

69/2002

**Raport Badawczy**

**RB/63/2002**

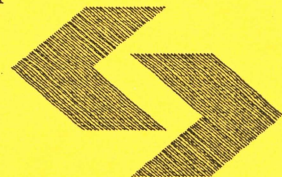
**Research Report**

**Modele handlu emisjami  
uwzględniające różnorodną  
koncentrację zanieczyszczeń**

**J. Horabik**

**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 2002

Joanna Horabik

Pracownia Modelowania Komputerowego

## **Modele handlu emisjami uwzględniające różnorodną koncentrację zanieczyszczeń**

- I. Handel emisjami - ogólne wiadomości
- II. Matematyczny model handlu emisjami
  - 1. Wprowadzenie
  - 2. Funkcja kosztu redukcji emisji
  - 3. Wektor efektywnej emisji
  - 4. Konstrukcja rynku pozwoleń
- III. Rynek pozwoleń na koncentrację emisji a rynek pozwoleń na emisję – podsumowanie

## I. Handel emisjami - ogólne wiadomości

Zbywalne prawa do emisji zanieczyszczeń (*tradeable pollution permits*) stanowią nowy typ instrumentu polityki ekologicznej. Ich celem jest ograniczenie zanieczyszczeń środowiska naturalnego przy możliwie najniższych kosztach (tzn. w sposób efektywny).

System zbywalnych pozwoleń na emisję zanieczyszczeń kreuje nowy „typ” prawa własności – jest to pozwolenie na legalną emisję zanieczyszczeń (Field, 1994, str. 248). Każda jednostka pozwolenia upoważnia jej właściciela do emisji określonej ilości (np. tony) konkretnego rodzaju substancji zanieczyszczającej (np. CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) w danym okresie czasu (np. rok). Posiadacz 100 jednostek pozwoleń na emisję CO<sub>2</sub> może wyemitować w wyznaczonym czasie co najwyżej 100 jednostek danego związku. Stąd całkowita ilość pozwoleń (posiadana przez „wszystkie” źródła emisji) wyznacza górny limit emisji. Pozwolenia są zbywalne, tzn. mogą być przedmiotem transakcji kupna i sprzedaży. Zakres przestrzenny, w ramach którego można kupować i sprzedawać uprawnienia określany jest jako „strefa obrotu” (*trading zone*) (Łyszczak, 1995, str. 43).

Górny pułap dopuszczalnej emisji ustalany jest na mocy centralnej decyzji. Odpowiednie władze wykonawcze odpowiedzialne za realizację polityki ekologicznej państwa określają maksymalną ilość pozwoleń, jaka może być wprowadzona na rynek. Następnie rozdzielają (alokują) dopuszczalną emisję między poszczególne źródła. Istnieje kilka możliwych reguł pierwotnej alokacji. Nie ma jednak dotąd powszechnie uznanej metody wyboru jednej z nich, efektywnej i sprawiedliwej.

Generalne założenie polega na tym, aby całkowita ilość pozwoleń wprowadzanych do obiegu była mniejsza od obecnej łącznej emisji wszystkich przedsiębiorstw. Tym samym część lub wszystkie przedsiębiorstwa nie uzyskają wystarczającej liczby pozwoleń, by utrzymać dotychczasowy poziom emisji zanieczyszczeń. W tym momencie rozpocznie się działanie praw rynku.

Ze względu na niejednorodność rozprzestrzeniania się wielu związków w atmosferze należy rozróżnić pojęcia „emisja” oraz „koncentracja” zanieczyszczeń. Poziom koncentracji zanieczyszczeń zależy nie tylko od wielkości emisji, ale także od lokalizacji źródeł emisji. Standardy jakości środowiska mogą określać wymogi dotyczące koncentracji zanieczyszczeń w określonych punktach lub dotyczące łącznej emisji w wybranym obszarze.

## II. Matematyczny model handlu emisjami

### 1. Wprowadzenie

Podstawową pracą dotyczącą handlu emisjami jest artykuł Montgomery'ego (1972). Treść niniejszego rozdziału została oparta na modelu zawartym w tym artykule. Problem efektywnej alokacji pozwoleń został zdefiniowany następująco – celem jest osiągnięcie określonej jakości stanu środowiska przy najniższym koszcie wykorzystując do tego mechanizmy rynkowe.

