



# TRANSFORMACJA W KIERUNKU GOSPODARKI NISKOEMISYJNEJ W POLSCE

Bank Światowy  
Departament Walki z Ubóstwem  
i Zarządzania Gospodarką

Region Europa i Azja Centralna

*Luty 2011*



THE WORLD BANK



THE WORLD BANK

©2011 THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION  
AND DEVELOPMENT / THE WORLD BANK  
1818 H STREET NW  
WASHINGTON DC 20433  
TEL.: +1 202-473-1000  
INTERNET: WWW.WORLDBANK.ORG

#### Wszelkie prawa zastrzeżone

Niniejszy dokument został opracowany przez pracowników Międzynarodowego Banku Odbudowy i Rozwoju / Banku Światowego. Wyniki badań, interpretacje oraz wnioski w nim wyrażone nie zawsze wyrażają poglądy Dyrektorów Wykonawczych Banku Światowego lub reprezentowanych przez nich rządów. Bank Światowy nie gwarantuje poprawności danych zawartych w niniejszej pracy i nie ponosi odpowiedzialności za ewentualne skutki ich użycia. Granice, kolory, nazwy i inne informacje zawarte na jakiegokolwiek mapie niniejszej pracy nie sugerują jakiegokolwiek opinii ze strony Banku Światowego dotyczącej statusu prawnego jakiegokolwiek terytorium, poparcia lub akceptacji takich granic.

#### Prawa autorskie

Materiał zawarty w niniejszej publikacji jest chroniony prawem autorskim. Kopiowanie i / lub wykorzystywanie niniejszej pracy w całości lub w części bez zezwolenia może stanowić naruszenie obowiązującego prawa. Międzynarodowy Bank Odbudowy i Rozwoju / Bank Światowy zachęca do rozpowszechniania swoich prac i zazwyczaj niezwłocznie udziela pozwolenia na reprodukcję ich fragmentów. W przypadku uzyskania pozwolenia dotyczącego wykorzystania kserokopii lub przedruku całości lub części niniejszej pracy, należy wysłać wniosek z kompletnymi informacjami na adres: Copyright Clearance Center Inc 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA; telefon: 978-750-8400, fax: 978 - 750-4470; Internet: [www.copyright.com](http://www.copyright.com).

Wszystkie zapytania dotyczące praw i licencji, w tym praw pokrewnych, należy kierować do Office of the Publisher, The World Bank, 1818 H Street, NW, Washington, DC, 20433, USA; fax: 202-522-2422, e-mail: [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org).

Raport i związane z nim materiały są dostępne na stronie:  
[www.worldbank.org/pl/lowemissionseconomy](http://www.worldbank.org/pl/lowemissionseconomy)

# TRANSFORMACJA W KIERUNKU GOSPODARKI NISKOEMISYJNEJ W POLSCE

BANK ŚWIATOWY  
DEPARTAMENT WALKI Z UBÓSTWEM I ZARZĄDZANIA GOSPODARKĄ

REGION EUROPA I AZJA CENTRALNA

*LUTY 2011*

WICEPREZES:	PHILIPPE LE HOUEROU
DYREKTOR:	YVONNE TSİKATA LUCA BARBONE (BYŁY)
MANAGER:	SATU KAHKONEN BERNARD FUNCK (BYŁY)
KIERUJĄCY PROJEKTEM:	ERIKA JORGENSEN LESZEK KĄSEK

# AKRONIMY I SKRÓTY

CCS	Wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla (ang. Carbon capture and storage)	KLEMS	Baza danych UE wykorzystywana do analizy produktywności w rozbiu na wkład poszczególnych składowych: kapitału, pracy, energii, surowców i usług, ang. capital (K), labor (L), energy (E), materials (M) and service inputs (S)
CDM	Mechanizm Czystego Rozwoju (ang. Clean Development Mechanism)	MAC	Krańcowy koszt redukcji emisji (ang. Marginal abatement cost)
CES	Stała elastyczność substytucji (ang. Constant elasticity of substitution)	MacroAC	Makroekonomiczny koszt redukcji emisji (ang. Macroeconomic abatement cost)
CIT	Podatek dochodowy od osób prawnych	MacroMAC	Makroekonomiczny krańcowy koszt redukcji emisji (ang. Macroeconomic marginal abatement cost)
CGE	Model równowagi ogólnej (ang. Computable General Equilibrium)	MicroMAC	Mikroekonomiczny krańcowy koszt redukcji emisji (ang. Microeconomic marginal abatement cost)
CO <sub>2</sub>	Dwutlenek węgla	Model MEMO	model Macroeconomic Mitigation Options
CO <sub>2</sub> e	Ekwiwalent dwutlenku węgla	Model ROCA	model Regional Options of Carbon Abatement
DSGE	Dynamiczny stochastyczny model równowagi ogólnej (ang. Dynamic Stochastic General Equilibrium)	Moduł MIND	moduł mikroekonomicznych decyzji inwestycyjnych (Microeconomic Investment Decisions)
EERP	Europejski Plan Ożywienia Gospodarczego (ang. European Economic Recovery Package)	MtCO <sub>2</sub> e	Milion ton ekwiwalentu dwutlenku węgla
EIA	US Energy Information Administration	MWh	Megawatogodzina
EITE sectors	Sektory energochłonne i zorientowane na handel międzynarodowy (ang. Energy-intensive and trade-exposed sectors)	NPV	Wartość bieżąca netto (ang. Net present value)
EOR	Zaawansowane metody eksploatacji złóż ropy naftowej (ang. Enhanced Oil Recovery)	OZE	Odnawialne źródła energii
EU10	Bułgaria, Czechy, Estonia, Litwa, Łotwa, Polska, Rumunia, Słowacja, Słowenia i Węgry	PIT	Podatek dochodowy od osób fizycznych
EUROSTAT	Urząd Statystyczny Unii Europejskiej	PKB	Produkt Krajowy Brutto
ETS	System handlu uprawnieniami do emisji Unii Europejskiej (ang. Emissions Trading Scheme, także sektory objęte tym systemem)	PL	Polska (skrót używany na wykresach)
GTAP	baza danych Global Trade Analysis Project	Spoza ETS	Sektory nie objęte systemem handlu uprawnieniami do emisji ETS (non-ETS)
GUS	Główny Urząd Statystyczny	PPS	Standard siły nabywczej (ang. Purchasing power standard)
GW	Gigawat (1000 MW)	ppm	Liczba cząsteczek gazu na milion cząsteczek powietrza (ang. gas particles per million air particles)
GWh	Gigawatogodzina	R&D	Działalność badawczo-rozwojowa (ang. Research and development)
HVAC	Systemy grzewczo-wentylacyjne (ang. heating, ventilation and air conditioning)	TREMOVE	Model pozwalający na analizę wpływu zmian polityki transportowej i w zakresie ochrony środowiska na sektor transportowy dla krajów UE (ang. traffic and emissions motor vehicle model)
IBS	Instytut Badań Strukturalnych	tCO <sub>2</sub> e	Tona ekwiwalentu dwutlenku węgla
IGCC	Technologia bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym zgazowaniem paliwa (ang. Integrated gasification combined cycle)	toe	Tona ekwiwalentu ropy naftowej
IPCC	Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change)	UE	Unia Europejska
JI	Mechanizm Wspólnych Wdrożeń (ang. Joint Implementation)	UNFCCC	Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (ang. United Nations Framework Convention on Climate Change)
KASHUE-KOBIZE	Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami	VA	Wartość dodana (ang. Value-added)
KE	Komisja Europejska	VAT	Podatek od towarów i usług (ang. Value-added tax)

# SPIS TREŚCI

Podziękowania	4
Załącznik 1. Opis modelu MEMO (Macroeconomic Mitigations Options)	137
Załącznik 2. Opis modelu ROCA (Regional Options of Carbon Abatement)	143
Załącznik 3. Technika estymacji scenariusza bazowego modelu MEMO	149
Załącznik 4. Model ROCA: szczegółowe wyniki symulacji	155
Załącznik 5. Metody redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce według kategorii ekonomicznych	159
Załącznik 6. Moduł MIND i optymalizacja struktury produkcji w energetyce	161
Bibliografia	169

# PODZIĘKOWANIA

*Niniejszy raport został przygotowany przez zespół kierowany przez Erikę Jorgensen i pracujący w następującym składzie: Leszek Kąsek, Ryszard Malarski, Ewa Korczyk, John Allen Rogers oraz Gary Stuggins. Raport w dużym stopniu czerpie z szeregu opracowań roboczych i publikacji, w tym przygotowanych przez następujące osoby i instytucje: Maciej Bukowski i Instytut Badań Strukturalnych (modelowanie makroekonomiczne), Christoph Böhringer i Loch Alpine Economics (modelowanie makroekonomiczne), McKinsey & Company Poland (model inżynierski, techniczne możliwości redukcji emisji) oraz ECORYS Rotterdam (modelowanie transportu).*

*Za ogólne wsparcie podziękowania kierujemy pod adresem następujących osób: Luca Barbone (były Sector Director), Bernard Funck (były Sector Manager) oraz Roumeen Islam (Acting Sector Manager). Raport recenzowali Dominique Van Der Mensbrugge oraz Kirk Hamilton (Bank Światowy). Przy pisaniu raportu korzystaliśmy z bardzo przydatnych komentarzy, uwag i wkładu szeregu innych osób, spośród których chcielibyśmy szczególnie podziękować pracownikom Komisji Europejskiej oraz następującym osobom: Marcel Ionescu-Herioiu, Christine Kessides, Kseniya Lvovsky, Vikram Cuttaree, Thomas Laursen, Roumeen Islam, Jane Ebinger, Govinda Timilsina, David Tarr, Marianne Fay oraz Rosalinda Quintanilla. Specjalne podziękowania kierujemy również pod adresem Orsalii Kalantzopoulos, byłej Country Director dla regionu Europy Centralnej/Południowej i Krajów Bałtyckich, która zainicjowała prace nad tym projektem.*

*Wiele cennych informacji uzyskano również podczas konsultacji i sesji warsztatowych, podczas których wraz z przedstawicielami polskich instytucji, środowisk naukowych i biznesowych dyskutowano o metodologii prac nad raportem, scenariuszach długookresowego rozwoju gospodarczego będących podstawą analiz, scenariuszach przygotowanych dla sektora energetycznego, a także wstępnych wynikach analiz. W toku prac nad raportem głównymi partnerami ze strony polskiej byli przedstawiciele kierownictwa oraz personel merytoryczny Ministerstwa Gospodarki i Ministerstwa Finansów. Bardzo pomocne były również dyskusje i uwagi merytoryczne przedstawiciele wielu innych polskich instytucji, w szczególności Kancelarii Prezesa Rady Ministrów, Ministerstwa Ochrony Środowiska, Ministerstwa Infrastruktury, Narodowego Banku Polskiego, Urzędu Regulacji Energetyki, Krajowego Administratora Systemu Handlu Emisjami, Społecznej Rady Narodowego Programu Redukcji Emisji, jak również wielu przedstawiciele środowisk naukowych, przedsiębiorstw i firm konsultingowych.*

*Raport powstał przy istotnym wsparciu finansowym przeznaczonym na opracowanie metodologii przez brytyjski Department for International Development w ramach Programu Wsparcia Zarządzania Sektorem Energetycznym Banku Światowego (Energy Sector Management Assistance Program, ESMAP), jako część programu analiz dotyczących niskoemisyjnego wzrostu gospodarczego (Low Carbon Growth Country Studies).*

Załącznik 1.

**OPIS MODELU  
MEMO  
(MACROECONOMIC  
MITIGATIONS  
OPTIONS)**

Model MEMO (Macroeconomic Mitigation Options), stworzony na potrzeby tego raportu przez Instytut Badań Strukturalnych (IBS), jest dynamicznym stochastycznym modelem równowagi ogólnej (DSGE) zaprojektowanym specjalnie na potrzeby analizy efektów różnych działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych na małą otwartą gospodarkę. Jest to rozbudowany, wielosektorowy model DSGE łączący typowe elementy modeli DSGE (realny cykl koniunkturalny, konkurencja niedoskonała) z typowymi elementami modeli CGE (wysoki stopień dezagregacji i szczegółowości sektorów). Nowatorską cechą modelu jest uwzględnienie sektora energii oraz emisji gazów cieplarnianych w ramach rozbudowanego modelu DSGE, zaprojektowanego na potrzeby analizy na poziomie danego kraju. Model uwzględnia powszechne założenia metodologii DSGE, t.j. racjonalność podmiotów gospodarczych, homogeniczność gospodarstw domowych i przedsiębiorstw w ramach 11 sektorów, a także maksymalizację zysku i użyteczności.

Rysunek 71 przedstawia strukturę gospodarki stworzoną w ramach modelu MEMO. Składa się na nią kilka powiązanych elementów: gospodarstwa domowe, prywatne przedsiębiorstwa oraz rząd. Gospodarstwa domowe maksymalizują użyteczność w skali całego cyklu życia, a przedsiębiorstwa maksymalizują zysk. Rząd nakłada podatki (podatki dochodowe od przedsiębiorstw, od osób fizycznych, podatek od towarów i usług oraz podatki od majątku) oraz realizuje wydatki budżetowe. Wydatki publiczne obejmują konsumpcję publiczną oraz inwestycje. Dla uproszczenia, w modelu nie uwzględniono sektora bankowego i pieniądza (a zatem również polityki pieniężnej). Model obejmuje dwa kraje: Polskę i resztę UE.

