

Konstancja Poradowska\*

Mirosław Wójciak\*\*

## Perspektywy rozwoju energetyki zeroemisyjnej w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego Polski

### Wstęp

Zgodnie z Prawem energetycznym [ustawa, 1997] bezpieczeństwo energetyczne „jest to stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”. Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego wymaga zatem budowy długookresowych prognoz zapotrzebowania na energię oraz jej zużycia, w celu zbilansowania popytu i podaży. Nie bez znaczenia jest również ograniczenie energochłonności gospodarki, czyli racjonalne wykorzystanie zasobów energetycznych i paliwowych oraz redukcja emisji gazów cieplarnianych.

Bezpieczeństwu energetycznemu kraju sprzyja przede wszystkim dywersyfikacja bazy paliwowo-energetycznej, czyli zróżnicowanie struktury używanych paliw i energii, mniejszy stopień uzależnienia ich od importu i zróżnicowanie kierunków ich dostaw. Na świecie od wielu lat prowadzone są badania mające na celu zmniejszenie udziału paliw kopalnych w światowym rynku energii pierwotnej. W 2011 roku udział ten wyniósł 87%, dla Unii Europejskiej 79%, a dla Polski 97,2% [*Statistical Review...*, 2012]. Spalanie tych paliw prowadzi do skażenia powietrza, powoduje kwaśne deszcze, powstawanie CO<sub>2</sub>, a w efekcie globalne ocieplenie klimatu i pogorszenie się zdrowia ludzi. Wymienione przyczyny, a także fakt, że paliwa kopalne stanowią ograniczone i nieodnawialne zasoby, wymuszają poszukiwania alternatywnych źródeł energii. Obecnie znanych jest kilka alternatywnych źródeł wytwarzania energii (m.in. woda, wiatr, promieniowanie słoneczne, biomasa, grawitacja).

---

\*Dr, Katedra Prognoz i Analiz Gospodarczych, Wydział Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, konstancja.poradowska@ue.wroc.pl, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław

\*\*Dr, Katedra Ekonometrii, Wydział Zarządzania, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, miroslaw.wojciak@ue.katowice.pl, ul. Bogucicka 14, 40-226 Katowice

Do ich zalet można zaliczyć fakt, że nie ulegną one wyczerpaniu, zapewniają niezależność od importu, zmniejszenie ilości emisji zanieczyszczeń, lepszą jakość życia i poprawę zdrowia. Zasadniczą wadą natomiast jest ich koszt – znacznie przekraczający wytwarzanie energii z paliw kopalnych. Zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> zależy jednak nie tylko od zwiększenia wykorzystania technologii wytwarzania energii na bazie odnawialnych źródeł i w elektrowniach jądrowych, ale przede wszystkim od poprawy efektywności wykorzystania energii finalnej.

Celem artykułu jest analiza energochłonności gospodarki polskiej oraz ocena perspektyw rozwoju energetyki odnawialnej. Przedstawiono w nim prognozy produkcji energii z odnawialnych źródeł do 2050 roku, budowane na podstawie subiektywnych modeli tendencji rozwojowej, których parametry określano na podstawie ocen ekspertów. Wskazano ponadto czynniki sprzyjające i bariery rozwoju technologii zeroemisyjnych w Polsce, które zostały zidentyfikowane w oparciu o badanie ankietowe społeczeństwa. W artykule zaprezentowano wybrane metody badawcze, stosowane podczas realizacji projektu nr POIG.01.01.01-00-007/08 pt. „Zeroemisyjna gospodarka energią w warunkach zrównoważonego rozwoju Polski do 2050 roku” realizowanego w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach (Ośrodek Przetwarzania Informacji) oraz wnioski płynące z przeprowadzonego badania.

## 1. Energochłonność gospodarki Polski w latach 1995–2011

Sektor paliwowo-energetyczny stanowi jeden z działów gospodarki, charakteryzujący stopień rozwoju każdego społeczeństwa w świecie. Wzrost zapotrzebowania na energię powoduje, że pojęcie bezpieczeństwa energetycznego staje się czynnikiem kluczowym, warunkującym postęp w rozwoju obecnym i przyszłych pokoleń. Nie bez wpływu na rozwój technologii energetycznych pozostaje pakiet klimatyczno-energetyczny 3 x 20, który precyzuje warunki redukcji emisji gazów cieplarnianych, zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii końcowej oraz zwiększenia efektywności wykorzystania energii.

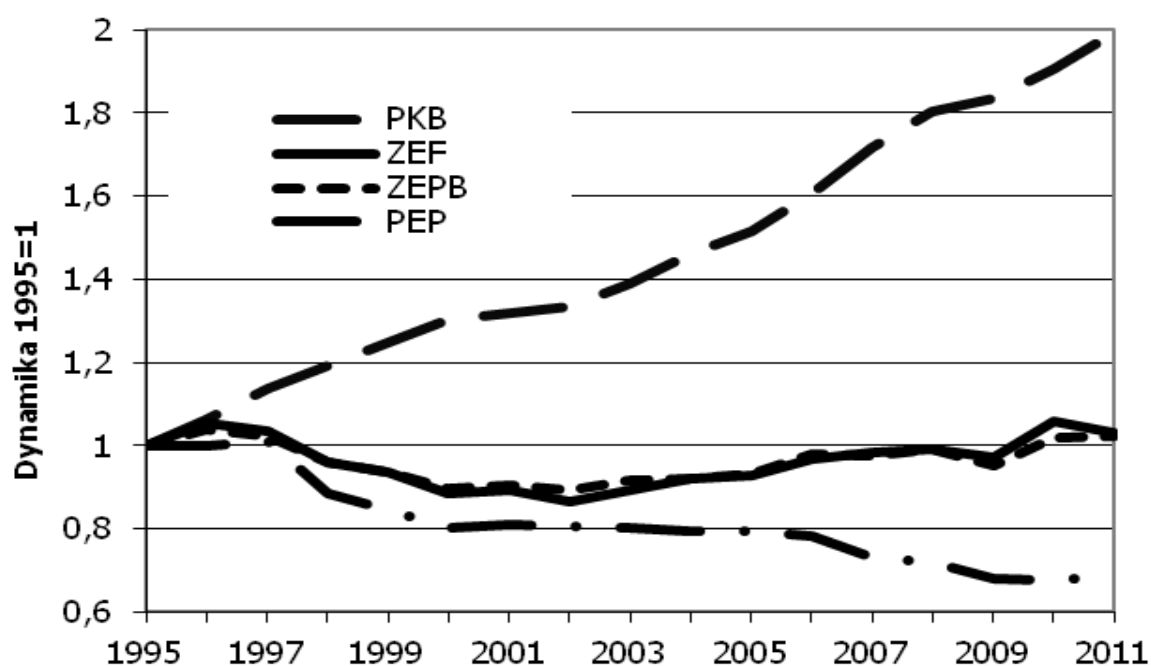
Rozpatrując bezpieczeństwo energetyczne kraju należy rozróżnić dostęp do energii pierwotnej, oraz energii finalnej. Energia pierwotna jest to energia chemiczna zawarta w paliwie, w miejscu i stanie, w jakim paliwo pierwotnie się znajdowało (np.: węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa, gaz ziemny, drewno opałowe, paliwa odpadowe stałe

