

KIWIEL



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Materiały konferencji: "Analiza Decyzyjna, Systemy Ekspertckie, Zastosowania Systemów Komputerowych",
Warszawa, 25-27 maja 1994r.

Komitet Programowy Konferencji:

Andrzej Ameljańczyk, Zdzisław Bubnicki, Wiesław Grudzewski, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Lech Kruś, Roman Kulikowski (przewodniczący), Kazimierz Mańczak, Ireneusz Nykowski, Zdzisław Pawlak, Roman Słowiński, Andrzej Straszak, Andrzej Weryński, Andrzej Wierzbicki.

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autorów

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-85-5

System wspomagania decyzji w planowaniu rozwoju ekonomicznego z uwzględnieniem ochrony środowiska

Wiesław Ciechanowicz, Piotr Holnicki, Antoni Żochowski

*Instytut Badań Systemowych PAN,
01-447 Warszawa, ul. Newelska 6*

1. WSTĘP

Polska należy do grupy krajów europejskich o największej emisji tlenków siarki i azotu, pochodzącej przede wszystkim z zakładów energetyki zawodowej (elektrownie, elektrociepłownie). Poza bezpośrednim zanieczyszczeniem powietrza, powoduje to negatywne oddziaływanie na inne elementy środowiska (gleba, wody podziemne i powierzchniowe, lasy, uprawy rolnicze) a także na zdrowie ludzkie i to nie tylko w Polsce ale i w krajach sąsiednich, w wyniku transgranicznego transportu zanieczyszczeń. Z drugiej strony, emisja największych elektrowni zlokalizowanych na terenach byłej NRD oraz w północnej części Czech (regiony Usti nad Labą oraz Ostrawy) ma decydujący wpływ na degradację środowiska w południowo-zachodniej Polsce [4].

Jest kilka głównych przyczyn, które złożyły się na tę sytuację. Po pierwsze, węgiel kamienny i brunatny były i pozostaną przez najbliższe dekady podstawowymi nośnikami energii pierwotnej w energetyce, przemyśle i gospodarstwach domowych. Oba te nośniki, w porównaniu z ropą a zwłaszcza gazem, charakteryzują się jednak wysoką zawartością siarki. Powoduje to bardzo istotne skutki dla środowiska, zwłaszcza że większość polskich elektrowni i elektrociepłowni jest oparta na przestarzałych technologiach, bez instalacji odsiarczających. Węgiel był przy tym w ostatnich dekadach paliwem tanim, w związku z wysokim dotowaniem stosowanym gospodarce centralnie planowanej. Skutkiem niskiej ceny był brak motywacji do jego oszczędzania i mała efektywność wykorzystania, szczególnie w gospodarstwach domowych. Z drugiej strony natomiast, brak właściwej izolacji budynków, przy niskiej wydajności stosowanych urządzeń grzewczych, przyczyniały się dodatkowo do dużego zanieczyszczenia powietrza w skali lokalnej.

W ostatnich latach można zauważyć bardzo silną presję międzynarodową, głównie dotyczącą krajów Europy Wschodniej, na ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających do atmosfery [3,4]. W kompleksowej analizie tego problemu należy brać pod uwagę następujące ograniczenia: (i) dostępność technologii wytwarzania energii (ze źródeł odnawialnych i nieodnawialnych), które umożliwiają ograniczenie lub wyeliminowanie emisji zanieczyszczeń, (ii) dostępność środków finansowych niezbędnych do wprowadzenia tych technologii, (iii) techniki sterowania jakością powietrza, które biorą pod uwagę lokalizację i parametry źródeł emisji, fizykę procesów rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz koszt wprowadzenia technologii proekologicznych.