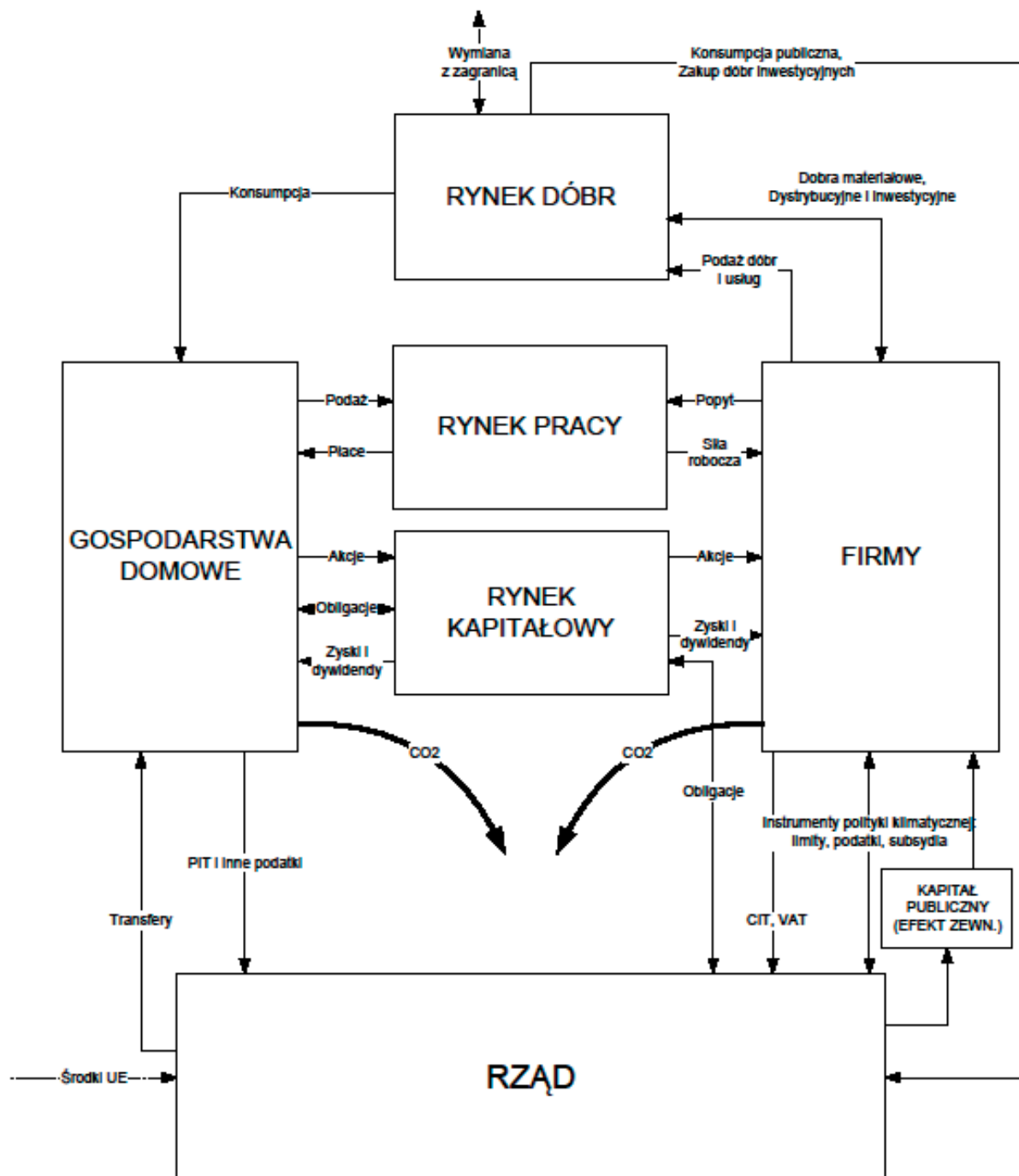
Na strukturę modelu składają się trzy główne grupy podmiotów: (1) gospodarstwa domowe, (2) przedsiębiorstwa, oraz (3) rząd. Podmioty te są wzajemnie ze sobą powiązane w ramach trzech odrębnych rynków: (1) rynku pracy (2) rynku kapitałowego oraz (3) rynku dóbr. Gospodarstwa domowe stanowią zasób siły roboczej, podejmują decyzje o popycie na dobra konsumpcyjne, a także popytu na obligacje rządowe i akcje przedsiębiorstw. Gospodarstwa domowe porozumiewają się z producentami na rynku pracy, na którym płace są ustalane w drodze negocjacji, a wakaty są wypełniane w procesie poszukiwania i doboru pracowników. Rynek ten jest obsługiwany przez wyspecjalizowaną firmę pośredniczącą między podażą pracy ze gospodarstw domowych a popytem ze strony przedsiębiorstw, działających w 11 sektorach produkcyjnych, opisanych poniżej. W zamian za pracę i zgromadzone oszczędności gospodarstwa domowe otrzymują dywidendy i wynagrodzenie od przedsiębiorstw oraz odsetki od rządu, płacąc jednocześnie podatki bezpośrednio nałożone przez rząd. Przedsiębiorstwa wytwarzają dobra finalne, które są następnie przedmiotem konsumpcji gospodarstw domowych, są ponownie inwestowane przez producentów lub wykorzystywane przez rząd. Zarówno produkcja jak i konsumpcja prowadzi do emisji CO<sub>2</sub>, która jest modelowana na poziomie sektorów i gospodarstw domowych. W procesie produkcyjnym, przedsiębiorstwa wykorzystują siłę roboczą, kapitał, dobra pośrednie oraz energię. Jako właściciele kapitału, dysponują pewną przewagą monopolistyczną oraz realizują zyski, co pozwala na wypłatę dywidendy akcjonariuszom. Ponadto, przedsiębiorstwa płacą również rządowi podatek dochodowy i podatek od wartości dodanej. Rząd natomiast dokonuje podziału dochodów podatkowych i dotacji w postaci funduszy UE między inwestycje publiczne, konsumpcję publiczną oraz transfery socjalne dla gospodarstw domowych wypłacane bezrobotnym i emerytom.

Równowaga na rynku dóbr prowadzi do wyznaczenia cen dóbr konsumpcyjnych, inwestycyjnych oraz dóbr pośrednich. Przedsiębiorstwa sprzedają wszystkie rodzaje dóbr (proces produkcyjny opisany jest szerzej w dalszej części). Nabywają one również surowce i dobra inwestycyjne od innych przedsiębiorstw (zarówno krajowych, jak i zagranicznych) oraz wykorzystują je jako wkład do własnego procesu produkcyjnego. Ponadto, dobra inwestycyjne mogą być również nabywane przez rząd w celu poprawy otoczenia gospodarczego dla przedsiębiorstw i gospodarstw domowych. Produkcja przedsiębiorstw oraz importowane dobra finalne są nabywane przez gospodarstwa domowe w postaci konsumpcji prywatnej oraz przez rząd w postaci konsumpcji publicznej.

Rynek pracy charakteryzuje konkurencja niedoskonała (nie-walrasowska), a płace ustalane są w drodze scentralizowanych negocjacji mających miejsce między firmami i związkami zawodowymi, na poziomie nieco wyższym niż zapewniający zrównanie popytu i podaży. To prowadzi do powstania bezrobocia. Ponadto, istnieje mechanizm poszukiwania pracy, który wiąże się z kosztami.

Rynek kapitałowy umożliwia wszystkim rodzajom podmiotów pożyczanie pieniędzy poprzez emisję obligacji (dług). Ponadto, przedsiębiorstwa mogą dzielić się swoim zyskiem z gospodarstwami domowymi poprzez wypłatę dywidend albo pozyskiwać kapitał poprzez emisję akcji. W ten sposób rynek kapitałowy pozwala na przepływ finansowania od gospodarstw domowych do przedsiębiorstw oraz na wygładzenie konsumpcji gospodarstw domowych w czasie.

Rysunek 71. Struktura gospodarki w modelu MEMO

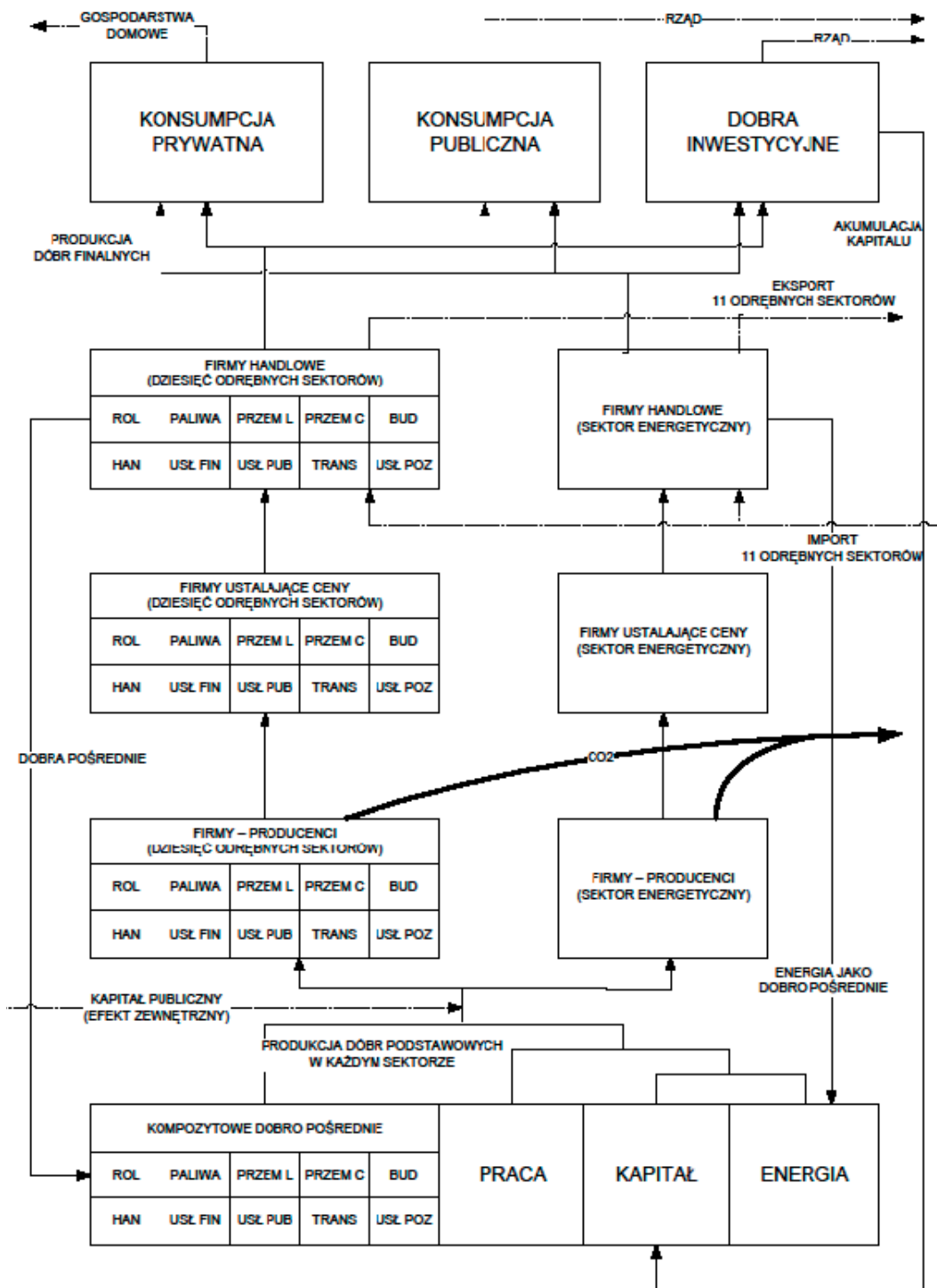


Źródło: opracowanie techniczne IBS.

Gospodarka jest podzielona na 11 sektorów: (1) rolnictwo i przemysł spożywczy, (2) przemysł lekki, (3) przemysł ciężki, (4) przemysł wydobywczy i paliwowy, (5) energetyka, (6) budownictwo, (7) handel, (8) transport, (9) usługi finansowe, (10) sektor publiczny oraz (11) pozostałe usługi. W każdym sektorze przedsiębiorstwa wytwarzają dobra, jako nakłady wykorzystując kapitał, siłę roboczą oraz surowce (w tym również energię). Strukturę procesu produkcyjnego przedstawia Rysunek 72.

Produkcja podstawowych dóbr powstaje etapami, tzn. nakłady są łączone (w kategoriach matematycznych) w określonej kolejności: na początku kapitał i energia, następnie siła robocza, i na końcu pozostałe materiały. Przedsiębiorstwa odnoszą również korzyści z efektów zewnętrznych inwestycji w kapitał publiczny dokonywanych przez rząd. Podstawowe dobra są następnie wykorzystywane w trzech kolejnych etapach produkcji, co w efekcie prowadzi do powstania dóbr finalnych).

Rysunek 72. Struktura produkcji w modelu MEMO



Źródło: opracowanie techniczne IBS.

W pierwszej fazie, przedsiębiorstwa produkcyjne wytwarzają dobra pośrednie, co wiąże się z emisją gazów cieplarnianych do atmosfery. Poziom emisji wynika z ilości zużywanej przez przedsiębiorstwo energii oraz energochłonności sektora. Optymalny poziom produkcji i cen wyznaczany jest w tej fazie przy założeniu istnienia między producentami konkurencji doskonałej. Warto zwrócić uwagę, że ceny energii oraz uprawnienia do emisji gazów cieplarnianych mogą być traktowane w sposób bezpośredni lub pośredni (poprzez uwzględnienie w cenach produktów pośrednich) jako koszt dla przedsiębiorstwa. W ten sposób niekorzystne efekty zewnętrzne mogą zostać uwzględnione w funkcji celu maksymalizacji zysku przedsiębiorstwa.

W drugiej fazie, ceny zostają ustalone przy założeniu konkurencji niedoskonałej. Przedsiębiorstwa wykorzystują swoją przewagę monopolistyczną w stopniu, który wyznaczono tak, aby osiągnąć faktyczne ceny dóbr i usług na rynku krajowym oraz dochody rządu z podatku od przedsiębiorstw.

W trzeciej i ostatniej fazie, przedsiębiorstwa handlowe nabywają dobra wytwarzane przez producentów krajowych i zagranicznych (gdzie sektor zagraniczny oznacza pozostałą część UE). Przedsiębiorstwa handlowe sprzedają dobra pośrednie w postaci: (1) dóbr pośrednich wykorzystywanych do produkcji dóbr podstawowych, (2) prywatnej konsumpcji dla gospodarstw domowych, (3) konsumpcji publicznej dla rządu, (4) dóbr inwestycyjnych, wykorzystywanych przez rząd lub inne przedsiębiorstwa do produkcji dóbr podstawowych, (5) eksportu dóbr. Wielkość eksportu wyznaczona jest przez egzogeniczny popyt zewnętrzny oraz bieżący wskaźnik terms-of-trade.

Proces wytwarzania energii w zasadzie odbywa się w taki sam sposób jak produkcja w innych sektorach. Podstawowa różnica polega na tym, że nie wykorzystuje się energii jako dobra pośredniego w produkcji dóbr podstawowych. W zamian, energia zostaje połączona z kapitałem na samym początku procesu produkcyjnego.

Model MEMO wykazuje kilka cech charakterystycznych. Szczególną uwagę poświęcono kwestiom związanym z wytwarzaniem energii i emisją gazów cieplarnianych. Traktowane są one jako produkt uboczny produkcji i konsumpcji. Emisja gazów cieplarnianych, których źródłem jest konsumpcja, jest wynikiem wzrostu liczby ludności oraz intensywności zużycia energii przez gospodarstwa domowe. Dlatego też, model może uwzględniać zmiany w preferencjach gospodarstw domowych oraz wprowadzenie rozwiązań niskoemisyjnych.

Kalibracji parametrów modelu dokonano wykorzystując najnowsze dostępne dane makroekonomiczne pochodzące z bazy danych EU KLEMS.<sup>1</sup> Obejmują one pełną tabelę przepływów międzygałęziowych dla 11 sektorów, przepływy w ramach rynku pracy, szczegółowe rachunki budżetowe, emisję gazów cieplarnianych oraz inne wskaźniki. Oczywiście konkretna metoda kalibracji zależy od rodzaju parametru. Przykładowo, poziom zatrudnienia obliczany jest bezpośrednio na podstawie danych, natomiast w przypadku kilku elastyczności ich wartość jest ustalona na bazie wyników dostępnych badań empirycznych.

Szczegóły podejścia metodologicznego, technik modelowania, danych, równań oraz założeń są dostępne w opracowaniu technicznym przygotowanym przez IBS.

<sup>1</sup> Baza danych EU KLEMS zawiera dane dotyczące produktywności według sektorów dla krajów UE w rozbiciu na wkład poszczególnych składowych: kapitału, pracy, energii, surowców i usług, ang. capital (K), labor (L), energy (E), materials (M) and service inputs (S).

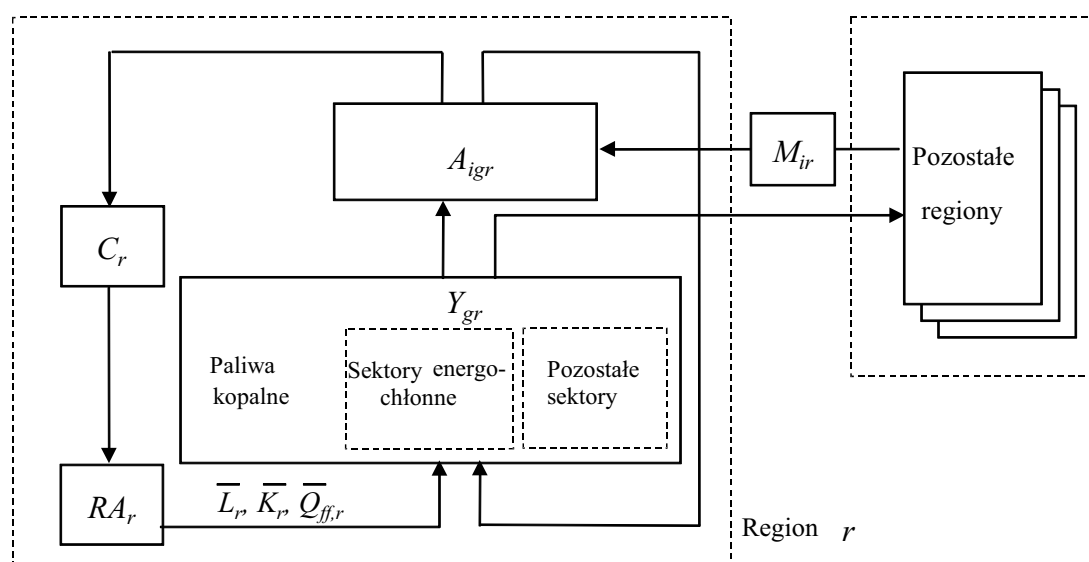
Załącznik 2.

**OPIS MODELU  
ROCA (REGIONAL  
OPTIONS  
OF CARBON  
ABATEMENT)**

Model ROCA (Regional Options of Carbon Abatement), jest dostosowanym do warunków polskich modelem CGE pozwalającym na analizę na poziomie kraju skutków polityki energetycznej i polityki ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Model ten pozwala na analizę wdrażania unijnego pakietu „3x20” w kontekście różnych scenariuszy polityki światowej, ze szczególnym naciskiem na efekty zwrotne ze strony rynków światowych. Model obejmuje 4 kraje / regiony; 8 sektorów oraz 5 podsektorów sektora energetycznego. Horyzontem modelu jest rok 2020. Model zawiera zniekształcenia działania rynku, takie jak obowiązujące podatki, oraz hybrydowe ujęcie sektora wytwarzania energii. Wydatki publiczne (spożycie) nie zmieniają się – aby zapewnić niezbędne finansowanie (domknięcie modelu) dostosowanie następuje po stronie podatków. Rokiem bazowym jest rok 2004.

Rysunek 73 przedstawia schemat podstawowego, statycznego, wielosektorowego, wieloregionalnego modelu CGE. Reprezentatywny podmiot  $RA_r$  w danym regionie  $r$  dysponuje trzema podstawowymi czynnikami produkcji: pracą  $\bar{L}_r$ , kapitałem  $\bar{K}_r$ , oraz zasobami paliw kopalnych  $\bar{Q}_{ff,r}$  (wykorzystywanymi do wytwarzania paliw kopalnych). Praca i kapitał są mobilne między sektorami w ramach poszczególnych regionów, ale nie między regionami. Zasoby paliw kopalnych są charakterystyczne dla sektorów wytwarzania paliw kopalnych w każdym z regionów.

Rysunek 73. Schemat modelu ROCA



Źródło: opracowanie techniczne Loch Alpine.

Na krajowych rynkach pracy mogą występować zniekształcenia oraz bezrobocie w stanie równowagi. Nieelastyczności rynku pracy na poziomie regionalnym przedstawiono poprzez wyznaczenie krzywej płac. Krzywa ta odzwierciedla dane empiryczne dotyczące odwrotnej zależności między płacami realnymi i stopą bezrobocia (przy założeniu istnienia negocjacji płacowych oraz mechanizmów efektywności płac). Ponieważ stawka płacy jest ustalona powyżej stanu równowagi między popytem a podażą, dochodzi do powstania bezrobocia.

Produkcja  $Y_{gr}$  towaru  $g$ , innego niż pierwotne paliwa kopalne i wytwarzana energia elektryczna, jest określona jest na podstawie trzypoziomowych zagnieżdżonych funkcji produkcji o stałej elastyczności substytucji (ang. constant elasticity of substitution, CES), które opisują wykorzystanie kapitału, pracy i energii w procesie produkcyjnym w zależności od ich cen. (Indeks  $g$  oznacza produkty według sektorów – oznaczonych indeksem  $i$  – , a także składniki popytu finalnego wykorzystywane do konsumpcji prywatnej, inwestycji i dostarczenia dobra wytwarzanego przez sektor publiczny). Najwyższy poziom funkcji produkcji obrazuje zależność między zagregowanym składnikiem surowcowym a komponentem z połączenia energii, kapitału i pracy, przy założeniu stałej elastyczności substytucji. Na drugim poziomie funkcja CES opisuje możliwości substytucji między agregatem energetycznym i agregatem wartości dodanej. Na trzecim poziomie funkcja CES określa możliwości substytucji kapitału i pracy w ramach agregatu wartości dodanej, a różne nakłady energii wchodzi w skład agregatu energetycznego, przy założeniu stałej elastyczności substytucji. W przypadku wytwarzania pa-

liw kopalnych wszystkie nakłady, poza charakterystycznym dla danego sektora zasobem paliw kopalnych, są agregowane w stałych proporcjach na najniższym poziomie. Najwyższy poziom obrazuje zależność między tym agregatem a zasobem paliw kopalnych, charakterystycznym dla danego sektora, przy założeniu stałej elastyczności substytucji. Ten ostatni jest skalibrowany zgodnie z empirycznymi oszacowaniami elastyczności cenowej podaży paliw kopalnych.

Biorąc pod uwagę nadrzędne znaczenie sektora wytwarzania energii elektrycznej dla redukcji emisji CO<sub>2</sub>, standardowe ujęcie wytwarzania energii w postaci jednej funkcji produkcji (kosztu) CES, zastąpiono przez ujęcie bottom-up na podstawie analizy funkcjonowania podmiotów sektora, w którym kilka technologii produkcyjnych ujętych w sposób dyskretny konkuruje w wytwarzaniu energii na potrzeby rynków regionalnych. Cena energii elektrycznej jest następnie wyznaczana przez koszty produkcji dostawcy krańcowego. Technologie wytwarzania energii reagują na zmiany cen energii elektrycznej zgodnie z charakterystyczną dla danej technologii elastycznością podaży. Ponadto, ograniczenie dolne i górne możliwości produkcyjnych może wyznaczać w sposób bezpośredni limity spadku i rozwoju poszczególnych technologii.

Finalny popyt konsumpcyjny  $C_r$  w każdym z regionów jest wyznaczony przez reprezentatywny podmiot, który maksymalizuje swoją użyteczność przy zachowaniu ograniczenia budżetowego i założeniu inwestycji na stałym poziomie (tj. ustalonego popytu na dobro za oszczędności). Konsumpcja jest ustalona jako agregat konsumpcji dóbr energetycznych i konsumpcji pakietu dóbr nieenergetycznych. Schematy substytucji w ramach konsumpcji dóbr nieenergetycznych są odzwierciedlone poprzez funkcję CES; agregat energetyczny w popycie finalnym składa się z różnych dóbr energetycznych powiązanych ze sobą stałymi elastycznościami substytucji.

Dobro wytwarzane przez sektor publiczny powstaje przy wykorzystaniu towarów zakupionych po cenach rynkowych. Wydatki z tym związane finansowane są z dochodów podatkowych. Ocena oddziaływania danego elementu polityki w sposób pośredni wiąże się z neutralnymi, z punktu widzenia dochodów, zmianami podatków tak, aby zapewnić sensowne porównanie dobrobytu, bez potrzeby wyboru między konsumpcją prywatną i konsumpcją publiczną. Taki efekt osiągany jest przez ustalenie ilości dobra wytwarzanego przez sektor publiczny na stałym poziomie i dystrybucję pozostałych dochodów w formie ryczałtu lub poprzez subsydia płacowe.

W handlu dwustronnym zakłada się heterogeniczność produktów, zgodnie z podejściem zaproponowanym przez Paula Armingtona, tzn. dobra krajowe i zagraniczne są rozróżniane ze względu na kraj pochodzenia.

Emisja CO<sub>2</sub> wiąże się (w stałych proporcjach) z wykorzystaniem paliw kopalnych, a współczynniki emisji CO<sub>2</sub> są zróżnicowane na podstawie zawartości CO<sub>2</sub> charakterystycznej dla poszczególnych paliw. Redukcja emisji CO<sub>2</sub> może odbywać się poprzez zmianę struktury paliw (substytucja między paliwami) lub poprzez bardziej oszczędne zużycie energii (przez zastąpienie paliwa nie paliwowym źródłem energii lub przez ograniczenie wielkości produkcji i popytu finalnego). Polityka redukcji emisji CO<sub>2</sub> realizowana jest poprzez wprowadzenie dodatkowego ograniczenia utrzymującego wielkość emisji CO<sub>2</sub> poniżej określonego limitu. Przychody wynikające z premii za rzadkość w związku z ograniczeniem emisji CO<sub>2</sub> przypadają rządowi danego regionu (lub podmiotowi zbiorowemu, jak np. Komisji Europejskiej, który redystrybuuje dochody w pewien precyzyjnie określony sposób).

## Zbiór danych dla roku bazowego

Model bazuje na najnowszej wersji bazy danych GTAP (wersja 7), obejmującej szczegółowe dane dotyczące produkcji i konsumpcji dla poszczególnych regionów, handlu między regionami, a także zużycia energii i emisji CO<sub>2</sub> w roku bazowym 2004.<sup>2</sup> Zbiór danych uwzględnia również szereg istniejących w gospodarce podatków. Zgodnie z powszechną praktyką w modelach równowagi ogólnej, wolne parametry postaci funkcyjnych wyznaczone są na podstawie danych z roku bazowego oraz elastyczności egzogenicznych. Elastyczności dotyczące handlu międzynarodowego oraz wartości dodanej w sektorach opierają się na oszacowaniach empirycznych zawartych w bazie GTAP. Elastyczności substytucji między czynnikami produkcji: kapitałem, pracą, nakładem energii oraz innymi nakładami (surowce), pochodzą z opracowania Okagawa i Ban (2008), którzy wykorzystują najnowsze dane panelowe dla wielu sektorów w okresie 1995-2004.

Ze względu na dostępność danych w bazie GTAP, model ten uwzględnia emisję CO<sub>2</sub>, która stanowi ok. 80% całkowitej emisji gazów cieplarnianych w Polsce. Ponieważ polityka energetyczna i klimatyczna UE koncentruje się w swoim zastosowaniu na emisji CO<sub>2</sub> pochodzącej ze spalania paliw kopalnych, to ograniczenie modelu ROCA nie jest postrzegane jako istotna słabość.

Baza danych GTAP (wersja 7) obejmuje podział na 57 sektorów i 113 regionów lub krajów. Baza może być w elastyczny sposób scalona do postaci zagregowanego zbioru danych. Aby móc prześledzić wstecz zmiany struktury produkcji wynikające z analizowanego elementu polityki, na poziomie poszczególnych sektorów uwzględnić należy wystarczająco szczegółowe dane dotyczące różnic w nakładochłonności, stopniu substytucji różnych czynników produkcji oraz elastyczności cenowej popytu. Z punktu widzenia analizy polityki klimatycznej zagregowana baza danych obejmuje wszystkie główne pierwotne i wtórne nośniki energii: węgiel, ropę napędową, gaz ziemny, produkty rafinacji ropy naftowej oraz energię elektryczną. Takie rozbitcie jest kluczowe, aby rozróżnić surowce energetyczne ze względu na wielkość emisji CO<sub>2</sub> oraz stopień wzajemnej substytucji. Ponadto, baza danych pozwala na wyłączenie sektorów charakteryzujących się dużą emisją CO<sub>2</sub> (energochłonnych), które są z reguły najbardziej dotknięte w związku z polityką kontrolowania emisji.

Aby odzwierciedlić reakcję rynków międzynarodowych na ograniczenie emisji przez poszczególne regiony oraz możliwości podaży projektów CDM, analiza polityki klimatycznej na szczeblu międzynarodowym wymaga określenia w sposób bezpośredni głównych krajów uprzemysłowionych oraz krajów rozwijających się. Tabela 19 przedstawia zestawienie sektorów, towarów oraz regionów ujętych w zagregowanej bazie danych dla modelu wykorzystywanej w niniejszej analizie dla Polski.

Tabela 19. Sektory i regiony w modelu

Grupa 57 sektorów i towarów	Grupa 113 krajów i regionów
Energetyka	Regiony zobowiązane do redukcji emisji zgodnie z Protokołem z Kioto
Węgiel (COL) Ropa naftowa (CRU) Gaz ziemny (GAS) Produkty rafinacji ropy naftowej (OIL) Energia elektryczna (ELE)	Polska (PL) Pozostała część EU27(EU-26) Pozostałe kraje uprzemysłowione (A1)
Sektory nieenergetyczne	Regiony bez zobowiązań do redukcji emisji
Przemysł chemiczny (CRP) Transport lotniczy (ATP) Pozostały transport (TRN) Surowce niemetaliczne (NMM) Hutnictwo żelaza i stali (I_S) Metale nieżelazne (NFM) Przemysł papierniczy (PPP) Pozostałe wyroby i usługi (Y)	Kraje rozwijające się (DC)

Źródło: opracowanie techniczne Loch Alpine.

## Kalibracja modelu do egzogenicznych prognoz

Koszt dostosowania do ograniczenia wielkości emisji w przyszłości jest bezpośrednio związany ze strukturą charakterystyczną dla danej gospodarki w hipotetycznej sytuacji bazowej, nieuwzględniającej takiego ograniczenia emisji.

Prosta prognoza modelu od roku bazowego 2004 do roku będącego rokiem docelowym, rokiem realizacji zobowiązań do redukcji emisji przez dany region (np. 2020 w przypadku pakietu klimatycznego UE), wiązałyby się z kalibracją do stanu stacjonarnego, w którym wszystkie wielkości (w tym również wielkość emisji CO<sub>2</sub>) notują egzogeniczne, jednakowe tempo wzrostu, a relacje cen pozostają niezmiennie. Stacjonarny scenariusz bazowy ma tę zaletę, że dostarcza jasnej ścieżki odniesienia do oceny wpływu danego elementu polityki. Jakakolwiek zmiana strukturalna w scenariuszu zawierającym dany

element polityki może być przypisana temu elementowi. Jednak taka kalibracja prognozy w oparciu o stan stacjonarny nie jest zgodna z oficjalnymi prognozami scenariusza bazowego.

W praktycznych analizach polityki mamy jednak często do czynienia z prognozami niejednorodnych stóp wzrostu oraz heterogenicznych zmian strukturalnych. Prognozy scenariusza bazowego, nie będącego stanem stacjonarnym, mogą powstawać mimo wysokiego stopnia endogeniczności zmiennych ekonomicznych, co stanowi jedną z silnych stron modeli CGE. Podstawową trudnością jest pogodzenie zasadniczo różnych i potencjalnie sprzecznych wartości. Przykładowo, oszacowanie wzrostu PKB może być znacznie wyższe niż prognozowany wzrost wielkości emisji CO<sub>2</sub>. Przekonujące pogodzenie tych niespójności w ramach scenariusza bazowego wymaga wówczas założenia „autonomicznej” poprawy efektywności energetycznej dzięki bazowym inwestycjom.

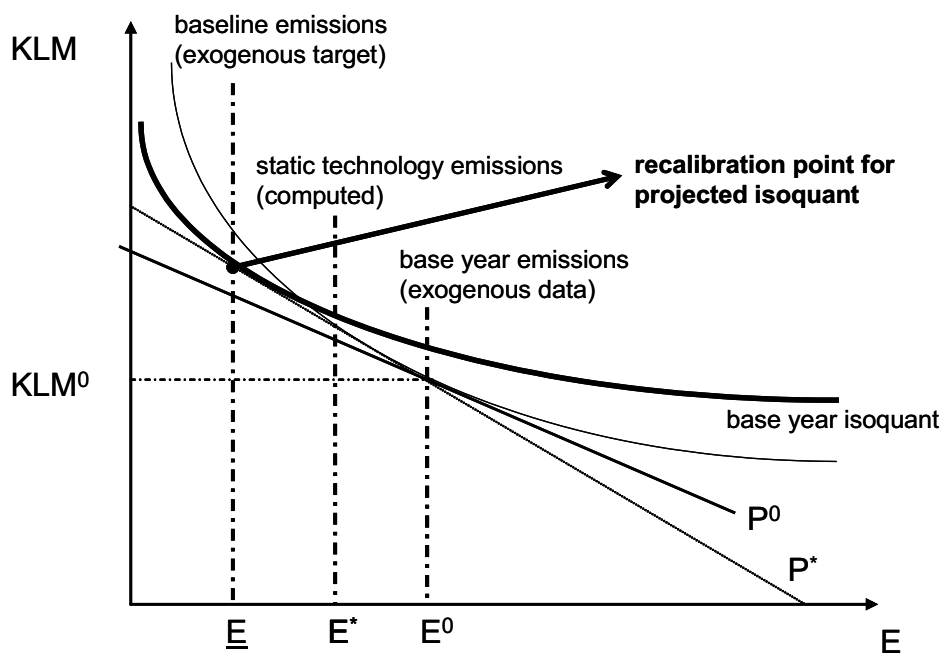
Prognoza modelu ROCA wykorzystuje dane pochodzące z US Energy Information Administration<sup>3</sup>, uzupełnione bardziej szczegółowymi danymi z Komisji Europejskiej dla Polski i pozostałej części UE.<sup>4</sup> Scenariusz bazowy dla 2020 roku powstał na podstawie prognozowanego zapotrzebowania na energię w poszczególnych sektorach, przyszłego poziomu PKB oraz trajektorii światowych cen ropy naftowej.

Rysunek 74 obrazuje podstawową metodologię zgodnie z funkcją produkcji CES, którą charakteryzuje ciągła postać zależności między nakładem energii (wielkością emisji)  $E$  oraz kombinacją nakładów czynników nieenergetycznych KLM. Funkcja CES jest całościowo opisana przez początkowe wartości popytu  $E_0$  i  $KLM_0$ , początkową relację cen  $p^0$  oraz egzogeniczną elastyczność substytucji  $\sigma$ . Dla ścieżki wzrostu w scenariuszu bazowym, za egzogeniczne przyjmujemy potencjalny PKB oraz ceny paliw kopalnych (wyrażone w odniesieniu do wskaźnika cen konsumpcyjnych), natomiast wszystkie pozostałe zmienne obliczamy jako wartości w stanie równowagi. To prowadzi do wyznaczenia popytu na energię (i emisje)  $E^*$  oraz zgodnej z nim relacji cen w stanie równowagi  $p^*$ . Jednak prognozy zewnętrzne zakładają, że popyt na energię (wielkość emisji) w scenariuszu bazowym wyniesi  $\underline{E}$ . Dlatego też, narzucamy wartość  $\underline{E}$  jako rekalkulowany popyt w scenariuszu bazowym przy nowej relacji cen  $p^*$  oraz dostosowujemy wielkości popytu na KLM w scenariuszu bazowym tak, aby były spójne z krzywą jednakowych kosztów. Po kilku iteracjach, ta procedura prowadzi do wygenerowania prognozowanej izokwenty, pozwalając w ten sposób osiągnąć akceptowalny stopień spójności ekonomicznego dostosowania na poziomie mikroekonomicznym. W punkcie rekalkulacji prognozowanej izokwenty, ilość  $E$  założono jako egzogeniczną, natomiast ilości KLM oraz nowe ceny są wyznaczone endogenicznie.

3 EIA (2009), International Energy Outlook, Energy Information Administration, US Department of Energy.

4 European Commission (2008), European Energy and Transport—Trends to 2030 (2007 update).

Rysunek 74. Kalibracja do egzogenicznej prognozy wielkości emisji



Źródło: opracowanie techniczne Loch Alpine.

Załącznik 3.

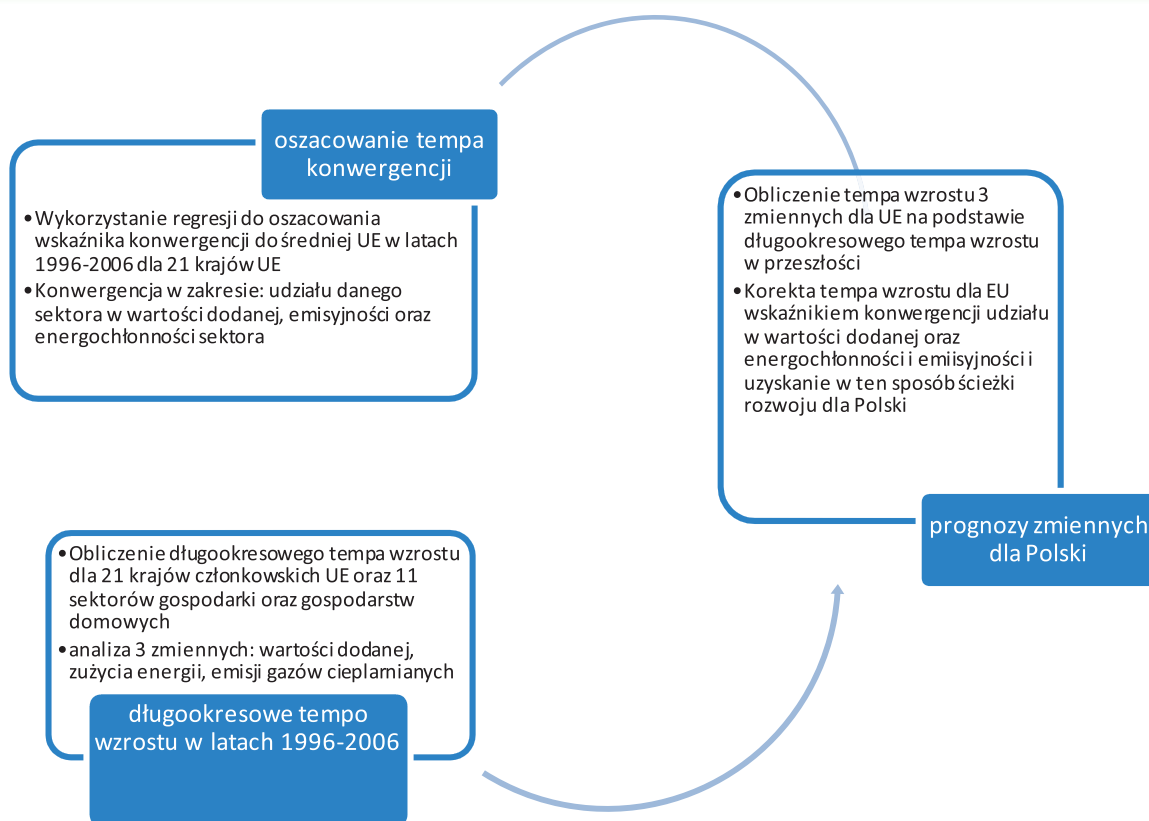
# TECHNIKA ESTYMACJI SCENARIUSZA BAZOWEGO MODELU MEMO

Scenariusz bazowy dla 11 sektorów modelu MEMO dla Polski oraz pozostałej części UE powstał w oparciu o ekonometryczną analizę procesów konwergencji.

