

RYSZARD DOMAŃSKI

Katedra Ekonomiki Środowiskowej AE
Poznań.

MODELOWANIE SYSTEMÓW EKOLOGICZNO- -EKONOMICZNYCH

Idea stabilnego rozwoju, będąca istotnym składnikiem współczesnej wiedzy i świadomości ekologicznej, przysporzyła nowego znaczenia modelowaniu złożonych systemów ekologiczno-ekonomicznych. Pogłębiła bowiem przeświadczenie o potrzebie współzależnego traktowania procesów ekonomicznych i ekologicznych. Uwypukliła konieczność nowego spojrzenia na środowiskowe ograniczenia limitujące zaspokajanie potrzeb ludzkich i związany z tym postulat zachowania godziwego środowiska dla przyszłych pokoleń.

Modelowanie jest metodą umożliwiającą wnikanie w zagadnienia, które trzeba rozwiązywać na drodze do zrównoważonego i trwałego rozwoju. Może ono służyć wielu celom, między innymi projektowaniu polityki środowiskowej. W projektowaniu tym winni brać udział zarówno eksperci, jak i decydenci. Pierwsi kładą nacisk na adekwatność, drudzy na efektywność modeli. Są to na ogół cele rozbieżne. Ponadto wśród decydentów może być wiele podmiotów społeczno-gospodarczych. Reprezentują one różne cele i poglądy na temat sposobów ich osiągnięcia. Różnorodność celów jest podłożem, na którym powstają konflikty. Niezbędne więc jest poszukiwanie metod ich rozwiązywania. Jedną z takich metod jest metoda interakcyjna, rozumiana jako jedna z wersji analizy wielokryterialnej. Polega ona na uczestniczeniu ekspertów i decydentów w procesie modelowania i przygotowywania projektów decyzji. Takie współdziałanie sprzyja formułowaniu realistycznych przesłanek, porozumiewaniu się w sprawie ograniczeń, korygowaniu działań i celów, osiąganiu kompromisów.

Aby modele ekologiczno-ekonomiczne mogły sprostać wymaganiom polityki środowiskowej, winny udzielać odpowiedzi szybko i przy stosunkowo niskich nakładach, często w warunkach niepełnych informacji. Modele o orientacji praktycznej winny w związku z tym być nie tylko stałymi strukturami logicznymi, lecz także zbiorami hipotez i zależności stale powiększających się. Wymaga to stosowania w modelowaniu ekologiczno-ekonomicznym podejścia adaptacyjnego, tak by można było szybko reagować na krytycyzm użytkowników i eksper-

mentować przy zmiennych założeniach dotyczących stanu i funkcjonowania systemów ekologiczno-ekonomicznych.

Wymienione postulaty i oczekiwania względem modelowania ekologiczno-ekonomicznego mogą na razie być spełnione tylko w ograniczonym stopniu. Jakkolwiek literatura na ten temat narasta szybko, rozwiązywanie problemów, zwłaszcza na poziomie operacyjnym, jest słabo zaawansowane. Artykuł naświetla modele ekologiczno-ekonomiczne ilustrujące kierunki dotychczasowych poszukiwań i wysuwa sugestię podjęcia nowych prac nad modelowaniem opartym na teorii struktur dysypatywnych.

W modelowaniu ekologiczno-ekonomicznym wykorzystuje się dotychczas najczęściej zasady i techniki sformułowane w toku prac nad modelami jednodyscyplinowymi: ekologicznymi i ekonomicznymi. Ich integracja wymaga dodatkowych hipotez dotyczących relacji między działalnością gospodarczą i procesami ekologicznymi. W próbach integrowania napotyka się jednak wiele problemów (Braat, Lierop 1987). Problemy powstają w związku z różnicami w czasowych i przestrzennych skalach modeli oraz w sposobie pomiaru zmiennych ekologicznych i ekonomicznych. Skupiają się jak w soczewce w trudnościach gromadzenia danych o zasobach i przepływach ekologicznych i ekonomicznych. W zakresie zagadnień ekonomicznych stosunkowo lepsze dane istnieją w skali krajowej, w zakresie zagadnień ekologicznych — w skali lokalnej. W rezultacie, mimo wysiłków integracyjnych, dochodzi się do modeli słabo powiązanych, z małymi możliwościami testowania, a w konsekwencji z małymi możliwościami stosowania. Ograniczenia w stosowaniu ujawniają się zwłaszcza, gdy modele próbuje się wykorzystać w rozwiązywaniu problemów polityki środowiskowej i zarządzania jakością środowiska.

W procesie integrowania zmienne składające się na submodel ekologiczny i submodel ekonomiczny wiązane są w trojaki sposób: 1) trzonem jest submodel ekonomiczny, do którego włącza się zmienne ekologiczne, 2) trzonem jest submodel ekologiczny, do którego włącza się zmienne ekonomiczne, 3) submodele są wzajemnie powiązane, stają się współzależne.

Adaptacja i przekształcanie modeli jednodyscyplinowych, zmierzające do zbudowania zintegrowanego modelu ekologiczno-ekonomicznego, ma znaczenie praktyczne, jeśli nowy model może być testowany na zadowalającej podstawie danych empirycznych. Jeśli danych takich brakuje, model może funkcjonować tylko jako narzędzie koncepcyjne, integrujące wiedzę i niezwyfikowane hipotezy. W tej funkcji może być użyteczny w pracach teoretycznych. W miarę uzupełniania luk w zbiorach danych empirycznych, również jego znaczenie praktyczne będzie rosło.

Selekcja i wiązanie modeli jednodyscyplinowych w celu budowy modeli wielodyscyplinowych jest głównym sposobem integracji. Obok niego rozwija się drugi sposób, mianowicie modelowanie holistyczne. Zamiast składania modeli szczegółowych w coraz bardziej złożone zespoły, podejście holistyczne prowadzi

od początku do budowy jednego całościowego modelu. Aby zapewnić takiej konstrukcji wewnętrzną spójność, stosuje się zwykle jedną technikę modelowania, a często także jeden wspólny mianownik dla różnych zmiennych. Przykładem takiego podejścia są próby ekologów oparcia integracji na pojęciu energii ucieleśnionej w tworach ekologicznych i ekonomicznych, przy czym energia ucieleśniona odgrywa także rolę owego wspólnego mianownika. W krytyce naukowej przeważa pogląd, że podejście to jest intelektualnie inspirujące, jednak do praktycznych zastosowań zbliża nas bardziej podejście pierwsze, scalenie odpowiednio dobranych modeli jednodyscyplinowych.

Nowe możliwości integracji stwarza teoria struktur dysypatywnych i samoorganizacji Prigogine'a, która będzie naświetlona w dalszej części artykułu. Analiza opinii specjalistów na temat modelowania prowadzi do wniosku, że za najbardziej użyteczne i obiecujące uważają oni modele dynamiczne, nieliniowe i deterministyczne. Teoria struktur dysypatywnych i samoorganizacji pozwala na budowę modeli mających takie właściwości (Domaniński 1992).

ROZSZERZONE MODELE EKONOMICZNE

MODELE ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ ŚRODOWISKA

Modele zarządzania jakością środowiska, oprócz komponentu ekonomicznego i ekologicznego, zawierają także moduł kryteriów zarządczych (Lakshmanan, Bolton 1986). Moduł ten ma zwykle postać funkcji celów, które mogą być włączone do struktury modelu, bądź też zapisane poza nią. Jako czynnik egzogeniczny służy do kierowania zastosowaniami modelu w złożonych sytuacjach z wielorakością celów. Tę klasę modeli otwiera pionierskie opracowanie na temat uprzemysłowionej zlewni rzeki Delaware, wnosi ono zwłaszcza sposób powiązania modelu unieszkodliwiania zanieczyszczeń i napowietrzania wody z ekonomicznym modelem optymalizacyjnym.

Na jakość wody wpływa wiele czynników, wśród nich przede wszystkim rozpuszczony tlen. Jego zawartość w wodzie zależy z kolei od czynników meteorologicznych i hydrologicznych oraz zrzutu zanieczyszczeń organicznych. Wskaźnik zawartości tlenu jest często stosowany jako zastępcza miara jakości wody. W modelowaniu zakłada się podział zlewni na m stref wewnętrznie jednorodnych. C_i oznacza polepszenie jakości wody, niezbędne by sprostać standardom tlenowym w strefie i . Osiągnięcie celów ujętych w wektorze \underline{C} obejmującym m elementów, wymaga nakładów w gospodarce wodną w każdej z m stref. Niech inny wektor $\underline{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, którego elementy są również wektorami, oznacza ścieki odprowadzane do wód powierzchniowych. Każdy wektor \underline{x} jest wektorem n ścieków w każdej strefie m . Masę ścieków określa się za pomocą liniowego modelu produkcji i konsumpcji. Jest ona zmienna i zależy od procesów technologicznych, zużywanych surowców, ponownego użycia odpadów i innych. W dopu-

szczyalnych rozwiązaniach problemu wektor \underline{X} przedstawia zrzuły zanieczyszczeń w różnych miejscach zlewni nie przekraczające wielkości docelowych \underline{C} .

Modele wchodzące w skład komponentu ekologicznego są funkcjami transformacji przekształcającymi wektor zanieczyszczeń w wektor stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie. Są to funkcje o postaci:

$$\underline{AX} = \underline{R},$$

gdzie: \underline{A} – jest macierzą współczynników transformacji, zaś \underline{R} – wektorem stężenia rozpuszczonego tlenu w warunkach stanu ustalonego.

Na wektor \underline{X} nakłada się dwa ograniczenia: $\underline{AX} \geq \underline{C}$ oraz $\underline{X} \geq 0$. Niech \underline{D} oznacza wektor wierszowy, którego elementy d_j są jednostkowymi kosztami unieszkodliwiania \underline{X}_j ($j = 1, 2, \dots, n$). Możemy teraz sformułować model rozważanego zagadnienia:

$$\min d\underline{X}$$

pod warunkiem, że

$$\underline{AX} \geq \underline{C}$$

$$\underline{X} \geq 1$$

Model ten był użyty w trzech operacjach: a) w analizie narastających i całkowitych kosztów osiągania kolejnych poziomów jakości wody, b) w oszacowaniu wielkości zrzuły zanieczyszczeń, średniej dla zlewni i konkretnej dla poszczególnych stref, c) w oszacowaniu skali korzyści możliwych do osiągnięcia z rekreacji wodnej.

Opracowanie to ma szereg braków. Należą do nich: ograniczony zakres technicznych opcji zarządzania gospodarką wodną, nieuwzględnienie stochastycznych aspektów ustalania się jakości wody i brak powiązań gospodarki regionalnej z resztą gospodarki narodowej. Braki te zdołano usunąć w toku dalszych prac.

MODELE POLITYKI ENERGETYCZNEJ

Zbudowano szereg modeli ekonomicznych dla regionalnej analizy różnych tendencji i polityk w dziedzinie energetyki. Można wyróżnić wśród nich trzy typy (Lakshmanan, Bolton 1986). Pierwszy typ zwrócony jest ku regionalnym różnicom produkcji i zużycia energii, wynikającym ze zmian w cenach energii i źródeł zaopatrzenia. Niektóre z modeli reprezentujących ten typ analizują także strukturę przepływów energii, opierając analizę na złożonej współzależności między produkcją a popytem końcowym w różnych regionach. Z punktu widzenia środowiska interesujący jest model, który oszacowuje całkowitą zawartość energii w wytworzonych dobrach (E). W jednostkach pieniężnych przybiera on postać:

$$\underline{E} = \underline{B} (\underline{I} - \underline{A})^{-1} \underline{Y},$$

gdzie: \underline{B} — oznacza macierz jednostkowych cen energii, $(\underline{I} - \underline{A})^{-1}$ — macierz współczynników pełnego zużycia, \underline{Y} — macierz popytu końcowego.

Od analizy typu nakładów — wyników przechodzi się do liniowego modelu optymalizacyjnego, który generuje więcej informacji dla użytkowników. Celem

praktycznego zastosowania tego modelu była analiza strukturalnych różnic produkcji i zużycia energii we Francji, Niemczech, Włoszech i Danii.

Drugi typ modeli służy analizowaniu reakcji sektora dostarczającego energię na zmiany cen, regulacji taryf i technologii. Model reprezentatywny dla tego typu składa się z części dotyczącej popytu na energię, części dotyczącej dostaw energii oraz wiążącego je komponentu. W wyniku daje projekcję cen i ilości energii. Model może uwzględniać różnorodność regulacji w sektorze energetycznym i oszacowywać konsekwencje różnych polityk w zakresie taryf importowych, kwot importowych, sposobów oszczędzania energii i innych.

Trzeci typ modeli obejmuje całość systemu energetycznego, mianowicie techniczne charakterystyki przetwarzania energii oraz procesy zaopatrzenia w energię i jej zużycia. Jego konstrukcja opiera się na systemie energetycznym przyjętym za układ odniesienia. Układ odniesienia określa technologiczną strukturę systemu energetycznego wraz ze współczynnikami charakteryzującymi sprawność techniczną i emisję z różnych procesów energetycznych oraz przepływami energii od źródeł do końcowych punktów zużycia. Model może być stosowany w celu optymalizacji lub symulacji. W postępowaniu optymalizacyjnym, gdy określone są ograniczenia dotyczące dostępności zasobów, rynkowa penetracja różnych technologii i zdolności produkcyjne energii otrzymuje się z modelu optymalny układ podaży — popytu. W postaci symulacyjnej model określa pożądany układ podaży — popytu i oszacowuje koszty całego systemu energetycznego oraz jego wpływ na środowisko. Model był użytkowany także w oszacowywaniu możliwości udziału czystych i odnawialnych zasobów energii (słonecznej, siły wiatru) i ich wpływu na koszty oraz postawy społeczne wobec problemów energetycznych.

ZAADAPTOWANY MODEL VOLTERRY-LOTKI. EKOLOGIA MIAST

Nieliniowe dynamiczne układy równań Volterra-Lotka należą do kanonu ekologii matematycznej. Opisują one wzrost populacji zwierzęcych oraz wzajemne oddziaływania między tymi populacjami. Po odpowiednich przekształceniach, mogą dobrze opisywać wzrost i wzajemne oddziaływania populacji miejskich. W terminach ekologicznych miasto jest środowiskiem, w którym rozwijają się różne grupy ludności i różne rodzaje działalności gospodarczej. Między ludnością i gospodarką z jednej a środowiskiem miejskim z drugiej strony zachodzą rozliczne stosunki. Jedne są współdziałaniami, inne sprzecznościami stanowiącymi podłoże konfliktów. Rozgałęziona jest także sieć stosunków między ludnością i gospodarką, z licznymi oddziaływaniami wzajemnymi i kolizjami. W skali pojedynczych stref miejskich rozwój działalności społeczno-gospodarczej znajduje wyraz w użytkowaniu gruntów miejskich, konkurencji o te grunty, w zastępowaniu jednych form użytkowania przez inne. Poszczególne strefy miejskie z kolei konkurują o różne rodzaje działalności społeczno-gospodarczej, przykładowo o przedsiębiorstwa przemysłowe lub

gospodarstwa domowe potrzebne dla bardziej zrównoważonego rozwoju strefy. Charakterystyczne relacje ze wzajemnym przenikaniem funkcji miejskich ustalają się między centralnymi częściami i suburbią wielkich aglomeracji miejskich. Na wyższym szczeblu hierarchicznym rozwijają się relacje między miastem a jego środowiskiem, jakie tworzy cały krajowy system miast. W ramach tej sieci powiązań zachodzą oddziaływania między pojedynczymi miastami.

Rozważmy parę miast oddziałujących na siebie na różne sposoby. W tej różnorodności możemy wyróżnić następujące układy oddziaływań: 1) symbiotyczny, który zachodzi, gdy wzajemne oddziaływanie obu miast jest dodatnie (oba powiększają swoją ludność), 2) komensalny — gdy jedno miasto oddziałuje dodatnio na drugie bez odwrotnego oddziaływania, 3) drapieżczy — gdy jedno miasto żeruje na innym zdominowanym przez siebie (mieście-ofierze), 4) amensalny — gdy jedno miasto oddziałuje ujemnie na drugie bez odwrotnego oddziaływania 5) konkurencyjny — gdy oddziaływanie między obu miastami jest antagonistyczne, 6) izolacyjny — gdy oddziaływanie między miastami nie występuje.

Wymienione układy nie pojawiają się w krajobrazie geograficznym z jednakową częstotliwością. Układy komensalne, amensalne i drapieżcze pojawiają się częściej, układy symbiotyczne, konkurencyjne i izolacyjne rzadziej. Pewne światło na prawdopodobieństwo ich pojawienia się rzuca analiza stabilności poszczególnych układów. Badania wykonane na gruncie ekologii ogólnej sugerują, że z sześciu wymienionych układów cecha stabilności przysługuje układom: komensalnemu, amensalnemu i drapieżczemu, nie przysługuje natomiast układom: symbiotycznemu i konkurencyjnemu. Z badań przeprowadzonych w zakresie ekologii miast wynika dodatkowo, że wśród układów stabilnych dominującym typem jest układ drapieżczy. Prawdopodobieństwo jego pojawienia się w regionalnych i krajowych systemach miast jest najwyższe.

W układzie drapieżca — ofiara stopa wzrostu populacji ofiar wykazuje ujemną zależność od wielkości populacji drapieżców, natomiast stopa wzrostu populacji drapieżców — dodatnią zależność od populacji ofiar. Gdy populacja drapieżców równa się zeru, populacja ofiar rośnie wykładniczo, gdy jednak populacja ofiar równa się zeru, populacja drapieżców zanika.

Postać modelu drapieżca — ofiara może być rozwijana i komplikowana na wiele sposobów. Komplikację stwarza na przykład założenie, że część ofiar jest niedostępna dla drapieżców, to znaczy, że ma kryjówki. Inną komplikacją jest założenie, że drapieżca zabija ofiary nie przez całe życie, lecz dopiero gdy osiągnie określone stadium dojrzałości.

Gdy model próbuje się zastosować do badań populacji miejskich, trzeba dokonać jeszcze innych przekształceń. Prace w tym kierunku rozwijają się. Stopniowo tworzy się nowa gałąź ekologii miast, mianowicie matematyczna ekologia miast. Wcześniej ekologię miast uprawiano w sposób niesformalizowany. Istotny wkład do rozwoju matematycznej ekologii miast wnieśli Dendrinos i Mullally. W pracy na temat ewolucji miast (Dendrinos, Mullally 1985), adaptując

równania Volterra-Lotka, sformułowali założenia i modele matematycznej ekologii miast. Jeden z nich poddano testowaniu przy wykorzystaniu danych statystycznych dotyczących rozwoju obszarów metropolitalnych USA. Zastosowany model ma postać:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(y - \bar{y})x - bx^2 \\ \dot{y} &= c(\bar{x} - x)y,\end{aligned}$$

gdzie: x — względna wielkość zaludnienia miasta znormalizowana w stosunku do ogólnego zaludnienia kraju lub regionu,

y — realne dochody na głowę ludności miasta,

\bar{x} — względna pojemność ludnościowa miasta określona przez jego położenie w przestrzeni kraju,

\bar{y} — realne dochody na głowę ludności przeważające w kraju lub regionie,

a — parametr określający szybkość względnego wzrostu zaludnienia w jednostce czasu,

c — parametr określający szybkość względnego wzrostu realnych dochodów na głowę ludności.

Istnieje niewątpliwa zależność względnego wzrostu ludności miast od zróżnicowania dochodów na głowę ludności (i odwrotnie). Zależność ta nie wyjaśnia jednak dostatecznie zmian ludnościowych. Aby zwiększyć zakres wyjaśnienia zmienności, do modelu włączono komponenty przyciągania i odpychania. Wyraz bx^2/a oznacza negatywne efekty koncentracji ludności zależne od względnej wielkości i położenia miast. Pojawiają się one w wyniku zatłoczenia miast, stwarzającego bariery ich wzrostu ludnościowego. Są więc czynnikiem odpychania. Wyraz $(y - \bar{y})x$ oznacza siły przyciągające. Zależą one od względnej wielkości zaludnienia miast (x) z preferencją dla miast większych i oddziaływania różnic w dochodach jednostkowych $(y - \bar{y})$ na względny wzrost zaludnienia. Jak długo $y > \bar{y}$, czynnik ten działa jako siła przyciągająca, choć wzięta z osobna nie wystarczająca do rzeczywistego przyciągnięcia ludności. Gdy relacja zmienia kierunek i jednostkowe dochody na głowę ludności miasta spadają poniżej średniej krajowej, staje się on czynnikiem odpychającym.

Z wykonanych badań empirycznych wynika, że obszary metropolitalne, ich populacje, wykazują stabilną dynamikę. Badania, do których się odwołujemy, przeprowadzono w okresie 38 lat (1940–1977). Przez większą część tego okresu obszary te zbliżały się szybko do stanu ustalonego (steady state). Ten stan równowagi jest wyznaczony przez względną pojemność ludnościową obszarów, uwarunkowaną przez czynniki wewnętrzne i zewnętrzne. Gdy miasta zbliżają się do granic pojemności, zaczynają podlegać drastycznym zmianom, które przesuwają je ku nowej pojemności, najczęściej większej, rzadziej mniejszej. Przesunięcie jest wynikiem zmiany parametrów wyrażających szybkość względnego wzrostu populacji i dochodów na głowę ludności.

Stabilność systemów pozostaje w związku z ich złożonością. Z przeprowadzonych badań wyciągnięto wnioski, że system miast, którego złożoność rośnie, jest

stabilny, jeśli jest powiązany wysoce nielosowymi oddziaływaniami społeczno-gospodarczymi. Wysunięto hipotezę, że warunek ten jest spełniony, gdy ustala się hierarchiczny układ miast, co z reguły zachodzi.

W przeciwieństwie do oddziaływań międzymiejskich, które podtrzymują dynamiczną równowagę systemu, oddziaływania wewnątrzmijskie prowadzą z dużym prawdopodobieństwem do niestabilności. Wewnątrz miast bowiem znacznie częściej występują oddziaływania typu konkurencyjnego. Konkuruje się o przestrzeń miejską, a wynikiem konkurencji jest często zmiana formy użytkowania ziemi lub zmiana działalności w ramach tej samej formy użytkowania. W gospodarce rynkowej zmiany te mają w wysokim stopniu charakter losowy. Wygaśnięcie lub eliminacja jednej formy użytkowania lub rodzaju działalności na rzecz innej oznacza bifurkację w przebiegu procesu przestrzennego. Prowadzi to do zmian struktury przestrzennej miasta, które są z reguły nieodwracalne i tworzą nowy porządek.

SYSTEMY EKOLOGICZNO-EKONOMICZNE JAKO STRUKTURY DYSYPATYWNE

Między strukturami dysypatywnymi w sensie Prigogine'a i systemami ekologiczno-ekonomicznymi można dość łatwo ustalić reguły odpowiedniości. Tak więc w systemach ekologiczno-ekonomicznych zachodzi rozpraszanie materii i energii, współzależne zachowanie się podsystemów, organizowanie rozproszonych zasobów w struktury w postaci morfologicznego zróżnicowania i funkcjonalnej specjalizacji, rozwój struktur od niższych ku wyższym stopniom złożoności.

Warunkiem przekształceń strukturalnych, oddalających systemy od równowagi początkowej, jest występowanie relacji nieliniowych. Nowe struktury odległe od równowagi początkowej są utrzymywane w stanie równowagi dynamicznej dzięki przepływowi materii i energii między tymi strukturami a ich otoczeniem. Przekształcające się w ten sposób struktury wykazują nowe właściwości nie spotykane w stanach bliskich równowagi. Należą do nich: fluktuacje, zdolność do reagowania na różnice występujące w otoczeniu (adaptacja), zdolność do przechwytywania negatywnej entropii z otoczenia, jej przechowywania i spożytkowania w przyszłości, bifurkacja, samoorganizacja.

Zdefiniowanie prostych reguł odpowiedniości nie wystarcza jednak do efektywnego badania heterogenicznych systemów ekologiczno-ekonomicznych. Niezbędne jest rozwijanie teorii struktur dysypatywnych w kontekście ekologiczno-ekonomicznym. Artykuł niniejszy jest przyczynkiem zmierzającym w tym kierunku.

Pierwszą operacją, którą uważamy za niezbędną, jest przekształcenie tej relacji i to w podwójnym sensie. 1. Relację dwuczłonową trzeba przekształcić w relację trójczłonową. Relacja gospodarka — środowisko nie odzwierciedla bowiem złożoności powiązań między społeczeństwem i przyrodą. Trzecim członem, który obecnie wprowadzamy do systemu jest inteligencja, rozumiana jako zdolność

jednostek, grup i społeczeństw, umożliwiającą wykorzystanie nabytej wiedzy oraz skuteczne zachowanie się wobec nowych zadań i warunków życia, a także zdolność do modyfikowania zewnętrznego otoczenia. 2. Relację odzwierciedlającą wzajemne oddziaływania trzeba rozszerzyć wprowadzając zasadę jej przemienności (objaśnienie niżej). Zasada ta dyktowana jest przez system wartości społecznych, w których istotne miejsce zajmuje przetrwanie obecnej i przyszłych generacji ludzkich w godziwych warunkach środowiskowych.

Wprowadzenie trzeciego członu relacji, odgrywającego w systemie gospodarka — środowisko rolę regulatora, zmienia dysypatywną strukturę systemu. Poza członem ekonomicznym, kierującym się kryteriami czysto ekonomicznymi oraz członem ekologicznym, podlegającym prawom natury, pojawia się trzeci człon: inteligentny człowiek, inteligentna grupa społeczna, inteligentne społeczeństwo, kierujące się uznanym systemem wartości. Inteligentne społeczeństwo reguluje zakres wykorzystywania zasobów i walorów naturalnych oraz przeznaczenia zasobów gospodarczych na regenerację środowiska. Regulacja jest niezbędna wobec występowania czynników limitujących w ekosystemach i szczupłości zasobów w systemach gospodarczych. Oznacza to, że rozważany system nie jest już tylko przetwornikiem zasobów naturalnych i gospodarczych. Do procesu przetwarzania włączane są zasoby informacji. Jego dysypatywna struktura zyskuje nową jakość.

Wraz ze zmianą struktury zmieniają się właściwości systemu dysypatywnego. Inteligentny system trójczłonowy: 1) tworzy nową informację o wzajemnym oddziaływaniu elementów i zmianie parametrów systemu, 2) uruchamia nowe zarówno przyrodnicze, jak i społeczno-gospodarcze instrukcje i złożone programy nakazujące określone zachowanie się i przemiany (przetwarzanie), 3) rozszerza sieć i zwiększa intensywność wzajemnych oddziaływań, 4) zwiększa możliwość akumulacji środków działania, 5) zwiększa możliwość sterowania zmianami, uwzględniającego wartości i cele społeczne, 6) stwarza warunki przemienności relacji.

Właściwości te określają charakter złożonych procesów ekologiczno-ekonomiczno-społecznych. Procesy te zmierzają do osiągnięcia przez system równowagi dynamicznej z dala od równowagi początkowej. W terminach ekonomiczno-geograficznych znaczy to tyle, co: 1) stabilność rozumiana jako ograniczanie fluktuacji zapobiegającej utracie zdolności do samoregulacji systemów ekologicznych i społeczno-gospodarczych, 2) wysoki stopień zorganizowania obu systemów sprzyjających akumulacji negatywnej entropii i tworzeniu potencjałów rozwojowych.

Naruszenie granic tolerancji ekosystemów i systemów społeczno-gospodarczych stwarza zagrożenie dla normalnego funkcjonowania, a ich daleko idące przekroczenie prowadzi do klęski ekologicznej i ruiny społeczno-gospodarczej. Występuje więc konieczność opóźnienia entropii w procesie rozwoju. Zdolność opóźniania mają zarówno systemy ekologiczne, jak i tym bardziej systemy społeczno-gospodarcze. Realizuje się ona przez tworzenie negatywnej entropii. Negen-

tropia podtrzymuje strukturę i uporządkowanie systemów. Pojęcie to bywa utożsamiane z informacją. Założenie tożsamości obu pojęć rozszerza możliwości interpretacji pojęcia struktur dysypatywnych.

W systemach biotycznych strukturotwórcze działania zakumulowanej negentropii powodują redukcję zużycia i odpływu swobodnej energii na jednostkę biomasy, a przez to opóźnienie łącznej entropii. Dokonuje się to przez różnicowanie i specjalizację gatunków. Akumulacja negentropii zachodzi także w systemach abiotycznych. W skorupie ziemskiej w różnych okresach geologicznych odkładały się niecałkowicie rozłożone organizmy roślinne i zwierzęce. Powstałe z nich złoża paliw kopalnych są akumulacją naturalnej negentropii (karbon, kreda, trzeciorzęd).

O systemach biologicznych mówi się poglądowo, że żywią się negentropią. Podobnie systemy społeczno-gospodarcze żywią się informacją. Zasoby kapitałowe w gospodarce są formą zmagazynowanej użytecznej informacji. Reguły rynku kapitałowego są instrukcjami wskazującymi różne możliwości efektywnego lokowania kapitału i pobudzania wzrostu gospodarczego. Ten sposób wkomponowania informacji w gospodarkę jest realizowany dzięki oszczędnościom i inwestycjom. Współcześnie donioślejszy jest inny sposób, mianowicie tworzenie informacji przez badania naukowe. Informacje te inspirować powstawanie kolejnych generacji technologicznych.

Zmiany struktur społeczno-gospodarczych pod wpływem postępu naukowo-technicznego podobne są do różnicowania się struktur morfologicznych i specjalizacji funkcji w systemach biotycznych. Podobne są też skutki tych zmian. Pociągają one za sobą redukcję zużycia surowców i energii na jednostkę produkcji. Umożliwiają także włączanie do produkcji nowych surowców i źródeł energii, które przy dawnej technologii nie mogły być efektywnie przetwarzane. W ten sposób rozszerzają się zasobowe podstawy rozwoju.

Opóźnienie entropii w procesie rozwoju dysypatywnego systemu środowisko-gospodarka-społeczeństwo nie wystarcza. W procesach nieodwracalnych bowiem sumaryczna entropia układu i otoczenia zawsze rośnie. Procesy te pogarszają warunki funkcjonowania i zbliżają system do stanu dezorganizacji. W krańcowym przypadku do jego zniszczenia.

W celu nie dopuszczenia do zbyt daleko posuniętej dezorganizacji, niezbędna jest przemienność relacji głównych członów systemu. Jest to podstawowa idea tej pracy. Rozważmy najpierw przemienność relacji gospodarka-środowisko. Nasilające się wykorzystanie zasobów naturalnych i obciążenie środowiska może doprowadzić system do stanu zagrożenia lub klęski ekologicznej. Idea przemienności polega na tym, że gdy system zbliża się do tego stanu na odległość wymagającą zachowania przezorności, a tym bardziej, gdy odległość tę przekracza, wówczas gospodarka i środowisko (otoczenie) zamieniają się funkcjami. Funkcje środowiska przejmuje gospodarka, środowisko zaś staje się układem centralnym. Zasoby gospodarki kierowane ku środowisku w celu jego uporządkowania podnoszą stopień organizacji, odtwarzają struktury, zmniejszają entropię. Gospodarka jak

gdymby otacza środowisko, spełnia funkcje opiekuńcze. Towarzyszy temu, używając terminów teorii struktur dysypatywnych, wzrost dezorganizacji gospodarki, jej struktur, entropii. Przejawia się to w dysypacji zasobów gospodarczych, zmianie struktury ich użytkowania, przeznaczaniu mniejszej części na cele produkcyjne i konsumpcyjne, większej na ochronę środowiska.

Oznacza to zwrot strzałki (a ściślej jednej ze strzałek) przepływów zakumulowanych zasobów. W pierwszej fazie przeważa akumulacja zasobów gospodarczych kosztem środowiska, w drugiej odwrotnie. Sprawna i racjonalna gospodarka może na tych przepływach zyskać dzięki efektywnemu i wielokrotnemu wykorzystywaniu zasobów naturalnych. Przepływy regenerujące środowisko nie muszą więc być ekwiwalentne. Winny jednak być dostateczne, aby przywrócić środowisku dynamiczną równowagę, a w warunkach klęski ekologicznej, zdolność samoregulacji.

Idea zmiennych relacji może przyjmować i rzeczywiście przyjmuje jeszcze inną postać. Przejawia się ona nie tylko w odwracaniu stosunków środowisko-gospodarka-społeczeństwo, ale przede wszystkim w przemienności dynamiki regionalnej. Opiera się na następującym założeniu termodynamicznym. Możliwe są różne co do charakteru, ale zachodzące równocześnie procesy, w wyniku których pewne części układu stają się bardziej uporządkowane kosztem jego otoczenia. W terminach geograficznych można to zinterpretować następująco. Dzięki przestrzennej rozległości i zróżnicowaniu geosfery i biosfery oraz odmienności systemów społecznych, w różnych regionach rozwinęły się różne typy kultury gospodarczej różniące się poziomem technologii, intensywności produkcji, poziomem konsumpcji, obciążeniem środowiska. Regiony, w których rozwój społeczno-gospodarczy doprowadza do dezorganizacji środowiska, załamania struktury, wysokiej entropii ograniczają swój wzrost a nawet cofają się, jeśli zakumulowane zasoby własne lub pomoc zagraniczna nie wystarcza dla odwrócenia kierunku tego rozwoju. Rozwój społeczno-gospodarczy przesuwa się do innych regionów o niższej entropii, uporządkowanej strukturze i organizacji środowiska. Przesunięcie takie ma zawsze charakter względny, to znaczy poszczególne regiony wykazują zróżnicowane tempo wzrostu lub upadku. Stopniowo w regionach przyspieszonego rozwoju może dochodzić do dezorganizacji struktury i wzrostu entropii, zaś regiony wcześniej zdeorganizowane mogą regenerować swoje środowisko. Następuje więc kolejna przemienność dynamiki regionalnej. Tak więc niektóre regiony mogą zmniejszać swoją entropię, odzyskiwać strukturę i stawać się bardziej uporządkowane dzięki korzystnym dla nich przepływom zasobów z pozostałej części geosfery i biosfery, w której wskutek tego dochodzi do wzrostu entropii i dezorganizacji. Odwrócenie tego kierunku rozwoju może się dokonywać dzięki przemienności relacji pierwszego rodzaju.

Badanie systemów ekologiczno-ekonomicznych, podobnie jak innych systemów heterogenicznych, jest trudne. Napisano już wprawdzie wiele słów o podejściu wielodyscyplinowym, ale jego podstawy teoretyczne i metodologiczne są

wciąż słabe. Brakuje także jednolitej metody pomiaru zjawisk heterogenicznych. Autor proponuje, aby za ogniwo łączące ten heterogeniczny system przyjąć pojęcie użyteczności. Propozycja ta może budzić sprzeciw ekonomistów, którzy trwają przy klasycznej definicji użyteczności. Jego treść ewoluowała jednak i obecnie jest znacznie szersza.

MODELLING OF ECONOMIC-ECOLOGICAL SYSTEMS

Summary

The idea of sustainable development gave rise to new attempts in economic-ecological modelling. Previous approaches relied mostly on the extension of monodisciplinary models by including elements of other disciplines. This is a realistic way of making advance in this field. Many-sided and continually growing interactions of economic and ecologic spheres requires, however, further extension by including mechanism of broader integration of both spheres.

This paper, in its first part, throws light upon previous economic-ecological models. Attention is given to the model of regional environmental quality management and model based on Volterra-Lotka equations. Next, it sets forward the idea of using the theory of dissipative structures as the basis of economic-ecological modelling.

LITERATURA

- Braat L.C., von Lierop W. F. J., (red.) 1987. *Economic-ecological modeling*, Amsterdam: North-Holland.
- Dendrinis D. S., Mullally H., 1985. *Urban evolution. Studies in the mathematical ecology of cities*. Oxford: Oxford University Press.
- Domański R., 1992. *Propozycja badań systemów środowisko przyrodnicze-gospodarka-społeczność za pomocą teorii struktur dysypatywnych*. Prz. Geogr. z. 1-2.
- Lakshmanan T. R., Bolton R., 1986. *Regional energy and environmental analysis*, s. 581-628. [W:] P. Nijkamp (red.) *Handbook of regional and urban economics*, t. 1. *Regional economics*, Amsterdam: North-Holland.