54/2006

Raport Badawczy
Research Report

RB/36/2006

Modele równowagi ogólnej dla polskiej gospodarki z ochroną środowiska

Paweł Bartoszczuk

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences

POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2006

1. Cel pracy

Celem pracy jest określenie wpływu polityki ekologicznej na koszty funkcjonowania gospodarki Polski za pomocą narzędzia z dziedziny modeli równowagi ogólnej. Badanym zagadnieniem będzie to, czy w wyniku nałożenia obowiązku ograniczenia emisji przedsiębiorstwa ograniczą produkcję, czy też zastosują inne, czystsze paliwa w produkcji. Wybrano model równowagi ogólnej a nie model ekonometryczny, ponieważ modele równowagi ogólnej okazały się lepsze do przeprowadzenia symulacji wpływu szoków na gospodarkę, takich jak raptowny wzrost cen ropy. Dzięki wynalezieniu języków programowania wysokiego poziomu (np. GAMS) możliwe stało się wykonanie obliczeń przez komputer oraz zapisanie modelu w postaci algebraicznej.

Równowaga ogólna pozwala badać efektywność alokacji zasobów oraz dystrybucji kosztów i korzyści zmian w otoczeniu gospodarczym. W podejściu tym zwiększenie środków na konkretną dziedzinę powoduje równoczesne wycofanie takich samych środków z innej dziedziny. Modele równowagi ogólnej zakładają maksymalizację użyteczności i zysków podmiotów gospodarczych. Jednym z badaczy równowagi ogólnej jest profesor Lars Bergman, który zbudował model CGE dla Szwecji dla roku 1985 [Bergman 1991, s.43]. Celem modelu było pokazanie wpływu redukcji zanieczyszczeń na ceny czynników produkcji i ich alokację. Model ten składa się z 10 sektorów gospodarczych, w tym 2 należące do przemysłu energetycznego. Wyniki symulacji tego modelu wykazały, że wpływ polityki ekologicznej na gospodarkę należy badać za pomocą modeli równowagi ogólnej, a nie równowagi cząstkowej.

Model Bergmana został wybrany za punkt wyjściowy modelu CGE dla polskiej gospodarki. W wyniku współpracy między polskimi instytutami badawczymi i Holenderską Fundacją Badań Energetyki, stworzono model dla Polski. Za rok bazowy przyjęto w nim

1995, dla którego sporządzono prognozę na podstawie danych dla roku 1990. Trzy główne cechy różnią ten model od modelu szwedzkiego:

-klasyfikacja sektorów (przemysł energetyczny został zdezagregowany na 3 sektory),

-uwzględnienie podstawowej roli węgla kamiennego w polskiej energetyce, a dodatkowo uproszczone traktowanie kapitału. Później model ten został dodatkowo dostosowany dla holenderskiej gospodarki [Leeuwen et.al. 1995].

W Polsce najbardziej znane modele równowagi ogólnej tworzyli Orłowski (badania nad efektami Integracji Polski z Unią) oraz Żółkiewski (monopolizacja gospodarki). Inne modele dotyczyły polityki gospodarczej systemu podatkowego. Kiuiła i Van Leeuwn badali zależności między gospodarką a polityką ekologiczną, a w szczególności ograniczenie emisji siarki a gospodarką narodową. Podobnymi zależnościami dotyczącymi dwutlenku węgla zajmował się Rojek.

Problematyka modelowania równowagi ogólnej z uwzględnieniem środowiska jest ważna ze względu na to, że środowisko naturalne będące kiedyś dobrem wolnym obecnie stało się zasobem rzadkim. W przeszłości brak odpowiednich regulacji odnośnie do ochrony środowiska doprowadził do zanieczyszczenia środowiska: powietrza, wody i gleby, wyginięcia gatunków, zmian klimatycznych oraz pogorszenia się warunków życia. Zanieczyszczenie środowiska jest negatywnym efektem zewnętrznym, który oznacza koszt dla pozostałych podmiotów i spadek ich dobrobytu. Środowisko przyrodnicze jest dobrem publicznym i nikogo nie można wykluczyć z korzystania z tego dobra, zaś korzystanie jednego podmiotu z tego dobra nie zmniejsza korzyści, jakie może odnieść z tego samego dobra dowolny inny podmiot. Występowanie efektów zewnętrznych prowadzi do nieefektywności, którą można rozwiązać przez interwencję państwa, na przykład przez stworzenie rynku uprawnień do efektu zewnętrznego i uzupełnienie systemu gospodarczego o brakujący wcześniej rynek.

W Polsce sektorami emitującymi najwięcej zanieczyszczeń są sektory zaopatrzeniowe wykorzystujące surowce, energetyka, zaopatrzenie w wodę. Sektory te odgrywały ważną rolę w okresie gospodarki centralnie kierowanej, a jednocześnie powodowały one wysokie koszty ekologiczne ze względu na zasobochłonność gospodarki. Uwzględnienie energii jest ważne, gdyż energia obok kapitału i pracy stanowi istotny czynniki produkcji.

Tematyka pracy jest ważna w świetle zobowiązań przyjętych przez Polskę w ramach Unii Europejskiej. System handlu emisjami obejmuje około 12 000 instalacji unijnych w przemyśle powodujących zanieczyszczenie środowiska (w tym – 945 w Polsce). Każda z instalacji objętych systemem otrzymuje przydział uprawnień emisyjnych, które będą przedmiotem obrotu na ogólnoeuropejskim rynku, i nie będzie mogła wyemitować więcej zanieczyszczeń CO_2 od liczby posiadanych uprawnień. Dzięki wymianie pozwoleń między operatorami instalacji, emisje będą redukowane w pierwszej kolejności tam, gdzie koszty są najniższe. Każde Państwo UE musi zgłosić krajowy plany rozdziału emisji na lata 2005-07 – wstępny okres rozliczeniowy oraz na lata 2008-12 – właściwy okres objęty Protokołem z Kioto. Plan rozdziału musi być zatwierdzony przez Komisję Europejską.

Polska, na mocy Protokołu z Kioto, zobowiązała się obniżyć emisję CO_2 o 6% w porównaniu z poziomem z roku 1988 r. Ze względu na transformację gospodarki narodowej Polska wypełniła zobowiązanie: emisja CO_2 zmniejszyła się w latach 1988-2001 o 33%, jednak prawdopodobnie nie będzie mogła zarobić na handlu swoimi nadwyżkami w pierwszym okresie rozliczeniowym. Komisja Europejska zdecydowała w marcu 2005 r. ograniczyć przydział uprawnień polskim instalacjom, argumentując, że zbyt wysoki przydział doprowadziłby jedynie do masowej sprzedaży limitów przez polskie przedsiębiorstwa, bez podjęcia proekologicznych inwestycji.

2. Opis modelu równowagi ogólnej

Model CGE zawiera system równań, które w warunkach doskonałej konkurencji wyznaczają równowagę między produkcją i zapotrzebowaniem na produkty i usługi przez zmiany w relacjach cen tych produktów i usług. Model CGE opisuje zamknięty przepływ pieniędzy i odpowiadajacy mu przepływ dóbr i czynników przez symulację zachowań producentów i konsumentów. Model CGE wyznacza zbior cen równoważących poszczególne rynki oraz wielkość produkcji poszczególnych sektorów.