Korzystając z bazy danych EUROSTATu stworzono panel danych rocznych dla 21 krajów UE dla lat 1996-2006. Panel obejmuje następujące kraje: Polska, Austria, Belgia, Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Francja, Hiszpania, Holandia, Irlandia, Litwa, Łotwa, Niemcy, Portugalia, Słowacja, Słowenia, Szwecja, Węgry, Wielka Brytania oraz Włochy. Stworzona baza danych obejmuje takie zmienne jak: wartość dodana, wyrażona zarówno w standardzie siły nabywczej (PPS)<sup>5</sup>, jak i wartościach bezwzględnych, zużycie energii (w toe), energochłonność (w toe/PKB wyrażony w PPS), wielkość emisji gazów cieplarnianych (w tCO<sub>2</sub>e) oraz emisyjność PKB (w tCO<sub>2</sub>e/PKB wyrażony w PPS). Uwzględnione 11 sektorów to: rolnictwo, przemysł ciężki, przemysł lekki, energetyka, transport, sektor paliwowy, handel, budownictwo, usługi finansowe, sektor publiczny oraz pozostałe usługi.

Do oszacowania średniego tempa konwergencji poszczególnych zmiennych zastosowano standardowe techniki regresji (podsumowanie tej procedury przedstawia Rysunek 75). Przykładowo, dla każdego z sektorów obliczona została różnica między jego udziałem w całkowitej wartości dodanej w danym kraju oraz analogicznym średnim udziałem w UE dla lat 1996 oraz 2006. Następnie, aby oszacować tempo konwergencji struktury gospodarki mające miejsce między tymi dwoma datami, dla każdego z sektorów przeprowadzono analizę regresji udziałów w 2006 roku względem udziałów z 1996 roku. Następnie, dla udziału w wartości dodanej każdego z sektorów obliczono średnią roczną stopę wzrostu. W podobny sposób zostało oszacowane tempo konwergencji wskaźników energochłonności i emisyjności (choć w tym przypadku wykorzystano logarytmy, a nie udziały). Wreszcie, roczne stopy wzrostu wskaźników energochłonności i emisyjności obliczone zostały dla wszystkich sektorów

Rysunek 75. Procedura estymacji scenariusza bazowego w modelu MEMO



Źródło: opracowanie techniczne IBS.

5 Standard siły nabywczej (and. purchasing power standard, PPS) jest terminem nadanym przez EUROSTAT sztucznej jednostce, w której wyrażony jest parytet siły nabywczej PKB dla krajów członkowskich UE.

Tabela 20 przedstawia wskaźniki konwergencji obliczone dla 21 krajów członkowskich UE. Dla tego zestawu danych najszybsze było tempo konwergencji dla udziału wartości dodanej w sektorze rolnictwa, chociaż wysokie wskaźniki zanotowały również transport, sektor paliwowy oraz budownictwo. W przypadku wskaźników energochłonności tempo konwergencji było podobne dla prawie wszystkich sektorów, poza przemysłem lekkim oraz sektorem paliwowym. Dla tych sektorów nie doszło do pełnej konwergencji 21 analizowanych krajów w latach 1996-2006, prawdopodobnie ze względu na rosnące zróżnicowanie struktury źródeł wytwarzania energii w sektorze paliwowym (obejmującej węgiel kamienny, brunatny, ropę naftową, oraz gaz ziemny). Ostatnia zmienna – emisyjność PKB – charakteryzuje się dużo wyższym zróżnicowaniem wskaźników konwergencji między sektorami – proces konwergencji postępował najszybciej w przemyśle lekkim i transporcie, a najwolniej w sektorze gospodarstw domowych, usługach finansowych oraz w sektorze publicznym.

Tabela 20. Oszacowanie tempa konwergencji w scenariuszu bazowym modelu MEMO dla 21 krajów UE w latach 1996-2006

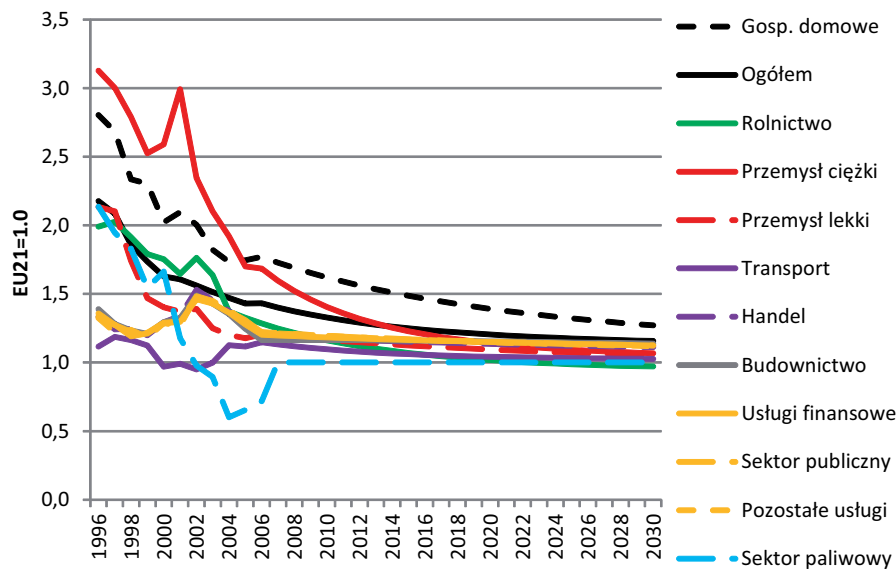
	Wartość dodana	Energochłonność	Emisyjność PKB
Ogółem	b.d.	0,059	0,040
Rolnictwo	0,085	0,056	0,025
Przemysł ciężki	0,015	0,075	0,029
Przemysł lekki	0,005	0,025	0,076
Energetyka	0,023	b.d. (energia nie jest wykorzystywana)	0,021
Transport	0,058	0,072	0,077
Sektor paliwowy	0,025	-Inf (no convergence observed)	0,022
Handel	0,001	0,060	0,044
Budownictwo	0,047	0,060	0,049
Usługi finansowe	0,010	0,060	0,013
Usługi publiczne	0,005	0,060	0,012
Pozostałe usługi	0,005	0,060	0,035
Gospodarstwa domowe	N/A	0,049	0,007

*Uwaga: Przedstawiona wartość dla danego sektora to roczna średnia ze współczynników beta konwergencji w danym sektorze dla 21 krajów UE. Wyższe wartości oznaczają szybsze tempo konwergencji do średniej. Przykładowo, dla wartości dodanej wskaźnik konwergencji w sektorze rolnictwa wynoszący 8,5% oznacza, że udział rolnictwa w wartości dodanej notował konwergencję do średniej w 21 krajach UE o 8.5% rocznie.*

*Źródło: opracowanie techniczne IBS.*

Takie samo zjawisko konwergencji dotyczące wartości dodanej, opisane w głównej części raportu, można zaobserwować na rysunku (Rysunek 76), który przedstawia prognozowaną ścieżkę rozwoju relacji energochłonności w 11 sektorach polskiej gospodarki do średniej energochłonności w analogicznych sektorach UE.

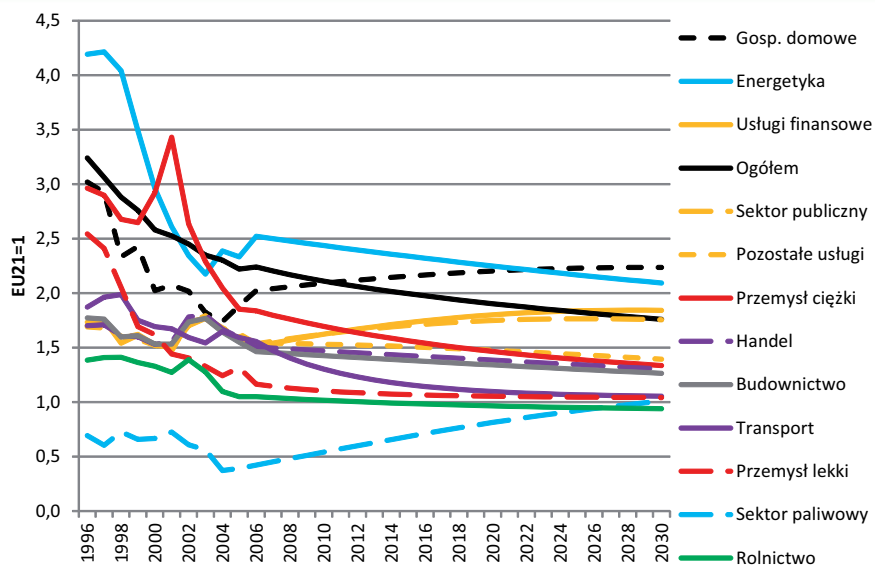
Rysunek 76. Prognoza energochłonności w 11 sektorach polskiej gospodarki w scenariuszu bazowym modelu MEMO (EU21 = 1)



Źródło: opracowanie techniczne IBS.

Ostatnia grupa zmiennych w scenariuszu bazowym modelu MEMO dotyczy wielkości emisji gazów cieplarnianych generowanej w 11 sektorach gospodarki oraz przez gospodarstwa domowe. Przyjmując za punkt wyjścia prognozę emisyjności, która jest wyrażona jako relacja wielkości emisji do wartości dodanej danego sektora, poziom emisji wyznaczany jest w zależności od zużycia energii. Dlatego też, konwergencja wielkości emisji wiąże się z procesami konwergencji struktury wartości dodanej oraz energochłonności poszczególnych sektorów (Rysunek 76 i Rysunek 77). Chociaż co do zasady emisyjność podlega konwergencji do średniej w poszczególnych sektorach, jednak nie dotyczy to sektora gospodarstw domowych, usług finansowych oraz sektora publicznego, co wynika z szybszej konwergencji struktury wartości dodanej niż konwergencji energochłonności. Nie narusza to, ani nie jest sprzeczne z założeniem o konwergencji wskaźników emisyjności. W przypadku rozszerzenia okresu prognozy na znacznie dłuższy okres te „nietypowe” schematy zachowań zostałyby wyeliminowane, tzn. te sektory osiągnęły poziom UE pomimo wolniejszego tempa konwergencji emisyjności.

Rysunek 77. Prognoza emisji w Polsce w scenariuszu bazowym modelu MEMO (EU21 = 1)



Źródło: opracowanie techniczne IBS.



Załącznik 4.