W pracy rozważany jest system wspomagania decyzji dotyczących rozwoju sektora energii, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień ochrony środowiska i przedstawionych wyżej uwarunkowań [1,2]. Umożliwia on analizę różnych scenariuszy rozwoju sektora energii (w ramach całej gospodarki narodowej) oraz wynikających z ich wdrożenia efektów środowiskowych. Głównymi funkcjami systemu są:

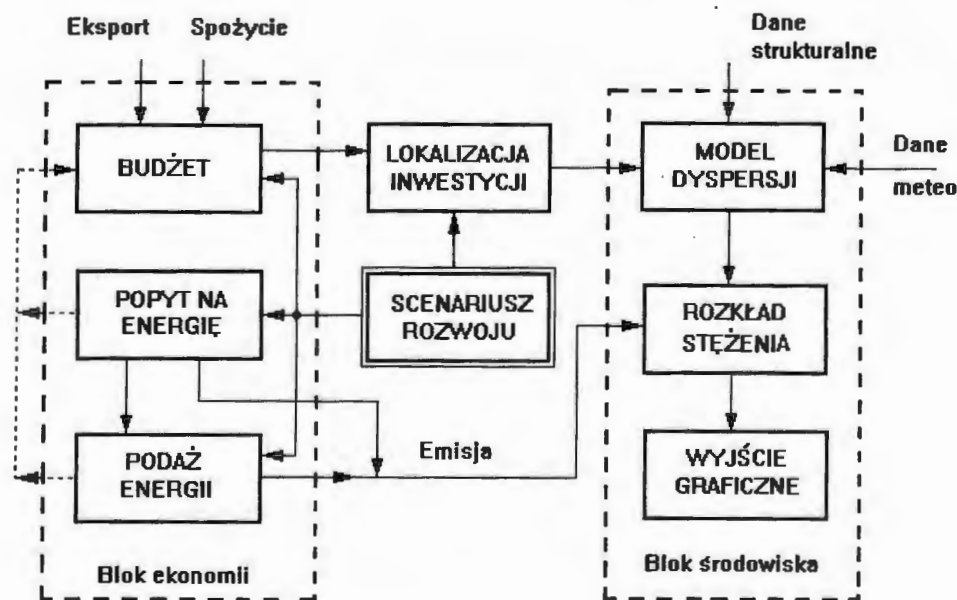
- ocena konsekwencji wybranego scenariusza rozwoju, dla sektorów popytu na energię i podaży energii,
- weryfikacja możliwości gospodarki narodowej na realizację założonego scenariusza,
- wybór optymalnej strategii inwestowania w sektorze energii, która zapewni minimalizację negatywnych skutków środowiskowych, związanych z realizacją danego scenariusza.

W kolejnych rozdziałach przedstawiona będzie ogólna charakterystyka systemu oraz przykłady wykorzystania go do wyboru ekonomicznie akceptowalnych scenariuszy rozwoju sektora produkcji energii w Polsce w najbliższych dekadach. Prognozowany poziom emisji tlenków siarki wykorzystany jest do oceny związanych z tym scenariuszem efektów środowiskowych.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU

Rozważany system komputerowy składa się z dwóch części: (i) modelu gospodarki narodowej, zawierającego m.in. sektor energii oraz (ii) modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń atmosferycznych wraz z oceną skutków ekologicznych. Cały system można podzielić na kilka następujących bloków funkcjonalnych, przedstawionych na rys. 1: budżet, popyt na energię, podaż energii, lokalizacja nowych inwestycji, symulacja dyspersji zanieczyszczeń powietrza, ocena ostatecznych skutków środowiskowych, graficzna prezentacja wyników. Główne funkcje systemu polegają na określeniu: (i) scenariusza rozwoju sektora energii, który umożliwi ograniczenie jej zużycia oraz zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska, (ii) środków

finansowych niezbędnych do realizacji tego scenariusza, (iii) warunków ekonomicznych, przy których środki te będą osiągalne, (iv) dostępności niezbędnych technologii produkcji energii (w tym technologii odnawialnych), (v) optymalnej lokalizacji nowych inwestycji w sektorze energii, pod kątem minimalizacji ich oddziaływania na środowisko, (vi) map rozkładów zanieczyszczeń powietrza (lub deponycji na powierzchni ziemi) związanych z realizacją danego scenariusza.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu

MODUŁ BUDŻETU symuluje podstawowe wielkości ekonometryczne gospodarki. Podstawowymi jego zadaniami są: (i) prognoza produkcji globalnej we wszystkich gałęziach gospodarki, wykorzystywana jako wejście dla modułu popytu na energię, (ii) sprawdzenie warunków ekonomicznych dla realizacji danego scenariusza rozwoju. Scenariusze są tworzone poprzez odpowiednią modyfikację trendów rozwojowych w dziedzinie podstawowych komponentów, takich jak: materiały, koszty paliw i energii, akumulacja finansowa poszczególnych gałęzi, zatrudnienie, płace, podatki. Główne wielkości wejściowe stanowią prognozy dla eksportu oraz konsumpcji krajowej, natomiast wyjściami są produkcja globalna oraz potencjał finansowy gospodarki [1].