W rozpatrywanym obszarze działa  $m$  emitentów, każdy z nich jest w stanie kontrolować poziom emisji w swoim przedsiębiorstwie. Oznaczmy następujące wielkości:

$E = (e_1, e_2, \dots, e_m)$  – wektor emisji;

$e_i$  – wielkość emisji pochodząca ze źródła  $i$  (zakładamy, że jeden emitent posiada jedno źródło emisji).

Każda jednostka emisji pochodząca od emitenta  $i$  ma wpływ na jakość środowiska w każdym z  $n$  punktów pomiaru stężenia substancji (receptorów), i tak:

$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  – wektor charakteryzujący stan środowiska w każdym z  $n$  receptorów;

$q_j$  - poziom koncentracji danej substancji w punkcie pomiaru  $j$ .

Analiza może dotyczyć powietrza atmosferycznego, stanu wód lub innych komponentów środowiska naturalnego. Elementy wektora  $Q$  reprezentują określone wskaźniki, np. stężen szkodliwych substancji.

Zakładamy, że związek pomiędzy wektorem emisji  $E$  a wektorem  $Q$  jest znany i jest to relacja liniowa<sup>1</sup>. Niech  $H$  będzie macierzą o wymiarach  $(m \times n)$ , taką, że  $EH = Q$ . Element  $h_{ij}$  oznacza wpływ, jaki ma jednostka emisji ze źródła  $i$  na jakość środowiska w punkcie  $j$ .

$Q^* = (q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$  – nieprzekraczalny poziom koncentracji danej substancji w  $n$  punktach pomiarowych, wyznaczony odgórnie przez odpowiednie władze.

Problem polega na tym, aby nie przekroczyć poziomu koncentracji  $Q^*$  przy minimalnym łącznym koszcie. Należy znaleźć taki wektor emisji  $E = (e_1, e_2, \dots, e_m)$ , by założone standardy  $Q^*$  były spełnione w każdym z  $n$  receptorów w regionie przy łącznym minimalnym koszcie dla emitentów. Zatem warunek ograniczający emisję jest następujący:

$$EH \leq Q^*,$$

przy czym nierówność dla wektorów jest rozumiana jako zbiór nierówności dla odpowiednich elementów  $eh_j \leq q_j^*$ , dla każdego  $j = 1, \dots, n$ .

<sup>1</sup> Problem zależności nieliniowej omawiany jest w pracy Żylicz (1994).

W niniejszej pracy wektor  $Q$  dotyczy koncentracji tylko jednej substancji zanieczyszczającej w różnych punktach obszaru. Problem można rozszerzyć do kilku substancji i ująć analogicznie pod warunkiem, że pożądane normy dla kilku substancji są ustalane niezależnie od siebie.

## 2. Funkcja kosztów redukcji emisji

Rozważmy emitenta  $i$  produkującego asortyment  $R$  wyrobów. Niech funkcja

$$C_i(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iR}, e_i)$$

będzie funkcją kosztów ponoszonych przy produkcji wyrobów ( $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iR}$ ) i związanej z tym emisji  $e_i$ . Jest to koszt ponoszony przy optymalnym dostosowaniu nakładów do zysków pochodzących ze sprzedaży wyrobów. Pod pojęciem kosztu rozumiane są łącznie koszty zmienne oraz stałe. Formuła zysku emitenta  $i$  ma postać:

$$\pi_i = \sum_r o_r y_{ir} - C_i(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iR}, e_i)$$

gdzie  $o_r$  – cena wyrobu  $r$ . Zakładamy, że funkcja  $C_i$  jest wypukła i dwukrotnie różniczkowalna. Zdefiniujmy wektor produkcji i emisji optymalnej dla przedsiębiorstwa

$$(\bar{y}_{i1}, \bar{y}_{i2}, \dots, \bar{y}_{iR}, \bar{e}_i)$$

$$\sum_r o_r \bar{y}_{ir} - C_i(\bar{y}_{i1}, \bar{y}_{i2}, \dots, \bar{y}_{iR}, \bar{e}_i) = \max_{y_{ir}, e_i} \left[ \sum_r o_r y_{ir} - C_i(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iR}, e_i) \right].$$