# **MODEL ROCA: SZCZEGÓŁOWE WYNIKI SYMULACJI**

Wskaźnik	Scenariusz bazowy	Scenariusz Główny	Elastyczny handel emisjami	Elastyczny handel i programy offsetu	Cel w zakresie energii odnawialnej	Subsydia płacowe	Brak ograniczeń co do wykorzystania energetyki jądrowej	Ograniczone wykorzystanie gazu	30% uprawnień przydzielanych bezpłatnie	70% uprawnień przydzielanych bezpłatnie	Sektor wytwarzania energii w ujęciu top-down	Miała otwarta gospodarka
Realny PKB (zmiana % w stosunku do poziomu w scenariuszu bazowym)												
Polska		-1,4	-1,16	-0,28	-1,02	-0,98	-1,12	-1,02	-1,46	-1,4	-1,4	-1,74
UE		-0,55	-0,41	-0,08	-0,37	-0,42	-0,45	-0,54	-0,56	-0,55	-0,54	
Kraje wym. w Załączniku I		-0,28	-0,28	-0,25	-0,27	-0,2	-0,28	-0,28	-0,28	-0,28	-0,28	
Kraje rozwijające się		-0,11	-0,09	-0,08	-0,09	-0,09	-0,1	-0,1	-0,11	-0,11	-0,11	
Wpływ na poziom zamożności gospodarstw domowych (% HEV)												
Polska		-0,94	-0,86	-0,18	-0,7	-0,31	-0,59	-1	-0,95	-0,96	-0,67	-1,47
UE		-0,29	-0,26	-0,03	-0,25	-0,05	-0,28	-0,3	-0,29	-0,28	-0,2	
Kraje wym. w Załączniku I		-0,2	-0,18	-0,16	-0,19	-0,07	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,19	
Kraje rozwijające się		-0,14	-0,11	-0,08	-0,14	-0,11	-0,14	-0,14	-0,14	-0,14	-0,14	
Bezrobocie (zmiana w punktach procentowych, w odniesieniu do stopy bezrobocia w scenariuszu bazowym)												
Polska		0,53	0,41	0,1	0,35	-0,39	0,37	0,55	0,53	0,52	0,44	0,49
UE		0,17	0,12	0,03	0,04	-0,07	0,16	0,17	0,17	0,17	0,14	
Produkcja sektorów energochłonnych i zorientowanych na handel międzynarodowy (zmiana % w stosunku do poziomu w scenariuszu bazowym)												
Polska		-2,66	-2,82	-0,29	-1,13	-2,08	-1,86	-2,85	-2,4	-2,05	-1,94	-4,42
UE		-0,73	-0,78	0,2	0,14	-0,55	-0,66	-0,74	-0,64	-0,51	-0,37	
Cena energii elektrycznej (zmiana % w stosunku do poziomu w scenariuszu bazowym)												
Polska		20,1	26,2	5,5	3	20,1	9,2	22,4	20,2	20,3	13	21,5
UE		9,7	12,6	2,6	-7,1	9,8	8,7	9,9	9,7	9,8	3,9	
Udział poszczególnych technologii w sektorze wytwarzania energii (w %)												
Polska	węgiel	84,1	73,5	70,2	81,9	75,6	73,3	50,7	78,9	73,4	73,4	73,5
	gaz	5,1	11,8	14	6,4	6,2	12	6,9	5,8	11,8	11,9	11,5
	ropa	0,9	1,1	1,1	1	1	1,1	1	1,1	1,1	1,1	1,1
	energetyka jądrowa	5,2	5,9	6	5,4	5,5	5,8	35,5	5,9	5,9	5,9	6
	źródła odnawialne	4,5	7,8	8,7	5,3	11,7	7,8	5,9	8,2	7,8	7,8	7,9

Wskaźnik		Scenariusz bazowy	Scenariusz Główny	Elastyczny handel emisjami	Elastyczny handel i programy offsetu	Cel w zakresie energii odnawialnej	Subsydia placowe	Brak ograniczeń co do wykorzystania energetyki jądrowej	Ograniczone wykorzystanie gazu	30% uprawnień przydzielanych bezpłatnie	70% uprawnień przydzielanych bezpłatnie	Sektor wytwarzania energii w ujęciu top-down	Miła otwarta gospodarka
UE	węgiel	20,1	12,1	10,6	18,2	11,6	12	12,8	12	12,1	12,1		20,1
	gaz	29,7	31,2	30,9	30,2	24,8	31,3	31,2	31,3	31,3	31,3		29,7
	ropa	3,6	3,7	3,7	3,6	3,4	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7		3,6
	energetyka jądrowa	25,5	26,3	26,6	25,6	20,2	26,2	26,2	26,3	26,3	26,3		25,5
	źródła odnawialne	21,2	26,7	28,2	22,4	40	26,8	26,1	26,7	26,7	26,7		21,2
Cena uprawnień do emisji (w dolarach za 1 tonę CO <sub>2</sub> )													
Polska	ETS		29,7	36,4	7,9	10,7	30,1	26,9	30,1	29,8	29,8	22	29,7
	spoza ETS		87,2	36,4	7,9	86,6	91,3	88,3	87,4	87,3	87,3	87,8	67,6
UE	ETS		29,7	36,4	7,9	10,7	30,1	26,9	30,1	29,8	29,8	22	
	spoza ETS		81,9	36,4	7,9	79,6	84	81,8	81,9	82	82,1	81	
Kraje wym. w Załączniku I			19,1	19,1	18,6	18,8	19,3	19	19,1	19,1	19,1	19	
Rozwijające się			1,1	1,1	1,9	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
Redukcja emisji CO <sub>2</sub> (krajowa, w % w odniesieniu do scenariusza bazowego)													
Polska			-20,1	-19,7	-4,9	-15,8	-19,9	-24,2	-23,3	-18,4	-20	-20	-21,2
EU			-14,7	-14,7	-2,8	-15,1	-14,7	-14,3	-14,4	-14,8	-14,7	-14,7	
Kraje wym. w Załączniku I			-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	-16,5	
Kraje rozwijające się			-0,8	-0,8	-3,3	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	

*Uwaga: Redukcja dotyczy CO<sub>2</sub>, a nie wszystkich gazów cieplarnianych. Podstawowym wskaźnikiem dobrobytu gospodarstw domowych jest tzw. Hicksian equivalent variation (HEV), równoważna zmiana dochodów, tj. wielkość, o jaką należy powiększyć (lub pomniejszyć) dochód odniesienia reprezentatywnego konsumenta, tak aby poziom jego użyteczności był taki sam jak w scenariuszu zakładającym brak danej polityki, i który jest wyznaczony na podstawie przyjętych z góry relacji cen. Ogólnie rzecz biorąc, zmiana HEV może być interpretowana jako zmiana dochodów i konsumpcji w ujęciu realnym. Przykładowo, w scenariuszu Głównym, odchylenie HEV od poziomu ze scenariusza bazowego wynoszące dla Polski 0,94% wskazuje, że reprezentatywne gospodarstwo domowe w Polsce traci ok. 1% dochodów w rezultacie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Odnośnie definicji i opisu scenariuszy zob. Tabela 8.*

*Źródło: opracowanie techniczne Loch Alpine; symulacje modelu ROCA; obliczenia własne Banku Światowego.*



Załącznik 5.

**METODY REDUKCJI  
EMISJI GAZÓW  
CIEPLARNIANYCH  
W POLSCE  
WEDŁUG KATEGORII  
EKONOMICZNYCH**

Niskoemisyjne wytwarzanie energii	Optymalizacja procesów chemicznych	Wykorzystanie technologii CCS w przemyśle oraz konserwacja sieci przesyłowych
<p>Elektrownie specjalizujące się w spalaniu biomasy Współspalanie biomasy</p> <p>Elektrownie węglowe wykorzystujące technologię IGCC</p> <p>Elektrownie gazowe wykorzystujące technologię CCS – zastosowanie w nowych obiektach</p> <p>Elektrownie gazowe wykorzystujące technologię EOR – zastosowanie w nowych obiektach</p> <p>Tradycyjne elektrownie gazowe</p> <p>Geotermalne zakłady energetyczne</p> <p>Elektrownie jądrowe</p> <p>Lądowe elektrownie wiatrowe Morskie elektrownie wiatrowe</p> <p>Małe elektrownie wodne</p> <p>Elektrownie słoneczne</p> <p>Fotowoltaika</p>	<p>Optymalizacja katalizatorów: energetyka, poziom 1-3</p> <p>Optymalizacja katalizatorów: procesy przemysłowe, poziom 1-3</p> <p>Kraking etylenu – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących</p> <p>Intensyfikacja procesów, energetyka, poziom 1-3</p> <p>Intensyfikacja procesów: procesy przemysłowe, poziom 1-3</p>	<p>Wykorzystanie technologii CCS w hutnictwie żelaza i stali</p> <p>Wykorzystanie technologii CCS w produkcji amoniaku – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących</p> <p>Wykorzystanie technologii CCS w bezpośrednim zużyciu energii w zakładach chemicznych – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących</p> <p>Wykorzystanie technologii CCS w produkcji cementu, przemyśle naftowym i gazownictwie – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących</p> <p>Konserwacja sieci przesyłowych, redukcja przecieków, przemysł naftowy i gazownictwo</p> <p>Wykorzystanie technologii CCS sektor cementowy – modernizacja istniejących obiektów</p>
Działania w rolnictwie	Poprawa efektywności mieszanej energetyczno-paliwowej	Poprawa efektywności paliwowej (1)
<p>Udoskonalenie praktyk agronomicznych (np. zróżnicowanie upraw i płodozmian)</p> <p>Poprawa gospodarki nawozami na gruntach rolnych</p> <p>Rekultywacja gleb</p> <p>Poprawa gospodarki łąkami (np. nawożenie, ochrona przed pożarami)</p> <p>Poprawa gospodarki nawozami na łąkach</p> <p>Stosowanie dodatków paszowych</p> <p>Stosowanie szczepionek antymetagenicznych dla zwierząt gospodarskich</p> <p>Rekultywacja gleb (np. unikanie drenażu gleb)</p> <p>Ograniczenie uprawy i usuwania/wypalania pozostałości</p>	<p>Eksploracja budynków komercyjnych: zintegrowany pakiet poprawy wydajności energetycznej nowych budynków (poprawa konstrukcji, usytuowania, izolacji)</p> <p>Termoizolacja istniejących budynków komercyjnych (poprawa szczelności i izolacji)</p> <p>Modernizacja systemów kontroli HVAC (systemów grzewczo-wentylacyjnych, ang. heating, ventilation and air conditioning) w budynkach komercyjnych (dostosowanie do stopnia wykorzystania budynku)</p> <p>Modernizacja systemów grzewczo-wentylacyjnych (HVAC) w budynkach komercyjnych (instalacja systemów o największej wydajności)</p>	<p>Transport: poprawa wydajności pojazdów o dużej ładowności (ang. Heavy-Duty Vehicles, HDVS), pakiet D1-D4 (redukcja oporu toczenia, poprawa aerodynamiki)</p> <p>Transport: poprawa wydajności pojazdów lekkich (ang. Light-Duty Vehicles, LDVS) o napędzie olejowym, pakiet D1-D4, (redukcja wymiarów i wagi, poprawa funkcjonowania klimatyzacji, poprawa aerodynamiki, opony o niskim oporze toczenia)</p>

Poprawa efektywności paliwowej (2)		
Wydobycie ropy naftowej i gazu ziemnego: zmiany behawioralne – usprawnienia w konserwacji i systemach kontroli procesów	Przemysł chemiczny: udoskonalenie systemów napędowych – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących	Transport: pojazdy lekkie (LDVS) – poprawa wydajności silników spalinowych (ang. internal combustion engine, ICE) o napędzie benzynowym, pakiet G1-G4
Przemysł rafineryjny i petrochemiczny: zmiany behawioralne i proceduralne	Transport i magazynowanie gazu ziemnego: usprawnienia w planowaniu	Transport: pojazdy średnie (ang. Medium-Duty Vehicles, MDVS) – poprawa efektywności energetycznej, pakiet D4
Sektor cementowy: zastąpienie klinkieru innymi składnikami mineralnymi	Transport i magazynowanie gazu ziemnego: wymiana uszczelk w sprzężarkach	Transport: pojazdy średnie (MDVS), pakiet G1-G4 (redukcja oporu toczenia, poprawa aerodynamiki, standardowe usprawnienia silników spalinowych)
Hutnictwo żelaza i stali: kogeneracja – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących	Gospodarka odpadami: recykling nowych odpadów	Transport: pojazdy lekkie – napęd: sprężony gaz ziemny
Hutnictwo żelaza i stali: zastąpienie węgla – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących	Eksploatacja budynków mieszkalnych: modernizacja systemów HVAC – systemy grzewcze opalane gazem/olejem	Transport: pojazdy lekkie (wysokoprężne) – pojazdy hybrydowe
Gospodarka odpadami: kompostowanie nowych odpadów	Hutnictwo żelaza i stali: redukcja wytopu – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących	Transport: pojazdy lekkie (wysokoprężne) – pojazdy hybrydowe plug-in
Górnictwo ropy naftowej i gazu ziemnego: poprawa efektywności energetycznej nowych obiektów	Biopaliwa pierwszej generacji	Transport: pojazdy lekkie (benzynowe) – pojazdy hybrydowe
Przemysł chemiczny: przejście z węgla i ropy naftowej na gaz i biomasę – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących	Biopaliwa drugiej generacji	Transport: pojazdy lekkie (benzynowe) – pojazdy hybrydowe plug-in
Przemysł rafineryjny i petrochemiczny: usprawnienia w konserwacji i systemach kontroli procesów	Gospodarka odpadami: bezpośrednie wykorzystanie gazów wytwarzanych przez wysypiska	Transport: pojazdy lekkie – napęd elektryczny
Transport i magazynowanie gazu ziemnego: usprawnienia w konserwacji sprzężarek		

Poprawa efektywności energetycznej		
Eksploatacja budynków mieszkalnych: zintegrowany pakiet poprawy wydajności energetycznej nowych budynków (poprawa konstrukcji, izolacji, instalacja systemów HVAC o wysokiej wydajności)	Eksploatacja budynków mieszkalnych i komercyjnych: oświetlenie – wymiana żarówek CFL (ang. compact fluorescent lights) na LED (ang. light emitting diodes)	Eksploatacja budynków mieszkalnych: programy termoizolacji istniejących budynków, poziom 1-2
Eksploatacja budynków komercyjnych: zastosowanie urządzeń energooszczędnych	Eksploatacja budynków mieszkalnych i komercyjnych: oświetlenie – wymiana zwykłych żarówek na LED	Eksploatacja budynków mieszkalnych: modernizacja systemów HVAC – zamiana ogrzewania elektrycznego na ompy ciepła modernizacja konserwacji systemów HVAC
Eksploatacja budynków mieszkalnych: zastosowanie urządzeń energooszczędnych	Eksploatacja budynków komercyjnych: oświetlenie – wymiana mało wydajnych żarówek T12/T8 na żarówki T8/T5	Gospodarka odpadami: produkcja energii elektrycznej z gazów wytwarzanych przez wysypiska
Hutnictwo żelaza i stali: odlew bezpośredni (ang. direct casting) – zastosowanie w nowych obiektach	Eksploatacja budynków komercyjnych: systemy kontroli oświetlenia (stateczniki z funkcją ściemniania, czujników ruchu) – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących	Sektor cementowy: odzyskiwanie ciepła z odpadów
Hutnictwo żelaza i stali: poprawa efektywności energetycznej I&II (ogólna) – usprawnienia w konserwacji, usprawnienia przebiegu procesów, zastosowanie bardziej wydajnych maszyn		Przemysł chemiczny: kogeneracja – zastosowanie w nowych obiektach oraz modernizacja istniejących
Przemysł rafineryjny i petrochemiczny: kogeneracja		Eksploatacja budynków mieszkalnych: podgrzewanie wody – wymiana podgrzewaczy gazowych i elektrycznych
Przemysł rafineryjny i petrochemiczny: poprawa wydajności (odzyskiwanie ciepła z odpadów, wymiana bojlerów, podgrzewaczy, turbin i napędów)		

*Uwaga: Aneks 10, dostępny na stronie [www.worldbank.org/pl/lowemissionseconomy](http://www.worldbank.org/pl/lowemissionseconomy), zawiera szczegółowe założenia dla każdej z metod redukcji emisji.*

*Źródło: opracowanie techniczne McKinsey, Bank Światowy.*

Załącznik 6.