Podstawowym celem MODUŁU POPYTU NA ENERGIĘ jest oszacowanie konsekwencji rozwoju sektora energii. Najważniejszymi wielkościami wyjściowymi są: popyt na energię, przewidywane koszty pierwotnych i wtórnych nośników energii oraz wielkość emisji zanieczyszczeń.

Głównymi wejściami MODUŁU PODAŻY ENERGII są: prognoza popytu na energię, zestaw dostępnych technologii produkcji energii, odnawialne i nieodnawialne źródła energii możliwe do wykorzystania w rozważanych scenariuszach oraz prognoza cen nośników energii. Moduł generuje prognozy podaży nośników energii (w tym paliw płynnych, gazowych, elektryczności) oraz emisji zanieczyszczeń.

MODUŁ EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH generuje mapy rozkładów przestrzennych koncentracji lub depozycji zanieczyszczeń powietrza, będących wynikiem realizacji danego scenariusza. W schemacie blokowym pokazanym na rys. 1, reprezentowany jest przez trzy podstawowe bloki: rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, określania końcowego wpływu na środowisko oraz graficznej prezentacji wyników. Pierwszy z nich stanowi implementację modelu matematycznego, który oblicza średnioroczne lub średniosezonowe rozkłady koncentracji/depozycji zanieczyszczeń na jednostkę emisji, dla każdego z rozważanych źródeł (elektrowni, elektrociepłowni). Zbiór danych wejściowych wykorzystywany przez model składa się z charakterystyki strukturalnej terenu (geometria, rzeźba terenu, szorstkość aerodynamiczna), danych meteorologicznych dla okresu symulacji (pole wiatru, opad atmosferyczny, wysokość warstwy mieszania, warunki równowagi atmosfery) oraz opisu pola emisji. Jednostkowe (bazowe) mapy rozkładów zanieczyszczeń dla każdego źródła emisji są obliczane w trybie off-line za pomocą lagrange'owskiego modelu trajektorii. Każda taka mapa jest równoważna pewnej macierzy przejścia, która wiąże emisję danego źródła z jego oddziaływaniem na środowisko. Dla rzeczywistej emisji źródeł, wynikającej z realizacji danego scenariusza, sumaryczny rozkład zanieczyszczeń obliczany jest w następnym bloku jako odpowiednia kombinacja liniowa tych bazowych macierzy przejścia. Ostateczne wyniki są prezentowane w postaci izoliniowych map stężenia/depozycji zanieczyszczeń, uśrednionych za okres symulacji.

3. WYBRANE WYNIKI OBLICZENIOWE

System zastosowano do analizy skutków ekologicznych związanych z realizacją kilku wybranych scenariuszy rozwoju sektora energii w Polsce. Symulację przeprowadzono dla okresu obejmującego lata 1989 – 2030, zdyskretyzowanego dla celów obliczeniowych z krokiem 2.5 roku. Przyjmuje się, że potencjalne możliwości oszczędności energii w przemyśle są rzędu 10 – 30%, zależnie od konkretnej gałęzi przemysłu. Założono ponadto, że jednostkowe zużycie ciepła w gospodarce komunalno-bytowej będzie malało w okresie symulacji, od 190 – 340 kWh/(m²·rok) obecnie, do około 50 kWh/(m²·rok) w roku 2030.