roślinne i zwierzęce, energia odnawialna). Energia finalna, która jest energią użyteczną, uzyskaną z paliwa po uwzględnieniu strat wynikających z konwersji, transportu itd. W Polsce głównym źródłem energii pierwotnej jest węgiel kamienny i brunatny, z którego pochodzi ponad 80% produkcji energii pierwotnej. W ogólnym bilansie zużycia energii pierwotnej (uwzględniając import, eksport oraz zmiany w zapasach) nośnik ten stanowi 54%. W kontekście bezpieczeństwa energetycznego kraju ważny jest nie tylko dostęp do źródeł energii pierwotnej (krajowych i importowanych), ale także poprawa współczynnika konwersji energii pierwotnej w energię finalną oraz zmniejszenie energochłonności gospodarki.

Nośniki energii wyrażane są w różnych jednostkach, co często powoduje, że nie są one bezpośrednio porównywalne. W związku z tym w artykule posłużono się jednostką umowną – toe (*ton of oil equivalent*), czyli ekwiwalentu ropy (paliwo o kaloryczności 10 000kcal/kg).

Na rysunku 1 przedstawiono dynamikę wzrostu PKB, zużycia energii finalnej (ZEF), zużycia energii pierwotnej brutto (ZEPB), produkcji energii pierwotnej (PEP) w Polsce w latach 1995–2011.

**Rysunek 1. Dynamika wzrostu PKB, zużycia energii finalnej (ZEF), zużycia energii pierwotnej brutto (ZEPB), produkcji energii pierwotnej (PEP) w Polsce w latach 1995–2011**



Źródło: Opracowanie własne.

Zużycie energii pierwotnej brutto obliczono jako:

$$ZEPB = PEP - E + I + \Delta Z \quad (1)$$

gdzie:

*ZEPB* — zużycie energii pierwotnej brutto,

*PEP* — produkcja energii pierwotnej,

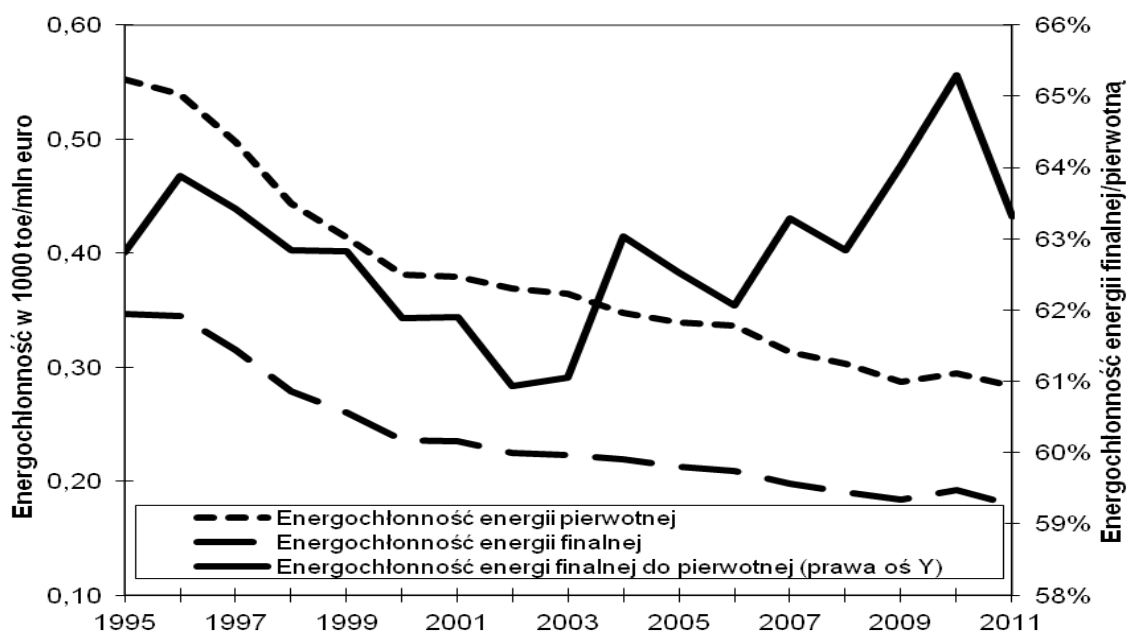
*E* — Eksport,

*I* — Import,

$\Delta Z$  — zmiana poziomu zapasów.

W badanym okresie produkcja energii pierwotnej stale malała osiągając w 2011 roku poziom 70% produkcji z roku 1995. W tym samym czasie zużycie energii finalnej oraz zużycie energii pierwotnej brutto, po początkowym wzroście, malało od 1997 roku do 2002 roku. Począwszy od 2003 roku notowany jest wzrost zapotrzebowania na energię, co spowodowało, że w roku 2011 poziom zużycia energii finalnej i pierwotnej był nieznacznie wyższy niż w 1995 roku. W tym samym czasie PKB mierzone w milionach euro w cenach stałych z 2011 roku zwiększyło się blisko dwukrotnie. Daje to średnioroczne zmniejszenie energochłonności dla energii finalnej oraz zużycia energii pierwotnej brutto w odniesieniu do PKB o około 4,1% (por. rysunek 2). Utrzymująca się podobna dynamika zużycia energii pierwotnej i finalnej skutkuje utrzymującym się współczynnikiem konwersji energii pierwotnej w finalną w granicach 61–65%.