# **MODUŁ MIND I OPTYMALIZACJA STRUKTURY PRODUKCJI W ENERGETYCE**

Moduł MIND łączy informację uzyskaną z krzywej MicroMAC z modelem MEMO. Dla energetyki, optymalna kombinacja metod redukcji emisji jest wyznaczana endogenicznie. Optymalizacja zaczyna się od wyznaczenia celu redukcji emisji w energetyce – zakłada się około 50-procentową redukcję wielkości emisji CO<sub>2</sub> w porównaniu do scenariusza bazowego w 2030 roku. Wartość bieżąca netto (NPV) jest liczona dla każdej nowej elektrowni. Następnie jest liczona dotacja rządowa, potrzebna do zrównania NPV danej elektrowni z jej poziomem dla tradycyjnej elektrowni węglowej. Jako optymalny zostaje wybrany najtańszy pakiet energetyczny przy danych ograniczeniach.

Według modułu MIND struktura źródeł wytwarzania energii jest optymalna jeśli pozwala na minimalizację, z punktu widzenia rządu, funkcji straty obejmującej:

- dodatnie odchylenie redukcji emisji od zakładanego celu. Ponieważ z punktu widzenia rządu finansowanie redukcji emisji jest kosztowne, nie jest jego celem osiągnięcie większej redukcji niż jest to konieczne
- wzrost kosztów dotacji w odniesieniu do scenariusza bazowego.

Funkcja straty przyjmuje następującą postać:

$$L = w_{\text{CO}_2} * \left( \frac{\text{CO}_2^{\text{optymalna}}}{\text{CO}_2^{\text{zakładana}}} - 1 \right)^2 + w_{\text{koszty}} * \left( \frac{\text{CO}_2^{\text{optymalny}}}{\text{CO}_2^{\text{en. bazowy}}} \right)^2$$

gdzie  $w_{\text{CO}_2}$  i  $w_{\text{koszty}}$  są wagami odpowiednich elementów funkcji straty, a waga przypisana spełnieniu celu redukcji emisji jest znacznie wyższa niż ta dla kosztów redukcji. Przykładowo, relacja tych wag może wynosić 10:1, co wskazywałoby na determinację rządu spełnienia celu redukcji bez względu na koszty.

Poszczególne scenariusze są wyznaczone albo jako przykłady alternatywnych strategii ograniczania emisji albo jako odchylenia od scenariusza optymalnego w określonym kierunku (analiza wrażliwości). W ten sposób w większości scenariuszy zmieniane są preferencje rządu odnośnie technologii wykorzystywanych do ograniczenia emisji. W celu ich oszacowania obliczyliśmy wartość bieżącą netto (NPV) wszystkich 17 analizowanych rodzajów elektrowni. W tych obliczeniach wykorzystywaliśmy dane z bazy mikroekonomicznych danych inżynierskich, która została pokrótce przedstawiona poniżej. W oryginalnym zbiorze danych dokonaliśmy pewnych zmian, mających na celu ich aktualizację i zapewnienie porównywalności z danymi EUROSTATu. W szczególności, ustaliliśmy ceny gazu na znacznie niższym poziomie, zgodnie z rozwojem sytuacji na rynku spot gazu ziemnego w ostatnim czasie. Scenariusz optymalny, bazujący na historycznie wysokich cenach gazu jest zakwalifikowany jako osobny przypadek.

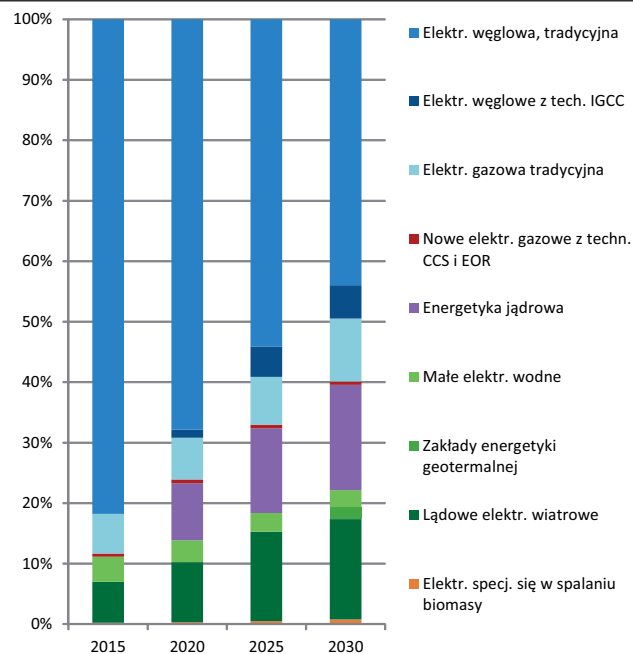
Obok wyznaczonego scenariusza optymalnego, zakładającego niskie ceny gazu i służącego następnie jako scenariusz odniesienia (Rysunek 62), analizujemy również 12 scenariuszy alternatywnych, zakładających różne struktury wytwarzania energii (Tabela 21): scenariusz niskoemisyjny, spełniający cel w zakresie redukcji emisji CO<sub>2</sub> wyznaczony przez UE na 2020 rok oraz zakładający ograniczenie wielkości emisji o 30% do 2030 roku (w porównaniu do 1990 roku); bardziej ambitny scenariusz niskoemisyjny, zakładający ograniczenie wielkości emisji o 30% do 2020 roku w UE; scenariusz „Działań opóźnionych”, w którym gospodarka w następnych pięciu latach rozwija się zgodnie ze scenariuszem bazowym, a następnie rząd zobowiązuje się do realizacji scenariusza niskoemisyjnego; oraz kilka innych scenariuszy zakładających przyspieszenie wdrożenia technologii takich jak energia ze źródeł odnawialnych, CCS, energetyka jądrowa oraz gaz ziemny poprzez wzrost ich udziału w rynku o 20% w odniesieniu do scenariusza odniesienia.

W poniższych tabelach zaprezentowano krótki opis wybranych scenariuszy oraz porównanie ich charakterystyki ekonomicznej.

Tabela 21. Model MEMO: analiza wrażliwości – 20-procentowe odchylenie od scenariusza optymalnego

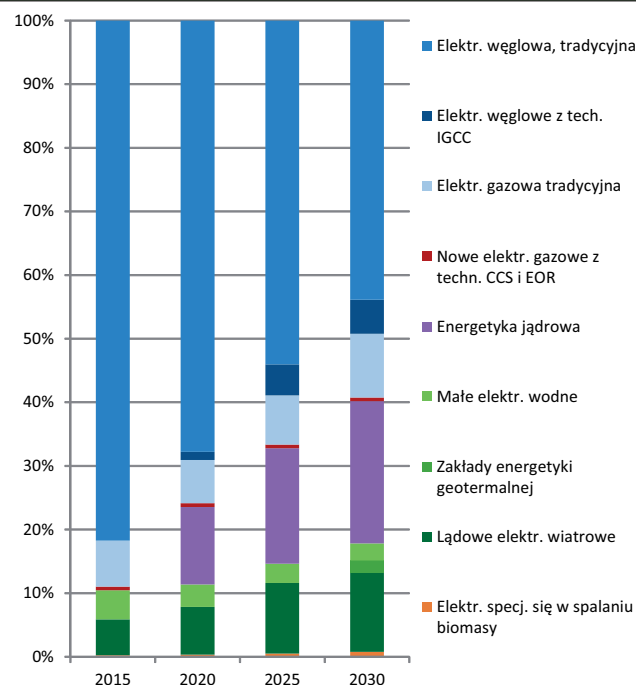
#### Zmiana 20% na Wiatr + Energia Słoneczna / Wiatr + Biomasa

Scenariusz ten stanowi odmianę scenariusza Wiatr + Energia słoneczna. Bardzo podobne cechy wykazuje także odmiana scenariusza Wiatr + Biomasa. W obu scenariuszach, udziały energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych powiększone są o 20% w porównaniu do scenariusza optymalnego. Ponieważ udziały energii słonecznej i biomasy w scenariuszu optymalnym wynoszą 0 (ponieważ są to rozwiązania bardzo drogie), scenariusze, w których energia wiatrowa jest połączona z jednym z nich są prawie identyczne. W rezultacie, podstawową różnicą między tym scenariuszem a scenariuszem optymalnym jest niewielki wzrost możliwości wytwarzania energii w lądowych elektrowniach wiatrowych. Aby to osiągnąć, naruszone zostało jedno z ograniczeń, ponieważ w scenariuszu optymalnym wykorzystywane są pełne moce produkcyjne elektrowni wiatrowych, które są stosunkowo tanie i nie zanieczyszczają środowiska. Z tego względu ten scenariusz nie jest w pełni porównywalny z (ograniczonym) scenariuszem optymalnym, ale mimo to może służyć jako ilustracja wpływu wzrostu wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych.



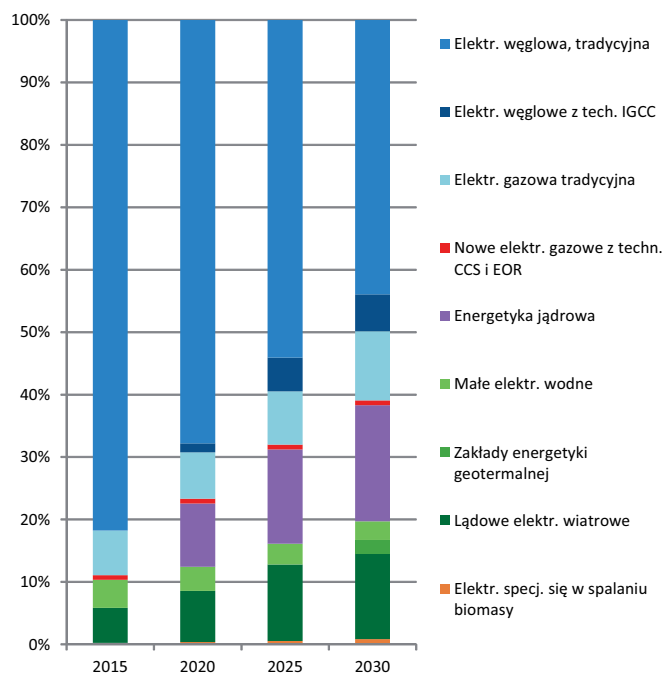
#### Zmiana 20% na Energetykę jądrową

Scenariusz ten stanowi odmianę scenariusza podstawowego. W tym scenariuszu poluźniamy górne ograniczenie dotyczące mocy wytwórczych nowych elektrowni jądrowych, zakładając, że udział energetyki jądrowej w strukturze źródeł wytwarzania energii będzie o 20% wyższy niż w scenariuszu podstawowym.



Zmiana 20% na CCS

W scenariuszu tym, podobnie jak w innych scenariuszach analizy wrażliwości, zakładamy odchylenie o 20% od podstawowej (optymalnej) struktury wytwarzania energii na rzecz elektrowni wykorzystujących technologię CCS. Z tej zmiany wynika, że niewielki wzrost wielkości energii wytwarzanej z udziałem technologii CCS prowadzi do wzrostu średniego kosztu ponoszonego przez rząd do 2 845 milionów złotych, przy zapewnieniu redukcji emisji CO<sub>2</sub> na poziomie 49,77%. Wartości te są jedynie nieznacznie różne od tych uzyskanych w scenariuszu optymalnym. Wynika to z niskiego udziału początkowego – technologia CCS jest praktycznie nie wykorzystywana w scenariuszu optymalnym.



Źródło: opracowanie techniczne IBS, symulacje modułu MIND.