Rozwiązanie ogólne w modelu CGE gwarantuje równowagę ogólną na wszystkich rynkach. Początkowe zasoby czynników produkcji stanowią zmienne egzogeniczne w modelu, ktore są następnie alokowane między wszystkie sektory w modelu a nstępnie wyznaczają ilości i ceny równowagi dla każdego towaru. W punkcie równowagi nie ma nadwyżki popytu i podaży, czyli wielkość produkcji jest zawsze równa wielkości konsumpcji. Ponadto ceny i ilości wyznaczane są endogenicznie. Model CGE może być wykorzystany do analizy nowego stanu równowagi, na skutek podjęcia określonych decyzji. W tym modelu będą przeanalizowane skutki decyzji polegających na zmniejszeniu emisji. Model bierze pod uwagę rynki czynników produkcji oraz podmioty: producenci i konsumenci. Producenci (sektory produkcyjne) dostarczają różne dobra na rynek i zgłaszają popyt na dobra pośrednie i czynniki produkcji. Gospodarstwa domowe zgłaszają popyt na dobra końcowe i dostarczają czynniki produkcji w postaci kapitału i pracy, jednocześnie ortrzymują wynagrodzenie za pracę i dochód z kapitału. Rząd zgłasza również popyt na dobra końcowe i dostarcza usługi dla społeczeństwa, jak również pobiera podatki i przekazuje transfery. W modelu rozpatrujemy małą gospodarkę otwartą, która nie wpływa na ceny światowe. Wytwarzane są dwa rodzaje dóbr: będące przedmiotem obrotu na rynkach światowych oraz dobra nie przeznaczone na rynek światowy. Stąd część dóbr jest eksportowana, a z drugiej strony część dóbr pochodzi z importu.

Konstrukcję modelu równowagi ogólnej (ang. General Equilibrium) rozpoczynamy od prezentacji równań odwzorowujących podstawowe zależności w naszej gospodarce. Głównymi zależnościami w każdym modelu równowagi ogólnej są warunki bilansu podaży i popytu na wszystkich rynkach dóbr i czynników produkcji. Podstawowym zadaniem na tym etapie budowy modelu jest klasyfikacja rodzajów działalności i produktów, składników produktu krajowego i elementów popytu końcowego oraz identyfikacja zależności określających podaż i popyt na każde dobro. Dobra i usługi są jednocześnie produktami sektorów produkcyjnych, jak i czynnikami produkcji, występującym w rachunku produktów jako zużycie pośrednie. Na produkcję krajową dóbr w cenach bazowych składa się zużycie pośrednie i wartość dodana brutto, której głównymi elementami są wynagrodzenia wraz z kosztami (składki na ubezpieczenia społeczne i inne obowiązkowe obciążenia), podatki netto od producentów i nadwyżka operacyjna brutto. Produkcja w cenach bazowych wraz z importem w wartości cif (koszty, ubezpieczenie, fracht -przewóz ładunków) daje podaż w cenach bazowych, a powiększona o cło, podatki importowe, akcyzę, podatek VAT zapłacony, dotacje do produktów i marżę handlową daje podaż w cenach nabywcy.

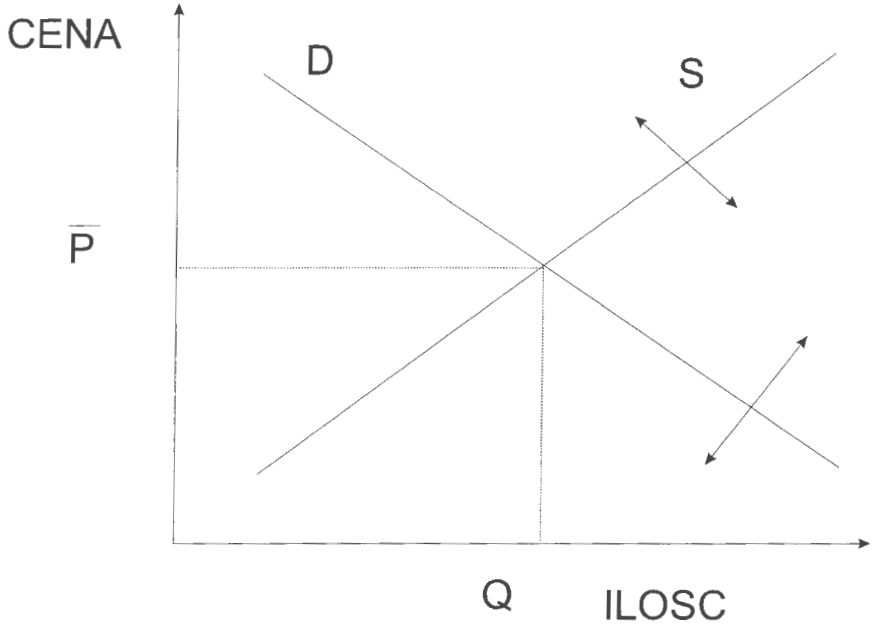
Zużycie pośrednie wraz z popytem końcowym składa się na popyt całkowity w cenach nabywcy. Głównymi składnikami popytu końcowego jest spożycie prywatne i zbiorowe, akumulacja brutto oraz eksport fob (free on board). Powyższa klasyfikacja składników podaży i popytu odpowiada strukturze macierzy przepływów międzygałęziowych. (por. GUS, 1998).

Istotnym założeniem w metodologii AGE (ang. Applied General Equilibrium-Stosowanej Równowagi Ogólnej) jest racjonalne zachowanie podmiotów gospodarujących, to jest (1) maksymalizacja zysku przez producentów oraz (2) maksymalizacja użyteczności przez konsumentów. Pozwala to na przedstawienie zachowania podmiotów gospodarujących w postaci zadań optymalizacyjnych, których rozwiązaniami są funkcje popytu (na czynniki

produkcji i dobra konsumpcyjne) i funkcje podaży. Podstawowymi rownaniami każdego modelu równowagi ogólnej są warunki oczyszczania się wszystkich rynków.

Najważniejszymi zmiennymi, które uwzględniają podmioty gospodarujące w swoich wyborach, są ceny, pełniące funkcję alokacyjną (informują o relatywnej rzadkości dóbr) i dystrybucyjną (określają wartość zasobów i wysokość dochodów podmiotów gospodarujących). W modelu AGE ceny są również zmiennymi równowagi. Dobra i usługi są jednocześnie produktami sektorów produkcyjnych, jak i czynnikami produkcyjnymi jako zużycie pośrednie. Na produkcję krajową składa się zużycie pośrednie i wartość dodana brutto, której głównym elementami są wynagrodzenia, podatki netto od producentów i nadwyżka operacyjna brutto.

