

Jacek Wołoszyn, Wit Urban

Zbiory rozmyte w analizie zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania

Uwagi wstępne

Klasyczne już dzisiaj prace Lotfi Zadeha [L.A. Zadeh 1965] dotyczące teorii zbiorów rozmytych dostarczyły nowego narzędzia i wyznaczyły nowe podejście w badaniu i opisywaniu zjawisk i pojęć nieostrych. Wspomniana koncepcja okazała się szczególnie przydatna w przypadku rozważania *miękkich systemów* (np. ekonomii, biologii, psychologii, socjologii). Metody badawcze wynikające z teorii zbiorów rozmytych pozwalają na dokładniejszy opis obiektów i relacji nieprecyzyjnych, a także umożliwiają posługiwanie się rozmytym wnioskowaniem, którego charakter bliższy jest naturalnemu wnioskowaniu człowieka w porównaniu z klasycznymi metodami nierozmytej matematyki. Wprowadzone przez Zadeha pojęcie zbioru rozmytego dało początek rozbudowanej teorii zbiorów rozmytych.

1. Pojęcia i obiekty nieostre

Metody badawcze wynikające z teorii zbiorów rozmytych pozwalają na dokładniejszy opis obiektów oraz relacji nieprecyzyjnych i rozmytych. Pozwalają również prowadzić rozmyte wnioskowanie, które w swoim charakterze jest bliższe naturze wnioskowania człowieka. Zbiory rozmyte mogą być szeroko wykorzystane do opisu pewnych pojęć i prawidłowości ekonomicznych, które z natury rzeczy cechuje nieostrość. Nieostrość ta w znacznej mierze jest konsekwencją charakteru zjawisk i zależności ekonomicznych oraz języka (najczęściej naturalnego), w którym wspomniane prawidłowości są formułowane. Przykładem nieostrych pojęć mogą być między innymi takie terminy jak: równowaga, dobrobyt, rozwój, stagnacja, inflacja, bezrobocie, kryzys. Wszystkie te pojęcia są w zasadzie intuicyjnie zrozumiałe, jednak ich definicje i interpretacja nie zawsze są w pełni jednoznaczne. Utrudnia to stosowanie do tego rodzaju nieostrych pojęć tradycyjnego formalnego aparatu wnioskowania. Jedną z metod formalizowania nieostrych pojęć może być zastąpienie ich odpowiednio skonstruowanymi zbiorami rozmytymi.

Nieostrość pojęć prowadzi w konsekwencji do nieostrości relacji. Mogą to być relacje w istocie swojej rozmyte lub rozmyte wersje pewnych nierozmytych relacji. Bardzo często

stopniujemy klasyczne ostre relacje, np. mniejszy, większy, równy. Mówimy „dużo większy”, „znacznie większy”, „trochę większy”, „znacząco większy”, „niewiele większy” itd. Trudnym problemem jest określenie, która z tych relacji jest mocniejsza, a która słabsza. Metody badania zjawisk, które nie wykazują pełnego determinizmu, wymagają odmiennego aparatu pojęciowego i innego narzędzia opisu w porównaniu z klasycznymi metodami badania zjawisk charakteryzujących się w praktyce pełnym determinizmem.

2. Zbiory rozmyte

U podstaw teorii mnogości, która z kolei stanowi fundament wielu innych gałęzi nauki, leży proste, intuicyjnie jasne i nie wymagające definicji pojęcie zbioru. Zbiór A będący podzbiorem pewnej przestrzeni X można opisać podając jego funkcję charakterystyczną $\chi_A: X \rightarrow \{0,1\}$ przyjmującą wartości $\chi_A(x) = (0 \text{ dla } x \in A; 1 \text{ dla } x \notin A), \forall x \in X$. Tradycyjne określenie zbioru wprowadza jednoznaczne i ostre rozróżnienie pomiędzy elementami należącymi i nie należącymi do tego zbioru. Funkcja charakterystyczna może przyjmować jedynie wartości 0 lub 1, co odpowiada całkowitej nieprzynależności oraz pełnej przynależności elementu do rozpatrywanego zbioru.

Tworząc modele matematyczne systemów rzeczywistych niejednokrotnie odczuwamy potrzebę wykorzystania aparatu pojęciowego dostosowanego do opisu „zbiorów nie mających ostro określonych granic”. Sytuacja powyższa występuje wszędzie tam, gdzie napotykamy obiekty zbyt złożone lub mało precyzyjnie zdefiniowane, trudne w analizie przy pomocy konwencjonalnych metod matematyki.