Następnie założmy, że przedsiębiorstwo jest zmuszone przyjąć narzucony poziom emisji  $e_i$  i tak dostosować produkcję, by maksymalizować zysk dla ustalonego poziomu emisji. Zatem zdefiniujmy kolejny wektor  $(\tilde{y}_{i1}, \tilde{y}_{i2}, \dots, \tilde{y}_{iR}, e_i)$ :

$$\sum_r o_r \tilde{y}_{ir} - C_i(\tilde{y}_{i1}, \tilde{y}_{i2}, \dots, \tilde{y}_{iR}, e_i) = \max_{y_{ir}} \left[ \sum_r o_r y_{ir} - C_i(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iR}, e_i) \right].$$

Koszt przyjęcia ograniczeń na emisję  $F_i(e_i)$  jest to różnica między maksymalnym nieograniczonym w żaden sposób zyskiem a maksymalnym zyskiem osiąganym przy zadanym poziomie emisji równej  $e_i$ :

$$F_i(e_i) = \sum_r o_r (\bar{y}_{ir} - \tilde{y}_{ir}) - [C_i(\bar{y}_{i1}, \bar{y}_{i2}, \dots, \bar{y}_{iR}, \bar{e}_i) - C_i(\tilde{y}_{i1}, \tilde{y}_{i2}, \dots, \tilde{y}_{iR}, e_i)]$$

Powyższy koszt składa się z dwóch części: różnicy w dochodzie brutto oraz różnicy w ponoszonych kosztach wynikającej z ustalenia emisji na „nieoptymalnym” poziomie. W pracy Montgomery’ego udowodniono, że z założenia o wypukłości funkcji  $C_i$  wynika wypukłość funkcji  $F_i(e_i)$ .

### 3. Wektor efektywnej emisji

Raz jeszcze sformułujmy bezpośredni cel wprowadzenia handlu emisjami – należy znaleźć taki wektor emisji, który pozwoli na osiągnięcie stanu środowiska charakteryzowanego przez wektor  $Q^*$  przy najniższym możliwym koszcie dla wszystkich emitentów. Najniższy koszt możemy teraz sprecyzować jako minimum sumy  $\sum_i F_i(e_i)$ . A zatem należy znaleźć wektor  $E = (e_1, e_2, \dots, e_m)$ , który zminimalizuje  $\sum_i F_i(e_i)$  przy ograniczeniach:

$$EH \leq Q^* \text{ oraz } E \geq 0$$

gdzie  $Q^* \geq 0$ ,  $h_{ij} \geq 0$  dla każdego  $i, j$ . Do rozwiązania przedstawionego problemu wykorzystuje się funkcjonal Lagrange'a o postaci:

$$L(e_i, \lambda) = -\sum_i F_i(e_i) + \lambda [Q^* - EH].$$

Opieramy się na założeniu, że funkcja  $C_i$  jest wypukła, z tego wynika wypukłość funkcji  $F_i(e_i)$  a także sumy  $\sum_i F_i(e_i)$ . Przy założeniu ciągłości i wypukłości funkcji  $\sum_i F_i(e_i)$  oraz zakładając domkniętość obszaru ograniczonego nierównościami można jednoznacznie wyznaczyć rozwiązanie równania wykorzystując warunki Kuhna-Tuckera.

### 4. Konstrukcja rynku pozwoleń

Ze względu na potencjalne problemy w zdobyciu informacji na temat funkcji kosztów ponoszonych przy ograniczaniu emisji przez każdego z emitentów  $F_i(e_i)$ , Montgomery wprowadza podejście rynkowe - zdecentralizowany system alokacji pozwoleń na emisję zanieczyszczeń. Jednostka pozwolenia upoważnia właściciela do emisji określonej jednostki zanieczyszczenia.

Wprowadzimy funkcję  $\Lambda$  określającą prawo do emisji zanieczyszczenia w zależności od posiadanej ilości pozwoleń oraz odpowiadającej przedsiębiorstwu macierzy  $H_i$ :

$$\Lambda(H_i, L_i)$$

gdzie:  $H_i$  –  $i$ -ty rząd macierzy  $H$  (odpowiadający emitentowi  $i$ )

$L_i$  – portfel pozwoleń („portfolio”) przedsiębiorstwa  $i$ .

Portfel pozwoleń zawiera  $K$  różnych rodzajów pozwoleń, każdego z nich w ilości  $l_{ik}$ . Pozwolenia mogą być skonstruowane np. w oparciu o receptory. Wówczas indeks  $k$  będzie przybierał wartości z takiego zakresu jak indeks charakteryzujący receptory. W dalszej części opracowania zostaną scharakteryzowane dwa oddzielne podejścia do konstrukcji pozwoleń i wówczas indeks  $k$  zostanie zastąpiony przez odpowiednie symbole.

Problem maksymalizacji zysku z punktu widzenia pojedynczego emitenta jest następujący: należy minimalizować łączne koszty emisji  $F_i(e_i)$  oraz koszty zakupu pozwoleń przy warunku ograniczającym emisję funkcją  $\Lambda(H_i, L_i)$ . Zakładamy przy tym, że dokonano wcześniej pierwotnej alokacji pozwoleń  $l_{ik}^0$ . Funkcja celu pojedynczego przedsiębiorstwa ma następującą postać:

$$\min F_i(e_i) + \sum_k p_k (l_{ik} - l_{ik}^0)$$

przy założeniu:  $e_i \leq \Lambda(H_i, L_i)$

gdzie  $p_k$  – cena jednostki prawa do emisji rodzaju  $k$

$e_i$  – całkowita emisja przedsiębiorstwa  $i$ .

Ze względu na różnicę pomiędzy kontrolą koncentracji zanieczyszczeń w poszczególnych receptorach a kontrolą całkowitej wielkości emisji zanieczyszczeń rozpatrywane są dwa rodzaje pozwoleń:

1. rynek pozwoleń na koncentrację zanieczyszczeń (emisję)
2. rynek pozwoleń na emisję zanieczyszczeń<sup>2</sup>.

### **Rynek pozwoleń na koncentrację zanieczyszczeń**

Rozpatrujemy przypadek, gdy dąży się do uzyskania określonej jakości stanu środowiska w  $n$  punktach pomiarowych. Każdy emitent, który oddziałuje na więcej niż jeden receptor jest zobowiązany do posiadania wystarczającej liczby pozwoleń na każdy z odpowiednich receptorów. By zapewnić efektywną (z punktu widzenia kosztów redukcji emisji) alokację praw pomiędzy emitentami, jednocześnie utrzymując założone standardy co do poziomów stężeń substancji zanieczyszczającej w  $n$  punktach pomiarowych, organizatorzy rynku muszą stworzyć  $n$  oddzielnych rynków pozwoleń dla jednej substancji zanieczyszczającej.

Przedmiotem obrotu jest udział danego uczestnika rynku w koncentracji określonego zanieczyszczenia w poszczególnych punktach pomiaru stężeń (receptorach). Mechanizm skrótowo oznaczany jest APS (ang. *ambient-based system*).

---

<sup>2</sup> Polskich nazw użyto za: Fiedor (2001).



Funkcja  $\Lambda(H_i; L_i^A)$  ma postać:

$$\Lambda(H_i; L_i^A) = \min_j (l_{ij} / h_{ij})$$

$L_i^A = (l_{i1}, \dots, l_{in})$  - portfel pozwoleń przedsiębiorstwa  $i$  na emisję powodującą zanieczyszczenia w  $n$  punktach pomiarowych, górny indeks  $A$  oznacza, że portfel pozwoleń odnosi się do systemu APS;

$l_{ij}$  - liczba pozwoleń przedsiębiorstwa  $i$  upoważniających do spowodowania zanieczyszczeń w punkcie pomiarowym  $j$ .

$$h_{ij} e_i \leq l_{ij} \quad j = 1, \dots, n.$$

Przedsiębiorstwo jest upoważnione do takiej emisji zanieczyszczeń  $e_i$ , która w efekcie spowoduje we wszystkich odpowiednich receptorach zanieczyszczenie nie większe niż wynikałoby to z liczby posiadanych pozwoleń  $l_{ij}$ .

Funkcja celu przedsiębiorstwa:

$$\min F_i(e_i) + \sum_j p_j' (l_{ij} - l_{ij}^0)$$

przy założeniu:  $h_{ij} e_i \leq l_{ij}$

gdzie  $p_j'$  - rynkowa cena pozwoleń na emisję powodującą zanieczyszczenie na receptorze  $j$ .