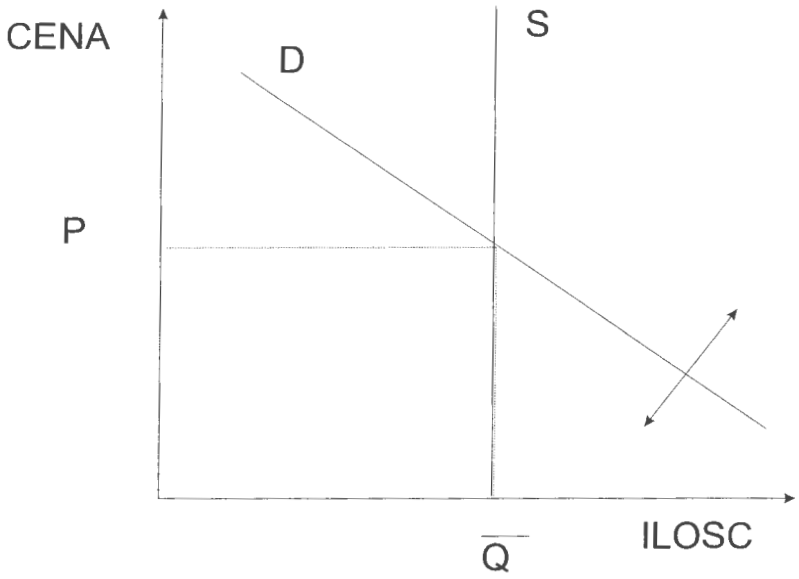
W modelu występują dwie grupy sektorów produkcyjnych. W pierwszym sektorze, będącym cenobiorcą, cena jest wielkością egzogeniczną (rysunek 1). Popyt przy tej cenie określa łączną produkcję branży równoważącą rynek. Sytuacja taka zachodzi dla dóbr finalnych. Krajowi producenci tych dóbr muszą sprzedawać po cenie światowej takie dobra, gdyż inaczej znikną z rynku. Przy drugim sposobie równoważenia rynku podaż jest określona przez możliwości wytwórcze danego sektora. Bilansowanie podaży i popytu określa cenę na rynku krajowym. Ten rodzaj dostosowania zachodzi na rynku czynników wytwórczych. Taki rynek cenotwórcy może zachodzić również w przypadku niektórych sektorów produkcyjnych. Jeżeli dane dobra nie mają substytutów na rynkach zagranicznych, to mogą być sprzedawane po cenach, które nie są ustalane zależne od cen światowych.



Rysunek1

Zachowanie się sektora –cenobiorcy ($P = \overline{P}$)

Jeżeli elastyczność cenowa eksportu jest wysoka, wówczas nawet nieznaczna zmiana ceny krajowej w stosunku do ceny zagranicznej może oznaczać znaczny spadek eksportu, albo znaczny wzrost udziału eksportu w sprzedaży sektora. Z drugiej strony sektor wytwarzający dobra nie będące przedmiotem obrotu na rynkach międzynarodowych lub dobra nie mające odpowiedników na rynkach zagranicznych, będzie odznaczał się niską cenową elastycznością eksportu i będzie cenotwórcą.



Rysunek 2

Zachowanie się sektora –cenotwórcy ($Q = \overline{Q}$)

Wyróżniamy sektory *T*, które wytwarzają dobra istniejące również na rynkach zagranicznych, nie różniące się od dóbr zagranicznych. Sektor ten nie ma wpływu na cenę światową i znaczna część jego produkcji jest eksportowana. Ponadto istnieje sektor *M* wytwarzający dobra różniące się od konkurencyjnych dóbr na rynkach światowych i będący dużym producentem w skali międzynarodowej, mającym wpływ na cenę światową. Ponadto stosunkowo mała część produkcji tego sektora jest eksportowana.

Istnieje ponadto sektor N wytwarzający dobra i usługi nie będące przedmiotem handlu międzynarodowego.

	Dobra i usługi
paliwa i energia „N"	paliwa stałe
	paliwa węglowodorowe
	elektryczność i ciepło
produkty energo-chłonne grupa „T"	metale żelazne
	metale nieżelazne
	produkty mineralne
	chemia podstawowa
pozostałe dobra i usługi „M"	pozostałe wyroby chemiczne
	produkty spożywcze
	odzież i obuwie
	wyroby z drewna i papieru
	maszyny i urządzenia
	pozostałe produkty przemysłowe
	produkty rolne
	usługi budowlane
	usługi transportowe
	pozostałe usługi rynkowe
	usługi publiczne

Tabela 1 sektory w modelu

3. Podstawowe równania w modelu równowagi ogólnej

Najważniejszym blokiem w modelu jest blok opisujący zachowania producentów maksymalizujacych zysk przy danych cenach. Równania są identyczne dla każdego z sektorów, ale wartości parametrów w równaniach dla poszczegolnych sektorów są różne. Podaż nośników energii przyjmuje się za egzogeniczną. Zakładamy, że wszyscy producenci należący do różnych sektorów maksymalizują zyski na konkurencyjnym rynku. W optimum zachodzi równość ceny produktu P i kosztu krańcowego MC. W przypadku niektórych sektorów, są one zmuszone efektywnie gospodarować, inaczej mówiąc minimalizować koszty. W technologii prdukcji stsosujemy dwie funkcje: CES i Leontiefa. W funkcji CES dopuszczamy stałą elastyczność substytucji, natomiast w Leontiefa proporcja między czynnikami produkcji jest stała. Odpowiadająca tej technologii funkcja kosztów ukazuje zależność między ceną czynników a ceną produktu. Funkcja kosztów będzie wyprowadzona w następnym rozdziale.

4. Opis minimalizacji kosztów czynników.

W produkcji konieczne jest zastosowanie odpowiedniej technologii. Przy opisie funkcji produkcji zastosowano stałą elastyczność substytucji nakładów, tak zwaną funkcję CES (ang. *Constant Elasticity of Substitution*), co oznacza, że przy zmianie relacji cen czynników o 1%, minimalizująca koszty proporcja nakładów zmienia się o σ %

Naszym celem jest minimalizacja sumy iloczynów dwóch czynników *j, k* oraz ich cen

$$\min \; w_j x_j + w_k x_k \tag{1}$$

przy warunkach ograniczających:

$$y = \left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\, x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \tag{2}$$

gdzie x_j *i* x_k są nakładami dwóch czynników *j i k*, *y* oznacza produkcję czynnika złożonego, δ_{jk} *i* σ_{jk} są parametrami technologicznymi. δ_{jk} oznacza elastyczność substytucji między czynnikami *j i k*, a δ_{jk} jest udziałem czynnika j w łącznym nakładzie obu czynników (przy parametrach opuszczono indeksy *j,k*).

Producent dąży do maksymalizacji zysku, przy stałych korzyściach skali wynagradza wszystkie czynniki produkcji według ich cen rynkowych, bez uwzględnienia zysku ekonomicznego. Koszty stają się wówczas proporcjonalne do wielkości produkcji, a cena produktu zrównuje się z przeciętnym kosztem produkcji. Znajdujemy obecnie rozwiązanie zadania minimalizacji. Tworzymy Lagrangian (3).

$$L(x_j, x_k, \lambda) = w_j x_j + w_k x_k + \lambda \left\{ \left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta) x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y \right\} \tag{3}$$

następnie obliczamy pochodne po czynnikach x_j oraz x_k i przyrównujemy je do zera (4)-(5).

$$\frac{\partial L}{\partial x_j} = w_j + \lambda\,\delta(\sigma-1)x_j^{\sigma-2}\frac{1}{\sigma}\left(\delta x_j^{\sigma-1}\right)^{-1+\frac{1}{s}}\frac{\sigma}{\sigma-1}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\} \tag{4}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_j} = w_j + \lambda\,\delta x_j^{\sigma-2}\left(\delta x_j^{\sigma-1}\right)^{-1+\frac{1}{s}}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_k} = w_k + \lambda(1-\delta)(\sigma-1)x_k^{\sigma-2}\frac{1}{\sigma}\left((1-\delta)x_j^{\sigma-1}\right)^{-1+\frac{1}{s}}\frac{\sigma}{\sigma-1}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\} \tag{6}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_k} = w_k + \lambda(1-\delta)x_k^{\sigma-2}\left((1-\delta)x_j^{\sigma-1}\right)^{-1+\frac{1}{s}}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\} = 0 \tag{7}$$