Rozważane są następujące cztery scenariusze rozwoju sektora energii:

Scenariusz 1. Nie wprowadza się żadnych zmian technologicznych w systemie produkcji energii,

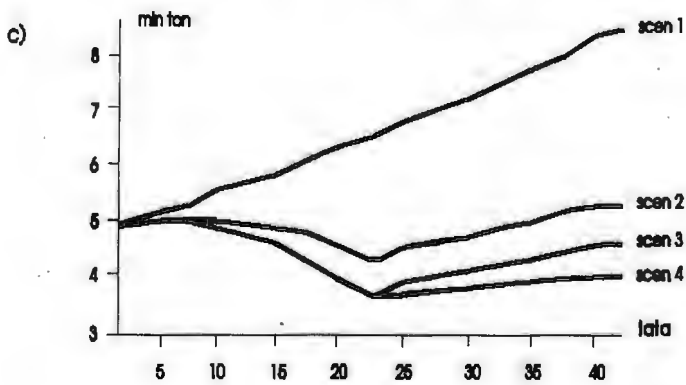
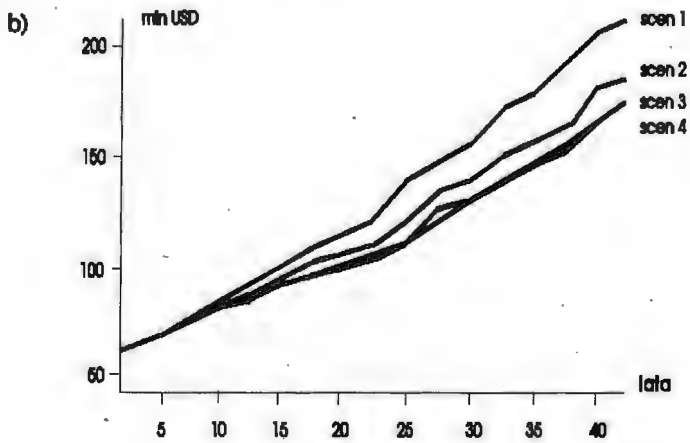
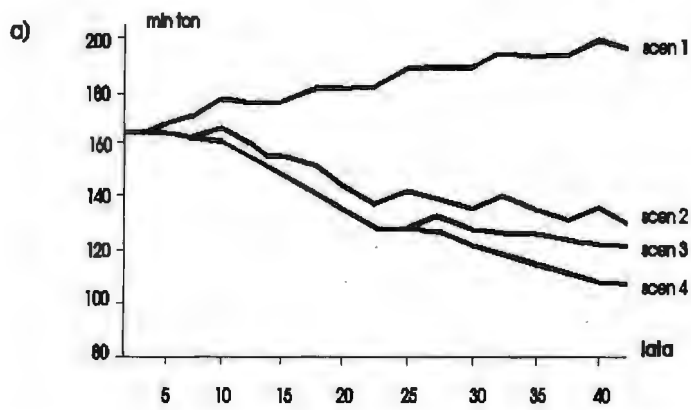
Scenariusz 2. Główne inwestycje modernizacyjne wprowadzane są w sektorze komunalno-bytowym i polegają na: (i) poprawie izolacji budynków, prowadzącej do zmniejszenia jednostkowego zużycia ciepła, (ii) wprowadzeniu systemów ogrzewania wykorzystujących energię słoneczną z sezonowym gromadzeniem energii, wspomaganego przez pompy ciepłe (elektryczne, gazowe lub inne),

Scenariusz 3. Realizacja scenariusza 2, z dodatkowym wprowadzeniem technologii ograniczających zużycie energii we wszystkich gałęziach przemysłu,

Scenariusz 4. Realizacja scenariusza 3, z dodatkowym wykorzystaniem następujących technologii niekonwencjonalnych: (i) stacje generatorów wiatrowych zlokalizowanych na morzu w pobliżu wybrzeża, (ii) uprawy leśne o szybkiej rotacji do produkcji masy drzewnej wykorzystywanej jako paliwo w elektrowniach, (iii) chemiczne przetwarzanie drewna w paliwa płynne.