W pracy udowodniono, że kolejne transakcje zawierane na rynku pozwoleń doprowadzą do ustalenia punktu równowagi, dla którego koszty będą minimalizowane.

Model wymaga od emitentów uczestnictwa w wielu odrębnych rynkach pozwoleń jednocześnie. Emitent jest zobowiązany do posiadania tyle rodzajów pozwoleń ile wynosi liczba receptorów, na jakie oddziałuje jego emisja. Wiąże się z tym wzrost kosztów administracyjnych, co jest podstawowym ograniczeniem takiego rozwiązania. W zamian system zapewnia osiągnięcie założonych celów polityki ekologicznej w każdym z wyznaczonych punktów geograficznych (receptorów) wykorzystując do tego mechanizmy rynkowe.

### **Rynek pozwoleń na emisję zanieczyszczeń**

Alternatywny mechanizm jest stosowany do redukcji całkowitej emisji w danym obszarze przy najniższym koszcie. Model dotyczy handlu pozwoleńmi na bieżące zanieczyszczanie środowiska określonym związkim, czyli na emisję zanieczyszczeń. W literaturze przedmiotu oznaczany jest skrótowo jako EPS (ang. *emission-based system*).

Jednostka pozwolenia upoważnia jej właściciela do emisji określonej ilości związku. Omawiany system wymiany pozwoleń uwzględnia różnorodny wpływ wyemitowanej jednostki w różnych punktach obszaru na jakość środowiska w każdym z  $n$  receptorów. Docelowo, przedsiębiorstwo na podstawie jednostki pozwolenia może być uprawnione do emisji w rozmiarze, który spowoduje zanieczyszczenie równe temu, które spowodowałyby „emitenci–sprzedawcy”, gdyby wykorzystali swoje pozwolenia w maksymalnym wymiarze. Dokonajmy rozróżnienia pozwoleń ze względu na miejsce, w którym dokonywany jest proces emisji (obok dotychczasowego podziału ze względu na właściciela pozwoleń).

Niech  $l_d$ ,  $d = 1, \dots, m$ , oznacza dopuszczalną liczbę pozwoleń na emisję w miejscu  $d$ . Łączna ilość emitentów jest równa łącznej ilości właścicieli zakładów, zatem indeks  $d$  przybiera wartości z takiego samego zbioru jak indeks  $i$ . Niech  $l_i^d$  oznacza liczbę pozwoleń na emisję w punkcie  $d$  posiadanych przez emitenta  $i$ . Analogicznie wielkość emisji przedsiębiorstwa  $i$ , na którą pozwolenia kupowane są u emitenta  $d$  oznaczmy przez  $e_i^d$ . Obie te wielkości nie są równe, gdyż wpływ emisji w punkcie  $i$  oraz  $d$  na punkt pomiarowy  $j$  mogą być różne.

Przyjmujemy założenie, że handel emisjami pomiędzy emitentami nie może powodować wzrostu zanieczyszczenia na żadnym z receptorów:

$$e_i^d h_{ij} = h_{dj} l_i^d .$$

Lewa strona równania opisuje efekt, jaki powoduje w receptorze  $j$  emisja z przedsiębiorstwa  $i$ . Dotyczy to tylko tej części emisji, która została "pokryta" zakupem pozwoleń u emitenta  $d$ . Prawa strona równania opisuje efekt, jaki powoduje w receptorze  $j$  emisja pochodząca od emitenta  $d$ . Wielkość emisji odpowiada  $l$  pozwoleniom wykupionym przez przedsiębiorstwo  $i$ . Wynika stąd, że po zakupie  $l_i^d$  pozwoleń producent będzie mógł dodatkowo emitować

$$e_i^d = \frac{h_{dj} l_i^d}{h_{ij}} \text{ jednostek pozwoleń.}$$

Funkcja  $\Lambda(H_i; L_i^E)$  ma postać:

$$\Lambda(H_i, L_i^E) = \min_j \left( \sum_d \frac{h_{dj} l_i^d}{h_{ij}} \right)$$

$L_i^E = (l_i^1, \dots, l_i^m)$  - portfel pozwoleń na emisję przedsiębiorstwa  $i$  zakupionych u jednego z  $m$  emitentów, górny indeks  $E$  oznacza, że portfel pozwoleń odnosi się do systemu EPS.