Przez podzielenie stronami równań (5)-(6) obliczamy iloraz wynagrodzeń obydwu czynników (8).

$$\frac{w_j}{w_k} = \frac{-\lambda\,\delta x_j^{\sigma-2}\left(\delta x_j^{\sigma-1}\right)^{-1+\frac{1}{s}}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\}}{-\lambda(1-\delta)x_k^{\sigma-2}\left((1-\delta)x_j^{\sigma-1}\right)^{-1+\frac{1}{s}}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\}} \tag{8}$$

$$\frac{w_j}{w_k} = \frac{\delta x_j^{\sigma-2}\delta^{\frac{1-s}{s}}x_j^{\frac{(s-1)(1-s)}{s}}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\}}{(1-\delta)x_k^{\sigma-2}(1-\delta)^{\frac{1-s}{s}}x_k^{\frac{(s-1)(1-s)}{s}}\left\{\left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + ((1-\delta)\,x_k^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - y\right\}} \tag{9}$$

$$\frac{w_j}{w_k} = \frac{\delta^{\frac{1}{s}} x_j^{\frac{1}{k}}}{(1-\delta)^{\frac{1}{s}} x_j^{\frac{1}{s}}} \tag{10}$$

$$x_k = \frac{(1-\delta)x_j}{\delta} \frac{w^s{}_j}{w_k^s} \tag{11}$$

Obliczmy nakład czynnika k i podstawiamy do warunków ograniczających, tj. Równania produkcji czynnika złożonego (2):

$$y = \left[(\delta x_j^{\sigma-1})^{\frac{1}{\sigma}} + \left((1-\delta) \frac{(1-\delta) x_j^{\sigma-1}}{\delta} \frac{w^{\sigma(\sigma-1)}{}_j}{w_k^{\sigma(\sigma-1)}} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \tag{12}$$

Po przekształceniu i uporządkowaniu (12) otrzymujemy (13):

$$y = \left(\delta w_k^{\sigma-1} + (1-\delta) w_j^{\sigma-1}\right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \frac{x_j}{\delta w_k^{\sigma}} \tag{13}$$

$$x_j = \frac{\delta w_k^{\sigma} y}{\left(\delta w_k^{\sigma-1} + (1-\delta) w_j^{\sigma-1}\right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}} \tag{14}$$

Podstawiamy równanie (13) do równania (14) i następnie wstawiamy do równania (11), a po przekształceniach otrzymujemy (15).

$$x_k = \frac{1-\delta}{\delta} \frac{w_j^{\sigma}}{w_k^{\sigma}} \frac{\delta w_k^{\sigma} y}{\left(\delta w_k^{\sigma-1} + (1-\delta) w_j^{\sigma-1}\right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}} \tag{15}$$

$$x_k = \frac{(1-\delta)\, w_j^{\sigma}\, y}{\left(\delta w_k^{\sigma-1} + (1-\delta)\, w_j^{\sigma-1}\right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}} \tag{16}$$

Obliczamy cenę czynników wytwórczych (17):

$$c(w_j, w_k, y) = w_j x_j + w_k x_k \tag{17}$$

$$c(w_j, w_k, y) = \frac{w_j \delta w_k^{\sigma}\, y + w_k (1-\delta)\, w_j^{\sigma}\, y}{\left(\delta w_k^{\sigma-1} + (1-\delta)\, w_j^{\sigma-1}\right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}} \tag{18}$$

Po dalszych przekształceniach otrzymujemy (19)

$$c(w_j, w_k, y) = \left(\delta w_k^{\sigma-1} + (1-\delta)\, w_j^{\sigma-1}\right)^{1-\frac{\sigma}{\sigma-1}} w_j w_k\, y \tag{19}$$

a następnie (20)

$$c(w_j, w_k, y) = \left(\delta w_j^{1-\sigma} + (1-\delta)\, w_{kj}^{1-\sigma}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}} y \tag{20}$$

co stanowi rozwiązanie zadania minimalizacji kosztów produkcji przy ograniczeniu technologicznym, gdzie w_j i w_k stanowią wynagrodzenie czynników j oraz k. CES jest ogólną formą funkcjonalną wykorzystaną do opisu wszystkich sektorów produkcyjnych. Dla poszczególnych sektorów różne są wartości parametru σ oraz parametry udziału δ. Wraz ze wzrostem ceny czynnika, producent zmienia proporcje w jakich używa poszczególnych czynników produkcji, inaczej mówiąc parametr δ. Zakładając racjonalne zachowanie się producentów w roku bazowym i normalizując ceny do jedności uzyskujemy dokładną wartość parametru δ. Współczynnik elastyczności substytucji σ jest miarą krzywizny izokwanty. Jego odwrotność pokazuje zmianę nachylenia tej krzywej, wynikającą ze zmiany stosunku cen

dwóch czynników. Parametr udziału uzyskujemy z macierzy I/O i określa on udziały czynników w produkcji danego dobra na początku produkcji. Przez założenie rzeczywistego stosunku zużycia czynników jako parametru w roku bazowym zakładamy ich optymalność w danym roku. Po normalizacji cen w roku bazowym do jedności kalibrujemy funkcję produkcji i zużycie czynników produkcji odniesione jest do cen względnych.

Funkcja CES dla elastyczności σ uwzględnia fakt, że cena jednego czynnika wpływa na popyt na obydwa czynniki. Nie pozwala jednak uwzględnić różnych elastyczności substytucji między czynnikami produkcji i ich agregatami. Powszechnie stosujemy dlatego zagnieżdżenie funkcji CES. Można przyjąć funkcję złożoną, w której dopuszczalna jest inna elastyczność substytucji między czynnikami kapitał-energia *K i E* a inna między czynnikami występującymi na różnym poziomie zagnieżdżeń. Zaczynając od dołu paliwa stałe i paliwa węglowodorowe wytwarzają złożony czynnik paliw kopalnych. Jego złożenie z elektrycznością i ciepłem daje agregat energii (rysunek 3). Na kolejnych etapach złożenia dodaje się kolejno kapitał i pracę, co daje czynnik złożony *KLE*, kapitał, praca oraz energia. Czynniki wchodzące w skład agregatu są złożone przy pomocy funkcji CES i zmiana ceny któregokolwiek z czynników spowoduje zmianę proporcji nakładów, tym większą im większa elastyczność substytucji między tymi czynnikami.

Na końcu dodano zużycie pośrednie czynników nieenergetycznych i usług, zakładając stałą proporcję nakładów między czynnikiem KLE i pozostałymi czynnikami. Opisuje je funkcja postaci (21)

$$y = \min \left\{ \frac{x_1}{a_1}, \ldots\ldots, \frac{x_m}{a_m} \right\} \tag{21}$$

Gdzie $a>0$, $i=1..m$ oznacza nakład czynnika l potrzebny do wytworzenia jednostki produktu, lub udział czynnika l w produkcji, zaś m jest liczbą czynników produkcji zużywanych w stałej proporcji.