Koncepcja zbioru rozmytego [L.A. Zadeh 1965] stworzyła wygodne i adekwatne narzędzie opisu różnych form nieokreśloności i nieprecyzji. Istotą tej koncepcji stanowi rozszerzenie zbioru wartości przyjmowanych przez funkcję charakterystyczną zbioru na cały przedział $[0;1]$. Wartość tej funkcji dla danego elementu określa stopień jego przynależności do zbioru rozmytego. Oprócz pełnej przynależności oraz całkowitej nieprzynależności może występować stan częściowej przynależności wyrażany wartościami z wnętrza przedziału $[0;1]$. W dalszych rozważaniach korzystać będziemy z następującego określenia:

Definicja 1. Zbiorem rozmytym A w przestrzeni X będącej niepustym zbiorem nazywamy zbiór par uporządkowanych $A = \{(x, \mu_A(x)): x \in X\}$, gdzie $\mu_A: X \rightarrow [0;1]$ jest funkcją przynależności, której wartości określają stopień przynależności elementów przestrzeni X do zbioru rozmytego A .

3. Miara rozmyta

Klasyczna metoda badania zjawisk wykazujących cechy nieokreśloności wykorzystuje do ich opisu język probabilistyki. Pomiędzy probabilistyką a teorią zbiorów rozmytych zachodzą istotne różnice, które rozpatrywać można z różnych punktów widzenia. Przy podejściu aksjomatycznym wskazać można różnice w określeniu miary probabilistycznej na gruncie teorii probabilistyki oraz miary rozmytej na gruncie teorii zbiorów rozmytych.

Mówiąc o mierze probabilistycznej zwykle operujemy funkcją określoną na ciele podzbiorów przestrzeni zdarzeń elementarnych. Funkcja ta przyjmuje wartości rzeczywiste z przedziału $[0;1]$. Wartość funkcji dla całej przestrzeni wynosi 1. Wymagamy, aby omawiana funkcja spełniała warunek addytywności, który wyrazić można w formie stwierdzenia: *wartość funkcji dla sumy rozłącznych podzbiorów jest równa sumie wartości funkcji dla tych podzbiorów*. Miara rozmyta definiowana jest podobnie do miary probabilistycznej, przy czym warunek addytywności zastąpiony jest słabszym warunkiem monotoniczności, który wymaga jedynie, aby analogiczna funkcja określona w klasie podzbiorów pewnej przestrzeni spełniała zależność: *jeżeli podzbiór A zawarty jest w podzbiorku B , to wartość funkcji dla podzbioru A jest mniejsza lub równa wartości funkcji dla podzbioru B* .

Miara rozmyta stanowi uogólnienie miary probabilistycznej, co jest konsekwencją tego, że warunek addytywności zawiera się w warunku monotoniczności. Miara rozmyta może być więc podstawą tworzenia ogólniejszych i bardziej uniwersalnych narzędzi opisu zjawisk charakteryzujących się elementami nieokreśloności. Jedną z konsekwencji ogólniejszej definicji miary rozmytej jest odmienny w porównaniu do prawdopodobieństwa sposób określenia funkcji przynależności zbioru rozmytego. Dla przykładu rozważmy zbiór rozmyty w przestrzeni liczb rzeczywistych. Ma on funkcję przynależności, która każdemu punktowi osi liczbowej przyporządkowuje wartość z przedziału $[0;1]$. Zmienna losowa określona w zbiorze liczb rzeczywistych związana jest z funkcją prawdopodobieństwa, która przypisuje wartości z przedziału $[0;1]$ nie poszczególnym punktom osi liczbowej, ale jej przedziałom o niezerowej długości.

Kolejną cechą różniącą teorię zbiorów rozmytych i teorię probabilistyki jest większa różnorodność możliwości kształtowania funkcji przynależności zbioru rozmytego w porównaniu z funkcją prawdopodobieństwa, która musi spełniać warunek addytywności. Jeżeli prawdopodobieństwo związane z pewnym zdarzeniem można traktować jako jego obiektywną charakterystykę, to wartość funkcji przynależności zbioru rozmytego może mieć również charakter subiektywnej miary. Większa ogólność teorii zbiorów rozmytych w porównaniu z teorią probabilistyki przejawia się także w znacznie obszerniejszym zbiorze operacji wykonywanych na zbiorach rozmytych w porównaniu z możliwymi operacjami na funkcjach prawdopodobieństwa.

4. Systemy ekonomiczne

Analiza systemów rozmytych wymaga konstrukcji własnych narzędzi dostosowanych do specyfiki tej formy opisu rzeczywistości. Uzupełniać powinny je właściwe teorie z zakresu dziedziny problemu rozwiązywanego w oparciu o teorię zbiorów rozmytych. Te wymogi znajdują szczególne odniesienie w badaniu dynamiki systemów ekonomicznych. Dynamika każdego systemu, również ekonomicznego, w znaczący sposób zależy od występujących w tym systemie sprzężeń zwrotnych. Sformułowana przez zmodyfikowaną dynamikę systemową koncepcja weryfikującego sprzężenia zwrotnego stwarza wygodną podstawę do budowy teorii wyjaśniających funkcjonowanie systemu w kategoriach charakterystyk rozmyto–zbiorowych. W ten sposób istnieje także możliwość stosunkowo

prostej konstrukcji narzędzi analizy rozmaitych rezultatów eksperymentu symulacyjnego, przy pomocy teorii z obszaru nauk ekonomicznych. Jest to tym łatwiejsze, że te dziedziny nauki są z natury swojej zdane na wykorzystywanie pojęć nieostrych.

W przypadku badania dynamiki systemów ekonomicznych przy wykorzystaniu modelu dynamiki systemowej z modyfikacją rozmyto-zbiorową, wspomniana koncepcja weryfikującego sprzężenia zwrotnego może zostać odniesiona do procesu zarządzania. W przebiegu tego procesu można bowiem umiejscowić pętlę weryfikującego sprzężenia zwrotnego. Symulacyjne badanie tej pętli, z punktu widzenia inżynierii systemowej, prowadzić powinno do sformułowania wniosków odnoszących się do jakości procesu zarządzania. Określenie relacji pomiędzy procesem zarządzania a stanem systemu wykonawczego pozwala sformułować ogólne zasady teorii zdolności systemu do funkcjonowania. Teoria ta stanowi propozycję merytorycznej interpretacji rozmaitych rezultatów eksperymentów symulacyjnych z modyfikacją rozmyto-zbiorową w badaniach dynamiki systemów ekonomicznych.

Istnieje wiele definicji systemu ekonomicznego. Dla celów niniejszego opracowania została wybrana następująca:

Definicja 2. [M. Parkin 1990] *System ekonomiczny jest organizacją produkującą dobra lub usługi.*

Zgodnie z tą definicją system ekonomiczny cechuje specyfika wynikająca z dwóch podstawowych własności:

- oceny systemu ekonomicznego poprzez pryzmat funkcjonowania podsystemu produkcyjnego,
- formułowania strategii rozwoju całego systemu w odniesieniu do podsystemu zarządzania.

W ten sposób badanie i analiza dynamiki takich systemów powinny być rozpatrywane w kontekście funkcjonowania wymienionych dwóch podsystemów. Z drugiej strony systemy ekonomiczne stanowią formę organizacji wykreowaną przez człowieka, która może być badana także przy uwzględnieniu pojęcia procesu organizowania rozumianego zgodnie z podanymi niżej definicjami.

Definicja 3. [L.L. Byars, L. Rue 1991] *Proces organizowania polega na stymulowaniu współdziałania dla osiągnięcia wspólnych celów oraz podporządkowania grup realizujących takie wspólne działanie kierownikowi wyposażonemu w uprawnienia do nadzoru tego działania.*

Definicja 4. [J.A.F. Stoner, Ch. Wankel 1996] *W najszerszym znaczeniu organizowanie pojmuje się jako proces dostosowania struktury organizacji do jej celów, zasobów, otoczenia. Strukturę organizacyjną w tym ujęciu można zdefiniować jako układ i wzajemne zależności między częściami składowymi oraz stanowiskami przedsiębiorstwa.*

Przyjęcie definicji procesu organizowania pozwala z kolei rozumieć bezpośrednio pojęcie organizacji poprzez sformułowanie następującego jej określenia:

Definicja 5. [R. B. Chase, N.J. Aquilano 1985] *Organizacja dostarcza środków do zakończenia pracy i osiągnięcia związanych z nią celów, które nie mogłyby być uzyskane w wyniku indywidualnych działań odseparowanych od siebie.*

Powyższe określenie organizacji może być zinterpretowane także przy pomocy stwierdzenia, że pełni ona podstawową funkcję polegającą na przezwyciężaniu granic możliwości jednostek, umożliwiając im realizację celów, których osiągnięcie w innych warunkach byłoby trudniejsze lub nawet niemożliwe.

Z przedstawionych definicji wynika, że podstawowym atrybutem systemu ekonomicznego jako organizacji jest cel jego istnienia. Dotyczy to zresztą wszystkich systemów ekonomicznych. Z punktu widzenia teorii zarządzania, z celem systemu związana jest strategia jego osiągnięcia. Można ją według wspomnianej teorii zdefiniować przyjmując dwa układy odniesienia.

Definicja 6. [J.A.F. Stoner, Ch. Wankel 1996] *W układzie odniesienia, tworzonym przez cel systemu postawiony przed nim z chwilą jego powstania, strategia jest ogólnym programem definiowania i realizacji celów organizacji. Wykorzystanie terminu programowanie ma w tym ujęciu wskazywać na świadomość i racjonalność działań opisywanych w ramach przedstawianego kontekstu. Natomiast w układzie odniesienia celu realizowanego przez system w rzeczywistości, strategia jest układem w czasie reakcji organizacji na jej otoczenie.*

Tak więc badanie i analiza dynamiki systemu ekonomicznego musi zostać odniesiona do celu jego powstania, a co za tym idzie, do strategii realizowanej faktycznie przez system ze szczególnym uwzględnieniem możliwości sformułowania strategii optymalnej. Oczywiście celem analizy jest odniesienie rzeczywistej strategii systemu do strategii optymalnej. Uzyskana w ten sposób diagnoza powinna z kolei posłużyć zgodnie z zaleceniami inżynierii systemowej udoskonaleniu funkcjonowania systemu, aby mógł on realizować cel postawiony przy jego powstaniu. Innymi słowy, chodzi o to, aby strategia faktycznie realizowana przez system ekonomiczny była w każdych warunkach strategią optymalną lub zbliżoną do optymalnej.

Próbę opisu uwarunkowań wpływających na zbieżność strategii rzeczywistej i optymalnej zawiera w teorii zarządzania koncepcja obszarów efektywności. Zostały one zdefiniowane w sposób następujący:

Definicja 7. [J.A.F. Stoner, Ch. Wankel 1996] *Kluczowymi obszarami efektywności albo wyników są te elementy jednostki lub organizacji, które muszą skutecznie funkcjonować, aby cała jednostka czy organizacja osiągnęły sukces. Obszary te wiążą się zazwyczaj z podstawowymi czynnościami organizacji lub z pokrewnymi ich grupami, występującymi w całej organizacji lub jednostce. Ogólne instrumenty kontroli ustanawiane dla tych obszarów pomagają określić szczegółowe systemy kontroli.*

Rozwinięciem i uzupełnieniem kluczowych obszarów kontroli jest ustalenie krytycznych punktów systemu zwanych strategicznymi punktami kontrolnymi, w których powinna być prowadzona obserwacja lub zbieranie informacji. Najlepszą w tym względzie metodą jest skoncentrowanie uwagi na najistotniejszych elementach operacji realizowanych w badanym systemie. Chodzi tu głównie o podstawowe zasoby systemu z punktu widzenia zasad dynamiki systemowej. W ten sposób obserwacja zmian wybranych zasobów jest wygodną formą kontroli funkcjonowania systemu ekonomicznego.

Przyjęcie koncepcji kluczowych obszarów efektywności wymaga rozstrzygnięcia kwestii pomiaru efektywności jako syntetycznej miary skuteczności systemu. Rozstrzygnięcia w tym zakresie na gruncie teorii zarządzania dostarcza definicja kontroli kierowniczej.

Definicja 8. [R.B. Chase, N.J. Aquilano 1985] *Kontrola kierownicza jest systematycznym działaniem na rzecz ustanowienia norm efektywności przy planowanych celach, zaprojektowania sprzężeń zwrotnych, porównywania rzeczywistej efektywności z wyznaczonymi normami, ustalenia odchyłeń i pomiaru ich znaczenia oraz podejmowania wszelkich kroków potrzebnych do zapewnienia, by wszystkie zasoby organizacji były wykorzystane najskuteczniej i najsprawniej do osiągnięcia jej celów.*

W tym ujęciu zagadnienie pomiaru efektywności wiąże się z normalizacją miary dotyczącej wykonywania przez system zarządzania funkcji kontroli w ramach procesu kierowania. Kontrola ulega wówczas dekompozycji na następujące etapy:

- ustalenie metod pomiaru i norm,
- pomiar efektywności,
- porównanie uzyskanej efektywności z normami,
- działania korygujące mające na celu uzyskanie zgodności pomiędzy uzyskiwanymi pomiarami efektywności a ustanowionymi normami.

Funkcja kontroli w tym schemacie spełnia więc podstawową funkcję mechanizmu pętli sprzężenia zwrotnego w sensie metodologii dynamiki systemowej. Jest ona w ten sposób odpowiedzialna za obsługę automatycznej korekty strategii realizowanej faktycznie przez badany system ekonomiczny w kierunku strategii optymalnej z punktu widzenia interakcji z otoczeniem oraz inercji własnej układu w danym momencie czasu. Stwierdzenie to ma konsekwencje teoretyczne ze względu na wnioskowanie o staniu systemu w myśl zasad inżynierii systemowej. Określa bowiem aspekt procesu kierowania, który powinien być przedmiotem szczególnej uwagi z punktu widzenia budowy systemu lepiej przygotowanego do realizacji celu swojego istnienia. Ważnym elementem opisanego koncepcji wykonywania funkcji kontroli w ramach procesu kierowania przez system zarządzania jest podkreślenie zasady aktywnej oceny poprzez wprowadzenie mechanizmu korygującego. Jest to dodatkowe uzasadnienie merytoryczne w ramach teorii zarządzania dla zasad inżynierii systemowej oraz dynamiki systemowej. Przedstawiony sposób widzenia procesu kierowania ułatwia ponadto zrozumienie pojęcia lepszego systemu społecznego

[J.W. Forrester 1975], w tym także ekonomicznego. Jest nim system z mechanizmem korygującym rzeczywistą strategię systemu szybciej i w większym stopniu w kierunku strategii optymalnej. Tym samym ocena funkcjonowania systemu zarządzania, istotna z punktu widzenia całości badanego systemu, zyskuje nowy wymiar. Jest nim auto–ocena samego podsystemu oraz jej wpływ na korektę strategii faktycznie realizowanej przez cały system ekonomiczny.

5. Zdolność systemu ekonomicznego do funkcjonowania

Rozwinięciem przedstawionych dotychczas zagadnień jest określenie możliwości systemu ekonomicznego do funkcjonowania w okresach przyszłych. Możliwość funkcjonowania systemu należy rozumieć jako zdolność realizacji celu przypisanego systemowi z chwilą jego utworzenia. Innymi słowy, chodzi o uzyskanie oceny zgodności pomiędzy strategiami optymalną i rzeczywistą w okresach przyszłych w oparciu o aktualną wiedzę o badanym systemie ekonomicznym. Określenie jednak, czy konkretny system będzie funkcjonował w przyszłości, czyli w jakim stopniu będzie realizował cel dla którego został utworzony, jest bardzo trudne. Trudność ta wynika w głównej mierze z:

- problemów związanych z doбором charakterystyk odzwierciedlających funkcjonowanie systemu ekonomicznego poprzez określenie:
- stopnia realizacji celu funkcjonowania systemu ekonomicznego;
- współzależności pomiędzy realizacją celu funkcjonowania systemu a strukturą tego systemu,
- charakterystyki te będą nazywane w dalszym ciągu parametrami funkcjonowania systemu;
- problemów związanych z doбором charakterystyk odzwierciedlających stan otoczenia systemu, zwanych dalej parametrami stanu otoczenia systemu. Różnice w określeniach obu grup charakterystyk wynikają z faktu, że w przypadku rozważanego systemu interesuje nas dynamika funkcjonowania systemu, natomiast w odniesieniu do jego otoczenia chodzi o zmienność stanu otoczenia i jej wpływ na funkcjonowanie systemu;
- niedostatecznej wiedzy co do funkcjonowania systemu rozumianego jako zespół wartości parametrów funkcjonowania systemu w okresach przyszłych;
- niedostatecznej wiedzy co do stanu otoczenia systemu traktowanego jako zbiór wartości parametrów stanu otoczenia systemu w okresach przyszłych.

Wymienione problemy występują, co jest oczywiste, z różnym nasileniem w odniesieniu do różnych klas systemów. W różnym też stopniu są one rozwiązywalne na obecnym etapie wiedzy o systemach ekonomicznych. Można tu jednak wskazać kierunki badań zmierzające do przezwyciężenia każdej z wymienionych trudności. Jeśli chodzi o charakterystyki funkcjonowania systemu, można posługiwać się miarami prakseologicznymi takimi jak: skuteczność, sprawność, efektywność. Natomiast problem braku wiedzy na temat funkcjonowania systemu ekonomicznego oraz stanu jego otoczenia w okresach przyszłych

jest rozwiązywalny do pewnego stopnia np. poprzez wykorzystanie dostępnych metod modelowania dynamiki systemów (dynamika systemowa, równania stanu).

Przedstawione kierunki badań nastawione są przede wszystkim na stworzenie narzędzi mających umożliwić powiększenie zakresu wiedzy na temat istoty systemów ekonomicznych. Innym kierunkiem działań są badania nad strukturą organizacyjną takich systemów. Mają one na celu wykorzystanie dostępnej już wiedzy na temat systemów ekonomicznych dla podniesienia niezawodności ich funkcjonowania (inżynieria systemowa, teoria zarządzania), a więc zwiększenia prawdopodobieństwa realizacji celu ich istnienia. Należy jednak zauważyć, że żaden z kierunków badań nie formułuje całościowej koncepcji podejścia do problemu określenia możliwości funkcjonowania dowolnego systemu ekonomicznego w okresach przyszłych. Nie podejmuje także, co wynika z poprzedniego stwierdzenia, kwestii współzależności pomiędzy zmianami w strukturze systemu wynikającymi ze zwiększającej się wiedzy na temat niego samego bądź jego otoczenia, a stopniem możliwości funkcjonowania systemu w przyszłości (poza uchwyceniem tendencji zmiany tego stopnia). Pewną próbą zapewnienia powstałej luki może być koncepcja pojęcia zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania traktowana jako zdolność takiego systemu do realizacji celu jego istnienia. W tym celu należy spojrzeć na funkcjonowanie takiego systemu poprzez zmiany, jakim on ulega. Opierając się na tym podejściu można zaproponować rozwiązanie wykorzystujące teorię przestrzeni stanów oraz rachunek prawdopodobieństwa. Istnieją bowiem pewne cechy systemu ekonomicznego, które określają stan pożądany jego funkcjonowania. Są nimi wspomniane już parametry funkcjonowania systemu ekonomicznego. Tworzą one wspólnie wektor parametrów funkcjonowania systemu, który porusza się w przestrzeni stanów określonej dla przyjętych charakterystyk.

W wyniku funkcjonowania systemu ekonomicznego winno następować przechodzenie tego systemu w przestrzeni jego stanów do kolejnych stanów pożądanych z punktu widzenia realizacji celu istnienia systemu. Przestrzeń ta ma charakter dynamiczny i stochastyczny. Ten ostatni wyraża się w określonej dla danego momentu czasu funkcji rozkładu lub gęstości prawdopodobieństwa możliwych realizacji wektora stanu dowolnego modelu zapisanego w konwencji równania stanu. Obydwie własności przestrzeni stanów można wykorzystać do zdefiniowania zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania:

Definicja 9. [W. Urban, J. Wołoszyn 1992] Zdolność systemu ekonomicznego do funkcjonowania jako charakterystyka tego systemu określona dla momentu czasu t wyraża się prawdopodobieństwem osiągnięcia przez system w momencie $t+n$ pewnego stanu pożądanego, określonego ze względu na cel istnienia tego systemu. Winno temu towarzyszyć zachowanie przynajmniej niezbędnej efektywności w sensie ogólnie pojmowanej minimalizowanej relacji nakładu do uzyskanych rezultatów.

Ta propozycja definicji nie różni się od intuicyjnego pojmowania zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania. Jest ona bowiem utożsamiana ze skuteczną realizacją celu funkcjonowania tego systemem. Inną zaletą tej definicji jest też precyzyjne wskazanie jednostki miary mogącej być podstawą dla określania stopnia zdolności funkcjonowania

systemu zgodnie z przyjętą w prowadzonych badaniach skalą ocen. Ponadto koncepcja taka zapewnia najbardziej ogólne podejście do funkcjonowania systemu ekonomicznego. Z drugiej jednak strony przedstawione podejście stwarza poważne problemy związane z konstrukcją odpowiedniego miernika zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania. Wynikają one przede wszystkim z ogólnych ograniczeń dotyczących wykorzystania systemów probabilistycznych. Po drugie są one związane z trudnościami wynikającymi z dekompozycji procesu realizowanego przez taki system w związku z dążeniem do osiągnięcia celu jego istnienia, z punktu widzenia różnych aspektów tego procesu. Aspekty te powinny następnie stanowić podstawę zdefiniowania parametrów funkcjonowania systemu ekonomicznego oraz parametrów stanu otoczenia tego systemu. Problemy tkwią przede wszystkim w jakościowym charakterze niektórych zjawisk towarzyszących funkcjonowaniu systemów tej klasy [B. Tessem, P.J. Davidson 1994]. Ponadto istnieje też problem istotności parametrów funkcjonowania systemu z punktu widzenia okresów przyszłych, a przez to wyrażenie ich zmiennego wpływu na funkcjonowanie systemu ekonomicznego w kategorii prawdopodobieństwa. Tak więc idea mierzenia powyższej zdolności przy pomocy prawdopodobieństwa jest w rozważanym kontekście w dużej mierze niewygodna. Systemy ekonomiczne należą bowiem do trudno przewidywalnych jeśli chodzi o ich funkcjonowanie. Możliwe jest formułowanie stwierdzeń co do prawdopodobieństwa przebiegu zjawiska ekonomicznego tylko w obrębie pewnych klas takich zjawisk, wyróżnionych ze względu na założone warunki ich wystąpienia.

Pewne istotne możliwości rozwiązania problemów towarzyszących wykorzystaniu pojęcia zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania daje teoria zbiorów rozmytych. Przede wszystkim zgodnie z wynikami badań przedstawionymi w [A.J. Drakopoulos 1995] system rozmyty może symulować system probabilistyczny. Ponadto możliwość jednoczesnego operowania zbiorem pewnych elementów w ramach zbioru rozmytego lub liczby rozmytej, jest ważna z punktu widzenia prognozowania czy też ogólnie badania zjawisk, na temat których wiedza jest stosunkowo ograniczona.

Drugim ważnym argumentem, przemawiającym za wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych w odniesieniu do rozważanej klasy zjawisk, jest sformułowanie warunków dotyczących funkcji przynależności elementu do zbioru rozmytego. Sformułowania użyte w definicji funkcji przynależności [L.A. Zadech 1965] dopuszczają daleko idącą swobodę w zakresie tworzenia takiej funkcji w oparciu o kryteria nie do przyjęcia z punktu wiedzy merytorycznej na temat badanych zjawisk. Fakt ten ma duże znaczenie przy analizie zjawisk związanych z funkcjonowaniem systemów ekonomicznych. Istotą tych systemów są bowiem działania człowieka, który ze względów obiektywnych nie dysponuje precyzyjną wiedzą na temat otaczającego go świata. W następstwie tej sytuacji kieruje się on często w swej aktywności przesłankami pozamerytorycznymi. W ten sposób formułowanie dokładnych prognoz dotyczących funkcjonowania systemów ekonomicznych w ogólnym przypadku jest niezmiernie trudne. Możliwe są natomiast stwierdzenia o charakterze nieprecyzyjnym, do formułowania których dobrze nadają się właśnie zbiory rozmyte. Przy tym należy zauważyć, że ta nieprecyzyjność wynika nie tylko z braku procedur jednoznacznego określania różnych aspektów badanego zjawiska w oparciu o istniejącą

wiedze na jego temat. Jest ona także rezultatem uwzględnienia wiedzy, która niekoniecznie musi mieścić się w obrębie powszechnie akceptowanych teorii naukowych.

W oparciu o przedstawione rozważania można sformułować wniosek dotyczący zastąpienia prawdopodobieństwa w definicji zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania przez charakterystykę rozmytą. Może być nią, zależnie od konkretnego przypadku, zbiór rozmyty w pewnej przestrzeni, rozmyta wielkość rzeczywista lub rozmyta wielkość całkowita. Należy zauważyć, że takie podejście do pojęcia zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania może ułatwić pomiar tej wielkości na drodze eksperymentu symulacyjnego.

6. Symulacyjne wyznaczanie zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania

Szacowanie zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania na drodze eksperymentu symulacyjnego można zrealizować przyjmując przedstawione wcześniej założenie przybliżenia systemu probabilistycznego przez odpowiednio skonstruowany system rozmyty. W tym celu został wykorzystany model dynamiki systemowej z modyfikacją rozmyto-zbiorową [W. Urban, J. Wołoszyn 1994]. Tak określone warunki eksperymentu symulacyjnego pozwalają na badanie dynamiki systemu ekonomicznego pod kątem zasad inżynierii systemowej oraz wybranych teorii zarządzania.

Z rozwiązaniem problemów dotyczących wyznaczania wielkości szacującej poziom zdolności do funkcjonowania badanego systemu ekonomicznego łączą się zagadnienia wymagające określenia:

- skali pomiarowej szacowanej zdolności systemu ekonomicznego do funkcjonowania,
- zasad konstrukcji agregatu w oparciu, o który będzie wyznaczana szacunkowa zdolność systemu ekonomicznego do funkcjonowania,
- parametrów funkcjonowania badanego systemu ekonomicznego wchodzących w skład tworzonego agregatu,
- metody sprowadzania parametrów funkcjonowania systemu ekonomicznego do wspólnej skali pomiarowej.

Podstawą dla rozwiązania przedstawionych zagadnień są założenia koncepcji aktywnego podnoszenia skuteczności kierowania. Decydujące znaczenie w tym zakresie mają kluczowe obszary efektywności. Można je identyfikować z zasobami modelu dynamiki systemowej z modyfikacją rozmyto-zbiorową. Z kolei pojęcie kontroli kierowniczej określa zasady, według których kształtowane są wielkości stanowiące podstawę oceny kluczowych obszarów efektywności. Według tych zasad wspomniane wielkości powinny podlegać kontroli zgodności z przyjętymi dla nich normatywami. Te zaś powinny być wyznaczone przy uwzględnieniu realizacji celu postawionego przed badanym systemem. Przyjęte normatywy są oczywiście w tym przypadku kompromisem mającym zagwarantować skuteczną, ale i efektywną realizacją zadań systemu ekonomicznego. Stąd też pojęcie efektywności traktowane jest priorytetowo w określeniu zasobów systemu stanowiących

o dopuszczalnej skuteczności realizacji celu systemu w sensie respektowania ograniczeń narzuconych przez limity posiadanych środków, czy też wynikające z wymogów otoczenia. Przedstawione rozważania uzasadniają przyjęcie poniższej definicji.

Definicja 10. Zdolność systemu ekonomicznego do funkcjonowania może być przybliżana przez agregat rozmyty zbudowany w oparciu o zmienne zasobów modelu dynamiki systemowej z modyfikacją rozmyto-zbiorową stanowiących kluczowe centra efektywności badanego systemu ekonomicznego. Agregat taki powinien zawierać przetworzone informacje o tych zasobach w formie odchyżeń od przyjętych dla nich normatywów określających niezbędny poziom efektywności przy skutecznej realizacji celu funkcjonowania systemu.

W celu uzyskania informacji o zasobach (kluczowych centrach efektywności) przetworzonych zgodnie z powyższą definicją można wykorzystać oszacowanie wielkości zmiennych dla tych zasobów przy wykorzystaniu skali procentowej.

Zakończenie

Metody teorii zbiorów rozmytych mogą być efektywnie wykorzystywane w symulacyjnym badaniu dynamiki systemów ekonomicznych. Rozmyte, z natury rzeczy, rezultaty takich eksperymentów symulacyjnych cechuje wielowymiarowość, dostarczająca szerokiego spektrum informacji o badanym procesie. Klasyczne metody analizy oparte przede wszystkim na przetwarzaniu opisu rzeczywistości w kategoriach systemów probabilistycznych nie są dostosowane do eksploracji potencjalnych możliwości badawczych związanych z wykorzystaniem systemów rozmytych, zwłaszcza w sytuacji gdy badanie dynamiki systemowej jest prowadzone nie tylko w odniesieniu do danego systemu rzeczywistego, ale także w łączności z procesem zmian w warstwie ocen możliwości realnego wystąpienia obrazu tej dynamiki.

Literatura

- Byars L., L. (1991), Rue L., W. Human Resource Management, Homewood, Boston 1991.
- Chase R., B. (1985), Aquilano N. J. Production and Operations Management: A Life Cycle Approach, 4th ed., Homewood 1985.
- Drakopoulos A.J. (1995), Probabilities, possibilities and fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems, Volume 75, 1995, page 1–15.
- Forrester J.W. (1975), System Dynamics — Future Opportunities, Studies in the Management Sciences, Volume 14 — System Dynamics, North-Holland Publishing Comp. 1975.
- Parkin M. (1990), Economics, Addison-Wesley Publishing Comp., Inc. 1990.
- Stoner J., A.F. (1990) Wankel Ch., Kierowanie, PWE, Warszawa 1996.
- Tessem B. (1994), Davidson P. J., Fuzzy system dynamics: an approach to vague and qualitative variables in simulation, System Dynamics Review, Vol 10, no 1 (spring 1994), page 49–66.
- Urban W. (1992), Możliwości wykorzystania zbiorów rozmytych w analizie funkcjonowania systemów społeczno-ekonomicznych, Zeszyty Naukowe AE Nr 392, Kraków 1992.
- Urban W. (1994) Wołoszyn J., Eksperymentalny system przetwarzania danych rozmytych, Zeszyty Naukowe AE Nr 421, Kraków 1994.
- Zadeh L.A. (1965), Fuzzy sets, Information and Control, 8, 1965, 338–353.