Na rys. 2 zestawiono niektóre wyniki prognozy ekonomicznej, otrzymane w przypadku realizacji powyższych czterech scenariuszy. Prognozowane zużycie węgla w czterech badanych scenariuszach przedstawione jest na rys. 2(a). Wykres pokazuje potencjalne możliwości prowadzenia polityki oszczędzania energii. Jest oczywiste, że największe rezerwy w tym zakresie kryją się w sektorze komunalno-bytowym i dotyczą przede wszystkim zastosowania odpowiedniej izolacji budynków. Jest to wynik niskich cen energii (wysokie dotowanie) w centralnie planowanej gospodarce w poprzednich dekadach. Duże prognozowane zużycie gazu w scenariuszu 2 wynika z założonego stosowania pomp ciepłych, wspomagających system ogrzewania wykorzystujący energię słoneczną. Prognozowany koszt nośników energii pierwotnej przedstawiono na rys. 2(b). Należy tu zauważyć, że oszczędności finansowe związane z zastosowaniem scenariuszy 2 - 4 mogą być uzyskane poprzez zmniejszenie zużycia energii w sektorze komunalno-bytowym oraz w przemyśle. Wykres 2(c) przedstawia prognozę średniorocznej emisji dwutlenku siarki dla czterech rozważanych scenariuszy. Można zauważyć, że polityka racjonalizacji zużycia energii w sektorze komunalno-bytowym (scenariusz 2) będzie odgrywać istotną rolę w ograniczaniu emisji, w porównaniu z innymi działaniami sektorowymi. Jest to związane z dominującym w Polsce wykorzystaniem węgla jako nośnika energii pierwotnej.

Prognoza emisji przedstawiona na wykresie z rys. 2(c) wykorzystana została jako wejście dla części środowiskowej systemu. Na tej podstawie określono prognozy efektów ekologicznych związanych z realizacją omawianych scenariuszy. W rozważanym przypadku wpływ na środowisko ilustrowany jest poprzez średnioroczny rozkład koncentracji dwutlenku siarki, który jest jednym z głównych czynników zanieczyszczenia powietrza, związanym z sektorem produkcji energii.



Rys. 2. Prognozowane zużycie węgla (a), ceny węgla (b) oraz emisja SO_2 (c) dla czterech scenariuszy rozwoju (początkowy rok 1989)

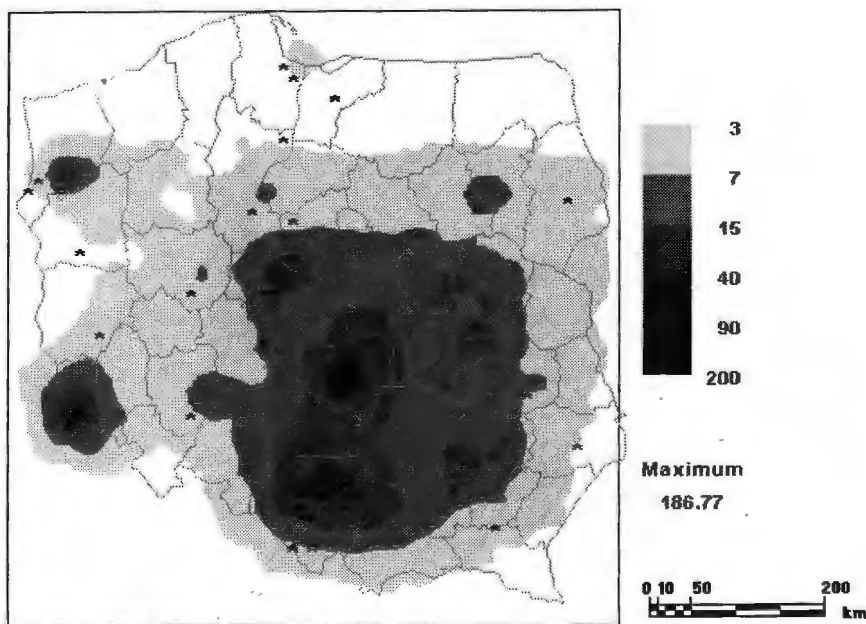
Całkowite pole emisji zanieczyszczeń powietrza dla każdego scenariusza jest charakteryzowane przez zbiór istniejących oraz planowanych elektrowni i elektrociepłowni. Są one następnie wykorzystywane do określania sumarycznych efektów środowiskowych, związanych z realizacją tego scenariusza. Do określenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń zastosowano jednowarstwowy (uśredniony w warstwie mieszania) model trajektorii typu lagrange'owskiego. Za pośrednictwem tego modelu obliczono w trybie off-line bazowe (dla jednostkowej intensywności emisji) mapy średniorocznych rozkładów zanieczyszczeń, pochodzących od wszystkich analizowanych źródeł emisji. Symulację przeprowadzono dla prostokątnego obszaru pokrywającego terytorium Polski, a ograniczonego współrzędnymi 14° – 24° długości wschodniej oraz 49° – 55° szerokości północnej (porównaj rys. 3). Rozważany obszar obliczeniowy $660\text{km} \times 660\text{km}$ został zdyskretyzowany siatką kwadratową o kroku około 11.5km .

