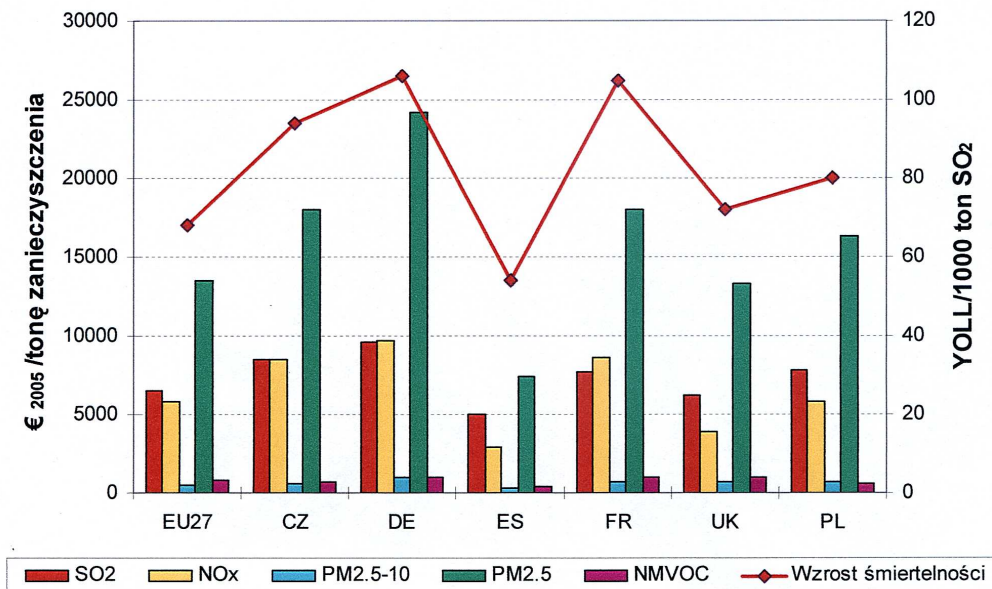
Tabela 6. Uśrednione koszty zewnętrzne emisji zanieczyszczeń powietrza dla krajowych elektrowni ciepłych w latach 2007-2008 [€2005/tonę zanieczyszczenia].

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5-10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NM VOC	CO <sub>2</sub>
Zdrowie ludzi	7232	4287	667	16331	499	
Biosystem	-36	1173	0	0	-59	
Uprawy rolnicze	-8	155	0	0	126	
Materiały budowlane	579	145	0	0	0	
Efekt cieplarniany						21
<b>Łącznie</b>	<b>7767</b>	<b>5760</b>	<b>667</b>	<b>16331</b>	<b>566</b>	<b>21</b>

Źródło: NEEDS (e)

Koszty w wyniku emisji NO<sub>x</sub> uwzględniają skutki powodowane przez azotany (cząsteczki wtórne), ozon, depozycję azotu (działa jako nawóz) i związków kwaśnych. NMVOC powoduje szkody poprzez branie udziału w powstawaniu ozonu. Dla SO<sub>2</sub> skutki są wynikiem oddziaływań aerozoli siarczanów (cząstki wtórne), depozycji związków kwaśnych oraz bezpośredniego oddziaływania na plony rolnicze. Szkody w wyniku emisji cząsteczek pierwotnych podano w rozbiu na "PM<sub>2.5</sub>" i "PM<sub>2.5-10</sub>".

Na rys. 3 natomiast, przedstawiono porównanie kosztów zewnętrznych na jednostkę emisji dla Polski i wybranych krajów europejskich.



Rys. 3. Porównanie kosztów zewnętrznych na jednostkę emisji zanieczyszczeń powietrza dla Polski i wybranych krajów europejskich (źródło: na podstawie NEEDS (e)).

Różnice w prezentowanych wartościach dla różnych krajów odzwierciedlają wpływ lokalizacji na wysokość szkód. Zależnie od warunków meteorologicznych, stężenia tła zanieczyszczeń i procesów chemicznych w powietrzu oraz zaludnienia na obszarach narażonych na emisję, tona emitowanego zanieczyszczenia może spowodować bardzo różne koszty. Jak można zauważyć, koszty emisji jednej tony SO<sub>2</sub> lub NO<sub>x</sub> (spowodowane głównie przez siarczany i azotany) są najniższe dla Hiszpanii i Królestwa Zjednoczonego, ponieważ duża część powstających w reakcjach chemicznych w powietrzu cząsteczek wtórnych kończy w morzu. W przypadku cząstek pierwotnych (PM) reakcje chemiczne są nieistotne, i w efekcie różnice odzwierciedlają ludność narażoną na emisję, a to z kolei zależy od odległości od źródła emisji i przeważającego kierunku wiatru.

### 3.2. Koszty zewnętrzne na jednostkę wytwarzanej energii

Koszty zewnętrzne na jednostkę energii elektrycznej netto w energetyce zawodowej w Polsce w latach 2007-2008 przedstawiono wg typu obiektu oraz w rozbiciu na poszczególne rodzaje zanieczyszczeń w Tabeli 7. oraz na Rys. 4. Koszty zostały obliczone na podstawie średnich wartości kosztów zewnętrznych na tonę emisji (Tabela 6.) oraz danych statystycznych odnośnie wielkości emisji (Emitor 2008) i produkcji energii elektrycznej w Polsce w latach 2007-2008 (ARE S.A. 2009).

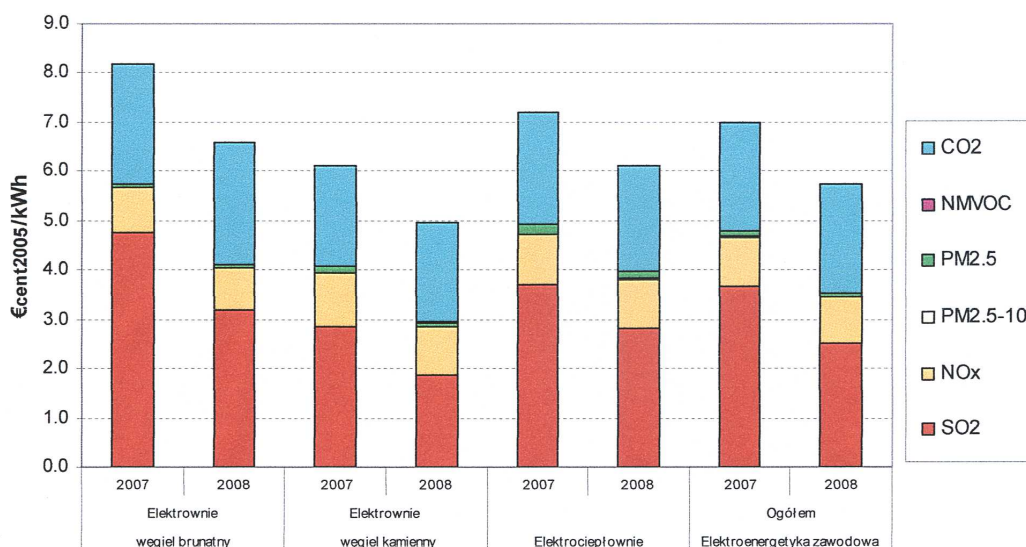
Tabela 7. jednostkowe koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej w energetyce zawodowej w Polsce w 2007 i 2008 r. wg rodzaju obiektu i zanieczyszczeń [€2005/MWh].

	Elektrownie Węgiel brunatny		Elektrownie Węgiel kamienny		Elektrociepłownie		Ogółem El. ciepłe	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
SO <sub>2</sub>	47.52	31.94	28.59	18.52	36.92	28.32	36.54	25.10
NO <sub>x</sub>	9.12	8.45	10.69	10.08	10.25	9.82	10.07	9.43
PM <sub>2.5-10</sub>	0.11	0.10	0.11	0.06	0.16	0.11	0.12	0.08
PM <sub>2.5</sub>	0.66	0.60	1.24	0.67	2.01	1.35	1.16	0.75
NMVOC	0.05	0.05	0.06	0.07	0.04	0.04	0.05	0.05
<i>Razem</i>	<i>57.46</i>	<i>41.13</i>	<i>40.71</i>	<i>29.42</i>	<i>49.39</i>	<i>39.65</i>	<i>49.95</i>	<i>35.42</i>
CO <sub>2</sub>	24.48	24.60	20.27	20.25	22.60	21.45	22.12	22.07
Łącznie	81.94	65.73	60.98	49.67	71.99	61.10	70.06	57.50

Źródło: obliczenia własne

Łączny uśredniony koszt zewnętrzny (bez uwzględnienia CO<sub>2</sub>) obliczony na kWh energii elektrycznej wynosił w Polsce w 2008 roku ok. 35 €/kWh. Jest to wartość porównywalna z ceną energii elektrycznej na rynku hurtowym. Dominujący, ok. 70%, udział ma emisja SO<sub>2</sub>, ponad 25% udział emisja NO<sub>x</sub>, natomiast najniższym kosztem charakteryzują się pyły (ok. 2.5% udział) oraz NMVOC z pomijalnie małym udziałem. Zauważalny spadek kosztu zewnętrznego w 2008r. w stosunku do roku poprzedniego jest następstwem uruchomienia kilku instalacji odsiarczania spalin w elektrowniach zawodowych. Uwzględnienie efektu globalnego ocieplenia klimatu (emisji CO<sub>2</sub>) zwiększyłoby koszt zewnętrzny o dodatkowych 22 €/kWh.





Rys. 4. Koszty zewnętrzne na jednostkę wytwarzanej energii elektrycznej w Polsce.

W Tabeli 8. podsumowano całkowite koszty zewnętrzne dla krajowych elektrowni ciepłych. Łączny koszt zewnętrzny wytwarzania energii elektrycznej, wyłączając efekt CO<sub>2</sub>, wynosi ok. 4.5 mld Euro. Koszty emisji CO<sub>2</sub> oszacowano na ok. 2.9 mld Euro/a.

Tabela 8. Zagregowane koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej w krajowych elektrowniach ciepłych w latach 2007-2008.

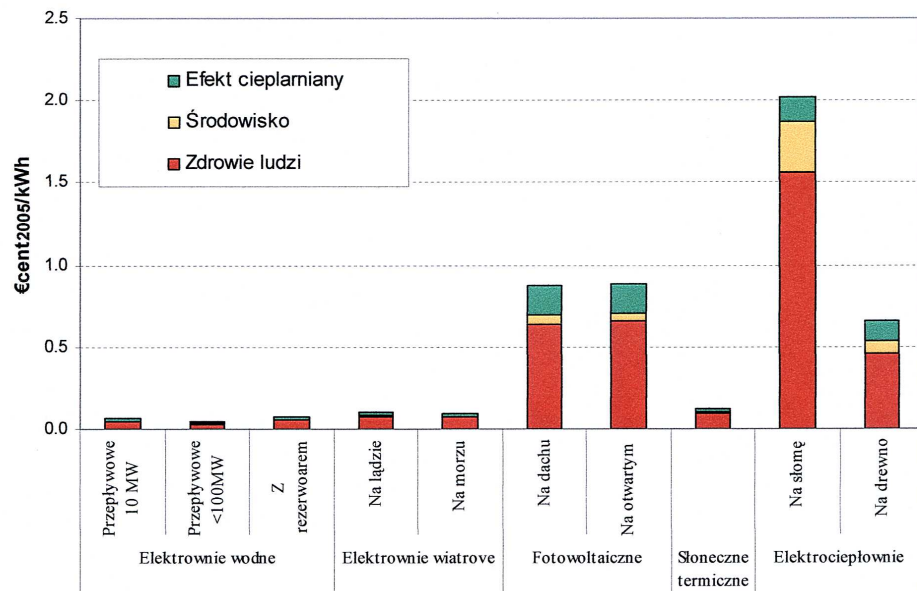
Rodzaj zanieczyszczeń	Koszty jednostkowe €/t	Emisje w 2007r. **) 1000 ton	Koszty zewnętrzne w 2007r.		Emisje w 2008r. **) 1000 ton	Koszty zewnętrzne w 2008r.	
			mld €	% udział		mld €	% udział
PM <sub>10</sub>	4850 <sup>*)</sup>	34	0.173	1.8	22	0.109	1.5
SO <sub>2</sub>	7767	634	4.926	52.1	420	3.260	43.7
NO <sub>x</sub>	5760	236	1.358	14.4	213	1.224	16.4
NMVOC	566	13	0.007	0.1	12	0.007	0.1
CO <sub>2</sub>	21	142000	2.982	31.6	136475	2.866	38.4
Łącznie	-	-	9.447	100	-	7.466	100

<sup>\*)</sup> Średnia ważona PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>2.5-10</sub>

<sup>\*)</sup> Metodą egzergii ok. 25% emisji z elektrociepłowni przydzielono produkcji ciepła  
(Źródło: obliczenia własne)

### 3.3. Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych

Elektrownie wytwarzające energię elektryczną ze źródeł odnawialnych (OZE-E) w zasadzie nie powodują emisje podczas pracy elektrowni, lecz w fazie jej budowy. Wyjątkiem są instalacje opalane biomasą. W konsekwencji koszty zewnętrzne OZE-E są wyraźnie poniżej 1 €cent/kWh (rys. 5), wyłączając instalacje fotowoltaiczne (koszt nieco poniżej 1 €cent/kWh, z perspektywą dalszego obniżenia w przyszłości) i na biomasę (koszt 0.65-2 €cent/kWh).



Rys. 5. Porównanie kosztów zewnętrznych dla różnych źródeł energii odnawialnej w pełnym cyklu energetycznym w warunkach polskich (Źródło: CASES (c)).

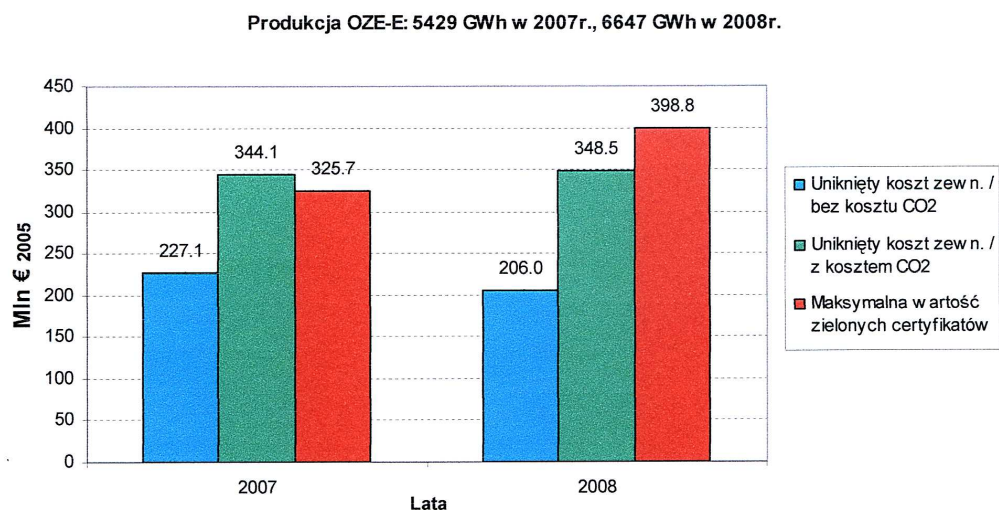
### 3.4. Koszty zewnętrzne uniknięto w wyniku popierania energii ze źródeł odnawialnych

Popieranie rozwoju OZE-E prowadzi do substytucji energii ze źródeł konwencjonalnych przez OZE-E, a więc do uniknięcia kosztu środowiskowych i ich kosztów zewnętrznych. Rozwój wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych promowany jest w Polsce poprzez obowiązek zakupu określonej ilości OZE-E nałożony na przedsiębiorstwa energetyczne. Obowiązek uznaje się za spełniony, jeżeli za dany rok udział ilościowy sumy energii elektrycznej wynikającej ze świadectw pochodzenia (tzw. zielone certyfikaty), które przedsiębiorstwo przedstawiło do umorzenia, lub z uiszczoną przez przedsiębiorstwo opłaty zastępczej, w wykonanej całkowitej rocznej sprzedaży energii elektrycznej przez to przedsiębiorstwo odbiorcom końcowym, wynosi nie mniej niż: 7,0 % w 2008 r.,...10,4 % w 2010 r.,... 12,9 % w 2017 r.<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła

W konsekwencji OZE „generuje” dwa produkty: energię elektryczną oraz świadectwa pochodzenia. Cena OZE-E w obowiązku zakupu ustalana jest na podstawie średniej ceny energii na rynku konkurencyjnym (128,80 zł/MWh w 2008r.), natomiast wysokość opłaty zastępczej (248,46 zł/MW w 2008r.) określa maksymalną wartość świadectw pochodzenia (obróć prawami majątkowymi wynikającymi ze świadectw pochodzenia odbywa się na rynku giełdowym).

W 2008r. dzięki produkcji OZE-E uniknięto w Polsce emisję ok. 7 mln t CO<sub>2</sub>, 21 kt SO<sub>2</sub>, 6 kt NO<sub>x</sub> oraz 1 kt PM. Na Rys. 6. porównano dla lat 2007-2008 uniknięty dzięki OZE-E koszt zewnętrzny z maksymalną wartością świadectw pochodzenia, którą mogły otrzymać producenci OZE-E. Można wnioskować, że obecny poziom popierania OZE-E jest uzasadniony korzyścią wynikającą z uniknięcia kosztu zewnętrznego.



Rys. 6. Porównanie unikniętego przez wytworzenie OZE-E kosztu zewnętrznego z maksymalną wartością wydanych świadectw pochodzenia (Źródło: obliczenia własne).

#### 4. KOSZTY SPOŁECZNE NOWOCZESNYCH TECHNOLOGII WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ OBECNIE I W 2030 ROKU W POLSCE

Rzetelna ocena i porównanie technologii wytwarzania energii elektrycznej powinna uwzględnić nie tylko koszty wytwarzania (koszt prywatny), ale również towarzyszące koszty zewnętrzne, innymi słowy porównywane powinny być pełne koszty społeczne. Poniżej przedstawione wyniki porównania wybranych nowoczesnych technologii wytwarzania energii elektrycznej w warunkach polskich w latach 2010 i 2030 na podstawie badań przeprowadzonych w ramach europejskich projektów NEEDS i CASES.

Założenia odnośnie rozpatrywanych technologii przyjęte do obliczenia kosztów wytwarzania energii elektrycznej (Tabela 9) uwzględniają najnowsze technologie, dostosowane do wymaganych norm bezpieczeństwa i ochrony środowiska.

Obliczony jednostkowy koszt prywatny wytwarzania energii elektrycznej w €<sub>2005</sub>/kWh jest uśrednionym dyskontowanym kosztem wytwarzania w zakładanym okresie życia technicznego

---

wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii

elektrowni. W założeniach studium przyjęto, że elektrownie jądrowe i ciepłe pracują jako podstawowe (czas pracy 7500 godzin/a). Ponieważ dla technologii charakteryzujących się wysokim nakładami inwestycyjnymi jednym z krytycznych parametrów jest zakładana wysokość stopy dyskonta, obliczenia przeprowadzono przy 5% i 10% stopy.

Trzeba podkreślić, że wszystkie wartości, w szczególności dotyczące przyjętych cen paliw (tabela 10) oraz danych dla roku 2030 są wysoce niepewne. Aby bardziej uwiarygodnić wnioski dotyczące elektrowni jądrowych, przeprowadzono (przez autora) również dodatkowe obliczenia kosztów wytwarzania dla elektrowni jądrowych zakładając koszt inwestycyjny wyższy o 50% w 2010r. oraz 100% w 2030r., niż przyjęty w Tabeli 9.

Tabela 9. Charakterystyki wybranych technologii wytwarzania energii elektrycznej.

	Koszt inwest. 2010/2030	Odsetki podcz. budowy	Koszt zamknięc.	Koszty stałe (O&M)	Koszty zmien. O&M	Sprawność 2010/2030	Wskaż. emisji 2010/2030	Techn. czas życia	Czas pracy pełną mocą
	€/kW	%	€/kW	€/kW/rok	€/MWh	%	g CO <sub>2</sub> ekw/kWh	Lata	h/rok
El. jądrowa PWR	1850/1350	10.8	270	38.5	0.98/0.51	33/36	20/5	40/60	7500
El. na węgiel kamienny (EWK)	1000/895	8.2	32.5	40.5	2.6	46/52	732/642	35	7500
EWK z układem zgazowania IGCC	1350/1100	8.2	50	52.5	3.1	45/54.5	747/612	35	7500
EWK IGCC z uchwytem CO <sub>2</sub>	-/1370	8.2	55	65	3.6	-/48.5	-/135	35	7500
El. na węgiel brunatny (EWB)	1300/900	8.2	30	38/33	1	44.5/50	824/727	35	7500
EWB z układem zgazowania IGCC	1200/1100	8.2	50	52.5	3.1	44/52.5	833/692	35	7500
EWB IGCC z uchwytem CO <sub>2</sub>	-/1370	8.2	55	65	3.6	-/46.5	-/93	35	7500
El. na gaz ziemny GTCC	500/385	5.4	15	19/18	1.5	57.5/63	382/346	35	7500
GTCC z uchwytem CO <sub>2</sub>	-/925	5.4	15	52.5	1.7	-/57	-/96	35	7500
Turbina gazowa GT	280/220	4	0	11.5	2	40	571/538	35	7500
El. Wiatrowe na lądzie	1000/950	0	0	40	12.1/16.7 <sup>*)</sup>	100	6/5	20	2628
El. Wiatrowe na morzu	1650/1370	0	0	60	12.7/17.5 <sup>*)</sup>	100	7/4	20	4044
El. Wodna przepływ.	3500	10	0	45	-	85	6/5	70	5000

Koszt transportu i magazynowania CO<sub>2</sub>: 9 €/t CO<sub>2</sub>

<sup>\*)</sup> Koszt rezerwowania mocy elektrowni wiatrowych przy 5%/10% stopy dyskonta

Źródło: CASES (b)

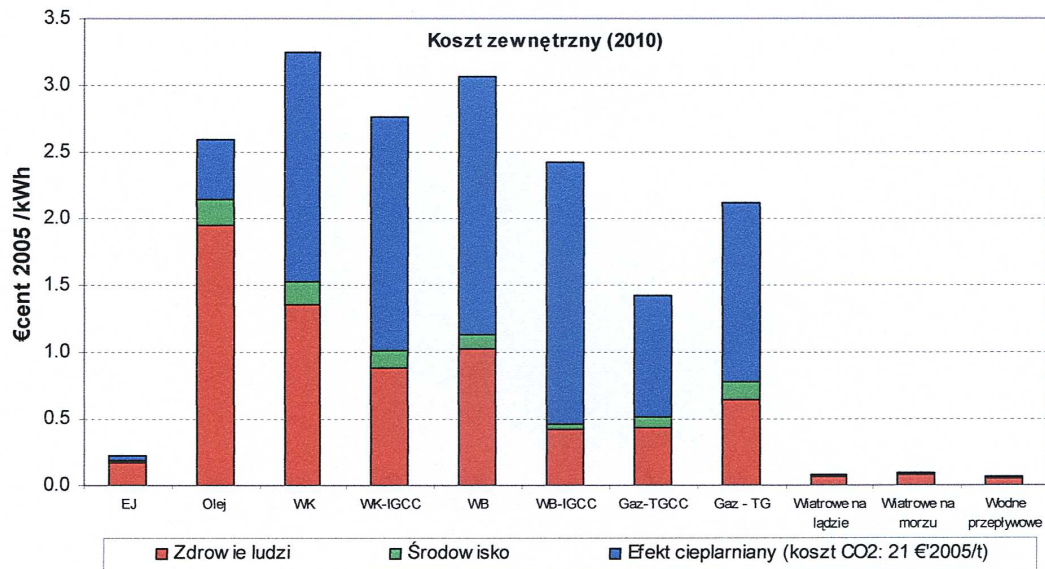
Tabela 10. Założone ceny nośników energii na wejściu do elektrowni [€/2005/GJ].

Nośnik	2005	2010	2020	2030
Węgiel kamienny	1.96	1.86	2.07	2.19
Węgiel brunatny	0.98	0.98	0.98	0.98
Gaz ziemny	6.11	6.32	5.95	6.63
Paliwo jądrowe	0.62	0.62	0.62	0.62

Źródło: CASES (b)

Koszty zewnętrzne rozpatrywanych technologii w warunkach polskich przedstawiono dla roku 2010 na Rys. 7. Energia jądrowa i odnawialne mają wyraźnie niższe koszty zewnętrzne niż inne technologie, głównie z powodu znacznie niższych skutków emisji gazów cieplarnianych i emisji SO<sub>2</sub>,

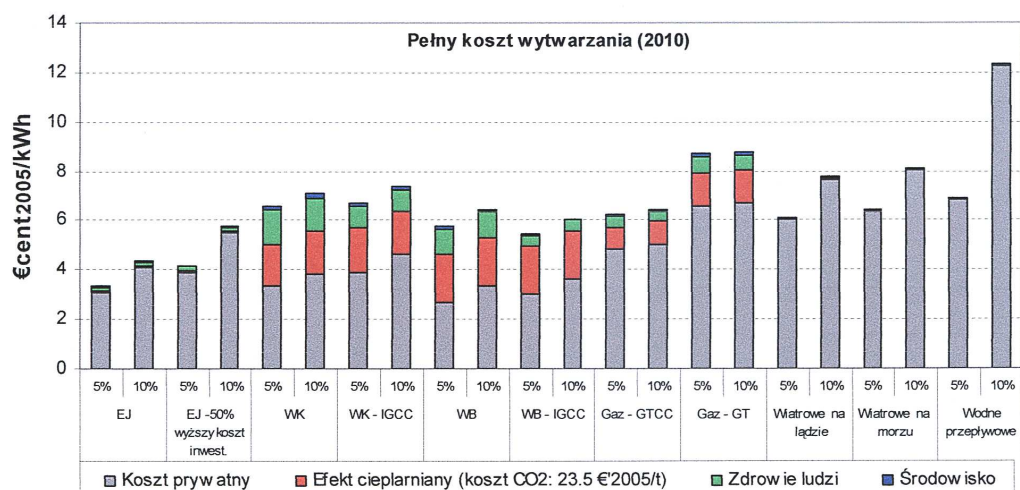
NO<sub>x</sub> i PM w całym cyklu paliwowym. Nawet do 50% kosztów inwestycyjnych elektrowni jądrowych dotyczą spraw bezpieczeństwa, efektem czego jest zminimalizowane prawdopodobieństwo występowania uwolnień substancji promieniotwórczych podczas pracy normalnej oraz w przypadku awarii. W ten sposób została zinternalizowana przeważająca część kosztów zewnętrznych. Należy zauważyć, że elektrownie węglowe w wyniku zainstalowania drogich urządzeń redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza również zinternalizowały dużą część kosztów zewnętrznych. W analizie przyjęto, że zewnętrzne koszty zdrowotne i środowiskowe będą w przyszłości rosnąć, ponieważ gotowość do zapłaty za obniżenie ryzyka zachorowań lub szkód środowiskowych będzie rosła ze zwiększeniem się zamożności społeczeństwa.



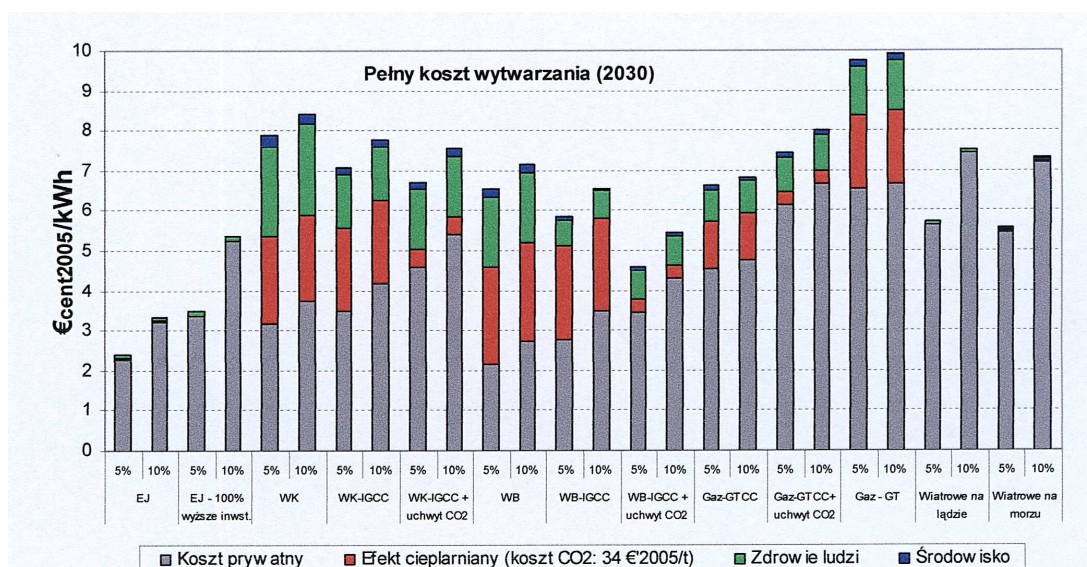
Rys. 7. Koszt zewnętrzny dla różnych technologii wg rodzaju oddziaływań (Źródło: CASES (d)).

Na Rys. 8. i 9 przedstawiono wyniki obliczeń kosztów społecznych (koszt prywatny + koszt zewnętrzny) dla rozpatrywanych technologii.





Rys. 8. Porównanie pełnego kosztu wytwarzania energii dla wybranych technologii w 2010 r. w warunkach polskich przy 5% i 10% stopy dyskonta (Źródło: na podstawie CASES (d)).



Rys. 9. Porównanie pełnego kosztu wytwarzania energii dla wybranych technologii w 2030 r. w warunkach polskich przy 5% i 10% stopy dyskonta (Źródło: na podstawie CASES (d)).

Na podstawie przedstawionych wyników można wnioskować, że koszty społeczne różnią się od kosztów prywatnych, innymi słowy uwzględnienie kosztów zewnętrznych zmienia konkurencyjność poszczególnych technologii. Analiza dla roku 2010 wskazuje technologie węglowe (w szczególności

opalone węglem brunatnym) jako najtańsze, jeśli pominiemy koszty zewnętrzne oraz przyjmujemy górne wartości kosztów dla instalacji jądrowych.. Należy podkreślić, że koszt zewnętrzny w wyniku emisji CO<sub>2</sub> jest następny, który w krajach UE zostanie prędko zinternalizowany. Zgodnie z ustaleniami Parlamentu Europejskiego dotyczących korekty dyrektywy o handlu emisjami<sup>16</sup> Unii Europejskiej począwszy od 2013 roku wystąpi obowiązek dla elektrowni zakupu uprawnień na 100% emisji CO<sub>2</sub><sup>17</sup>. Koszt zakupu pozwoleń będzie uwzględniony w rynkowej cenie energii. Wtedy konkurencyjność energii jądrowej do pokrycia obciążenia podstawowego wydaje się bezdyskusyjna.

Technologie węglowe będą nadal odgrywać ważną rolę, w szczególności te wyposażone w instalacje wychwytu i składowania CO<sub>2</sub> (jeśli okaże się, że technologie CCS noszą małe ryzyko środowiskowe i techniczne), koszt transportu i magazynowania jest w prognozowanych granicach oraz cele dotyczące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych nie są wygórowane.

Gaz ziemny będzie brany pod uwagę jako alternatywa dla węgla, jeśli jego cena pozostanie umiarkowana, wtedy jednak bez instalacji CCS. Przedstawione dane odnośnie kosztów społecznych elektrowni wiatrowych również są podstawą do promocji dalszego wykorzystania potencjału energii wiatrowej. Niemniej jednak, w określeniu przyszłego mix-u technologii inne czynniki, jak na prz. dostępność paliw i technologii, bezpieczeństwo dostawy, zależność od importu, akceptacja społeczna itp. muszą być brane pod uwagę.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Obecnie za najbardziej autorytatywną metodykę do szacowania kosztów zewnętrznych wytwarzania energii elektrycznej uznawana jest metodyka „ścieżki oddziaływań” rozwinięta w ramach projektu ExternE. Trzeba podkreślić, że wyniki przedstawione powyżej przedstawiają tylko w pewnym przybliżeniu oszacowanie kosztów zewnętrznych produkcji energii elektrycznej. Efekty skwantyfikowane należy zawsze traktować tylko jako sumę pośrednią łącznych kosztów zewnętrznych. Uśredniony koszt zewnętrzny (bez uwzględnienia kosztu CO<sub>2</sub>) obliczony na kWh energii elektrycznej wytwarzanej w Polsce w 2008 roku wynosił ok. 35 €/kWh, czyli wartość porównywalna z ceną energii elektrycznej na rynku hurtowym. Uwzględniając koszt emisji CO<sub>2</sub> koszt ten rośnie do 57.5€/kWh. Pomimo, że z każdym oszacowaniem kosztu zewnętrznych wiąże się spora doza niepewności, z przedstawionych wyników można wnioskować, że energia jądrowa i źródła odnawialne mają wyraźnie niższe koszty zewnętrzne niż inne technologie. Co więcej, wśród przyszłych perspektywicznych technologii wytwarzania energii elektrycznej, elektrownie jądrowe charakteryzuje się najniższym kosztem społecznym. Niestety publiczne postrzeganie elektrowni jądrowych nie jest w zgodzie z powyższą oceną ekspercką.

### Literatura

- [1] ExternE Homepage. "Externalities of Energy. A Research Project of the European Commission", from <http://www.externe.info/>
- [2] ExternE 1995, Externalities of Energy, Vol. 1-7, published by European Commission, Directorate General XII, Science Research and Development, Luxembourg, 1995
- [3] EXTERNE 1999, Externalities of Energy, Vol. 7-10, published by European Commission, Directorate General XII, Science Research and Development, Luxembourg, 1999

---

<sup>16</sup> Directive 2009/29/EC of the European parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community

- [4] ExternE Transport 2001, Friedrich, R., Bickel, P., Environmental external costs of transport. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York
- [5] NewExt 2004, European Commission, DGResearch, New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies. 5th Framework Programme, Final Report, Contract ENG1-CT2000-00129, Brussels, 2004
- [6] [http://www.ier.unituttgart.de/public/de/organisation/abt/tfu/projekte/newext/new\\_ext\\_final.pdf](http://www.ier.unituttgart.de/public/de/organisation/abt/tfu/projekte/newext/new_ext_final.pdf)
- [7] ExternE-Pol 2004, European Commission, DG Research, Rabl, A. et al. (Eds.), "Externalities of Energy: Extension of accounting framework and Policy Applications". Final Technical report prepared for the European Commission, Contract ENG1-CT2002-00609
- [8] ExternE 2005, European Commission, "ExternE - Externalities of Energy: Methodology 2005 update", Edited by Peter Bickel and Rainer Friedrich, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Germany. EUR 21951
- [9] NEEDS 2009, European Commission, "Integrated project NEEDS – New Energy Externalities Developments for Sustainability", Project no: 502687, Research Stream 1b: "Development and improvement of a methodology to estimate external costs of energy" - <http://www.needs-project.org/>.
- [10] NEEDS (a), Preiss, P. and Klotz, V. (2008), "Revised Description of the Updated and Extended Tool EcoSenseWeb for the Detailed Site-dependent Assessment of External Costs (<http://EcoSenseWeb.ier.uni-stuttgart.de/>)", NEEDS project, FP6, Rs1b\_D7.1.
- [11] NEEDS (b), Torfs, R., Hurley, F., Miller, B. and Rabl, A. (2007), "A set of concentration-response functions", NEEDS project, FP6, Rs1b\_D3.7 - Project no: 502687
- [12] NEEDS (c), Ott, W., Frischknecht, R., Baur, M., Kaufmann, Y. and Steiner, R. (2006), "Assessment of biodiversity losses", NEEDS Deliverable D4.2, RS1b, WP4 - Project no: 502687
- [13] NEEDS (d), Anthoff, D. (2007), "Report on marginal external costs inventory of greenhouse gas emissions", NEEDS Deliverable D5.4, RS1b - Project no: 502687
- [14] NEEDS (e), Preiss, P., Friedrich, R. and Klotz, V. (2008), "Report on the procedure and data to generate aver-aged/aggregated data, including ExternalCosts\_per\_unit\_emission\_080821.xls Excel file", NEEDS project, FP6, Rs3a\_D1.1 - Project no: 502687, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart
- [15] NEEDS (f), Spadaro, J. and Rabl, A. (2007), "Report on the methodology for the consideration of uncertainties", NEEDS project, FP6, Rs1b\_D7.2 - Project no: 502687, ARMINES/Ecole des Mines, Paris
- [16] NEEDS (g), Spadaro, J. V. and Rabl, A. (2008), "Final report on the Uncertainty of the Transfer/Generalization of Ex-ternE Results", NEEDS project, FP6, Rs3a\_D3.2 - Project no: 502687, ARMINES/Ecole des Mines, Paris
- [17] Krewitt W., Schlomann B., "Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern". Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/37085/>
- [18] CEPN 1998, Markandya, A., Dale, N., Schneider, T. (Eds.), Improvement of the assessment of the external costs of severe nuclear accidents. CEPN report N°260. Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire (CEPN), Fontenay-aux-Roses, France
- [19] CASES 2009, European Commission, "CASES - Cost Assessment of Sustainable Energy Systems" Project No 518294 SES6, <http://www.feem-project.net/cases/>.
- [20] CASES (a) "Report on methodology for estimating external costs to human health, crops and materials" IER University of Stuttgart, 2007, CASES report D.2.2,
- [21] [http://www.feemproject.net/cases/downloads\\_deliverables.php](http://www.feemproject.net/cases/downloads_deliverables.php)
- [22] CASES (b), Blesl, M., Wissel, S. and Mayer-Spohn, O. (2008), "Private costs of electricity and heat generation", CASES deliverable D.4.1, CASES project, WP4, IER, Universitaet Stuttgart.



- [23] CASES (c), Porchia, R., Bigano, A., "Development of a set of full cost estimates of the use of different energy sources and its comparative assessment in EU countries", CASES deliverable D.6.1, FEEM – Fondazione Eni Enrico Mattei
- [24] EMITOR 2008 – Emisja zanieczyszczeń środowiska w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A, Warszawa, 2009
- [25] ARE S.A. 2009, Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2008, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, 2009
- [26] Strupczewski A., Borysewicz M., Tarkowski S., Radović U., Ocena wpływu wytwarzania energii elektrycznej na zdrowie człowieka i środowisko i analiza porównawcza dla różnych źródeł energii, w: „Ekologiczne Aspekty Energetyki”, Warszawa 14-16 listopad 2001
- [27] Radović U., Assessment of external costs of power generation in Poland, Part of the IAEA Co-ordinated Research Project in: "Estimating the external costs associated with electricity generation options in developing countries using simplified methodologies", ARE S.A., Warsaw, 2001
- [28] Burgherr, P., Hirschberg, S., Hunt, A., Ortiz, R (2004): External costs from major accidents in non-nuclear fuel chains. In: ExternE (2004): New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies (NewExt). Publishable Report prepared for the European Commission
- [29] Pearce, D, 2001, Energy Policy and Externalities: An Overview, Workshop on Energy Policy and Externalities: the Life Cycle Analysis Approach, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, 15-16 November, pp.23-44