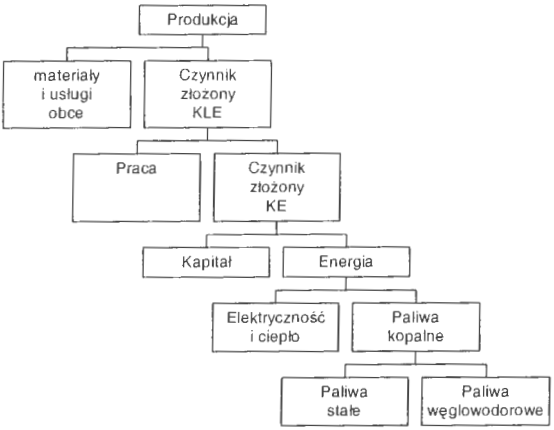
Minimalizacja kosztów implikuje użycie czynników w stałej proporcji (22)

$$\frac{x_1}{a_1} = \ldots\ldots = \frac{x_m}{a_m} \tag{22}$$

a to z kolei prowadzi do funkcji kosztów postaci (23)

$$c(w, y) = \left(\sum_{l=1}^{m} a_l w_l \right) y \tag{23}$$

Opisana funkcja Leontiefa względem czynnika KLE i materiałów prowadzi do tego, że zmiana czynnika produkcji nie wchodzącego w skład agregatu KLE nie powoduje zmiany zużycia tego czynnika w stosunku do innych czynników i bezpośrednio wpływa na koszty produkcji. Oprócz trzech czynników: pracy, kapitału i energii każdy sektor zużywa również produkcję własną i wszystkich pozostałych sektorów oraz dobra importowane. Proporcja nakładów dóbr pośrednich i czynnika złożonego jest stała i opisuje ją funkcja Leontiefa, Przyjmując parametry funkcji Leontiefa określamy minimalne nakłady wszystkich dóbr pośrednich i czynnika złożonego potrzebne do wytworzenia jednostki danego dobra. Parametry nakładów jednostkowych wyznaczamy na podstawie macierzy I/O dla roku bazowego.



Rysunek 3

Kolejność i sposób zagnieżdżeń w modelu poszczególnych zasobów i czynników. Materiały i KLE są złożone funkcją Leontiefa, pozostałe czynniki za pomocą funkcji CES.

W modelu CGE występują 2 typy konsumentów: rząd i gospodarstwa domowe. Konsumpcja zakupionych dóbr finalnych i usług dostarcznych przez krajowe sektory produkcyjne i import przynosi konsumentowi użyteczność, którą konsumenci maksymalizują przy ograniczeniu budżetowym. Wykorzystanie macierzy I/O implikuje potrzebę stałych proporcji dóbr pośrednich. W modelu wykorzystujemy dobra pośrednie a także funkcje popytu stanowiące rozwiązanie zadania maksymalizacji użyteczności Stone'a Gearyego (24).

$$u(x) = \prod_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}_i)^{b_i} \tag{24}$$

gdzie n oznacza liczb dóbr,
$x_i \geq \bar{x}_i$ oznacza konsumpcję i-tego dobra, zaś

bi ≥ 0, $\sum_{i=1}^{n} b_i = 1$, jest parametrem behawioralnym.

Funkcje popytu zwane są pod nazwą liniowego systemu wydatków (LES). Konsumpcja optymalna jest funkcją liniową dochodu do dyspozycji, cen i autonomicznej konsumpcji

każdego z dóbr (określaną jako minimalną konsumpcję). Nazwa LES pochodzi stąd, że popyt jest liniową kombinacją dochodu realnego, m/p_i, i cen względnych, p_j/p_i. Aby gospodarstwo domowe mogło nabyć koszyk $\bar{\mathbf{x}} = (\bar{x}_1, \ldots, \bar{x}_n)$, potrzebny do zaspokojenia potrzeb „fizjologicznych," musi dysponować dochodem wwysokości co najmniej $\Sigma_{i=1}^{n} p_i \bar{x}_i$. Nadwyżkę dochodu nominalnego powyżej wartości potrzebnej na zakup koszyka niezbędnego nazywa się dochodem wolnym; parametr behawioralny b_i oznacza zaś udział wydatków na i-te dobro w dochodzie wolnym.[1]

Wybór konsumentów jest ograniczony nie tylko przez wynagrodzenia z pracy, dochód z kapitału i podatki, które określają wysokość dochodu rozporządzalnego, ale również przez określone wydatki na konsumpcję wsystkich dóbr. Konsumpcja dóbr i usług krajowych oraz z importu przynosi konsumentowi użyteczność, którą konsumenci maksymalizują przy ograniczeniu budżetowym. W preferencjach Stone'a-Geary'ego zakładamy, że konsumpcja każdego dobra nie może być niższa od pewnego najniższego poziomu $\bar{x}_i$, niezbędnego do zaspokojenia potrzeb fizjologicznych gospodarstw domowych.

Konsumenci, w celu zaspokojenia potrzeb fizjologicznych, muszę konsumować określoną ilość dóbr w celu podtrzymania minimalnego poziomu egzystencji. Konsumpcję autonomiczną można wyznaczyć na podstawie macierzy I-O lub obserwacji historycznych. W roku bazowym wszystkie ceny normalizuje się do do jedności. Zakłada się, że 25% całej konsumpcji to wartość autonomiczna, reszta jest wynikiem wyboru. Konsumpcja autonomiczna rządowa jest wyższa niż gospodarstw domowych i wynosi 75%. Stała część konsumpcji może stanowić ograniczenie w przyszłości, jeżeli ceny wzrosną a dochody konsumentów nie zmienią się w wystarczającym stopniu. W równaniu (25) efekt zmiany dochodu określa parametr *B*-beta. Wzrost dodatkowego dochodu ponad wartość konsumpcji

[1] Funkcja popytu tego samego rodzaju opisuje również konsumpcję zbiorową - podstawową różnicą pomiędzy konsumpcją prywatną a zbiorową jest większa sztywność wydatków publicznych, którą reprezentuje relatywnie wyższa konsumpcja minimalna, $\bar{\mathbf{x}}$.

autonomicznej na skutek wzrostu dochodów konsumenckich lub spadku minimalnych kosztów utrzymania powoduje proporcjonalny wzrost konsumpcji każdego z dóbr. Ponieważ wzrost wydatków musi być równy wzrostowi dochodu, zatem suma wartości B musi być równa jedności. Wprowadzenie niezbędnych, minimalnych poziomów konsumpcji każdego dobra oznacza, że jeżeli dochody do dyspozycji są niskie, to udziały wydatków na konsumpcję autonomiczną w dochodzie netto będą wysokie. Racjonalne zachowanie gospodarstw domowych wymusza maksymalizację użyteczności przy ograniczeniu budżetowym, co przy założonych preferencjach daje funkcję popytu (25).

$$P_x D_{x,k} = P_x \overline{D}_{x,k} + \beta_x \left(IN_k - \sum_y P_y \overline{D}_{y,k} \right) \tag{25}$$

$$\overline{D}_{x,y,k} = c_k D_0 \tag{26}$$

gdzie:

$D_{x,k}$-popyt zgałaszany przez konsumenta k na dobro x,

$\overline{D}_{x,k}, D_{y,k}$ -popyt autonomiczny konsumenta k na dobro x oraz na dobro y,

P_x, P_y-ceny popytu na dobra x i y,

β_x-współczynnik wydatków krańcowych na dobro x z dochodu rozporządzalnego

$0 \le \beta_x \le 1, \sum_x \beta_x = 1$

$c_{HH}=0.25$ –założona konsumpcja autonomiczna jako część spożycia gospodarstw domowych roku bazowym

$c_{gov}=0.75$ założona konsumpcja autonomiczna jako część popytu rządu w roku bazowym,

IN_k- dochody netto konsumenta k ($IN \ge P_y \overline{D}_y$)

Poziom konsumpcji autonomicznej został wyznaczony z macierzy input-output (ceny znormalizowane do 1. Ponadto z macierzy wyznacza się również współczynniki wydatków β_x

$$\beta = \frac{D_0}{IN_{0,k}} \; i \; \overline{D}_{x,k},$$

Parametry wyznacza się z macierzy I/O. Z rownań liniowego systemu wydatków (LES) można wyznaczyć krajowy popyt finalny na poszczegolne dobra, przy danych cenach i dochodzie. Popyt na energię z bloku konsumpcji podnosi popyt na energetyczne czynniki produkcji, które wywierają presję na środowisko. Pośredni wpływ na emisję zanieczyszczeń odbywa się przez popy na produkty różnych sektorów.

5. Sektor handlu zagranicznego w modelu CGE

Gospodarka krajowa nie wpływa na ceny rynku światowego, które są egzogeniczne. Kolejnymi istotnymi składnikami popytu i podaży w modelu AGE są odpowiednio, eksport i import. Model CGE opisuje gospodarkę w kategoriach ilościowych i nie zostawia miejsca na podejście pieniężne. Ponadto model opisuje gospodarki małe w porównaniu z gospodarką światową. Oznacza to, ze jest możliwy import dowolnej ilości dóbr po cenach światowych. Statystyka handlu zagranicznego ukazuje często jednoczesny import i eksport tego samego dobra. Taka wymiana wewnątrzgałęziowa jest sprzeczna z neoklasyczną teorią handlu zagranicznego Heckschera-Ohlina, która przewiduje specjalizację poszczególnych krajów w produkcji różnych dóbr będących przedmiotem wymiany międzynarodowej. W modelach AGE zjawisko wymiany wewnątrzgałęziowej opisuje się przez uwzględnia przyjęcie tzw. założenia Armingtona [1969], zakładającej niedoskonałą substytucję dóbr produkcji krajowej i zagranicznych, co wyklucza całkowitą specjalizację któregokolwiek kraju. W modelu założenie to wyraża funkcja eksportu (stanowiącego popyt importowy "reszty świata") postaci (27):

$$Z_j = \overline{Z}_j \left(\frac{P_j}{P_j^W} \right)^{\varepsilon_j} e^{w_j t} \tag{27}$$

Z_j-eksport sektora j;

$\overline{Z}_j$ -dany eksport sektora j w roku bazowym;

P_j -cena produktu sektora j na rynku krajowym;

$\overline{P}_j$ -cena światowa produktu sektora j;

w_j- egzogeniczna stopa wzrostu eksportu sektora j w czasie

ε -elastyczność cenowa eksportu dobr produkowanych przez sektor j;

e- podstawa logarytmu naturalnego;.

Elastyczność cenowa eksportu określa poziom ceny oraz odchylenie ceny krajowej od cen światowych, im większy ε, tym większy spadek eksportu przy nadwyżce ceny krajowej nad ceną światową.

Zakładamy, że eksport sektorów może być ustalony na podstawie tablic I/O. Eksport całkowity jest sumą eksportu wszystkich sektorów, w tym sektorów energetycznych (28)

$$Z = \sum_j Z_j + \sum_{EN} \overline{Z}_{EN} \tag{28}$$

$\overline{Z}_{EN}$ -ustalony eksport sektorów energetycznych

Zapotrzebowanie na dobra importowane zgłaszają gospodarstwa domowe, rząd oraz sektory produkcyjne i energetyczne. Popyt gospodarstw domowych umieszczony jest w bloku konsumpcji. Konsument wydaje swoje dochody zarówno na dobra krajowe, jak i na importowane. Popyt sektorów na dobra importowane zależy liniowo od poziomu produkcji przy stałych współczynnikach Leontiefa nakładów jednostkowych. Całkowity import składa się z części autonomicznej i zależnej od innych zmiennych ekonomicznych (29).

$$M = \overline{M} + \sum_i m_i X_i + D_{M,k} \tag{29}$$

M -import ogółem,

$\overline{M}$ -import egzogeniczny,

X_i - poziom produkcji sektora i

$D_{M,k}$ -popyt konsumentów na dobra importowane

m_i - współczynnik jednostkowych nakładów importowanych sektora i

Współczynnik importu jednostkowego skalibrownano zgodnie z definicją $m_i = M_{0i}/X_{0i}$. Konsumenci w modelu mają ograniczone możliwości susbstytucji między dobrami, bowiem występuje jedynie agregat importu. Nie zawsze mogliby zastąpić droższe towary krajowe tańszymi importowanymi. Saldo bilansu handlowego nakazuje przedsiębiorstwom przyjęcie cen rynku światowego.

$$Z - IM = TB \tag{30}$$

$$TB = TB_0 (1 + g_{TB}) \tag{31}$$

TB -saldo bilansu handlowego

TB_0 - saldo bilansu handlowego w okresie bazowym, t=0 (z macierzy I/O),

g_{TB} -egzogeniczna stopa zmiany bilansu handlowego.

W sytuacji, gdy sektor ustala cenę na rynku krajowym wyższą od światowej, to eksport spada o wielkość daną przez elastyczność cenową eksportu, co powoduje z kolei spadek importu zgodnie z równaniem określającym bilans handlu zagranicznego. Na skutek spadku importu maleją też możliwości produkcyjne sektora, spadają ogólne nakłady dóbr importowanych i maleją korzystne efekty podnoszenia cen dóbr krajowych. Zatem elastyczności eksportu sektorów określaja sposób wyznaczenia cen produktów w poszczególnych sektorach

Bilans handlowy nakłada ograniczenie na zachowanie się producentów.

6. Sektor ekologiczny w modelu

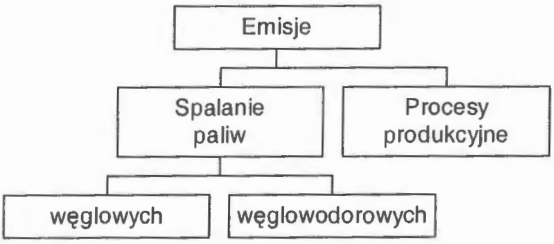
Odwzorowanie polityki ekologicznej w modelu odbywa się przez system zbywalnych pozwoleń emisyjnych. Punktem wyjścia do analizy różnych narzędzi polityki ekologicznej jest poziom emisji zanieczyszczeń dwutlenku węgla, dwutlenku siarki i tlenków azotu. Poziom emisji wyznaczany jest oddzielnie dla każdego sektora produkcyjnego, sektora gospodarstw domowych i całej gospodarki

$$EM_{em} = EMS_{em} + EMH_{em} \tag{32}$$

EM_{em} -całkowita emisja zanieczyszczenia EM (np. dwutlenku węgla)

EMS_{em} -emisja całkowita zanieczyszczeń EM przez sektory produkcyjne

EMH_{em} emisja całkowita zanieczyszczeń EM przez konsumentów



Rysunek 4

Źródła powstawania emisji zanieczyszczeń w przemyśle

Emisję zanieczyszczeń można podzielić w zależności od źródeł jej powstawania. Są to emisje wynikajace ze spalania paliw stałych, spalanie paliw węglowodorowych kopalnych na potrzeby produkcyjne oraz sam proces produkcyjny (emisje procesowe). Na podstawie dostępnych danych statystycznych (GUS, 2005a; KCIE, 2005) i z macierzy input-output

można oszacować współczynniki emisji ze spalania paliw kopalnych oraz emisji procesowych dla każdego sektora wyróżnionego w modelu. Wielkość emisji procesowej zależy tylko od poziomu produkcji, natomiast emisji ze spalania od proporcji zużycia paliw kopalnych w agregacie czynnika produkcji. Emisję ze spalania oblicza się wykorzystując współczynnik emisji ze spalania jednostki paliwa oraz zużycie paliwa. Pozostała emisję przypisujemy samemu procesowi produkcji i dzieląc ją przez wiekość produkcji uzyskujemy współczynnik emisji procesowej. Emisja procesowa nie występuje w sektorach energetycznych.

$$EM_{em} = EMC_{em} + EMP_{em} \tag{33}$$

EM_{em} -emisja całkowita zanieczyszczeń *em*,

EMC_{em} -emisja całkowita zanieczyszczeń *em* ze spalania paliw

EMP_{em} całkowita emisja procesowa zanieczyszczenia em

Równanie emisji ze spalania paliw można przedstawić *wzorem* (34)

$$EMC_{em} = \sum_{j} \left(FT_j \, FEMS_{em,j} + CT_j CEMS_{em,j} \right) \tag{34}$$

FT_j -zużycie paliw węglowodorowych w sektorze *j*,

$FEMS_{em,j}$ -współczynnik emisji zanieczyszczeń *em* ze spalania paliw węglowodorowych w sekorze j

CT_j-zużycie węgla w sektorze j;

$CEMS_{em,j}$ -współczynnik emisji zanieczyszczenia *em* ze spalania węgla w sektorze j.

Emisja procesowa, co pokazuje następne równanie zależy od poziomu produkcji danego sektora i charakterystycznego dla sektora współczynnika emisji

$$EMP_{em} = \sum_{j} \left(X_j \, PEMS_{em,j} \right) \tag{35}$$

gdzie

X_j -poziom produkcji sektora j,

$PEMS_{em,j}$ -współczynnik emisji procesowej zanieczyszczenia em przez sektor j

Konsumenci, gospodarstwa domowe i agendy rządowe, enitują zanieczyszczenia na skutek spalania węgla i paliw węglowodorowych (samochody). Emisję przez konsumentów zdefiniowano jako

$$EMH_{em} = \sum_k \left(D_{F,k} \, FEMH_{em,j} + D_{C,k} CEMH_{em} \right) \qquad (36)$$

$D_{F,k}$ - zużycie paliw węglowodorowych przez konsumentów,

$FEMH_{em}$ -współczynnik emisji zanieczyszczenia em ze spalania paliw węglowodorowych przez konsumentów

$D_{C,k}$ - zużycie paliw węgla przez konsumentów,

$CEMH_{em}$ -współczynnik emisji zanieczyszczenia em ze spalania węgla przez konsumentów

Znając poziom emisji, rząd może wprowadzić pewne ograniczenia. Sektory mogą podjąć następujące działania: zainstalować urządzenia zmniejszające emisję, obniżać produkcję lub stosować kombinację nakładów czynników powodujacych mniejszą emisję zanieczyszczeń. Jednym ze sposobów ograniczenia emisji jest wprowadzenie rynku pozwoleń na emisję. Rząd wydaje całkowitą ilość pozwoleń równą ustalonemu przez rząd limitowi emisji. Przedsiębiorstwa są zmuszone do redukcji zanieczyszczeń lub odkupienia dodatkowych pozwoleń od innych podmiotów. Koszt krańcowy redukcji zanieczyszczeń zależy od kosztu kapitału, to jest urządzeń stosowanych do redukcji zanieczyszczeń

$$MAC_{em,j} = PK \;\; ABAT_{em,j} \qquad (37)$$

gdzie

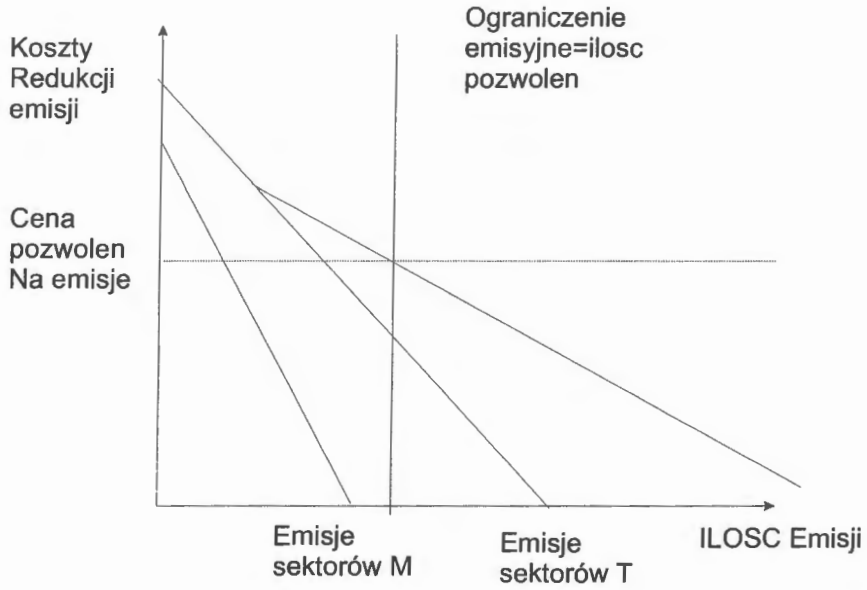
PK-cena kapitału w usuwaniu zanieczyszczeń,

$ABAT_{em,j}$ -współczynnik redukcji emisji w sektorze j równy krańcowej inwestycji w tym sektorze potrzebnej od ograniczenia emisji em o jednostkę.

Punkty w których krzywe MAC przecinają oś całkowitej emisji wyznaczają łączną emisję zanieczyszczeń przy produkcji wyznaczonej przez model CGE. Ilości emisji wynikają z maksymalizacji zysków przedsiębiorstw oraz maksymalizacji użyteczności przez konsumentów w warunkach braku ograniczeń emisyjnych. Przedsiębiorstwa w wyniku nałożenia limitów emisyjnych nie zmienią optymalnej wielkości produkcji, a raczej kupią pozwolenia lub zmniejszą emisję.

Suma kosztów ograniczenia emisji przez sektory daje koszty osiągnięcia wyznaczonych limitów emisyjnych przez gospodarkę, co odpowiada całkowitemu popytowi na pozwolenia emisyjne (D_{pozw}). Równowaga popytu na te pozwolenia i ich podaży wyznacza jednolitą cenę jednostkową pozwoleń –PEM (rysunek 4).

Każdy sektor wobec tego dokonuje wyboru między zakupem pozwoleń po cenie *PEM*, a redukcją emisji. Każdy sektor porusza się do punktu równowagi po krzywej krańcowego kosztu redukcji emisji, czyli redukuje emisję, aż do miejsca w którym koszt redukcji zrówna się z ceną pozwoleń emisyjnych. Opłaca mu się takie działanie, gdyż w przeciwnym razie musiałby zapłacić drożej za pozwolenia emisyjne. Każde ograniczenie limitu prowadzi do wyznaczania nowej równowagi przez zmianę ceny zezwoleń PEM i skali redukcji *CLEAN*.