Funkcja celu przedsiębiorstwa:

$$\min F_i(e_i) + \sum_d P_d^D (l_i^d - l_i^{d,0})$$

przy ograniczeniu:  $h_{ij}e_i \leq \sum_d h_{dj}l_i^d, j = 1, \dots, n.$

gdzie  $l_i^{d,0}$  – pierwotna alokacja pozwoleń

$p_d^D$  – rynkowa cena pozwoleń na emisję kupowanych u emitenta  $d$ .

Równowaga na rynku pozwoleń na emisję zanieczyszczeń nie musi zapewnić rozwiązania efektywnego, tzn. minimalizującego łączne koszty emitentów.

### III. Rynek pozwoleń na koncentrację emisji a rynek pozwoleń na emisję - podsumowanie

Żaden z systemów nie jest pozbawiony wad. Konstrukcja rynków pozwoleń na koncentrację zanieczyszczeń (APS) teoretycznie pozwala na osiągnięcie efektywnego rozwiązania. Wymaga jednak stworzenia  $n$  rynków. Istnieje obawa, że będą to rynki niewielkie, stosunkowo łatwe do zmonopolizowania (Hahn, 1986, str. 6). Dodatkowo taka formuła rynku pozwoleń wiąże się z pewnym niezamierzonym niebezpieczeństwem. System ten kontroluje poziom stężenia substancji w punktach pomiarowych, podczas gdy może dopuścić do wzrostu całkowitej emisji na danym obszarze (Atkinson, Tietenberg, 1982, str. 102).

Model rynku pozwoleń na emisję (EPS) ma niedoskonałości zarówno w teorii jak i praktyce. Zgodnie z teorią system nie umożliwia znalezienia rozwiązania efektywnego. W praktyce natomiast może być podatny na manipulacje rynkowe. Model zakłada działanie jednego rynku, na którym znajduje się  $m$  różnych produktów (odpowiadających  $m$  emitentom), może być także rozpatrywany jako  $m$  rynków różnych dóbr. Niezależnie od tego niebezpieczeństwo manipulacji rynkowej pozostaje.

Jednocześnie oba modele spotykają się z zarzutami zbytniego skomplikowania pod względem administracyjnym. Dotyczy to m.in. konieczności oszacowania współczynników  $h_{ij}$ , bieżącego dostosowywania ich do zmian, jakie zachodzą w przedsiębiorstwie (wprowadzanie technologii zmniejszających negatywny wpływ emisji na środowisko), a także do wszelkich czynności związanych z administrowaniem poszczególnych rynków. Wszystkie te czynności pociągają za sobą koszty.

## Literatura

Atkinson S.E., Tietenberg T.H., *The Empirical Properties of Two Classes of Designs for Transferable Discharge Permit Markets*, Journal of Environmental Economics and Management 9 (1982), str 101-121

Fiedor B., *Rynek uprawnień do emisji SO<sub>2</sub> w elektroenergetyce – cele, pomioty uczestniczące oraz prawno-instytucjonalne warunki wdrożenia*, w: Nowe Instrumenty w polityce ekologicznej, praca zbiorowa pod redakcją naukową Stanisława Czai, Europejskie Stowarzyszenie Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Biblioteka „Ekonomia i Środowisko” – nr 28, Wojnowice – Wrocław 2001, str 81-99

Field B.C., *Environmental Economics, An Introduction*, McGraw Hill, Inc. 1994

Hahn R.W., *Trades-off in Designing Markets*, Journal of Environmental Economics and Management 13 (1986), str 1-12

Krupnick A.J., Oates W.E., Van De Verg E., *On Marketable Air-Pollution Permits: The Case for a System of Pollution Offsets*, Journal of Environmental Economics and Management 10 (1983), str 233-247

Łyszczak M., *Finansowe instrumenty ochrony środowiska*, Prace naukowe AE im.O.Langego we Wrocławiu, Monografie i Opracowania nr 111, Wrocław 1995

Montgomery W.D., *Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs*, Journal of Economic Theory 5 (1972), str 395-418

Żylicz T., *Improving the Environment through permit trading: the limits to a market approach*, International Environmental Economics Theories, Models and Applications to Climate Change, International Trade and Acidification, Developments in Environmental Economics vol. 4 (1994), str 283-306