Model oblicza średniosezonowe lub średnioroczne rozkłady stężenia dwutlenku siarki oraz sumarycznej depozycji siarki w obszarze, uwzględniając przy tym procesy suchej depozycji zanieczyszczeń oraz wymywania przez opady. Horyzont czasowy symulacji (rok, sezon lub kwartał) jest dyskretyzowany z krokiem 12h. Z tą częstością wprowadzane są zależne od czasu dane wejściowe: składowe pola wiatru, wysokość warstwy mieszania, stabilność atmosfery, intensywność opadu atmosferycznego. Ciągłe trajektorie pola wiatru w obszarze są obliczane przez wyspecjalizowany model, który interpoluje dane ze stacji meteorologicznych, uwzględniając przy tym wpływ rzeźby terenu i szorstkości aerodynamicznej podłoża.

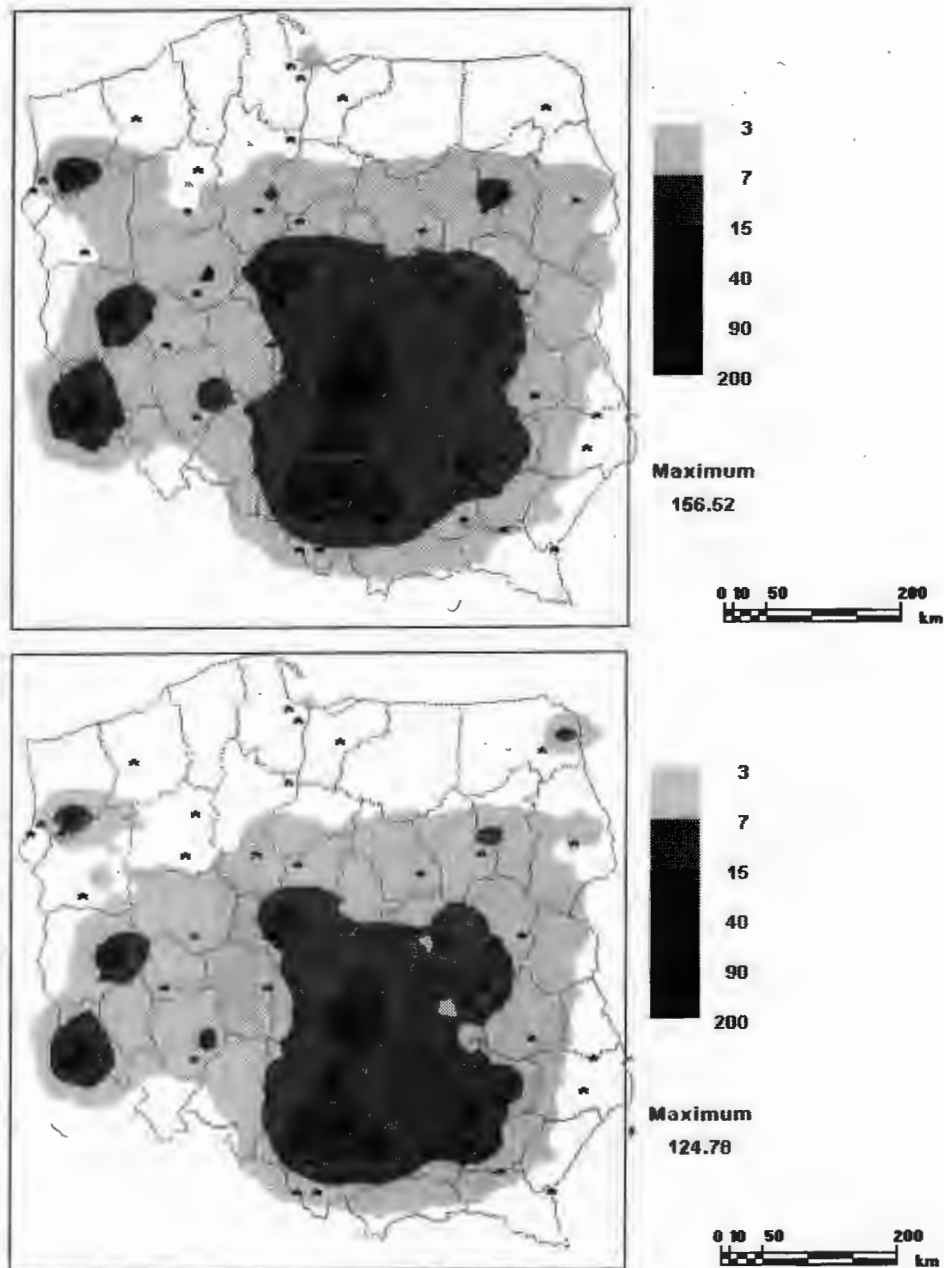
Obliczenia dyspersji zanieczyszczeń przeprowadzono dla 70-ciu głównych, istniejących elektrowni i elektrociepłowni oraz dla 10-ciu planowanych instalacji (konwencjonalnych i odnawialnych), których lokalizacja i parametry wynikały z realizowanego scenariusza. Wykorzystano ciąg danych meteorologicznych dla reprezentatywnego roku 1989, przy czym uwzględniono dane z czterech stacji pomiarowych, zlokalizowanych w Legionowie, Łebie, Poznaniu i Wrocławiu. Na tej podstawie określone są trajektorie pola wiatru w całym obszarze obliczeniowym, w każdym kroku czasowym. Uzyskane w wyniku symulacji jednostkowe, średnioroczne macierze dyspersji zanieczyszczeń dla wszystkich źródeł, były następnie wykorzystane do obliczenia sumarycznych map rozkładu zanieczyszczeń dla czterech rozważanych scenariuszy.