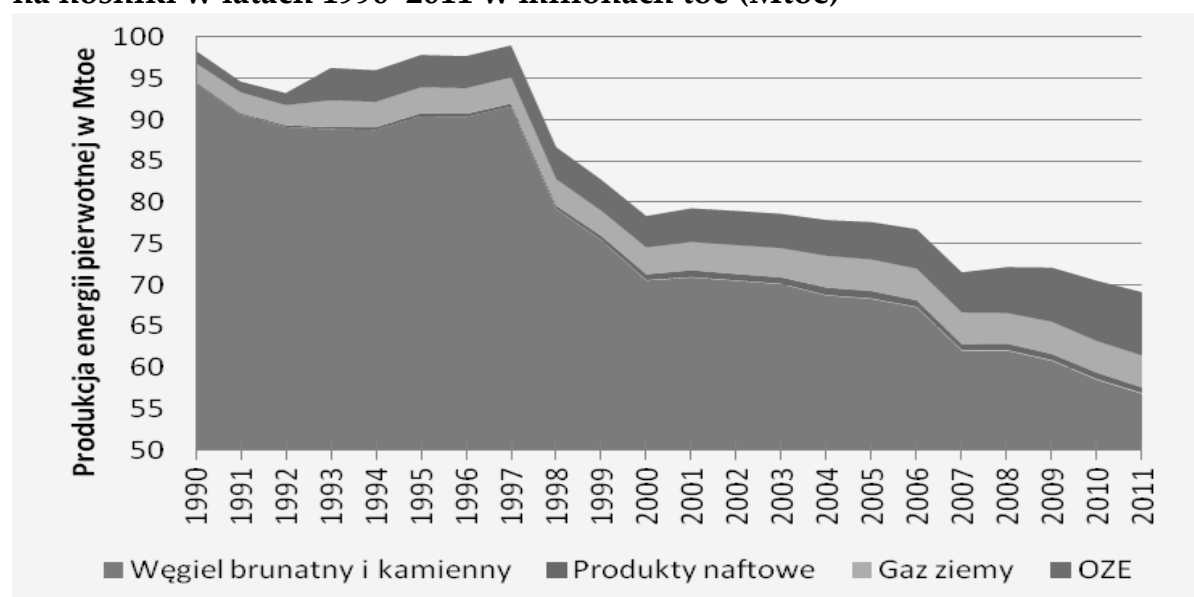
Rysunek 2. Energochłonność gospodarki polskiej w latach 1995–2011



Źródło: Opracowanie własne.

Produkcja energii pierwotnej (ze źródeł krajowych) od 1997 roku maleje (por. rysunek 3) – spadek wyniósł 32%. W tym okresie produkcja energii z węgla zmalała o 39,7%, a dla pozostałych nośników energii wzrosła: dla ropy naftowej o 82,7%; gazu ziemnego o 20,2% a dla OZE o 92,3%. Rozwój energetyki z odnawialnych źródeł energii spowodował, że w ostatniej dekadzie udział pozyskanej energii z tego źródła wzrósł z 4,8% do 11,1%.

**Rysunek 3. Struktura produkcji energii pierwotnej w Polsce w podziale na nośniki w latach 1990–2011 w milionach toe (Mtoe)**



Źródło: Opracowanie własne.

Produkcja energii pierwotnej oraz jej struktura jest ściśle powiązana ze zmianą zapotrzebowania i jej struktury na energię pierwotną (por. tablica 1 i rysunek 4).

**Tablica 1. Struktura zużycia energii pierwotnej w Polsce w latach 1990–2011**

Nośnik	1990 – 1993*	1994 – 1997	1998 – 2001	2002 – 2005	2006 – 2009	2010 – 2011**
Węgiel kamienny i brunatny	75,9%	70,3%	63,8%	59,8%	56,3%	53,8%
Ropa naftowa	13,7%	16,9%	21,4%	23,1%	25,5%	26,1%
Gaz ziemny	8,3%	9,0%	10,6%	12,4%	12,8%	12,6%
OZE	2,1%	3,9%	4,2%	4,7%	5,5%	7,5%

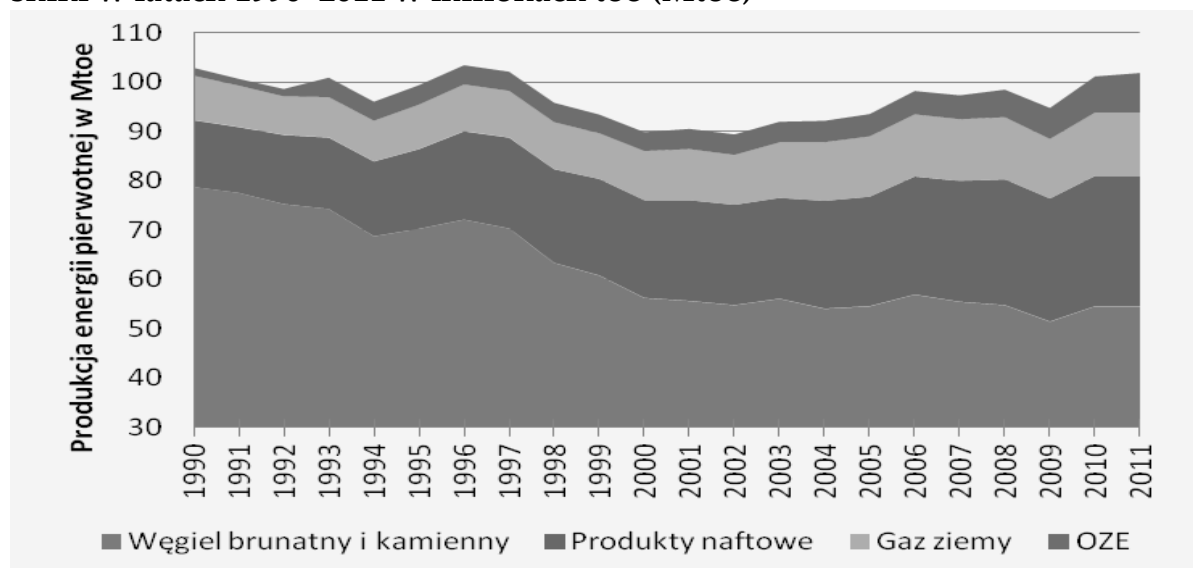
\* średnia policzona dla czterech lat

\*\* średnia policzona dla dwóch lat

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Eurostatu.

Udział zapotrzebowania na energię pozyskaną z węgla maleje od początku badanego okresu. W latach 1990–1993 udział energii otrzymanej z węgla wyniósł 75,9%, a w latach 2010–2011 już tylko 53,8%. Systematycznie rośnie udział energii pozyskanej z ropy naftowej (wzrost w rozpatrywanym okresie z 13,7% do 26,1%). Rośnie także udział energii wytworzonej z gazu ziemnego, lecz dynamika wzrostu jest niższa niż w przypadku ropy naftowej (wzrost z 8,3% do 12,6%). Jest to sytuacja niekorzystna, gdyż w Polsce, ze względu na położenie geograficzne, dominującymi surowcami energetycznymi są węgiel kamienny oraz brunatny. Podobnie jak w przypadku produkcji energii pierwotnej rośnie udział zużycia energii z odnawialnych źródeł. Na początku lat 90. XX wieku kształtował się na poziomie 2,1%, a w latach 2010–2011 wynosił już 7,5%.

**Rysunek 4. Struktura zużycia energii pierwotnej w Polsce w podziale na nośniki w latach 1990–2011 w milionach toe (Mtoe)**



Źródło: Opracowanie własne.

Istotnym faktem jest, że mimo iż odnawialne źródła energii wykorzystane do produkcji energii elektrycznej (m.in. energia wody, wiatru, słońca, geotermalna itp.) stanowią niewielki odsetek wśród nośników energii pierwotnej, są źródłami niewyczerpalnymi lub odnawiającymi się w krótkim czasie. Chociaż obecnie nie są w stanie zapewnić bezpieczeństwa energetycznego, niewątpliwie ich znaczenie w czasie będzie rosło [Wójciak, 2009]. Ponadto, jako jedyne źródła energii wpisują się w ekologiczny aspekt definicji bezpieczeństwa energetycznego kraju. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną perspektywy rozwoju technologii, opartych na odnawialnych źródłach energii.

## 2. Prognozy wybranych zeroemisyjnych technologii produkcji energii

Główną przyczyną trudności prognozowania produkcji energii z odnawialnych źródeł jest brak dostatecznej liczby danych empirycznych, pozwalających na „klasyczną budowę” matematycznego modelu rzeczywistości. Rutynowym podejściem jest w takiej sytuacji wykorzystanie heurystycznych metod prognozowania, opartych na opiniach ekspertów, które mogą być zebrane na przykład na drodze ankiety delifikiej. Badania pokazują jednak, że trafność prognoz formułowanych bezpośrednio przez ekspertów rzadko bywa zadowalająca, zwłaszcza w zestawieniu z prognozami otrzymanymi na podstawie formalnego modelu prognostycznego [Russo, Schoemaker, 1989]. Trudności te nasilają się, gdy na przykład na potrzeby długookresowych scenariuszy rozwoju, wymagana jest konstrukcja całej trajektorii prognoz, sięgającej wielu okresów naprzód – w przypadku badań *foresight* nawet kilkudziesięciu lat. Alternatywą dla „tradycyjnych” metod heurystycznych może być wówczas budowa tzw. formalnego modelu subiektywnego (modelu formalnego II rodzaju), którego parametry ocenia się na podstawie subiektywnej informacji pozyskanej od ekspertów [Poradowska, 2011].

Znane z literatury przedmiotu subiektywne modele tendencji rozwojowej służą do opisu dynamiki sprzedaży nowych produktów [Gardner, 1991, s. 42–45; Shim, 2000]. Prognosta przyjmuje założenie o postaci funkcyjnej modelu w oparciu o spodziewany kształt krzywej życia produktu. Oceny parametrów wyznacza się na podstawie sądów eksperta lub grupy ekspertów, które mogą dotyczyć wartości trzech zmiennych losowych: wielkości sprzedaży w pierwszym okresie istnienia produktu na rynku ( $Y_1$ ), wielkości sprzedaży w jednym z późniejszych okresów ( $Y_n$ ) oraz poziomu nasycenia rynku ( $Y_\infty$ ).

Równanie modelu można zatem ogólnie zapisać jako:

$$Y_t = f(t, Y_1, Y_n, Y_\infty), \quad (2)$$

której argumentami są: zmienna czasowa –  $t$  oraz zmienne  $Y_1, Y_n, Y_\infty$ , których oceny wartości oczekiwanych  $y_1, y_n, y_\infty$  posłużyły do wyznaczenia parametrów modelu. Dla prognozy  $y_T^*$ , otrzymanej przez ekstrapolację modelu zgodnie z regułą prognozowania według wartości oczekiwanej:

$$y_T^* = f(T, y_1, y_n, y_\infty), \quad (3)$$

można wyznaczyć miernik dopuszczalności analogiczny do znanego błędu prognozy *ex ante* – estymator odchylenia standardowego błędu prognozy, tzw. standardową niepewność prognozy  $u(y_T)$  [Poradowska, 2006]. Jego wartość można ocenić korzystając z prawa przenoszenia odchyżeń standardowych, zgodnie z którym mamy:

$$u(y_T) = \left\{ \left[ \frac{\partial f}{\partial y_1} u(y_1) \right]^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial y_n} u(y_n) \right]^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial y_\infty} u(y_\infty) \right]^2 + \right. \\ \left. + 2 \left[ \frac{\partial f}{\partial y_1} \frac{\partial f}{\partial y_n} u(y_1) u(y_n) r(y_1, y_n) + \frac{\partial f}{\partial y_1} \frac{\partial f}{\partial y_\infty} u(y_1) u(y_\infty) r(y_1, y_\infty) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\partial f}{\partial y_n} \frac{\partial f}{\partial y_\infty} u(y_n) u(y_\infty) r(y_n, y_\infty) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

gdzie:

- $u(y_1), u(y_n), u(y_\infty)$  to oceny odchyżeń standardowych zmiennych  $Y_1, Y_n, Y_\infty$ ,
- $\frac{\partial f}{\partial y_1}, \frac{\partial f}{\partial y_n}, \frac{\partial f}{\partial y_\infty}$  to pochodne cząstkowe (współczynniki wrażliwości) funkcji  $f$  względem zmiennych odpowiednio  $Y_1, Y_n, Y_\infty$  liczone w punkcie  $t = T, Y_1 = y_1, Y_n = y_n, Y_\infty = y_\infty$ ,
- $r(y_1, y_n), r(y_1, y_\infty), r(y_n, y_\infty)$  to oceny współczynników korelacji liniowej pomiędzy parami zmiennych odpowiednio  $Y_1$  oraz  $Y_n, Y_1$  oraz  $Y_\infty, Y_n$  oraz  $Y_\infty$ .

W badaniu „Zeroemisyjna gospodarka energią w warunkach zrównoważonego rozwoju Polski do 2050” dla wyszczególnionych technologii energetycznych, eksperci określili:

- wielkość produkcji energii w 2010 roku,
- minimalną ( $a$ ), maksymalną ( $b$ ) i najbardziej prawdopodobną ( $w$ ) wielkość produkcji energii w latach 2020 oraz 2050,
- spodziewany kształt krzywej życia technologii w okresie 2010–2050 (wybierano jedną spośród funkcji: liniowej, wykładniczej, wykładniczej odwrotnościowej, logistycznej).

W procedurze wyznaczenia prognoz na kolejne lata 2010–2050 oraz oceny stopnia ich niepewności można wyróżnić następujące etapy:

- ocena parametrów modelu,
- ocena odchyżeń standardowych  $u(y_1), u(y_n), u(y_\infty)$ ,
- konstrukcja prognoz kombinowanych na okres 2010–2050,



— ocena stopnia niepewności prognoz.

### 2.1. Ocena parametrów modelu

Wielkość produkcji, podaną przez ekspertów dla 2010 roku uznano za deterministyczną zmienną  $Y_1$ . Za ewentualny potencjał rynkowy w okresie prognozy przyjęto maksymalną wartość, określoną przez ekspertów dla 2050 roku. Założono ponadto, że wielkości produkcji energii w latach 2020 oraz 2050 to niezależne zmienne losowe  $Y_{11}$  oraz  $Y_{41}$  o rozkładach trójkątnych, rozpiętych na trzech wartościach określonych przez ekspertów: minimalnej ( $a$ ), maksymalnej ( $b$ ) i najbardziej prawdopodobnej ( $w$ ). Zatem:

$y_1$  — wartość podana przez ekspertów dla 2010 roku;

$y_{11}$  — wartość oczekiwana rozkładu trójkątnego<sup>1</sup>, określonego przez trzy wartości podane przez ekspertów dla 2020 roku;

$y_{41}$  — wartość oczekiwana rozkładu trójkątnego, określonego przez trzy wartości podane przez ekspertów dla 2050 roku;

$y_\infty$  — maksymalna wartość określona przez ekspertów dla 2050 roku.

### 2.2. Ocena odchyłeń standardowych

Dla deterministycznie określonej wielkości dla 2010 roku przyjęto  $u(y_1) = 0$ . Wartości  $u(y_{11})$  oraz  $u(y_{41})$  wyznaczono jako odchylenia standardowe odpowiednich rozkładów trójkątnych<sup>2</sup>. Brakowało opinii ekspertów, na podstawie których można było ocenić niepewność maksymalnej wielkości w 2050 roku, przyjęto zatem arbitralnie jednostajny rozkład zmiennej  $Y_\infty$  na przedziale  $[0,75y_\infty; 1,25y_\infty]$ <sup>3</sup>, skąd:

$$u(y_\infty) = \frac{y_\infty}{2\sqrt{12}}, \quad (5)$$

### 2.3. Konstrukcja prognoz kombinowanych na okres 2010–2050

Dla każdej z rozważanych technologii zbudowano wstępnie dwa modele prognostyczne:

- 1) na podstawie wielkości  $y_1$ ,  $y_{11}$  (oraz ewentualnie  $y_\infty$ ),
- 2) na podstawie wielkości  $y_1$ ,  $y_{41}$  (oraz ewentualnie  $y_\infty$ ).

<sup>1</sup> Wartość oczekiwaną rozkładu trójkątnego wyznacza się jako:  $m = \frac{a+w+b}{3}$

<sup>2</sup> Skorzystano ze wzoru:  $s = \sqrt{\frac{(b-w)^2 + (b-a)(w-a)}{18}}$

<sup>3</sup> Było to następstwem założenia, że maksymalny błąd eksperta, popełniony przy określaniu tej wielkości jest rzędu 25%.

Postać funkcyjna obu modeli była jednakowa, zgodna ze wskazaną przez ekspertów krzywą rozwoju technologii w okresie 2010–2050.

W oparciu o model 1 i 2 wyznaczono odpowiednio prognozy  $y(1)_T^*$  oraz  $y(2)_T^*$  dla okresów  $T=1, \dots, 41$  i oceniono ich niepewności standardowe  $u_1(y_T)$  oraz  $u_2(y_T)$ .

Następnie dla każdego  $T=1, \dots, 41$  wyznaczono prognozę kombinowaną, jako:

$$y_T^* = w(1)y(1)_T^* + w(2)y(2)_T^*, \quad (6)$$

gdzie:

$$w(1) = \frac{\frac{1}{u_1(y_T)}}{\frac{1}{u_1(y_T)} + \frac{1}{u_2(y_T)}}, \quad w(2) = \frac{\frac{1}{u_2(y_T)}}{\frac{1}{u_1(y_T)} + \frac{1}{u_2(y_T)}}, \quad (7)$$

#### 2.4. Ocena stopnia niepewności prognoz

Dla prognoz kombinowanych  $y_T^*$  ( $T=1, \dots, 41$ ) wyznaczono standardowe niepewności  $u(y_T)$  na podstawie prawa propagacji odchyłeń standardowych, zakładając przy tym maksymalną dodatnią korelację pomiędzy prognozami wchodzącymi w skład kombinacji. Korzystając ze wzoru 4 otrzymano zatem:

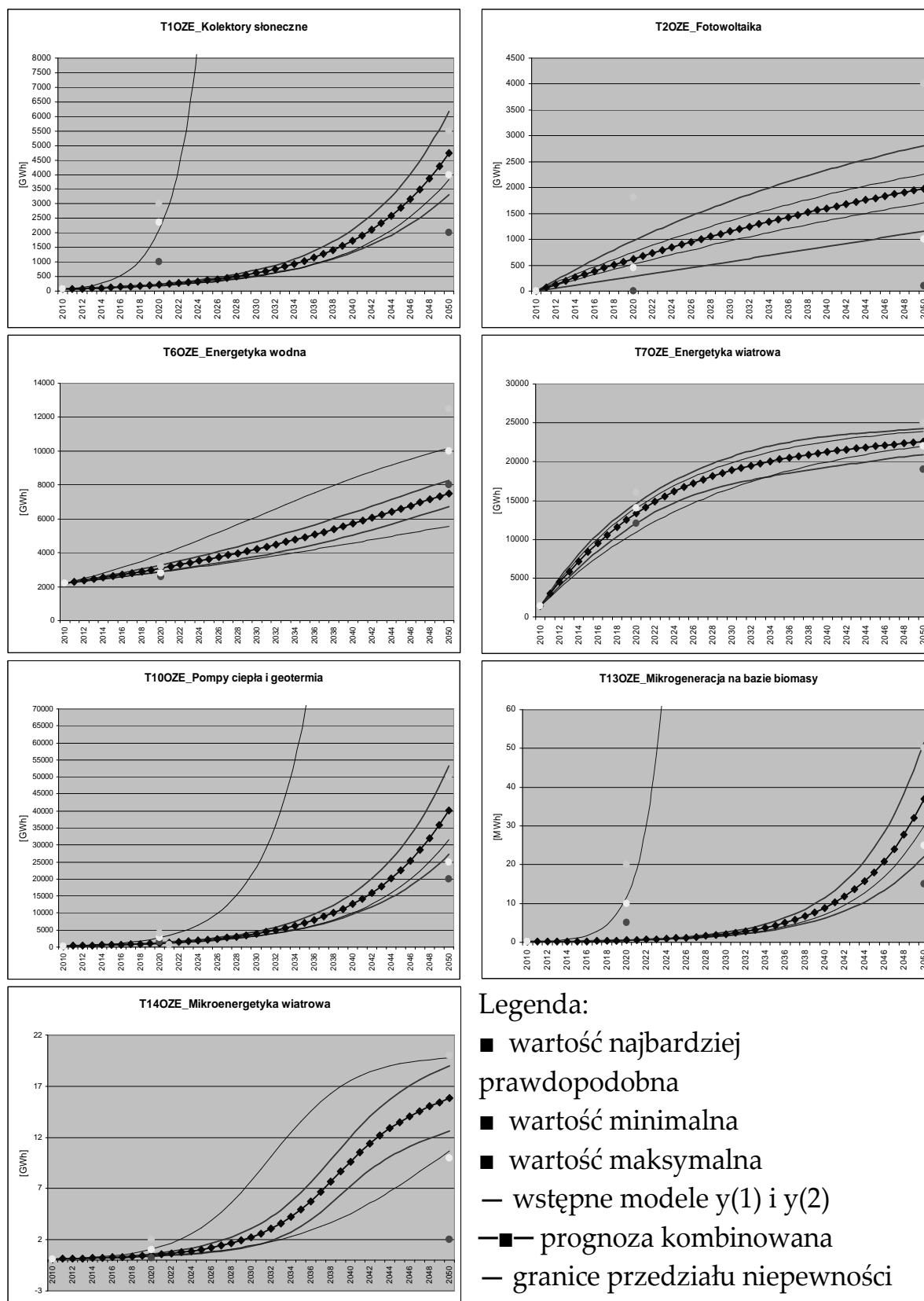
$$u(y_T) = |w(1) \cdot u_1(y_T)| + |w(2) \cdot u_2(y_T)|, \quad (8)$$

Wielkość z wzoru 8 można interpretować jako odchylenie standardowe błędu prognozy, wyznaczonej na okres  $T$ . Jako dodatkowy miernik niepewności przyjęto rozpiętość przedziału:

$$[y_T^* - u(y_T); y_T^* + u(y_T)], \quad (9)$$

Poniżej przedstawiono prognoz wielkości produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Na rysunku 5 zaznaczono dla poszczególnych technologii wartości określone przez ekspertów, wstępnie zbudowane modele prognostyczne (bazujące na ocenach wielkości produkcji dla lat 2010, 2020 oraz 2010, 2050), ostateczną prognozę na lata 2010–2050 (otrzymaną jako kombinację prognoz wstępnych) oraz przedział niepewności prognozy  $[y_T^* - u(y_T); y_T^* + u(y_T)]$ . Ocena wzrokowa wykresów zamieszczonych na rysunku 5 pozwala stwierdzić, że najmniejszy stopień niepewności wykazuje prognoza rozwoju energetyki wiatrowej wielkiej skali — przedział niepewności jest stosunkowo wąski, ale także otrzymane prognozy (zarówno wstępne, jak i kombinowana) są najmniej odległe od ocen ekspertów.

**Rysunek 5. Prognozy rozwoju technologii OZE wraz z przedziałem niepewności**



**Legenda:**

- wartość najbardziej prawdopodobna
- wartość minimalna
- ... wartość maksymalna
- wstępne modele  $y(1)$  i  $y(2)$
- prognoza kombinowana
- granice przedziału niepewności prognozy

Źródło: Opracowanie własne.

Istotnym jest również, że w tym przypadku intuicja ekspertów, dotycząca kształtu krzywej rozwoju technologii jest zbieżna z określonymi przez nich wartościami dla wybranych lat. Powodem takiej jakości wyników może tu być dobra znajomość zjawiska produkcji energii wiatrowej na tle innych technologii, dopiero wdrażanych na polskim rynku.

Innym przykładem technologii, która już z powodzeniem funkcjonuje na polskim rynku jest energetyka wodna. Jednak w tym przypadku, pomimo niskiej na tle innych technologii rozpiętości przedziału niepewności, negatywnym wyznacznikiem jakości prognozy jest rozbieżność ocen ekspertów z trajektorią określonej przez nich krzywej rozwoju – eksperci wybrali tu funkcję logistyczną, natomiast ich oceny (zwłaszcza dla roku 2050) wskazują na wykładniczy wzrost wielkości produkcji energii. Sprzeczność w tym zakresie intuicji ekspertów ujawnia się w większości otrzymanych wyników, dotyczących także pozostałych obszarów tematycznych całego badania *foresight*.

Dla porównania – w tablicy 2 – zamieszczono szczegółowe wyniki dla 2050 roku, t.j. ostatniego okresu prognozy, obarczonego najwyższym stopniem niepewności.

**Tablica 2. Wyniki badania dla 2050 roku: oceny ekspertów, otrzymana prognoza kombinowana, standardowa niepewność prognozy oraz jej wielkość względna (w stosunku do prognozy)**

Technologia OZE		Kolektory słoneczne płaskie/próżniowe	Fotowoltaika	Energetyka wodna klasyczna i szczytowa	Energetyka wiatrowa wielkiej skali	Pompy ciepła i geotermia	Mikrogeneracja na bazie biomasy	Mikroenergetyka wiatrowa
Postać funkcji		wykl.	wykl. odw.	logist.	wykl. odw.	wykl.	wykl.	logist.
Oceny ekspertów	<i>a</i>	2000	100	8000	19000	20000	15	2
	<i>w</i>	4000	1000	10000	22000	25000	25	10
	<i>b</i>	5500	4000	12500	25000	50000	50	20
Prognoza		4744	1980	7504	22592	40243	37	16
Niepewność prognozy		1434	829	774	1681	13056	15	3
Względna niepewność		30%	42%	10%	7%	32%	40%	20%

Źródło: Opracowanie własne.

Zgodnie z wnioskami płynącymi z oceny wzrokowej wykresów na rysunku 5, najniższy stopień niepewności wykazują prognozy dla energetyki wodnej i wiatrowej – odpowiednio 10% i 7% wartości prognozy. W przypadku energetyki wodnej negatywnym jest jednak fakt, że otrzymana prognoza wykracza poza przedział wyznaczony przez minimalną i maksymalną ocenę ekspertów, co jest spowodowane sprzecznością ocen wielkości produkcji i postaci krzywej rozwoju.

Dla pozostałych technologii prognozy wyznaczone na podstawie subiektywnych modeli tendencji rozwojowej zawierają się w przedziale określonym przez ekspertów, chociaż ich stopień niepewności jest stosunkowo wysoki – w przypadku fotowoltaiki (technologii będącej obecnie w początkowej fazie wdrażania) oraz mikrogeneracji na bazie biomasy (technologii jeszcze nie funkcjonującej na polskim rynku) standardowe niepewności prognoz na 2050 rok wynoszą odpowiednio aż 42% i 40% wartości prognozy.

### **3. Determinanty rozwoju nowych technologii zeroemisyjnej produkcji energii**

Czynniki determinujące rozwój gospodarki zeroemisyjnej w Polsce określono na podstawie badania ankietowego, obejmującego próbę liczącą 1407 osób, dobranych losowo i reprezentatywnych dla ogółu ludności Polski w wieku 20–60 lat (mieszkańcy miast i wsi). Ankietowanym przedstawiono 24 tezy z czterech obszarów otoczenia gospodarki zeroemisyjnej: społecznego (7 tez), polityczno-prawnego (5 tez), środowiskowego (6 tez) oraz ekonomicznego (6 tez). Tezy dotyczyły m.in. powstania warunków prawnych i ekonomicznych, które będą sprzyjały badaniom naukowym w zakresie energetyki, racjonalizacji zużycia energii w gospodarstwach domowych i w budownictwie mieszkaniowym, które zmniejszy emisje do środowiska, rozwoju małych źródeł wytwarzania (wiatraki, panele słoneczne), co przyczyni się do wzrostu pewności zasilania w energię.

W badaniu otrzymano następujące wyniki, stanowiące założenia wybranych, sformułowanych na potrzeby ankiety tez [Poradowska, Wójciak, 2011, s. 15–52; Poradowska, Wójciak, 2012]:

1. Rozwój małych źródeł wytwarzania (wiatraki, panele słoneczne) przyczyni się do wzrostu pewności zasilania w energię.
2. Polska stanie się atrakcyjnym miejscem inwestowania w odnawialne źródła energii.

3. W Polsce powszechnie użytkowane będą środki i formy transportu eliminujące emisję zanieczyszczeń do środowiska.
4. Dobra sytuacja finansowa przedsiębiorstw sprzyja energooszczędnym inwestycjom.
5. Wystąpi zwiększenie zdolności i gotowości społeczeństwa oraz instytucji społecznych do tworzenia i wykorzystania nowych rozwiązań technicznych, technologicznych, organizacyjnych.
6. W Polsce powstaną warunki prawne i ekonomiczne, które będą sprzyjały badaniom naukowym w zakresie energetyki, wprowadzaniu nowych technologii energetycznych i nowych rozwiązań w zakresie oszczędności energii.
7. Racjonalizacja zużycia energii w gospodarstwach domowych i w budownictwie mieszkaniowym zmniejszy emisje do środowiska.
8. Polacy wybierają polityków dbających o oszczędzanie energii i ochronę środowiska.
9. Rozwój wiedzy i wymagań klientów wymusi zmiany zachowań dostawców energii na konkurencyjnym rynku.

**Tablica 3. Stymulatory i bariery rozwoju obszarów gospodarki zeroemisyjnej w Polsce**

Obszar	Stymulatory	Bariery
rozwój zeroemisyjnej gospodarki energią	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> <li>- nawyki społeczeństwa</li> </ul>
rozwój i upowszechnienie zastosowania odnawialnych źródeł energii	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> <li>- nawyki społeczeństwa</li> </ul>

<p>rozwój i zastosowanie w Polsce energetyki jądrowej</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> <li>- nawyki społeczeństwa</li> </ul>
<p>oszczędność energii w przemyśle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nawyki społeczeństwa</li> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> </ul>
<p>oszczędność energii w budownictwie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> <li>- nawyki społeczeństwa</li> </ul>
<p>oszczędność energii w transporcie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> <li>- nawyki społeczeństwa</li> </ul>
<p>oszczędność energii w życiu codziennym</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zmiany w systemie edukacji</li> <li>- nowe regulacje prawne</li> <li>- reformy systemowe</li> <li>- interesy grupowe</li> <li>- wzrost PKB na mieszkańca</li> <li>- wpływ norm i postaw dominujących w krajach UE</li> <li>- potencjał naukowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nawyki społeczeństwa</li> <li>- koszty ekonomiczne realizacji</li> </ul>

Źródło: Opracowanie własne.

Na rozwój gospodarki zeroemisyjnej największy wpływ mają tezy z obszaru ekonomicznego (4 tezy), a najmniejszy z obszaru politycznego (jedna teza). Zidentyfikowane na podstawie badania stymulatory i bariery rozwoju gospodarki zeroemisyjnej w Polsce przedstawiono w tabelicy 3. Analiza powyższych wyników pozwala stwierdzić, że najsilniejszymi stymulatorami rozwoju gospodarki zeroemisyjnej w Polsce byłyby: odpowiednia edukacja społeczeństwa oraz nowe regulacje prawne, ułatwiające wdrażanie technologii zeroemisyjnych. Bariery to natomiast nawyki społeczeństwa mocno zakorzenionego w gospodarce węglowej oraz ekonomiczne koszty realizacji polityki zeroemisyjnej.

### Zakończenie

Odpowiedź na pytanie, jak przy szybko wzrastającym zużyciu energii zapewnić jej dostępność, nie niszcząc przy tym środowiska naturalnego, należy do naczelných dylematów naszych czasów. Stąd jednym z głównych priorytetów rozwoju energetyki w Polsce i na świecie jest rozwój odnawialnych źródeł energii (energii wody, wiatru, promieniowania słonecznego, energii geotermalnej oraz biomasy). Racjonalne ich wykorzystanie jest jednym z istotnych komponentów zrównoważonego rozwoju przynoszącym wymierne efekty ekologiczno-energetyczne. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym przyczynia się do poprawy efektywności wykorzystania i oszczędzania zasobów surowców energetycznych. Odnawialne źródła energii mogą przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego poprzez zmniejszenie zależności od importowanych paliw kopalnych oraz do poprawy zaopatrzenia w energię na terenach o słabo rozwiniętej infrastrukturze energetycznej.

Cennym narzędziem w konstrukcji długookresowych prognoz rozwoju nowych technologii zeroemisyjnych są subiektywne modele prognostyczne. Jednak koniecznym warunkiem efektywności prognozowania jest w takiej sytuacji „dobra jakość” danych eksperckich, wymagających dogłębnej w danej dziedzinie wiedzy eksperta oraz rzetelności prognosty w procesie pozyskiwania opinii.

Przeprowadzone badanie wskazało, że w opinii społeczeństwa polskiego barierami rozwoju technologii zeroemisyjnych są wysokie koszty wdrożenia oraz przyzwyczajenia i tradycje społeczeństwa. Do czynników sprzyjających należy zaliczyć: edukację, regulacje sprzyjające OZE



oraz technologiom energooszczędnym, a także wzrost PKB na jednego mieszkańca.

Należy zwrócić uwagę na istnienie silnej potrzeby badania opinii ludności na temat gospodarki zeroemisyjnej. Badania takie prowadzą do wzrostu świadomości społecznej w zakresie racjonalnego wykorzystywania energii oraz pozyskiwania jej z alternatywnych źródeł, a pośrednio także do wzrostu bezpieczeństwa energetycznego.

## Literatura

1. Gardner Jr. E. (1991), *Forecast with No Data*, „Lotus” Vol. 7, No. 6.
2. Poradowska K. (2011), *Subjective Growth Models in Long-Term Forecasting The Development Technologies*, Research Papers UE Wrocław, „Ekonometria. Econometrics” Iss. 32.
3. Poradowska K. (2009), *Prawo propagacji niepewności w ocenie dopuszczalności prognoz*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu nr 38, Ekonometria nr 24.
4. Poradowska K., Wójciak M (2011), *Stymulatory i bariery rozwoju gospodarki zeroemisyjnej w opinii społeczeństwa, Modelowanie i prognozowanie gospodarki narodowej*, „Prace i Materiały Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego” nr 4/8.
5. Poradowska K., Wójciak M. (2011), *Opis metody badań w projekcie z podkreśleniem wykorzystanych technik foresightowych*, w: *Scenariusze rozwoju zeroemisyjnej gospodarki energią w Polsce w perspektywie 2050 roku*, Pyka I., Czaplicka-Kolarz K. (red.), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
6. Poradowska K., Wójciak M. (2012), *Development Determinants of CO<sub>2</sub> Emissions Reducing Technologies*, w: *Innovation Vision 2020: Sustainable Growth, Entrepreneurship, and Economic Development*, Soliman K.S. (ed.), e-book.
7. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, Dz.U. Nr 54, poz. 348 z późn. zm.
8. Russo E.J., Schoemaker P.J. (1989), *Decision Traps: The Ten Barriers to Brilliant Decision-Making and How to Overcome Them*, Fireside, New York, NY.
9. Shim J.K. (2000), *Strategic Business Forecasting*, St. Lucie Press, New York, NY.
10. *Statistical Review of World Energy* (2012), dostępny na stronie: [http://www.bp.com/assets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english](http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english)

sh/reports\_and\_publications/statistical\_energy\_review\_2011/STAGI  
NG/local\_assets/pdf/statistical\_review\_of\_world\_energy\_full\_repor  
t\_2012.pdf, dostęp dnia 15.08.2012.

11. Wójciak M. (2009), *Prognozy rozwoju sektora energetycznego w Polsce, Modelowanie i prognozowanie gospodarki narodowej*, „Prace i Materiały Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego” nr 4/2.

## Streszczenie

Bezpieczeństwo energetyczne kraju polega na zrównoważonym dostosowaniu podaży, w perspektywie wieloletniej, do prognozowanego zapotrzebowania na energię z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych i ekologicznych. Istotnym czynnikiem ograniczającym ryzyko obniżenia bezpieczeństwa energetycznego kraju jest zróżnicowanie struktury używanych paliw i energii, a także związany z powyższym rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE). Efektywne wykorzystanie technologii OZE nie tylko zmniejsza zależność od importowanych paliw kopalnych, takich jak ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel, ale także prowadzi do redukcji gazów cieplarnianych, co jest zbieżne z podstawowymi założeniami polityki energetycznej Unii Europejskiej.

Artykuł obejmuje analizę energochłonności gospodarki polskiej oraz perspektyw rozwoju energetyki odnawialnej. Przedstawiono w nim prognozy produkcji energii z odnawialnych źródeł do 2050 roku, a następnie wskazano czynniki sprzyjające i bariery rozwoju technologii zeroemisyjnych w Polsce. Zaprezentowano także wybrane metody badawcze, stosowane podczas realizacji projektu „Zeroemisyjna gospodarka energią w warunkach zrównoważonego rozwoju Polski do 2050 roku” realizowanego w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach oraz wnioski płynące z przeprowadzonego badania.

## Słowa kluczowe

prognozowanie eksperckie, modele subiektywne, foresight

## Prospects for The Development of Carbonfree Energy in The Context of Polish Energy Security (Summary)

Energy security of the country relies on a long – term sustainable adjustment of energy supply, to the projected energy demand while taking into account economic and environmental factors. Important factor in reducing the country's energy security risk is diversification of the used fuel and energy structure and thus the development of renewable energy sources (RES). The effective use of RES technologies not only reduces the dependence on imported fossil fuels, such as oil, natural gas, and coal, but also leads to reduction in greenhouse emission, which is consistent with the basic principles of European Union's energy policy.

---

The article includes an analysis of the energy consumption of Polish economy and the prospects for the development of renewable energy. It shows the forecast of the energy production from renewable sources by 2050 and then identifies the promoting factors and barriers in the development of carbon free technologies. The paper also presents selective research methods used during the implementation of the project 'the carbon free energy utilization during the sustainable development of Poland by 2050' carried out at the Central Institute of Mining in Katowice and the research findings.

**Keywords**

judgment forecasting, subjective models, foresight