Jeśli nie weźmiemy pod uwagę scenariuszy wykorzystywanych w analizie wrażliwości, jedynie scenariusz braku ograniczeń w wykorzystaniu gazu okaże się lepszy niż scenariusz optymalny (odniesienia). Nie pozwala on jednak osiągnąć zakładanego poziomu redukcji emisji CO<sub>2</sub> zarówno w 2020, jak i 2030 roku, i z tego względu nie spełnia jednego z ważnych kryteriów. W 2030 roku scenariusze zmiana 20% na Wiatr+Biomasa oraz zmiana 20% na Wiatr + Energia słoneczna również są nieco lepsze niż scenariusz odniesienia, ponieważ wymagają niższych rządowych dotacji i inwestycji. W tym przypadku istniejące ograniczenia technologiczne również zostają uchylone (Tabela 22).

Tabela 22. Skutki makroekonomiczne alternatywnych pakietów w energetyce

Domkn.	Scenariusz	Wzrost PKB (% w por. do sc. baz.)				Maro MAC (wzrost PKB % / redukcja %)			
		2015	2020	2025	2030	2015	2020	2025	2030
Spożycie publiczne	Podst. (optymalny, niska cena gazu)	-0.15	-1.68	-1.31	-0.95	-0.04	-0.16	-0.08	-0.05
	Wiatr + Energia słoneczna	-2.33	-3.66	-4.73	-3.42	-0.61	-0.37	-0.29	-0.17
	Wiatr + Biomasa	-1.91	-5.03	-2.94	-2.43	-0.94	-0.58	-0.19	-0.14
	Gaz	0.03	-0.45	-0.93	-0.13	0.01	-0.07	-0.07	-0.01
	CCS	-0.89	-3.53	-3.16	-2.52	-0.41	-0.39	-0.20	-0.13
	Energia jądrowa	0.09	-2.07	-1.58	-1.37	0.05	-0.25	-0.10	-0.07
	Działania opóźnione	0.12	-0.92	-1.91	-4.19	2.01	-0.36	-0.40	-0.30
	Ministerstwo Gospodarki	-1.16	-1.78	-6.15	-2.78	-0.31	-0.18	-0.34	-0.13
	Wysoka cena gazu (optymalny)	-0.50	-2.08	-1.91	-1.29	-0.15	-0.20	-0.11	-0.06
Domkn.	Scenariusz	2015	2020	2025	2030	2015	2020	2025	2030
Transfery socjalne	Podst. (optymalny, niska cena gazu)	-0.06	-1.23	-0.89	-0.71	-0.02	-0.12	-0.06	-0.04
	Wiatr + Energia słoneczna	-1.63	-2.53	-3.37	-2.42	-0.42	-0.26	-0.21	-0.12
	Wiatr + Biomasa	-1.20	-3.34	-1.54	-1.79	-0.58	-0.38	-0.10	-0.10
	Gaz	0.10	-0.26	-0.58	-0.02	0.04	-0.04	-0.05	0.00
	CCS	-0.75	-2.19	-1.91	-1.82	-0.34	-0.24	-0.12	-0.10
	Energia jądrowa	0.10	-1.63	-0.99	-1.06	0.06	-0.20	-0.06	-0.05
	Działania opóźnione	0.13	-0.72	-1.44	-3.18	1.77	-0.28	-0.30	-0.23
	Ministerstwo Gospodarki	-0.68	-1.14	-4.55	-1.86	-0.18	-0.12	-0.25	-0.09
	Wysoka cena gazu (optymalny)	-0.37	-1.54	-1.33	-1.00	-0.11	-0.15	-0.08	-0.05
Domkn.	Scenariusz	2015	2020	2025	2030	2015	2020	2025	2030
VAT	Podst. (optymalny, niska cena gazu)	-0.14	-1.13	-0.78	-0.73	-0.04	-0.11	-0.05	-0.04
	Wiatr + Energia słoneczna	-1.63	-2.56	-3.14	-2.55	-0.40	-0.25	-0.19	-0.13
	Wiatr + Biomasa	-1.20	-3.13	-1.66	-1.94	-0.52	-0.34	-0.11	-0.11
	Gaz	0.07	-0.29	-0.39	-0.07	0.03	-0.04	-0.03	0.00
	CCS	-0.87	-1.98	-1.91	-1.99	-0.37	-0.21	-0.12	-0.10
	Energia jądrowa	-0.02	-1.54	-0.90	-1.12	-0.01	-0.18	-0.06	-0.06
	Działania opóźnione	0.06	-0.75	-1.37	-3.12	0.56	-0.28	-0.28	-0.22
	Ministerstwo Gospodarki	-0.70	-1.16	-3.90	-2.12	-0.18	-0.12	-0.21	-0.10
	Wysoka cena gazu (optymalny)	-0.45	-1.49	-1.19	-1.08	-0.13	-0.14	-0.07	-0.05
Domkn.	Scenariusz	2015	2020	2025	2030	2015	2020	2025	2030
PIT	Podst. (optymalny, niska cena gazu)	-0.16	-1.33	-0.92	-0.89	-0.05	-0.12	-0.06	-0.04
	Wiatr + Energia słoneczna	-1.81	-2.98	-3.77	-2.92	-0.40	-0.28	-0.22	-0.14
	Wiatr + Biomasa	-1.43	-4.31	-1.98	-2.25	-0.51	-0.42	-0.13	-0.12
	Gaz	0.03	-0.37	-0.54	-0.19	0.01	-0.06	-0.04	-0.01
	CCS	-0.69	-2.64	-2.37	-2.34	-0.27	-0.27	-0.14	-0.12
	Energia jądrowa	0.06	-1.80	-1.07	-1.34	0.03	-0.21	-0.07	-0.07
	Działania opóźnione	0.08	-0.81	-1.44	-3.56	0.58	-0.29	-0.28	-0.25
	Ministerstwo Gospodarki	-0.89	-1.37	-5.12	-2.43	-0.22	-0.14	-0.27	-0.11
	Wysoka cena gazu (optymalny)	-0.45	-1.66	-1.40	-1.27	-0.13	-0.15	-0.08	-0.06

Źródło: opracowanie techniczne IBS, symulacje modułu MIND.



# BIBLIOGRAFIA

## Techniczne opracowania robocze (udostępniane na życzenie)

Opracowanie techniczne McKinsey:

McKinsey & Company (2009), Assessment of Greenhouse Gas Emissions Abatement Potential in Poland by 2030, Poland (December), [http://www.mckinsey.com/client/service/sustainability/pdf/greenhouse\\_gas\\_abatement\\_potential.pdf](http://www.mckinsey.com/client/service/sustainability/pdf/greenhouse_gas_abatement_potential.pdf)

Opracowanie techniczne Loch Alpine:

Boeringer, C. (2010), Economic Impact of CO2 Mitigation Strategies for Poland: CGE Modeling and Capacity Building, Loch Alpine Economics, Ann Arbor, June 13.

Opracowanie techniczne IBS:

Bukowski, M., and P. Kowal (2010), Modelling the Transition to a Low Carbon Economy with a Large Scale DSGE Model of Poland, IBS [Institute for Structural Research], Warsaw, May.

Opracowanie techniczne dla sektora transportu:

Rogers, John Allen, ECORYS Nederland BV, Christine Fallert Kessides, and Marcel Ionescu-Herioiu (2010), Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Poland's Transport Sector, World Bank, Washington, DC, May.

## Pozostałe źródła

Auerswald, P., and L. Branscomb (2003), "Valleys of Death and Darwinian Seas: Financing the Invention to Innovation Transition in the United States," *Journal of Technology Transfer* (28:227).

Avato, Patrick, and Jonathan Coony (2008), "Accelerating clean energy technology research, development, and deployment: lessons from non-energy sectors," World Bank working paper no. 138, Washington DC.

Badri, N. G., and T. L. Walmsley, eds. (2008), *Global Trade, Assistance and Production: The GTAP 7 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.

Böhringer, C., A. Löschel, U. Moslener, and T.F. Rutherford (2009), "EU Climate Policy Up to 2020: An Economic Impact Assessment," *Energy Economics* (31: 295–305).

Committee on Climate Change (2008), *Building a Low-carbon Economy - the UK's Contribution to Tackling Climate Change, The First Report of the Committee on Climate Change*, December, <http://www.theccc.org.uk/reports/building-a-low-carbon-economy>.

Council of European Union (2008), 17215/08, Energy and climate change - Elements of the final compromise, Brussels, 12 December.  
EIA (2009), *International Energy Outlook*, Energy Information Administration, United States Department of Energy, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/>.

European Commission (2008), *European Energy and Transport: Trends to 2030—2007 update*, Directorate General for Energy and Transport, [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/Figures/trends\\_2030\\_update\\_2007/energy\\_transport\\_trends\\_2030\\_update\\_2007\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/Figures/trends_2030_update_2007/energy_transport_trends_2030_update_2007_en.pdf)

European Commission (2009), *Regional challenges in the perspective of 2020: Regional disparities and future challenges*, Background paper on climate change, Report to the Directorate-General for Regional Policy, April.

European Commission (2010), *Unlocking Europe's potential in clean innovation and growth: analysis of options to move beyond 20%*, Brussels.

European Union (2008), *The Climate Action and Renewable Energy Package: Europe's Climate Change Opportunity*.

Fay, Marianne, Rachel I. Block, and Jane Ebinger, eds. (2010), *Adapting to Climate Change in Eastern Europe and Central Asia*, Office of the Chief Economist, Europe and Central Asia Region, World Bank, Washington DC.

Fischer, C. (2006), *How can renewable portfolio standards lower electricity prices?* RFF Discussion Paper 06-20-REV, Resources for the Future, Washington DC.

Government of Poland (2009), *Poland 2030: Development Challenges*, Board of Strategic Advisers to the Prime Minister, May.

IBS (2008) "Assessing Effects of Joining Common Currency Area with Large-Scale DSGE model: A Case of Poland", IBS Working Paper #3/2008, Institute for Structural Research, Warsaw, [http://ibs.org.pl/publikacja/Effects\\_of\\_Joining\\_Common\\_Currency](http://ibs.org.pl/publikacja/Effects_of_Joining_Common_Currency).

IPCC (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

Jacoby, H.D., and A.D. Ellerman (2002), *The Safety Valve and Climate Policy*, Report No. 83, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

Johnson, Todd M., Feng Liu, Claudio Alatorre, and Zayre Romo, eds., (2008), *Mexico Low-Carbon Study*, World Bank (December).

Kaya, Yoichi, and Keichi Yokobori, eds. (1997), *Environment, Energy, and Economy: Strategies for Sustainability* (Tokyo: United Nations University Press).

Ministry of Economy (2009), *Energy Policy of Poland until 2030*, Appendix to Resolution no. 202/2009 of the Council of Ministers, Government of Poland (10 November).

Nordhaus, W. (1997), "Discounting in economics and climate change," *Climatic Change* (37, 315–328).

Okagawa, A., and K. Ban (2008), "Estimation of Substitution Elasticities for CGE Models," mimeo, Osaka University, April 2008, [http://www.esri.go.jp/jp/workshop/080225/03\\_report5\\_Okagawa.pdf](http://www.esri.go.jp/jp/workshop/080225/03_report5_Okagawa.pdf)

Pope, J., and A.D. Owen (2009), "Emission trading schemes: potential revenue effects, compliance costs and overall tax policy issues," *Energy Policy* (37, 4595–4603).

Republic of Poland (2006), *Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Warsaw).

Smol, E. (2010), *Metodyka wraz z Przykładowym Obliczeniem „Limitu” Krajowej Emisji Gazów Ciepłarnianych dla Polski na lata 2013-2020 (Dyrektywa EU ETS i Decyzja NON-ETS)* [Methodology and calculation of country's GHG emissions limit for Poland 2013-2020],

KASHUE-KOBIZE [National Administration of the Emissions Trading Scheme- National Center for Emission Balancing and Management].

US National Academy of Sciences (2008), *Understanding and Responding to Climate Change*, Washington D.C., National Academy Press.

Weitzman, Martin L., (1974), "Prices vs. Quantities," *Review of Economic Studies* (XLI, 477-91, October).

World Bank (2009), *World Development Report 2010: Development and Climate Change*, Washington DC.

World Bank (2010), *Lights Out? The Outlook for Energy in Eastern Europe and the Former Soviet Union*, Europe and Central Asia Region, Washington DC.





Raport stawia pytanie, w jaki sposób Polska może przejść do gospodarki o charakterze niskoemisyjnym z równie wielkim powodzeniem, jak podczas transformacji do gospodarki wolnorynkowej w latach 90-tych. W obliczu obowiązującej już polityki UE w dziedzinie zmian klimatu, Polska musi się zmierzyć z istotnymi wyzwaniami. Jakie będą skutki dla Polski wdrożenia pakietu energetyczno-klimatycznego UE do roku 2020? Czy Polska może podjąć się bardziej ambitnych celów redukcji emisji gazów cieplarnianych w perspektywie 2030 roku i dalszej? Jakie technologie redukcji emisji są dostępne i jakie są koszty ich zastosowania? Czy należy się liczyć z istotnym spowolnieniem wzrostu gospodarczego i spadkiem zatrudnienia? Kwestie te podjęto w raporcie, który, poprzez połączenie analizy inżynierskiej bottom-up z modelowaniem makroekonomicznym top-down, wprowadza nowatorskie podejście w ramach przygotowywanych przez Bank Światowy raportów na temat niskoemisyjnej gospodarki.

Raport i związane z nim materiały są dostępne na stronie:  
[www.worldbank.org/pl/lowemissionseconomy](http://www.worldbank.org/pl/lowemissionseconomy)