Rysunek 4

Zachowanie sie podmiotów wmitujących zanieczyszczenia. Sektory zmuszone są redukować emisję do momentu, gdy nastąpi zrównanie krańcowego kosztu redukcji z ceną pozwoleń na emisję

Początkowo producenci nie byli ograniczani, co do poziomu emisji a cena pozwoleń była zerowa. W nowej sytuacji firmy przystosowują się do redukcigraniczenia przez redukcję emisji lub nabycie pozwoleń, każde ograniczenie powoduje nową równowagę: przez zmianę pozwoleń emisyjnych i skali redukcji emisji. Limit nie będący ograniczeniem dla gospodarki oznacza zerową cenę pozwolenia na emisję.

$$PEM_{em}\,(EM_{em} - CLEAN_{em} - EMLIM_{em}) = 0 \qquad (38)$$

W sektorach produkcyjnych równaniu (38) odpowiada równanie (39)

$$CLEAnSEC_{em,j}\,(PEM_{em} - PK\ ABAT_{em,j}) = 0 \qquad (39)$$

Jeżeli sektor redukuje emisję zanieczyszczeń aż do zrównania krańcowego kosztu ograniczenia emisji i ceny pozwoleń emisyjnych.

Założono istnienie centralnego rynku pozwoleń emisyjnych Ilość pozwoleń, jakie otrzymują sektory z góry wyznacza zobowiązanie danego sektora do redukcji emisji. Przy tym dany sektor może to zrealizować zobowiązanie przez redukcję, albo zakup pozwoleń na emisję. Gdy nastąpi zrównanie się krańcowych kosztów ograniczenia emisji pomiędzy sektorami na skutek różnej wielkości redukcji emisji przez sektory charakteryzujący się początkowo różnymi kosztami, to wystąpi równowaga Pareto. Jeżeli ograniczenie własnej emisji nie pozwala osiągnąć limitu wyznaczonego przez początkową alokację pozwoleń, to przedsiębiorstwo zakupi pozwolenia, od sektora, który jest w stanie zredukować więcej emisji niż własne zobowiązanie i nadwyżkę może odsprzedać

Restrykcyjne ceny pozwoleń doprowadzą do ceny pozwoleń większej od zera. Konieczność nabywania pozwoleń na emisję prowadzi do wyższej ceny paliw kopalnych. Maksymalizujący zysk przedsiębiorcy zaczną zastępować droższe paliwo innymi czynnikami produkcji, w zakresie możliwym przez daną funkcję produkcji. Skutkiem dodatniej ceny PEM będzie czystszy czynnik złożony wykorzystywany jako nakład w procesie produkcyjnym, co zmniejsza potrzebę redukcji produkcji. Krzywe kosztów redukcyjnych przesuwają się w lewo, co zmniejsza ograniczenie narzucone przez limity emisji.

Dane wejściowe stanowią wielkości emisji w początkowym okresie i koszty ograniczenia emisji. Dodatnia cena pozwoleń emisyjnych PEM i wielkość redukcji jest następstwem założonego restrykcyjnego limitu emisji. Cena pozwoleń będzie zawsze równa krańcowemu kosztowi redukcji w skali całej gospodarki i dla poszczególnych sektorów.

Analogicznie konsumenci przy wzroście cen węgla i paliw będą je w pewnym stopniu zastępować tańszymi dobrami konsumpcyjnymi. To z kolei wpływa na poluźnienie limitów emisyjnych obowiązujących dla producentów

Blok środowiskowy jest powiązany z blokiem handlu zagranicznego. Limit emisyjny bedzie bardziej dotkliwy dla sektorów konkurujących na rynkach zgranicznych, niż dla sektorów

posiadających pewien potencjał rynkowy.Konsumenci i producenci spotykają się na rynku dóbr finalnych i tam zostają ustalone ceny produktów. Na rynku pracy ustala się płaca wpływająca na dochody do dyspozycji.

Ceny pozwoleń na emisje wiążą ze sobą bloki konsumpcji i środowiskowy. Gospodarstwa domowe przez konsumpcję paliw zwiększaję emisję, a tym samym cen pozwoleń emisyjnych. Ceny paliw zanieczyszczających środowisko będą rosnąć dla konsumentów zgodnie z formułą (38).

$$P_{c,x} = P_{m,x} + \sum_{EM} PEM_{EM}\ xEMH \tag{40}$$

c-indeks oznaczający cenę popytu (płaconą przez konsumenta) dobra x,

m-indeks oznaczający cenę podaży (otrzymywaną przez producenta) dobra x,

$x \in \{C, E\}$-paliwo

$EM \in \{SO_2, CO_2, NO_x\}$-emisja poszczególnych rodzajów

Objęcie wyróżnionych źródeł systemem handlu emisjami zwiększa koszty użycia paliw kopalnych oraz ceny dóbr, których produkcji towarzyszy emisja procesowa – proporcjonalnie do wartości współczynników emisji jednostkowej i ceny uprawnień emisyjnych, które trzeba przedstawić odpowiednim władzom na koniec okresu rozliczeniowego. W naszej symulacji nie będzie obrotu uprawnieniami emisyjnymi między polskimi i zagranicznymi źródłami, co pozwoli na wyznaczenie ceny uprawnień równoważącej rynek. Dla pozostałych źródeł emisji można wyznaczyć stawkę podatku węglowego (*carbon tax*), przy którym spełniony będzie także krajowy limit emisyjny. Zróżnicowanie tych wielkości świadczyłoby o nieefektywności dualnego systemu ograniczania emisji CO_2. Następnie symulacja przy zachowaniu jedynie całkowitego limitu emisyjnego i jednolitej ceny emisji pozwoliłaby na porównanie optymalnej wielkości emisji z poszczególnych źródeł z emisjami w systemie dualnym oraz na wyznaczenie ilości uprawnień emisyjnych, które rząd mógłby sprzedać na rynku.

7.Podatki konsumenta

Zakłdamy, że VAT ma być płacony jedynie przez odbiorców dóbr i usług, natomiast nie wplywa na decje producentów. Dochody do dyspozycji gospodarstw domowych są równe całkowitej konsumpcji oraz kwocie zapłaconego podatku CONHH+VAT.Ceny w rownaniach LES muszą się różnić konsumentów i sektora rządowego

$$\begin{aligned} P_{x,hh} &= P_{x,m}(1+\alpha_x)(1+stawkaVAT) \\ P_{x,gov} &= P_{x,m}(1+\alpha_x) \end{aligned} \tag{41}$$

W równaniach tych m oznacza czenę rynkową, zaś α_x procentową stawkę dotacji (ujemna) lub stawkę podatku ekologicznego(np PEM) do rynkowej ceny produktu

Ostatecznie udziały wydatków w systemie LES (β) zostają zróżnicowane w zależności od typu konsumenta.

Praca jest istotnym czynnikiem produkcji w modelu CGE. Wyróżniamy pracę wysoko i niskonakładową Zzakłada się, że rynek pracy niskowykwalifikowanej jest typu cenobiorcy, natomiast wysokowykwalifikowanej należy do typu cenotwórcy.. Koszty pracy składają sie z płacy netto, podatków od wynagrodzeń i składek od ubezpieczeń.

Model wyznacza ilość bezrobotnych, udziały nisko i wysokowykwalifikowanej pracy w popycie na siłę roboczą, wynagrodzenia i różnice między nisko a wysokowykwalifikowanymi pracownikami,

Wprowadzono parametr γ., przedstawiający procentowy udział narzutów na koszty pracy w ogolnych kosztach pracy. Istnieje możliwość różnicowania parametru między sektorami. Struktura modelu wyklucza efekty substytucyjne między różnymi rodzajami pracy na skutek znian w stawkach podatkowych, Opodatkowanie wynagrodzeń następuje po wyznaczeniu popytu na pracę, a zmiana stawek nie będzie stymulowala producentów do substytucji między czynnikami produkcji.