Na rys. 3 przedstawiono początkowy rozkład stężenia SO_2 , dla roku 1989. Kolejne mapy, załączone jako rys. 4(a) oraz rys. 4(b), pokazują prognozowane rozkłady stężenia, otrzymane przy realizacji scenariusza 4, odpowiednio dla lat 2010 oraz 2030. Widoczne tu, ogólne obniżenie koncentracji SO_2 jest wynikiem realizowanej w tym scenariuszu polityki oszczędzania energii oraz wykorzystania "czystych" technologii przy jej produkcji (porównaj rys. 2). Zmniejszenie w roku 2030 obszaru, w którym występują maksymalne wartości stężenia w porównaniu z rokiem 2010, wynika z relatywnie mniejszego udziału elektrowni spalających węgiel brunatny.

1. Ciechanowicz W. oraz P. Holnicki: Computer system for energy sector expansion analysis with emphasis on environment quality control. W: (Owsiński J.W., Stefański J. oraz A. Straszak, ed.), *Proceedings of the IFORS Conference on Transition to Advanced Market Economies*, Warsaw, 1992, str. 435 – 444.
2. Ciechanowicz W., Holnicki P. oraz A. Kałuszko: Komputerowa analiza rozwoju energetyki z uwzględnieniem ochrony środowiska, *Biuletyn Instytutu Badań Systemowych PAN*, No. 1, 1993, str. 10 – 20.
3. Commission of the European Communities. 88/609/EEC Council Directive of 24 Nov. 1988 on the limitations of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, *Official Journal of the European Communities*, 31, 1990, str. 1 – 13.
4. Klimont, Z., Amann, M., Cofala, J., Gyarmas, G., Klaassen, G. oraz W. Schopp: An emission inventory for Central European Initiative 1988, *Atmos. Environment*, vol. 28, 1993, str. 235 – 246.



Rys. 3. Początkowe (1989) średnioroczne stężenie SO_2 ze źródeł energetyki zawodowej



Rys. 4. Prognozowany rozkład stężenia SO_2 dla lat 2010 (górną) oraz 2030 (dolną) przy realizacji scenariusza 4

ISBN 83-85847-85-5

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt**

**z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa**

tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl