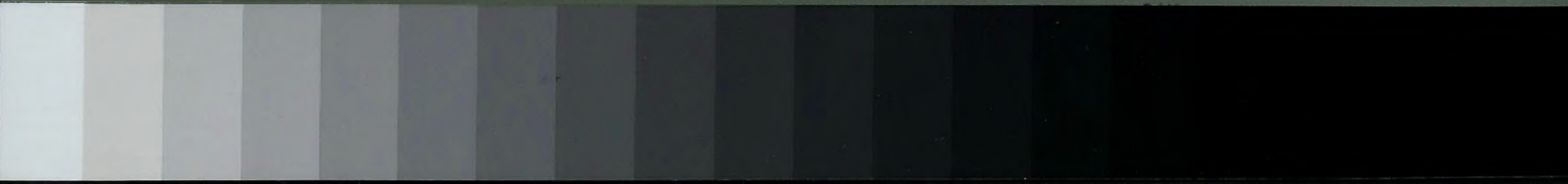




Grey Scale #13



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



# AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM INFORMATYKI

## SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Projekt badawczy typu „grant” nr OT00A 055 18

OPRACOWANIE ZAŁOŻEŃ METODOLOGICZNYCH  
MODELI POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA  
I BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Zadanie badawcze III

61 068

Biblioteka Główna  
Akademii Obrony Narodowej

S/1671



05-004671-001-0

PNB

WARSZAWA

2000



**AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ**

---

**CENTRUM INFORMATYKI**

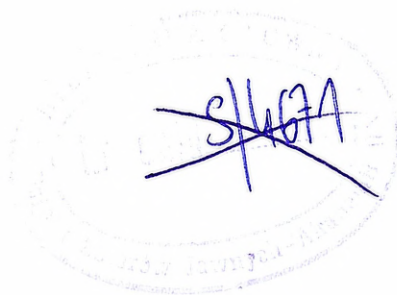


**SYMULACYJNE MODELE  
POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I PO-  
TENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH**

Projekt badawczy typu „grant” nr OT00A 055 18

**OPRACOWANIE ZAŁOŻEŃ METODOLOGICZNYCH MODELI  
POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA  
I BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH**

Zadanie badawcze III



**ZESPÓŁ AUTORSKI:**

Kierownik pracy: **Plk prof. dr hab. inż. Czesław FLANEK**

Autorzy:

**Plk dr inż. Marek KINASIEWICZ**

**Plk dr inż. Marian URBANEK**

**Pplk dr inż. Janusz WOCIAL**

Przedstawione opracowanie jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr OT00A 055 18 pt. **SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH**. Temat opracowany został zgodnie z „Harmonogramem wykonania projektu badawczego.

Opracowanie stanowi realizację zadania badawczego nr III projektu.

Przedstawiane opracowanie zawiera specyfikację założeń metodologicznych niezbędnych w procesie realizacji modeli potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych.

Wynikiem realizacji projektu badawczego ma być określony model (symulacyjny) przedmiotu badanego. Tak więc główny wysiłek badaczy koncentrować powinien się na realizacji tego modelu. Zatem ich proces badawczy staje się procesem modelowania (ściśle określony cel badań). W związku z tym, aby realizowany przez nich proces był metodologicznie poprawny (jeden z dwóch głównych postulatów działania racjonalnego) przedstawione zostały metodologiczne aspekty modelowania przedmiotu badawczego. Tu badacze znajdą odpowiedź na pytanie: „Jak prowadzić badania?”

A jaki powinien być wynik badań? Jaki powinien być model? Co jest istotą modelu? Na te pytania badacz znajdzie odpowiedzi w następnym punkcie: „Istota modelowania w analizie systemowej”. Ale dlaczego w analizie systemowej? Otóż dlatego, że podejście redukcyjne (kartezjańskie) jest daleko niewystarczające. Modele nazbyt uproszczone, jednoaspektowe, itp. – incydentalne, nie mogą stanowić podstawy badawczej i wystarczającego wnioskowania o oryginale. Tylko podejście całościowe do modelowanego przedmiotu może gwarantować dobrą taką podstawę. Oczywiście

podejście holistyczne tylko ze względu na pożądany cel, nie dla wszystkich i jakiegokolwiek ich potrzeby.

Model jest pochodną oryginału. I tutaj mamy kolejny problem. Otóż modelowany przedmiot jest wyjątkowo specyficzny: (1) *de facto* są dwa przedmioty: siły zbrojne i system obronny państwa; (2) żaden z systemów nie realizuje się w aspekcie badanym; (3) każdy jest wielowymiarowy (wieloaspektowy); (4) wiele istotnych wymiarów jest niemierzalnych; (5) nieokreślone są mierniki pomiaru wielu wymiarów. Rozwiązanie każdego z powyższych problemów zależy w dużej mierze od wiedzy i doświadczenia badaczy. Problem (2) w szczególności. W celu metodologicznie poprawnego rozwiązania pozostałych problemów przedstawiono dokładniej istotę wielowymiarowej analizy porównawczej, której osiągnięcia mogą w znacznym stopniu przyczynić się do osiągnięcia pożądanego wyniku – poprawnego modelu.

Przedstawione zalecenia metodologiczne stanowić powinny podstawy dla badaczy w procesie ich pracy. Ich prezentacja *górze – dół* wyznacza właściwą detalizację analizowanego problemu i stanowi podstawę do konceptualizacji ogólnych modeli kompleksowych i szczegółowych w postaci modeli symulacyjnych.

# SPIS TREŚCI

<b>SPIS TREŚCI</b> .....	<b>5</b>
<b>WPROWADZENIE</b> .....	<b>6</b>
<b>1. METODOLOGICZNE ASPEKTY MODELOWANIA PRZEDMIOTU BADAWCZEGO</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ISTOTA MODELOWANIA W ANALIZIE SYSTEMOWEJ</b> .....	<b>15</b>
2.1. METODA SYSTEMOWA .....	16
2.2. DEFINICJA SYSTEMU .....	20
2.3. ISTOTA MODELOWANIA .....	24
2.3.1. <i>Definicja modelu</i> .....	24
2.3.2. <i>Opis morfologiczny (strukturalny)</i> .....	27
2.3.3. <i>Opis funkcjonalny</i> .....	29
2.4. SYMULACJA I MODELOWANIE SYMULACYJNE.....	33
<b>3. ISTOTA MODELU OCENOWEGO PRZEDMIOTU</b> .....	<b>39</b>
<b>4. METODA ANALITYCZNA OCENY PRZEDMIOTU</b> .....	<b>42</b>
4.1. OKREŚLANIE WYMIARÓW I ICH WAG.....	42
4.1.1. <i>Metoda porównywania parami</i> .....	40
4.1.2. <i>Metoda Churchmana - Ackoffa</i> .....	43
4.1.3. <i>Metoda określania miary względnej</i> .....	45
4.2. OKREŚLANIE WARTOŚCI WYMIARÓW.....	47
4.3. AGREGACJA /INTEGRACJA/ WYMIARÓW .....	47
4.4. UWAGI KOŃCOWE.....	49
<b>ZAKOŃCZENIE</b> .....	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>52</b>

## WPROWADZENIE

Przedstawione opracowanie zawiera założenia metodologiczne niezbędne w procesie modelowania potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

W dotychczasowych wojskowych badaniach naukowych problemy modelowania potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych podejmowane były kilkakrotnie. Znanych jest kilka znaczących w tej dziedzinie modeli (metod). Szczególnie dotyczących potencjału bojowego sił zbrojnych. Prac dotyczących modelowania potencjału obronnego państwa jest znacznie mniej. Wszystkie jednak charakteryzują się podejściem kartezjańskim (redukcyjnym), a nie systemowym. Koncentrują się na poszczególnych aspektach przedmiotu, a nie na ich syntezie, na przedmiocie jako całości.

Opracowanie zawiera wprowadzenie, trzy rozdziały merytoryczne oraz zakończenie i bibliografię.

Rozdział pierwszy dotyczy metodologicznych aspektów modelowania przedmiotu badawczego (sił zbrojnych i systemu obronnego państwa). Precyzacji celu, jaki model powinien spełniać, jego precyzacji (poziomu detalizacji przedmiotu) i wreszcie weryfikacji modelu. Główną bowiem funkcją modelu jest ocena określonego przedmiotu. Tak więc wymaganiem podstawowym modelu konceptualnego jest realizacja odpowiedniego modelu ocenowego określonego oryginału (przedmiotu) zastosowanego przez badacza do opisu przedmiotu badanego – potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Metodologicznie poprawny proces modelowania przedstawiony został w postaci procedury badawczej.

Rozdział drugi dotyczy istoty modelowania i modelu w analizie systemowej. Główną myślą przewodnią rozdziału jest zatem istota (treść i zakres) analizy systemowej w prowadzonym procesie modelowania, a zwłaszcza traktowanie badanego przedmiotu jako systemu. A także istota modelowania, w szczególności jego produkt - model oryginału. Zasadniczą uwagę skoncentrowano zatem na formach opisu modelu: morfologicznym i funkcjonalnym. W końcowych rozważaniach przedstawione zostały problemy dotyczące symulacji i modelowania symulacyjnego.

Rozdział trzeci dotyczy istoty wielowymiarowej analizy porównawczej. Przedstawione zostały możliwości metody w procesie wielokryterialnego oceniania systemów złożonych. Ze względu na to, że modelowane przedmioty: siły zbrojne i system obronny państwa należą do klasy systemów wielkich i złożonych rekomendowanie wielowymiarowej analizy porównawczej do ich modelowania wydaje się zasadne.

## 1. METODOLOGICZNE ASPEKTY MODELOWANIA PRZEDMIOTU BADAWCZEGO

Co to jest model ? Dlaczego człowiek tworzy modele i jak należy postępować przy ich konstruowaniu to pytania, na które postaramy się odpowiedzieć w tym rozdziale.

Według Wielkiej Internetowej Encyklopedii Multimedialnej:

*"Model, w metodologii układ elementów izomorficzny (tu w znaczeniu odwzorowujący) w stosunku do danego układu oryginalnego, ale prostszy i łatwiej dostępny badaniom."* a także *"...wzór, wg którego coś jest wykonywane"*.

Natomiast *"modelowanie to przybliżone odtwarzanie najważniejszych właściwości oryginału. Podstawowym celem modelowania w nauce jest uproszczenie złożonej rzeczywistości, pozwalające na poddanie jej procesowi badawczemu. Dzięki modelowaniu:*

- 1) zmniejsza się lub powiększa obiekt badań do dowolnej wielkości, np. model Układu Słonecznego;*
- 2) analizuje się procesy trudne do uchwycenia ze względu na zbyt szybkie lub zbyt wolne tempo ich przebiegu, np. model ruchu cząsteczek wody w wodospadzie;*
- 3) bada się jeden wybrany aspekt zagadnienia, pomijając inne, np. model transportu pasażerskiego w pociągach ekspresowych w okresie wakacyjnym.*

*Modelowanie pełni szczególną rolę w naukach przyrodniczych, traktujących środowisko przyrodnicze jako złożony system, poddający się badaniom dzięki modelowaniu występujących w nim relacji i procesów."*

Jak więc widać z przytoczonych definicji, a inne źródła: encyklopedie, leksykony podają bardzo zbliżone, modelowanie jest potrzebne człowiekowi po to, żeby mógł zbadać zachowanie systemu rzeczywistego istniejącego bądź mającego powstać bez konieczności jego budowania czy też przy istnieniu trudności w badaniu zachowania systemu rzeczywistego.

Modele systemów rzeczywistych istniejących lub takich, które dopiero mogą powstać tworzy się po to aby badać jak będą zachowywać się te systemy w określonych

warunkach czyli chodzi o to by symulować<sup>1</sup> zachowanie się tych systemów. Metoda ta, jak wiele innych metod naukowych, ma swoje wady i zalety. Podstawowe zalety to:

- możliwość analizy systemów rzeczywistych przed ich powstaniem,
- możliwość analizy zachowania systemu w różnych warunkach, w szczególności w warunkach ekstremalnych,
- badanie działania systemu zarówno w warunkach odizolowania od zakłóceń jak i przy stworzeniu szczególnie niekorzystnego splotu zakłóceń,
- możliwość powtarzania eksperymentów w celu sprawdzenia reguł rządzących powstawaniem określonych wyników działania systemu,
- stosunkowo niski koszt badań.

Podstawowymi wadami tej metody są:

- uproszczenie w odwzorowaniu rzeczywistości,
- trudności w określeniu wiarygodności rezultatów,
- tworzenie modelu systemu nieistniejącego (mającego powstać) zwiększa koszt jego powstania.

Szczególne znaczenie ma ta metoda w badaniu systemu społecznego w różnych aspektach jego działania. Traktując społeczeństwo jako system, w którym występują określone relacje pomiędzy jego elementami możemy pokusić się o stworzenie modelu, który będzie odzwierciedlał ten system rzeczywisty. Modelowanie zachowania się różnych elementów systemu społecznego zarówno tych naturalnych rozwijających się w sposób ewolucyjny czy też łatwy do przewidzenia jak i tych, w których zachodzące zmiany mają przebieg gwałtowny i/lub występują sporadycznie jest bardzo skomplikowanym przedsięwzięciem dlatego też nikt do tej pory nie pokusił się o rozwiązanie tego zadania kompleksowo, istnieją natomiast próby opracowania modeli odwzorowujących niektóre aspekty działania tego systemu. Szczególnym polem badań wykorzystujących metodę modelowania jest bezpieczeństwo państwa<sup>2</sup> rozumiane jako stan systemu obronnego państwa<sup>3</sup>. Pojęcie bezpieczeństwa narodowego dotyczy wielu dziedzin życia państwa. Mówimy o bezpieczeństwie gospodarczym, ekonomicznym, ekologicznym,

---

<sup>1</sup> „Symulacja – sztuczne odtwarzanie (np. w warunkach laboratoryjnych; często za pomocą maszyn matematycznych) właściwości danego obiektu, zjawiska lub przestrzeni występujących w naturze, lecz trudnych do obserwowania, zbadania, powtarzania itp.” – „Słownik języka polskiego” pod redakcją Mieczysława Szymczaka, PWN, Warszawa 1981

<sup>2</sup> „Bezpieczeństwo państwa (narodowe) to stan uzyskany w wyniku zorganizowanej obrony i ochrony przed zagrożeniami zewnętrznymi i wewnętrznymi, określany stosunkiem potencjału obronnego do skali zagrożeń” – „Słownik terminów z zakresu bezpieczeństwa narodowego”, AON, Warszawa 1996, str.10

militarnym i wielu innych co powoduje, że podstawowym problemem w trakcie modelowania staje się konieczność **zidentyfikowania** systemu modelowanego. Identyfikowanie systemu rzeczywistego to etap, w którym gromadzona jest wiedza na jego temat oraz zbierane są dane, które pozwolą na stworzenie odwzorowania systemu rzeczywistego w jego model. Wiedza ta pozwoli na **zbudowanie modelu konceptualnego** czyli przedstawienie systemu rzeczywistego w postaci sformalizowanej, tzn. w postaci zależności matematycznych i logicznych. Sam proces budowy modelu konceptualnego (opisany poniżej) jest zadaniem wymagającym dobrego przygotowania matematycznego ale stworzenie nawet najlepszych reguł opisujących działanie systemu rzeczywistego może okazać się działaniem chybnym jeżeli hipotezy przyjęte do budowy modelu były błędne.

Identyfikacja systemu oraz istota metody modelowania opisane będą w następnym rozdziale natomiast w tym miejscu należy sobie sprecyzować kilka założeń metodologicznych, które muszą być spełnione aby otrzymany produkt – model odpowiadał zapotrzebowaniu badacza.

Zasadniczą sprawą jest sformułowanie **celu** tworzenia modelu. Nie jest prawdą, że model jest dokładnym, lub możliwie najdokładniejszym odzwierciedleniem systemu rzeczywistego przedstawionym przy pomocy innego aparatu poznawczego, np. model matematyczny złożonego systemu społecznego (np. systemu obronnego państwa) nie będzie odzwierciedlał całej skomplikowanej struktury tego systemu lecz tylko ten jego fragment (np. system militarny), którego badaniem chcemy się zająć. Im bardziej skomplikowany jest system, którego model chcemy utworzyć tym więcej jego elementów może zostać pominięte co wynika nie tylko z trudności związanych z opisem takiego systemu ale również może mieć duże znaczenie przy interpretacji wyników uzyskanych z modelu (nie zawsze bogaty zestaw otrzymanych informacji wynikowych pozwala na wyciąganie właściwych wniosków ze względu na występowanie zjawiska redundancji).

Ze względu na cel poznawczy wyróżniamy modele:

- przewidujące, wyjaśniające, które mają za zadanie wyjaśnić istotę zjawisk zachodzących w systemie rzeczywistym;
- ocenowe, dzięki którym możemy ocenić stan systemu rzeczywistego;

---

<sup>3</sup> „System obronny państwa to zbiór wzajemnie powiązanych elementów – ludzi, organizacji urządzeń – działających na rzecz zachowania bezpieczeństwa państwa” – tamże str.76

- decyzyjne, które mogą podejmować decyzje w zależności od zaistniałego stanu systemu.

Częstą praktyką jest wykorzystywanie stworzonego modelu w wielu celach i wówczas nie możemy zaliczać go tylko do jednej z powyższych klas.

Wyznaczenie celu jaki chcemy osiągnąć pozwala na **określenie zakresu wiedzy** o systemie rzeczywistym jaka będzie niezbędna do stworzenia jego modelu. W skład tej wiedzy wchodzi informacje o funkcjonowaniu systemu oraz dane, które jesteśmy w stanie z niego uzyskać. Są to informacje o tym w jaki sposób przetwarzane są dane wejściowe do systemu oraz jakie wyniki uzyskujemy z systemu. Opis mechanizmów wewnętrznych systemu uzyskany na podstawie tych informacji będzie stanowił model konceptualny systemu rzeczywistego.

Przystępując do tworzenia modelu należy pamiętać o określeniu charakterystyk systemu rzeczywistego istotnych z punktu widzenia celu modelowania. **Szczegółowość modelu** jest taką cechą, którą należy sobie określić już na wstępie całej procedury badawczej. Oczywiście stopień szczegółowości modelu możemy określić tylko wtedy gdy zdajemy sobie sprawę ze skomplikowania systemu rzeczywistego. Tak więc cel badań prowadzonych metodą modelowania determinuje **granice** modelowanego **systemu**. Ta faza modelowania decyduje o zakresie wprowadzanych danych wejściowych a także otrzymywanych z modelu wyników. Właściwe postawienie celu i nakreślenie granic systemu powoduje również określenie zakresu prac naukowo - badawczych niezbędnych do stworzenia modelu (szczególnym przypadkiem będzie taki, w którym ograniczenia zewnętrzne będą decydowały o strukturze i składzie zespołu badawczego a więc i zakresie prac możliwych do zrealizowania a co za tym idzie szczegółowości modelu). Harmonogram tych prac jest pochodną zakresu prowadzonych badań oraz składu zespołu badawczego. System rzeczywisty o dużym stopniu skomplikowania i łączący w sobie wiedzę z wielu nauk nie może być modelowany przez specjalistów bardzo wąskich specjalności. Poza koniecznością zaangażowania do tego procesu specjalistów posiadających bardzo dużą wiedzę szczegółową istotna jest także znajomość technik i procedur modelowania a w szczególności projektowania modeli komputerowych.

Proces tworzenia modelu konceptualnego, który jest ściśle powiązany z procesem identyfikacji systemu rzeczywistego ma także za zadanie takie przedstawienie badanego systemu, żeby można było **wydzielić** w nim **podsystemy** realizujące pewne określone charakterystyczne dla niego funkcje np. w wielu systemach rzeczywistych można bez trudu wydzielić podsystemy: kierowania i wykonawczy, których opis może

być całkowicie rozłączny ale ze względu na konieczność funkcjonowaniu później w jednym modelu wymaga potraktowania jako elementu wspólnego czyli potraktowaniu powstającego produktu jako podmodelu w opracowywanym modelu.

Stworzenie modelu konceptualnego i jego sprawdzenie pozwalają na przystąpienie do kolejnego etapu jakim będzie jego implementacja w postaci modelu komputerowego. **Sprawdzenie modelu** składa się z dwóch etapów:

1. **walidacji** – czyli sprawdzeniu poprawności odwzorowania elementów i relacji systemu rzeczywistego;
2. **weryfikacji** poprawności formalnej modelu, a więc sprawdzeniu poprawności rozwiązań matematycznych zastosowanych w opisie modelu.

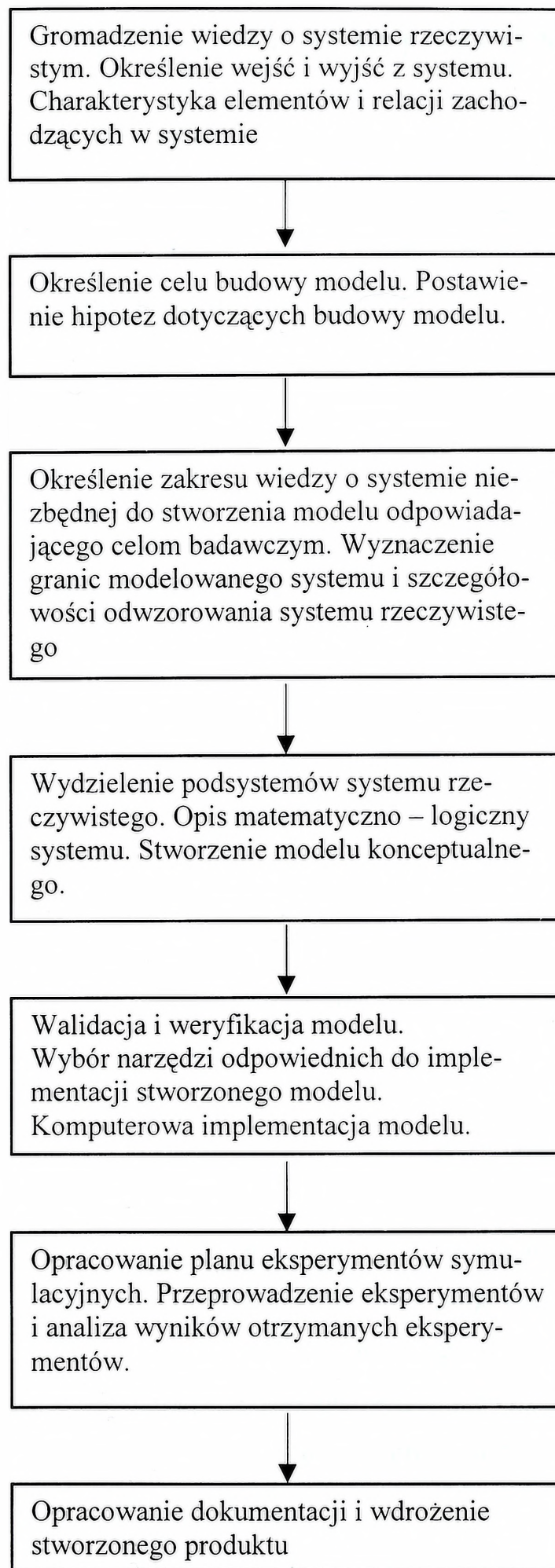
Czasami nie jest możliwa weryfikacja modelu na poziomie jego koncepcji i wówczas etap ten może być zrealizowany dopiero na poziomie modelu komputerowego, a weryfikacja modelu konceptualnego ograniczy się tylko do sprawdzenia czy odwzorowane zostały te elementy i relacje systemu rzeczywistego, które wchodzą w krąg zainteresowania badających system rzeczywisty oraz czy możliwy będzie do osiągnięcia cel modelowania.

Aby dokonać **implementacji modelu** należy dokonać wyboru odpowiednich narzędzi software'owych i hardware'owych. Istnieje wiele języków programowania, które mogą zostać zastosowane do napisania oprogramowania np. takie języki specjalizowane jak SIMULA czy GPSS lub też inne języki programowania takie jak C++ czy PASCAL. Sprzęt komputerowy, który zostanie użyty do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych musi zostać dobrany ze względu na skomplikowanie zachodzących w modelu obliczeń i wymagania co do sposobu wprowadzania danych i przedstawienia wyników działania modelu. Nie ma tu jednej reguły, która pozwoliłaby na określenie co jest niezbędne do właściwego zobrazowania efektów pracy modelu należy jednak dogłębnie przeanalizować w jaki sposób powinny być prezentowane wyniki modelu.

Po sprawdzeniu działania modelu i upewnieniu się o jego adekwatności z systemem rzeczywistym następnym krokiem będzie **sprecyzowanie planu przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych**. Planowanie eksperymentów symulacyjnych a później **analiza otrzymanych wyników** to dwa samoistne problemy badawcze wymagające gruntownej znajomości metod przygotowania eksperymentów symulacyjnych i analizy statystycznej otrzymanych wyników.

Sprawdzenie poprawności modelu oraz przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych pozwala na stwierdzenie, że model odpowiada założonym celom i może zostać wdrożony do eksploatacji (oczywiście pod warunkiem, że nie został stworzony do wykonania pojedynczego badania). Końcowym etapem będzie więc **stworzenie dokumentacji modelu** obejmującej jego tworzenie jak i sposób wykorzystania wyprodukowanego narzędzia. Etap ten kończy proces tworzenia modelu systemu rzeczywistego i pozwala na przejście do etapu kolejnego, którym będzie **wdrożenie stworzonego produktu** czy to w sensie komercyjnym (sprzedaż organizacjom zainteresowanym w jego wykorzystaniu) czy też niekomercyjnym i przeszkolenie badaczy do wykorzystania jego możliwości.

Rysunek 1. przedstawia przebieg procesu modelowania i symulacji.



Rys. 1. Przebieg procesu modelowania i symulacji

## 2. ISTOTA MODELOWANIA W ANALIZIE SYSTEMOWEJ

Ocena aktualnego stanu lub określenie kierunków rozwoju takich złożonych systemów jak na przykład: system obronny państwa, system gospodarczy czy polityczny wymaga ich identyfikacji oraz określenia szeregu wskaźników bezpośrednich – cech charakteryzujących dany system oraz wskaźników pośrednich – wyznaczonych w sposób analityczny czy empiryczny. Próba diagnozowania lub prognozowania rozwoju systemu wymaga przeprowadzenia kompleksowych badań systemowych ukierunkowanych na osiągnięcie określonego celu. Na przykład ocena „potencjalnych możliwości obronnych” systemu obronnego państwa nawet przy ograniczeniu tylko do systemu wojskowego (militarnego) wymaga uwzględnienia wpływu systemu gospodarczego i politycznego strony własnej jak i strony hipotetycznego przeciwnika. Zwykle celem takich badań jest uzyskanie odpowiedzi na jedno lub kilka pytań dotyczących systemu.

Chcąc rozpocząć badania należy utworzyć model systemu. Model taki będzie przedstawiać elementy systemu oraz ich wzajemne oddziaływanie. W jednym wypadku modelem może być duplikat systemu, w innym zaś - jego symboliczna reprezentacja (np. model matematyczny), a czasami system i model mogą być jednym i tym samym. Najczęściej model jest częściową reprezentacją systemu, której jakość jest określana przez porównanie zachowania się modelu z zachowaniem się systemu.

Pytania, na które należy uzyskać odpowiedź, wymagają zwykle badania systemu w określonych warunkach ograniczających, nazywanych warunkami początkowymi i granicznymi. Warunki początkowe wyznaczają stan modelowanego systemu na początku badań, a warunki graniczne przedstawiają ograniczenia środowiskowe wpływające na działanie systemu. Odpowiedzi na pytania wynikające w trakcie badań lub stanowiące rozwiązanie problemu często uzyskuje się przez obserwowanie stanu modelu oraz jego zmian w kolejnych przedziałach czasu od momentu rozpoczęcia badania.

Przestrzeganie pewnego porządku terminologicznego wymaga, (przed przystąpieniem do charakterystyki istoty modelowania), omówienia metody systemowej jako podstawowej metody badawczej, a przede wszystkim omówienia co oznacza termin system.

## 2.1. METODA SYSTEMOWA

Metoda systemowa to podstawa metodologii badań systemowych. Chociaż pojęcie to jest powszechnie stosowane jednakże istnieje wiele różnych jego interpretacji. Jako punkt wyjścia przyjęto określenie T. Kotarbińskiego [11]: „Metoda, czyli system postępowania jest to sposób wykonywania czynu złożonego, polegającego na określonym doborze i układzie jego działań składowych, a przy tym uplanowanych i nadający się do wielokrotnego stosowania”. Przy analizie metody systemowej szczególnie istotne są takie elementy jak [1]:

- oczekiwany skutek rozwiązania (nowa struktura, nowy proces, nowy system);
- zadania (dotyczące zarówno ludzi, jak również ich otoczenia);
- sposób sformułowania zadania;
- warunki ograniczające (również typu "nie dłużej niż");
- sposób oceny rozwiązania (ocena użytkownika lub decydenta).

Wyróżnione elementy są ogólnometodologicznymi „cechami” przyjmowanymi w analizie porównawczej dowolnych metod rozwiązywania zadań.

Istotnym elementem systemologii jest metoda systemowa. Przedmiotem metody systemowej są klasy systemów rzeczywistych (przedmiotowych) charakteryzowanych za pomocą zbioru cech systemowych. Jest to pierwszy warunek „systemowości” metody i zarazem jej ogólności, a także uniwersalności. Podmiotem w metodzie systemowej jest określony system rzeczywisty, czyli określona grupa ludzi. W skład jej wchodzić mogą przedstawiciele różnych dyscyplin, między którymi mogą występować różnorakie powiązania (relacje). Jest to warunek interdyscyplinarności metody, kolektywnego charakteru jej stosowania. Wynik stosowania metody stanowi także pewien system, którego ocena poprawności realizowana jest w szeroko pojętej praktyce społecznej. Oprócz powyższych generalnych cech wyróżnia się cechy szczegółowe posiadające charakter pewnych dyrektyw:

- konsekwentne stosowanie w procesie rozwiązywania problemu naczelnych zasad systemologii: zasady systemowości, zasady relatywności, zasady nieoznaczoności;
- przestrzeganie rygorów ścisłego stosowania pojęcia systemu (ścisłość, niezmienność, zupełność, rozłączność, funkcjonalność);

- stosowanie procedur: analitycznych, syntetycznych i ocenowych, przy czym cel problemu determinuje zasadnicze znaczenie jednej z nich;
- stosowanie zarówno procedur programowych jak i heurystycznych;
- dążenie do strukturalizacji, formalizacji i matematyzacji podejmowanych problemów;
- stosowanie zasady optymalności rozwiązań w sensie przyjętego kryterium będącego „odbiciem” określonych potrzeb społecznych;
- stosowanie komputerów jako podstawowego narzędzia, czyli realizacja zasady instrumentalizacji działania.

Podsumowaniem powyższych rozważań jest propozycja określenia istoty metody systemowej.

Metoda systemowa jest sposobem rozwiązywania problemów systemowych zlokalizowanych w określonych systemach przedmiotowych i realizowanym przez określony system – realizator metody zgodnie z metodologicznymi zasadami systemologii.

Metodą systemową (rys. 2) nazywa się pewną strukturę rzeczywistą określoną następująco:

$$MS = \langle SSP, RMS, SPR, KWW \rangle$$

gdzie:

SSP – systemowa sytuacja problemowa;

RMS - system - realizator metody:

$$RMS = \langle \mathbf{R}, \xi_{\mathbf{R}} \rangle$$

gdzie:  $\mathbf{R}$  – zbiór realizatorów metody,

$\xi_{\mathbf{R}}$  – zbiór relacji:  $\xi_{\mathbf{R}} \subset \mathbf{R} \times \mathbf{R}$ ;

SPR - system procedur (analitycznych, syntetycznych i ocenowych):

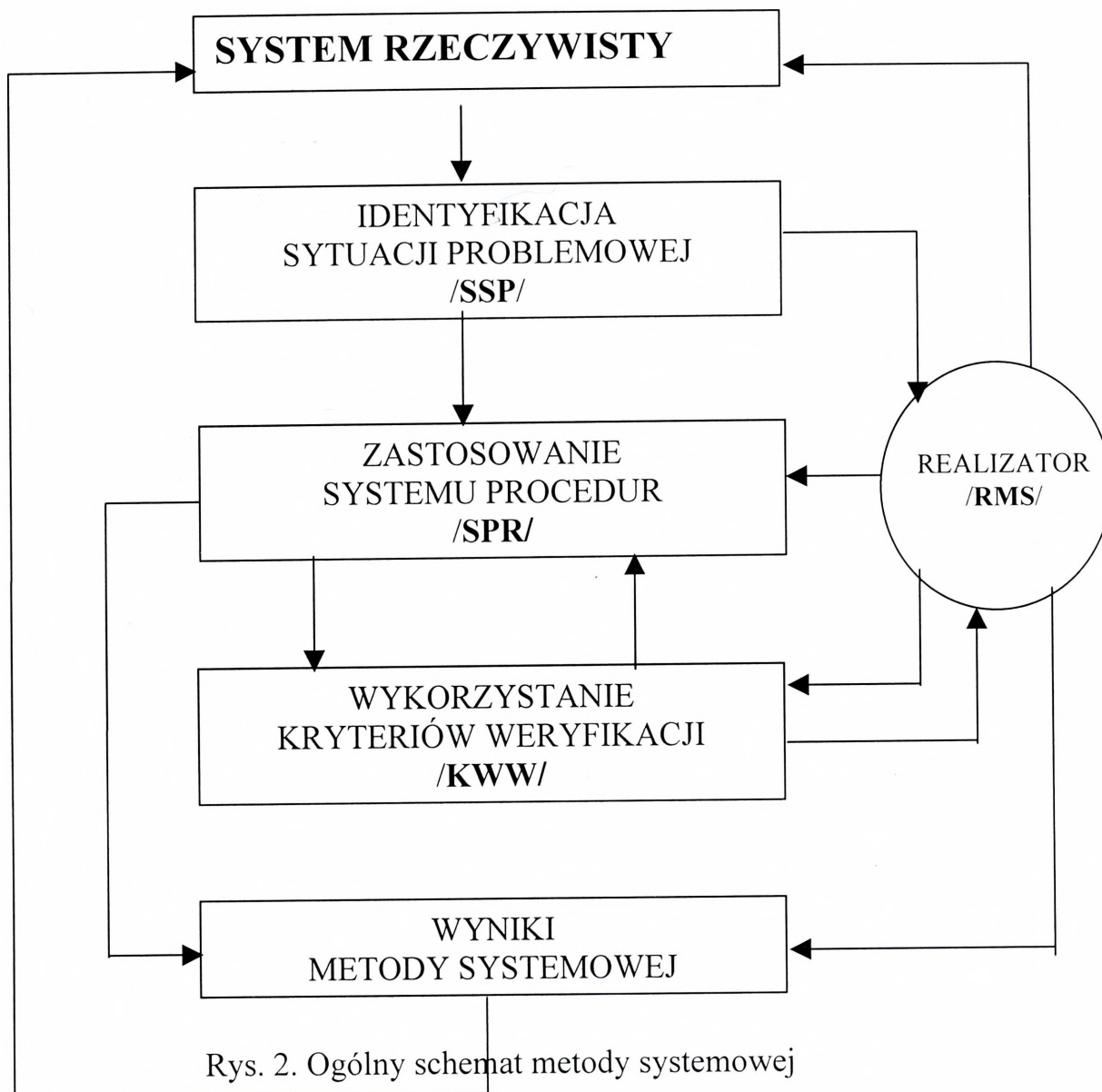
$$SPR = \langle \mathbf{P}, \xi_{\mathbf{P}} \rangle$$

gdzie:  $\mathbf{P}$  - zbiór procedur,

$\xi_{\mathbf{P}}$  – zbiór relacji:  $\xi_{\mathbf{P}} \subset \mathbf{P} \times \mathbf{P}$ ;

KWW - zbiór kryteriów weryfikacji wyników realizacji metody.

Metoda systemowa<sup>4</sup> obejmuje wyrażanie explicite procedur przedstawiania przedmiotów metody jako systemów i sposobów ich systemowego badania (opis, objaśnianie, przewidywanie, decydowanie, konstruowanie itp.).



<sup>4</sup> Pozostaje jeszcze kwestia następująca - czy tak określana metoda systemowa jest metodą naukową oraz jaki jest stosunek jej do ogólnej przyjętej metody idealizacji i konkretyzacji? Istota metody naukowej sprowadza się do następujących działań poznawczych:

- ustala się zbiór czynników istotnych dla czynnika badanego;
- dokonuje się hierarchizacji w obrębie tego zbioru, dzięki czemu tworzy się uproszczony obraz rzeczywistości badanej, w której występują tylko czynniki główne;
- przy założeniach pomijających czynniki uboczne ustala się zależności określające wpływ wielkości głównych na wielkość badaną;
- znosi się założenia idealizacyjne uwzględniając działanie czynników ubocznych, dzięki czemu przybliża się do pełnego przedstawienia zależności empirycznej badanego czynnika od wszystkich czynników dla niego istotnych.

Porównując powyższe elementy z wyróżnionymi cechami metody systemowej można stwierdzić, że po pierwsze – metoda systemowa jest metodą naukową bowiem opiera się na konsekwentnym stosowaniu idealizacji i konkretyzacji, po drugie - metoda systemowa stanowi pragmatyczny wariant ogólnej metody naukowej stworzony na gruncie systemologii w celu rozwiązywania konkretnych rzeczywistych problemów praktycznych (decyzyjnych).

Realizacja metody może przebiegać od empirycznego, na wpół intuicyjnego opisu cząstkowych procedur badań systemowych do ściśle matematycznego formułowania ogólnosystemowych procedur i technik.

W badaniach systemowych pytania, na które uzyskuje się odpowiedzi, stanowią problem, a informacje dające odpowiedzi na te pytania stanowią rozwiązanie problemu. Postępowanie, przy pomocy którego uzyskuje się rozwiązanie z modelu o ustalonych warunkach początkowych i granicznych, nazywa się metodą rozwiązywania. Czasami istnieje kilka metod dających wymagane rozwiązanie, a bywa tak że trudno jest znaleźć nawet jedną taką metodę, a w pewnych przypadkach można wykazać, iż model o danych warunkach początkowych i granicznych nie jest w stanie doprowadzić do rozwiązania problemu. Jeżeli rozwiązanie istnieje i jest możliwych kilka metod rozwiązywania, to dodatkowo może pojawić się problem wyboru metody najlepszej. Narzędzia stosowane w metodach matematycznych rozwiązywania problemów sięgają od komputerów po ołówek i papier. Co więcej osoby, które uruchamiają daną metodę rozwiązywania, stanowią ważny czynnik w badaniu systemów.

Podsumowując: - każde badanie systemu określone jest przez następujące elementy [6]:

- system;
- pytania dotyczące systemu, na które chce się uzyskać odpowiedzi (tzn. problem);
- **model systemu;**
- warunki początkowe i graniczne;
- metody rozwiązywania;
- narzędzia umożliwiające zastosowanie metody rozwiązywania.

Podstawową czynnością lub metodą znajdowania rozwiązań jest modelowanie. Stosowanie modelowania (metod symulacyjnych) w badaniach systemów zwykle wymaga, żeby organizacja badań obejmowała wymienione wcześniej elementy.

## 2.2. DEFINICJA SYSTEMU

Termin system jest zazwyczaj związany z następującymi podstawowymi ideami [9]:

- wyodrębnienia systemu z otoczenia,
- budowy systemu z elementów,
- funkcji spełnianej przez system,
- ograniczonej zmienności systemu w czasie.

Pojęcie systemu jest bardzo ogólne i dlatego w literaturze przedmiotu można napotkać wiele jego określeń. Na przykład definicja matematyczna [9] określa system jako podzbiór  $N$ -elementowej relacji – iloczynu kartezjańskiego zbioru własności elementów (obiektów) systemu

$$S \subseteq (V_1 \times V_2 \times \dots \times V_N)$$

gdzie  $V_j$  jest  $j$ -tym zbiorem własności systemu.

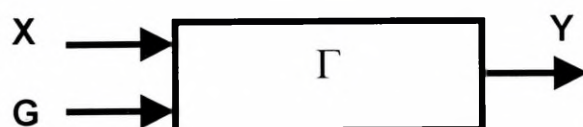
Ta definicja jest pewną abstrakcją nie mającą odniesienia do rzeczywistości. Jest podzbiorem kombinacji własności (obiektów). Uwzględniając związki przyczynowo-skutkowe, obiekty dzieli się na dwie klasy: przyczyny – zbiory wejść  $X$  oraz skutki – zbiory wyjść  $Y$ . Zatem

$$S \subseteq (X \times Y).$$

W modelowaniu matematycznym przydatną jest definicja „cybernetyczna” systemu. Według tej definicji system jest to składająca się z elementów funkcjonalna całość wyodrębniona z otoczenia, które wpływa na system za pośrednictwem bodźców – wejść, zaś system odpowiada reakcją za pośrednictwem wyjść. Badanie systemu jako „czarnej skrzynki” polega nie tylko na badaniu wpływu wielkości wejściowych na wielkości wyjściowe, lecz na badaniu ogólnych cech systemu i jego struktury. Określona (uzyskana) wiedza o systemie jest konsekwencją zaistnienia problemu badawczego – systemowej sytuacji problemowej [14], czyli sytuacji, w której występują (rys. 3):

- dane początkowe  $X$  – wiedza o obiekcie, którego dotyczą określone cele poznawcze lub praktyczne,
- zbiór operatorów  $\Gamma$  przekształcających dane początkowe w dane końcowe,

- warunki ograniczające proces poszukiwania rozwiązań  $G$ ,
- cechy celu problemu  $Y$ , czyli wymagania stawiane rozwiązaniu.



Rys. 3. Ogólny schemat sytuacji problemowej.

Ze względu na stopień określenia można wyróżnić następujące typy problemów:

- problemy „dobrze” określone, gdy poszukuje się pewnego  $Y^* \in Y$  zaś dane są:  $X, G, \Gamma$ ,
- problemy „źle” określone, gdy poszukuje się  $X$  oraz  $G$  zaś dane są:  $Y, \Gamma$ , lub poszukuje się  $\Gamma$ , a dane są:  $X, Y, G$ .

Ze względu na aspekt morfologiczny system  $S$  definiuje się jako zbiór możliwych do zidentyfikowania elementów  $M$ , które mogą oddziaływać na siebie (relacja  $R$ ) w taki sposób, że funkcjonując razem spełniają zbiór określonych warunków [6].

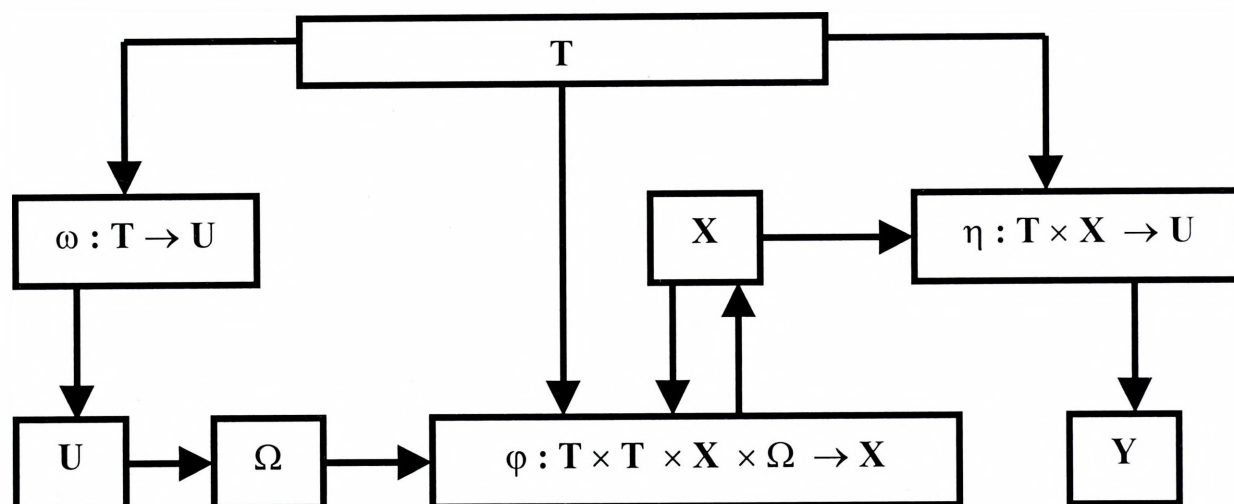
$$S = \langle M, R \rangle$$

System można określić (zidentyfikować) tylko wtedy, gdy znana jest jego kompozycja - zbiór jego części i ich wzajemne powiązania oraz jego otoczenie - zbiór elementów mających wpływ na zachowanie systemu lecz nie należących do jego składu. Przy opisie systemów oprócz opisu morfologicznego wyrażającego organizację wewnętrzną systemu (przestrzenne rozmieszczenie elementów oraz ich wzajemne powiązania) bardzo istotny jest opis oddziaływań pomiędzy procesami zachodzącymi w elementach czyli opis funkcjonalny. W opisie funkcjonalnym charakteryzuje się procesy jakie realizuje system, aspekty jego przestrzenno-czasowej organizacji oraz jego dynamikę - zachowanie systemu w czasie. Czas jest nieodłącznym atrybutem każdego systemu. Oznacza to, że na wielkości wyjściowe w chwili  $t$ , ma wpływ przebieg wielkości wejściowych w chwilach wcześniejszych niż chwila  $t$  (system niejako pamięta to, co działo się wcześniej z jego wielkościami wejściowymi). Niekiedy nie ma potrzeby eksponowania czasu (atrybut ten nie jest istotny). Odwzorowanie czasu jak i opis dynamiki

systemu jest sam w sobie zagadnieniem złożonym i wymaga oddzielnego rozpatrzenia. Zachowanie systemu opisują następujące elementy:

- uporządkowany zbiór  $\mathbf{T}$  chwil  $t$  ( $t \in \mathbf{T}$ );
- zbiór  $\mathbf{X}$  dopuszczalnych wartości wejść<sup>5</sup>  $x(t)$  czyli dla dowolnej chwili  $t \in \mathbf{T}$   $x(t) \in \mathbf{X}$ ;
- zbiór  $\mathbf{Y}$  dopuszczalnych wartości wyjść  $y(t)$  czyli dla dowolnej chwili  $t \in \mathbf{T}$   $y(t) \in \mathbf{Y}$ ;
- operator<sup>6</sup>  $\Gamma$  przekształcający zbiór  $\mathbf{X}$  wartości wejść w zbiór  $\mathbf{Y}$  wartości wyjść.

Przy rozwiązywaniu problemów optymalnego sterowania w systemach technicznych wyróżnia się klasę systemów dynamicznych. Formalnie system dynamiczny [14] stanowi zbiór wzajemnie powiązanych elementów (rys. 4) spełniających następujące warunki:



Rys. 4. Ogólny schemat systemu dynamicznego.

- dane są: zbiór chwil czasu  $\mathbf{T}$ ; zbiór stanów systemu  $\mathbf{X}$ ; zbiór chwilowych wartości sygnałów wejściowych  $\mathbf{U}$ ; zbiór ich dopuszczalnych wartości:  $\Omega = \{\omega : \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{U}\}$ ; zbiór chwilowych wartości wielkości wyjściowych  $\mathbf{Y}$  i zbiór ich dopuszczalnych wartości  $\Theta = \{\eta : \mathbf{T} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}\}$ ;

<sup>5</sup> W systemach, w których występuje wiele wielkości wejściowych lub wyjściowych stosuje się notację wektorową  $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n]$  element  $i$ -ty wektora odpowiada wielkości, której przy formułowaniu zadania nadano  $i$ -ty kolejny numer.

<sup>6</sup> Wejścia i wyjścia mogą być opisane zależnościami funkcyjnymi – zbiorem funkcji wejścia  $F_x$  oraz zbiorem funkcji wyjścia  $F_y$  zaś  $\Gamma$  jako relacja wejściowo-wyjściowa przyporządkowuje każdej funkcji wejścia funkcję wyjścia. W przypadku równości stanów początkowych  $\Gamma$  jest funkcją przyporządkowującą każdej dopuszczalnej funkcji wejścia jedną i tylko jedną funkcję wyjścia.

- zbiór  $\mathbf{T}$  jest pewnym uporządkowanym podzbiorem zbioru liczb rzeczywistych  $\mathbf{T} \subset \mathbf{R}$ ;

- zbiór sygnałów wejściowych spełnia warunki:

- zbiór  $\Omega \neq \emptyset$ ,

- sygnały wejściowe w przedziale czasu  $(t_1, t_3)$  mają własność:

jeśli  $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \in \Omega$  i  $t_1 < t_2 < t_3 \in \mathbf{T}$ , to:

$$\omega_3 = \omega_1 \text{ dla } t_1 < t \leq t_2,$$

$$\omega_3 = \omega_2 \text{ dla } t_2 < t \leq t_3;$$

- istnieje funkcja przejścia stanów:  $\Phi = \{\varphi : \mathbf{T} \times \mathbf{T} \times \mathbf{X} \times \Omega \rightarrow \mathbf{X}\}$ , której wartościami są stany systemu:  $x(t) = \varphi[t; t_0, x(t_0), \omega] \in \mathbf{X}$ ;
- dane jest przekształcenie wyjściowe:  $\Theta = \{\eta : \mathbf{T} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}\}$  określające wartości wielkości wyjściowych systemu  $y(t) = \eta[t; x(t)] \in \mathbf{Y}$ .

Stąd system dynamiczny definiuje się jako ósemkę:  $S_d = \langle \mathbf{X}, \mathbf{U}, \mathbf{Y}, \mathbf{T}, \Omega, \Theta, \varphi, \eta \rangle$ .

## 2.3. ISTOTA MODELOWANIA

Wzrost złożoności struktury organizacyjnej systemów powoduje, że badanie ich funkcjonowania staje się coraz trudniejsze. Przyczyną tego stanu rzeczy jest złożony charakter wzajemnych powiązań występujący między poszczególnymi elementami badanego systemu. Są to systemy wieloelementowe obejmujące ludzi oraz różnorodną technikę.

Nierzadko systemy nie mogą być w pełni sprawdzone w warunkach rzeczywistych. Przykładem takich systemów są systemy wojskowe. Ponadto do charakterystycznych właściwości badań systemów wojskowych zaliczyć należy konieczność uwzględnienia aktywnego przeciwdziałania przeciwnika. Jest to problem niezwykle złożony, bowiem każda z walczących stron zawsze dąży do ukrycia informacji przed przeciwnikiem, bądź dezinformowania. Procesy zachodzące na polu walki mają charakter procesów losowych, a na skutki podejmowanych decyzji wywierają wpływ czynniki niezależne od decydenta, w tym także elementy kontrolowane i sterowane przez przeciwnika. Wszystko to powoduje, że tradycyjne metody badania systemów są we współczesnych warunkach mało efektywne i nie wystarczające. Dlatego też dążenie do badania takich systemów metodami analizy systemowej (modelowanie, symulacja) jest oczywiste, gdyż koszty budowy modelu są niewielkie, a możliwość powtórzenia eksperymentu stanowi poważny atut.

### 2.3.1. Definicja modelu

Modelowanie jest procesem konstruowania obrazu danego fragmentu rzeczywistości, zwanego oryginałem, wyrażonym w przyjętym języku (kodzie) za pomocą określonej metody badawczej i zgodnie z wiedzą przedmiotu [15].

W celu odwzorowania niezbędnych aspektów danego obiektu, kilku różnych obserwatorów może rozważać ten sam obiekt z różnych punktów widzenia ponieważ każdy z nich rozwiązuje własny problem we własnym języku [5]. Mając na uwadze wpływ intuicji badacza na kształt modelu, znajomość naturalnych właściwości przedmiotu badań, a co za tym idzie wpływ arbitralny dokonany przez badacza, można mówić o pewnych orientacjach w modelowaniu, a mianowicie [15]:

- *orientacji modelowej*, polegającej na preferowaniu kryteriów wewnętrznej poprawności logicznej modelu, przy czym zagadnienie adekwatności modelu schodzi na plan dalszy;
- *orientacji przedmiotowej*, polegającej na preferowaniu kryteriów zgodności modelu z mniej lub bardziej arbitralnie wybranym fragmentem rzeczywistości, co niekiedy odbywa się kosztem poprawności logicznej modelu;
- *orientacji podmiotowej*, polegającej na dostosowaniu zadania do możliwości i kwalifikacji podmiotu.

Z modelowaniem nierozłącznie związane jest pojęcie *model*. W literaturze - podobnie jak w przypadku pojęcia *system* – przytacza się wiele definicji tego pojęcia. Poniżej przedstawiono niektóre z nich:

- „Model jest konkretnym interpretacyjnym wyrazem teorii jednej lub kilku hipotez” [2].
- „Model oznacza uproszczone odwzorowanie, często połączone z pewną schematyzacją lub stylizacją” [3].
- „Model jest rezultatem modelowania, tzn. obrazem danego przedmiotu badań, wyrażającym cel badań i wiedzę przedmiotu, przedstawionym w przyjętym języku (kodzie)” [15].

W analizie systemowej modelowanie jako narzędzie badawcze definiowane jest następująco [13], [12]:

- „Modelowanie systemowe oznacza całokształt przedsięwzięć poznawczych, związanych z tworzeniem modeli i obiektów, których znajomość cech skłania do traktowania go jako systemu”.

Zaś

- „model systemu jest ilościową i jakościową reprezentacją statycznej i dynamicznej struktury systemu; pozwala przedstawić wpływ czynników istotnych z punktu widzenia prowadzonych badań na zachowanie się systemu”.

W literaturze można spotkać różnorodne klasyfikacje modeli, tworzone głównie w celu przybliżenia potencjalnym użytkownikom możliwości ich racjonalnego wykorzystania w praktyce. Na przykład w celu dokonania klasyfikacji podstawowych modeli stosowanych w badaniach systemowych organizacji, prof. P. Sienkiewicz przyjął trzy podstawowe kryteria podziału [13]:

- Ze względu na cel poznawczy (rezultat modelowania), wyróżnia się:
  - a) *modele ocenowe*, których celem jest uzyskanie ocen, czyli wypowiedzi wyrażających aprobatę lub dezaprobatę dla stanu (przeszłego, bieżącego, przyszłego) systemu;
  - b) *modele decyzyjne*, których celem jest uzyskanie określonych decyzji, niezbędnych do zapewnienia stanu systemu pożądanego z uwagi na przyjęte kryterium;
  - c) *modele desygnujące (wyjaśniające)*, których celem jest uzyskanie pożądanego wyjaśnienia istoty cech (zjawisk) systemu.
- Ze względu na formę przekazu (język modelowania), rozróżnia się:
  - a) *modele opisowe* wyrażane w języku naturalnym;
  - b) *modele formalne* wyrażane w języku logiki, głównie logiki matematycznej;
  - c) *modele matematyczne* wyrażane w języku matematyki (np. teorii mnogości, algebry, analizy funkcjonalnej, probabilistyki).
- Trzecie kryterium podziału, związane z przyjmowanym *aspektem badań systemowych*, pozwala na opisanie:
  - a) **morfologii** (struktury, budowy) systemu;
  - b) **funkcjonowania** (zachowania, działania) systemu;
  - c) **rozwoju** (ewolucji, przemian) systemu.

Opisy wynikające z przyjmowanego aspektu badań wyrażają także postępujący stopień poznania systemu:

- pierwszy stopień wiąże się z poznaniem budowy systemu (jego elementów i powiązań między nimi);
- drugi - z poznaniem funkcjonowania systemu, a więc realizowanych w nim procesów;
- trzeci - z poznaniem praw rozwoju systemu, czyli określeniem kierunków przemian jego struktur, funkcji, procesów, itp;
- „zerowy” poziom poznania systemu stanowi opis parametryczny, polegający na specyfikacji cech systemowych.

Należy podkreślić, że często ten sam system może być reprezentowany przez kilka modeli (budowanych ze względu na aspekt badań czy preferencje badacza), które (różniąc się między sobą) mogą przedstawiać system w zasadniczo różny sposób.

Modele tego samego systemu mogą różnić się w jego przedstawianiu pod wieloma względami. Na przykład jeden model może reprezentować daną klasę elementów systemu, podczas gdy drugi może w ogóle nie zawierać bezpośredniej reprezentacji elementów tej klasy. Jeden model może być fizycznym duplikatem systemu, podczas gdy drugi, tak jak ma to miejsce w modelach używanych w symulacji komputerowej, może być reprezentacją ściśle symboliczną. Z pewnością o każdym modelu systemu rzeczywistego można stwierdzić, że nie przedstawia on wszystkich aspektów systemu, tzn. istnieją charakterystyki systemu rzeczywistego, które są pomijane, skracane, zmieniane lub w inny sposób podawane w przybliżeniu przez model. Jeden model jest często lepszą reprezentacją systemu niż inny, ale każdy, bez względu na stopień doskonałości pod względem zawartości, kompletności, szczegółowości itp. może przedstawić tylko część systemu rzeczywistego. Natomiast, system hipotetyczny można uczynić takim, aby miał pożądane charakterystyki i właściwości. Można więc sobie wyobrazić, iż model takiego systemu może przedstawiać wszystkie jego aspekty. W tym przypadku nie ma tak wielkiej potrzeby (jak w systemie rzeczywistym), aby rozróżnić model od modelowanego systemu jednak różnica nadal istnieje i ze względu na przejrzystość i dokładność należy podkreślać i utrzymywać tę różnicę.

Wydaje się, że niezależnie od tego czy przedmiotem modelowania będzie system rzeczywisty czy też system hipotetyczny (pojęciowy) musi być przeprowadzona (uwzględniająca aspekt badań) częściowa identyfikacja systemu<sup>7</sup> ograniczona do czynności wyodrębnienia systemu z otoczenia i specyfikacji cech systemowych, lub pełna, poszerzona o opisy: struktury, funkcji i rozwoju systemu.

### **2.3.2. Opis morfologiczny (strukturalny)**

Podstawowe aspekty każdego systemu to: skład, otoczenie i struktura, czyli sieć relacji występujących pomiędzy poszczególnymi elementami składu systemu oraz pomiędzy elementami systemu i jego otoczeniem. W modelu struktury systemu główny

---

<sup>7</sup> Przydatną notacją do opisu identyfikowanego systemu może być koncepcja wykorzystana w pakiecie DECdesign do analizy i projektowania strukturalnego systemów informatycznych [1]. Do identyfikacji wystarczającym będzie zastosowanie diagramu kontekstu (Context Diagram) oraz diagramów przepływu danych (Data Flow Diagrams). Zasadniczym elementem opisu jest przepływ danych pomiędzy procesami zgodnie z zasadą:

dana  $\Rightarrow$  proces  $\Rightarrow$  dana.

Przepływ danych pomiędzy procesami odbywa się po skierowanych gałęziach. Dane przechowywane są w magazynach danych. Symbolem graficznym procesu jest okrąg, zaś magazyn danych symbolizują dwie

nacisk kładzie się na opis organizacji wewnętrznej. Po określeniu granic<sup>8</sup> systemu czyli zadecydowaniu co należy do otoczenia, a co do wnętrza systemu można wyodrębnić jego elementy składowe oraz ich wzajemne powiązania nazywane sprzężeniami. Strukturę systemu **S** przedstawia się jako parę [16]:

$$\mathbf{S} = \langle \mathbf{M}, \mathbf{R} \rangle$$

w której:  $\mathbf{M} = \{m_i : i \in I = \{1, 2, \dots, I\}\}$  oznacza skończony zbiór elementów o liczności  $I$ ,

$\mathbf{R} = \{R_j : j \in J = \{1, 2, \dots, L\}\}$  oznacza skończoną  $L$  – elementową klasę relacji  $R_j$  określonych na zbiorze  $\mathbf{M}$ .

Dla każdego systemu określone jest jego otoczenie systemowe

$$\underline{\mathbf{S}} = \langle \underline{\mathbf{M}}, \underline{\mathbf{R}} \rangle$$

takie że:  $\mathbf{M} \cap \underline{\mathbf{M}} = \emptyset$ , czyli zostały jednoznacznie określone granice systemu.

Części systemu nazywa się jego elementami. Elementy nie muszą być jednak obiektami materialnymi. Na przykład zestaw reguł rządzących funkcjonowaniem systemu jest takim samym elementem składowym systemu jak sprzęt.

Dowolny element  $m_i$  może być opisany przez  $N_i$  – elementowy zbiór  $C_i$  cech<sup>9</sup>:

$$C_i = \{c_k : k \in N_i; c_k \in R\}$$

Jeszcze jedną ważną właściwością elementów systemu jest to, że bardzo często one same mogą być uważane za systemy, czyli za podsystemy większego systemu, który z kolei może być uznawany jako ich otoczenie bliższe bądź dalsze. Zasadniczy przedmiot opisu morfologicznego - sprzężenia między elementami systemu - wygodnie jest przedstawić jako model matematyczny struktury systemu w postaci grafu<sup>10</sup>.

Graf  $\mathbf{G} = \langle \mathbf{W}, \mathbf{U} \rangle$  definiowany jako para: wierzchołków  $\mathbf{W}$  oraz gałęzi  $\mathbf{U}$  jest modelem struktury, gdy istnieje odwzorowanie wzajemnie jednoznaczne zbioru ele-

poziome linie. Gałęzie mogą być uzupełniane opisem informującym jaka dana jest przekazywana po tej drodze.

<sup>8</sup> Może być tak, że z jednego punktu widzenia dany element może być uważany za część systemu, a z innego punktu widzenia za część otoczenia systemu.

<sup>9</sup> Cechę można opisać zależnością funkcyjną  $f_i : m_i \rightarrow R$ .

<sup>10</sup> Grafem [10] nazywamy trójkę uporządkowaną  $G = \langle \mathbf{W}, \mathbf{U}, \mathbf{P} \rangle$  przy czym:  $\mathbf{W}$  – zbiór wierzchołków;  $\mathbf{U}$  – zbiór gałęzi;  $\mathbf{P} \subset \mathbf{W} \times \mathbf{U} \times \mathbf{W}$  – relacja trójczłonowa spełniająca warunki:

- a) dla każdej gałęzi  $u$  istnieje taka para wierzchołków  $x, y \in \mathbf{W}$ , że  $\langle x, u, y \rangle \in \mathbf{P}$ ,
- b) jeżeli dla gałęzi  $u$  istnieją  $\langle x, u, y \rangle \in \mathbf{P}$  i  $\langle v, u, z \rangle \in \mathbf{P}$ , to albo  $x = v$  i  $y = z$  lub  $x = z$  i  $y = v$ .

Szczególnym przypadkiem relacji  $\mathbf{P}$  jest relacja, w której każdej gałęzi  $u$  odpowiada wzajemnie jednoznacznie jedna para uporządkowana  $\langle x, y \rangle \in \mathbf{W} \times \mathbf{W}$ , taka że  $\langle x, u, y \rangle \in \mathbf{P}$ . wtedy para uporządkowana  $\langle x, y \rangle$  określa jednoznacznie tę gałąź  $u$  i zbiór  $\mathbf{U}$  jest izomorficzny z relacją dwuczłonową  $R \subset \mathbf{W} \times \mathbf{W}$ , określoną rozważanym grafem. Takie grafy można zapisać w postaci dwójki uporządkowanej  $G = \langle \mathbf{W}, \mathbf{U} \rangle$ .

mentów w zbiór wierzchołków. Taki model przedstawia „jakościowe własności” struktury systemu. Model struktury ujmujący własności ilościowe opisuje sieć [10] definiowana jako trójka uporządkowana:

$$\mathbf{S} = \langle \mathbf{G}, \{\xi_i\}, \{\psi_j\} \rangle$$

gdzie:  $\mathbf{G}$  oznacza dowolny graf,

$\{\xi_i\} = \{\xi_1, \dots, \xi_I\}$  – zbiór funkcji  $\xi_i : \mathbf{W} \rightarrow R$ , określonych na zbiorze wierzchołków grafu;

$\{\psi_j\} = \{\psi_1, \dots, \psi_J\}$  – zbiór funkcji  $\psi_j : \mathbf{U} \rightarrow R$ , określonych na zbiorze gałęzi grafu.

Specjalny typ sieci stanowią sieci parametryczne, w których funkcje  $\xi_i, \psi_j$  zależą od jednego lub wielu parametrów. Jeżeli takim parametrem jest czas to sieć nazywana jest siecią dynamiczną. Dalsze uogólnienie pojęcia sieć polega na wprowadzeniu wzajemnych zależności między funkcjami  $\xi_i$  lub  $\psi_j$ . Przykładem może tu być tak zwana liniowa sieć transmitancyjna, będąca opisem operatorowym układu liniowych równań różniczkowych. duża wartość użytkowa sieci transmitancyjnych przy analizie złożonych układów dynamicznych polega głównie na tym, że struktura modelowanego układu jest w sposób przejrzysty określona grafem, a transmitancje poszczególnych członów, stanowiących elementy układu, są przypisane gałęziom tego grafu.

### 2.3.3. Opis funkcjonalny

Opis systemu w aspekcie funkcjonalnym stanowi model związków przyczynowych stanów, funkcji i procesów w poszczególnych, połączonych ze sobą, elementach (lub podsystemach) danego systemu. Charakteryzuje oddziaływania między procesami zachodzącymi w obiektach. Opis funkcjonalny wyraża dążenie do odwzorowania funkcji i procesów systemu, przestrzenno - czasowej organizacji funkcjonowania systemu oraz jego dynamiki.

Podstawowymi pojęciami [16] niezbędnymi przy opisie (matematycznym) są zdarzenia, procesy, związki przyczynowo-skutkowe i porządkujący te elementy czas.<sup>11</sup> Czas (istnienia systemu) rozpatruje się jako zbiór momentów (chwil)  $\mathbf{T}$ , w których

<sup>11</sup> W zagadnieniach modelowania duże znaczenie dla opisów funkcjonalnych mają przestrzenie (np. przestrzeń stanów). Zwykle będą to przestrzenie metryczne unormowane (przestrzenie metryczne stanowią naturalne uogólnienie n-wymiarowych przestrzeni euklidesowych).

system istnieje, lub w których obserwuje się zachowanie systemu. Czas,<sup>12</sup> który daje się reprezentować za pomocą liczb rzeczywistych nazywa się ciągłym  $T \in R$ . Czas przedstawiany za pomocą liczb naturalnych nazywa się dyskretnym  $T = \{t_n : n \in N\}$ .

W każdej chwili system znajduje się w konkretnym stanie. Niech dowolny element  $m_i$  systemu opisuje  $N_i$  – elementowy wektor  $C_i$  cech:

$$C_i = \langle c_1, \dots, c_k, \dots, c_N \rangle$$

będących wielkościami, czyli cechami mierzalnymi. Dla każdej cechy określony jest zbiór jej wartości  $Z_i \subset R$ . Przyjmuje się, że wartości cech ulegają zmianie w czasie oraz dana jest funkcja “jakościowa charakterystyka elementu”, która dla każdej chwili przyporządkowuje wartości cechom elementu  $m_i$ :

$$\omega_i : T \rightarrow Z^{(i)}$$

Przyjmując, że upływ czasu jest jednakowy dla wszystkich elementów oraz pomijając indeks elementu:

$$\omega(t) = \langle z_1, \dots, z_k, \dots, z_N \rangle$$

Stanem wewnętrznym elementu<sup>13</sup> systemu nazywa się wektor wartości poszczególnych cech elementu w danej chwili<sup>14</sup>, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu:

$$\eta_i : \omega_i(t) \rightarrow S_i = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$$

gdzie  $K$  jest liczbą wyróżnionych stanów elementu  $m_i$ .

Stany są numerowane kolejnymi liczbami naturalnymi. Uwzględniając zbiór wejść  $X_i$  elementu  $m_i$  jako „drogi” oddziaływania otoczenia (innego elementu) na  $i$ -ty element oraz zbiór wyjść  $Y_i$  elementu  $m_i$  jako „drogi” oddziaływania  $i$ -tego elementu na otoczenie (inny element) stanem elementu nazywa się wektor określający stan wewnętrzny elementu  $Z_i$ , stan wejść  $X_i$  i wyjść  $Y_i$  w danej chwili, któremu przyporządkowany jest numer stanu:

<sup>12</sup> Czas traktowany jest jako zbiór, który po wprowadzeniu metryki stanie się przestrzenią metryczną. Istnieje więc liczba nieujemna  $d_t(t_i, t_j) = |t_i - t_j|$ ,  $t_i, t_j \in T$  zwana odległością między  $t_i, t_j$  i spełniająca aksjomaty metryki:

- 1°  $d_t(t_i, t_j) = 0 \Leftrightarrow t_i = t_j$ ,
- 2°  $d_t(t_i, t_j) = d_t(t_j, t_i)$ ,
- 3°  $d_t(t_i, t_j) + d_t(t_j, t_k) \geq d_t(t_i, t_k)$ .

<sup>13</sup> Podobnie stanem wewnętrznym systemu nazywa się wektor wartości poszczególnych cech systemu w danej chwili czasu systemowego, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu wewnętrznego systemu.

$$\delta_i : \mathbf{X}_i \times \mathbf{Y}_i \times \mathbf{Z}_i \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{S}_i$$

Stan systemu w dowolnej chwili jest określony przez chwilowe stany wszystkich elementów składowych systemu. Stan systemu (elementu systemu) określa: funkcja stanów oraz funkcja zmiany stanów.

Funkcja stanów systemu:

$$\delta : \mathbf{X} \times \mathbf{Y} \times \mathbf{Z} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{S}$$

dla każdej wyróżnionej chwili przypisuje numer stanu systemu.

Funkcja zmiany stanów:

$$\tau : \mathbf{S} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{T}$$

określa ile czasu system pozostanie w wyróżnionym stanie. Jeżeli system w chwili  $t' \in \mathbf{T}$  znajdował się w stanie  $s(t') \in \mathbf{S}$ , to pozostanie on w tym stanie do momentu  $\tau(s, t') \in \mathbf{T}$ . Powyższe można wyrazić w dwóch następujących stwierdzeniach.

- (1) Jeżeli w danej chwili stan dowolnego elementu systemu różni się od stanu tego elementu w innej chwili, to stan systemu w tej chwili różni się od jego stanu w innej chwili.
- (2) Jeżeli w danej chwili stan każdego elementu systemu jest taki sam jak stan każdego z tych elementów w innej chwili, to stan systemu w tej pierwszej chwili jest taki sam jak jego stan w drugiej chwili.

Stan systemu w każdym wybranym momencie jest określony przez opis stanu systemu. Na stan systemu składają się stany jego elementów. Trzeba podkreślić, że opis stanu jest związany z punktem w czasie, a nie z przedziałem czasu. Ponadto stan systemu (elementu) zależy od zbioru wejść i wyjść (systemu/elementu) oraz od ujęcia - w postaci zdarzenia - natury czasu. Wystąpienie zdarzenia stwarza warunki do zmiany stanu systemu.

Dla danego iloczynu kartezjańskiego zbiorów:

$$\mathbf{E} = \mathbf{S} \times \mathbf{T} = \{ \langle s, t \rangle : s \in \mathbf{S} \wedge t \in \mathbf{T} \}$$

zdarzeniem elementarnym nazywa się każdy element zbioru  $\mathbf{E}$ . Zdarzenie elementarne o numerze  $i$ -tym opisuje para  $e_i = \langle s_i, t(s_i) \rangle \in \mathbf{E}$ .

Dla (wszystkich) zdarzeń elementarnych  $e_i, e_j \in \mathbf{E}$  ( $i \neq j$ ) jeżeli:

$$e_i \neq e_j \Leftrightarrow t(s_i) \neq t(s_j);$$

$$e_i \equiv e_j \Leftrightarrow s_i = s_j \wedge t(s_i) = t(s_j);$$

---

<sup>14</sup> Przestrzeń czasu systemu można traktować jako sumę „czasów własnych” wszystkich elementów systemu.

Analiza zdarzeń stanowi podstawę przy badaniu dynamiki systemu. Wiąże się to często z badaniem przyczyn i skutków określonych zdarzeń czyli określeniem związków przyczynowo-skutkowych. Od strony formalnej strukturę dynamiczną tworzy para zbiorów:

$$(\mathbf{P}, \mathbf{R}_P)$$

gdzie:  $\mathbf{P}$  stanowi zbiór wszystkich procesów realizowanych w systemie  $\mathbf{P} = \{\underline{P}_h : h \in \{1, 2, \dots, H\}\}$ ;  $H$  oznacza licznosc procesów, zaś  $\mathbf{R}_P = \mathbf{P} \times \mathbf{P}$  jest dwuczłonową relacją na zbiorze  $\mathbf{P}$ .

Funkcjonowanie dowolnego elementu systemu określa zbiór realizowanych w nim procesów. Proces<sup>15</sup>  $\underline{P}_h$  o numerze  $h$  realizowany w  $i$ -tym elemencie  $m_i$  systemu składa się z  $K_h$  procesów elementarnych:

$$\underline{P}_h = \{P_{i,k} : i \in I, k \in K_h\}$$

Przyjmując, że „czasem własnym” każdego elementu jest  $\mathbf{T}$ , opis procesu elementarnego  $P_{i,k}$  stanowi zbiór:

$$P_{i,k} = \{X_{i,k}, Y_{i,k}, Z_{i,k}, T, \varphi_{i,k}, \psi_{i,k}, \tau_{i,k}\},$$

gdzie (pomijając indeksy):

$X$  – zbiór wejść,

$Y$  – zbiór wyjść,

$Z$  – zbiór wartości cech elementu,

$T$  – zbiór chwil,

$\varphi : X \times Y \times Z \times T \rightarrow Z$  – funkcja stanów:

$$z(t) = \varphi[x(t), y(t), z(t_1), t] = \varphi[x(t), y(t), \varphi[x(t_1), y(t_1), z(t_0), t_1], t] \quad t \geq t_1 \geq t_0$$

$t_0$

$\psi : X \times Y \times Z \times T \rightarrow Y$  – funkcja wyjść:

$$y(t) = \psi[x(t), y(t_1), z(t), t]$$

$\tau : X \times Y \times Z \times T \rightarrow T$  – funkcja zmiany stanów:

$$t = \tau[x(t_1), y(t_1), z(t_1), t_1]$$

Jeżeli rozpatruje się system w jakimś przedziale czasu, to należy rozważać wiele stanów systemu, a więc wiele opisów stanów. Najczęściej rozważa się stany systemu w chronologicznym porządku kolejnych chwil, należących do danego przedziału czasu  $\mathbf{T}$ . Prowadzi to do utworzenia historii stanów. Historia stanów składa się z szeregu chro-

nologicznie uporządkowanych opisów stanów odpowiadających stanom systemu w każdej z rozpatrywanych w danym przedziale kolejnych chwil. Analiza historii stanów jest bardzo ważna ponieważ pozwala śledzić zachowanie modelowanego systemu.

W praktyce opisy stanów i historia stanów systemów prawie nigdy nie są wyczerpujące. Po pierwsze, opisy stanów zwykle zawierają charakterystykę tylko niektórych aspektów systemu, nie opisując pozostałych. Opisane są tylko te aspekty, które mają związek z celami badacza zajmującego się systemem. Po drugie, historie stanów zawierają opisy stanów tylko dla niektórych chwil zawartych w przedziale czasu obejmującym daną historię stanów. Aby podkreślić, że opisy i historie stanów są niekompletne, można użyć terminów "częściowy opis stanów" lub "częściowa historia stanów".

Modelowanie jako współczesne narzędzie badawcze analizy systemowej może być z powodzeniem stosowane do badania zagadnień otaczającej nas rzeczywistości m.in. takich działań poznawczych jak [4]:

- obserwacja obiektu rzeczywistego;
- konceptualizacja, czyli wybór istotnych cech obiektu;
- idealizacja, czyli określenie związków między głównymi z istotnych cech obiektu;
- konkretyzacja, czyli uwzględnienie podczas określania związków pomiędzy istotnymi cechami obiektu kolejnych cech ubocznych;
- weryfikacja, czyli logiczne i empiryczne sprawdzenie związków między istotnymi cechami obiektu;
- preparacja, czyli podjęcie działań praktycznych prowadzących do zaspokojenia konkretnych potrzeb.

## 2.4. SYMULACJA I MODELOWANIE SYMULACYJNE

Definicja symulacji wywodzi się z badań systemowych. Potrzeba symulacji często pojawia się w trakcie badania systemów rzeczywistych, ale także w procesie badania systemów hipotetycznych. Fakt, że system jest hipotetyczny, nie znaczy, iż jego skład jest w jakimś stopniu mniej określony niż ma to miejsce w przypadku systemów rzeczywistych [6]. System hipotetyczny może być nawet lepiej określony właśnie dlatego,

---

<sup>15</sup> Proces określany jest jako podzbiór rodziny wszystkich podzbiorów procesów elementarnych. W potocznym ujęciu proces definiowany jest jako zbiór czynności będących ze sobą w związku przyczynowo-

że jest hipotetyczny i może powstać przy założeniu, iż jego właściwości są akurat takie, jakie przedstawia jego model. Bez względu na to, czy omawiane są systemy rzeczywiste czy hipotetyczne, można uważać, iż system, który stanowi przedmiot zainteresowania i jest badany w takim czy innym celu, jest określony. Nie znaczy to, że sam system nie podlega zmianom. W rzeczywistości często stosuje się symulację w badaniach, których zadaniem jest wybranie z rodziny podobnych systemów konkretnego systemu charakteryzującego się najbardziej pożądanym dla danego celu zbiorem właściwości. Można jednak utrzymywać, że takie badanie pociąga za sobą użycie kilku różnych (choć podobnych) przypadków symulacji dla kilku różnych (choć podobnych) systemów.

Kolejnym terminem jaki należy sformułować, po zdefiniowaniu pojęć systemu i modelu jest symulacja.

Symulacja jest to proces konstruowania historii stanów [6]. Dokładniej symulacja - to konstruowanie w chronologicznym porządku opisów stanów tworzących historię stanów. Taka metoda może być na przykład przeciwstawiona możliwości generowania danych do historii stanów w porządku innym niż chronologiczny, a następnie składania lub organizowania tych danych tak, aby utworzyć historię stanów. Historia stanów skonstruowana przy pomocy metody symulacyjnej jest w rzeczywistości historią stanów modelu, a nie systemu. Ponieważ jednak model reprezentuje system, można przyjąć, że tak otrzymana historia jest historią stanów modelowanego systemu. Na bazie pojęć system oraz model można przyjąć, że symulacja jest to zastosowanie modelu w celu chronologicznego wygenerowania historii stanów tegoż modelu, która jest uważana za historię stanów modelowanego systemu.

Uwzględniając powyższe definicje można uznać, że symulacja jest czynnością lub procesem. Używanie terminu symulacja, jak gdyby była ona przedmiotem, takim jak model czy program jest nieco mylące. W takim wypadku należałoby użyć określenia "przypadek symulacji" lub "zastosowanie symulacji".

Należy podkreślić, że przypadek symulacji występuje wtedy, gdy dany model konkretnego systemu jest zastosowany w konkretnej sytuacji. Jeżeli używa się dwóch różnych modeli danego systemu, to ma się do czynienia z dwoma oddzielnymi przypadkami symulacji. Dlatego warto rozróżnić badanie symulacyjne od czynności symulacji. Badanie symulacyjne - to jedno lub więcej zastosowań symulacji w badaniach systemu lub zbioru systemów.

Terminem modelowanie symulacyjne określa się całokształt czynności związanych z procesem budowy modelu systemu rzeczywistego oraz przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych na tym modelu w celu poznania zachowania się systemu pod wpływem wewnętrznych i zewnętrznych czynników lub dokonania oceny strategii zapewniających funkcjonowanie badanego systemu. W ten sposób modelowanie symulacyjne obejmuje nie tylko budowę modelu lecz także analityczne wykorzystanie modelu do zbadania (poznania lub rozwiązania) określonego problemu.

Istota metody modelowania symulacyjnego polega na zbudowaniu modelu badanego systemu [7], który w jednych elementach jest zgodny z systemem rzeczywistym, w innych zaś różni się od niego i który jest badany przy pomocy różnych metod i środków. Wyniki uzyskane z eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych na modelu są przenoszone drogą wnioskowania przez analogię na badany system.

Modelowanie symulacyjne stanowi niejako skojarzenie metody matematycznej i eksperymentalnej, bowiem budując model opisuje się formalnie mechanizm zachodzących procesów, podobnie jak przy stosowaniu metod matematycznych, natomiast sposób uzyskiwania wyników jest taki, jak w metodach eksperymentalnych z tą tylko różnicą, że proces rzeczywisty zastępuje się symulacją tego procesu na przykład na komputerze [8]. Metoda ta jest z jednej strony swego rodzaju narzędziem pozwalającym sprawdzić praktyczne wyniki badań teoretycznych, z drugiej zaś strony - metodą teoretycznego rozwiązywania niektórych problemów wysuwanych przez praktykę. Można zatem przyjąć, że modelowanie symulacyjne zajmuje pośrednie miejsce między logicznymi i empirycznymi metodami i stanowi wiążące ogniwo między teorią i praktyką.

Modele symulacyjne są szczególną klasą modeli matematycznych [4]. Pozwalają one na drodze opisów matematycznych „naśladować” zachowanie się obiektu rzeczywistego obserwowanego z punktu widzenia wcześniej zdefiniowanego problemu badawczego. Modele symulacyjne są modelami badawczymi z czasem. Nawiązując do opisu funkcjonalnego systemu, w modelu symulacyjnym, zbiór zmiennych opisowych dzieli się na trzy podzbiory:

- zmiennych wejściowych  $\mathbf{X}$  – takich, których wartości są ustalone niezależnie od zachowania się obiektu rzeczywistego;
- zmiennych stanu  $\mathbf{Z}$  – takich, których wartości opisują zmieniające się w czasie wybrane cechy obiektu ( $\mathbf{X} \cap \mathbf{Z} = \emptyset$ );

- zmienne wyjściowe  $Y$  – część zmiennych stanu ( $Y \subset Z$ ) podlegających obserwacji z zewnątrz modelu;
- podzbiór jednoelementowy  $\{t, T\}$  opisujący czas.

Pozostałe zależności opisane zbiorem liczb rzeczywistych można w modelach symulacyjnych przedstawić przy pomocy:

- funkcja stanów -  $\varphi$ ;
- funkcja zmiany stanów -  $\tau$ ;
- funkcji wyjściowej -  $\psi$ .

Powyższe funkcje mogą być funkcjami czasu, który może zmieniać się w sposób dyskretny bądź ciągły. Najbardziej uniwersalnym opisem matematycznym modeli systemów o działaniu ciągłym uwzględniającym ich dynamikę są równania różniczkowe. Ich odpowiednikiem dla dyskretnej zmiany czasu są równania różnicowe [9]. Modelem matematycznym szerokiej klasy ciągłych systemów dynamicznych<sup>16</sup>, charakteryzujących się własnościami akumulacyjnymi są równania stanu, o postaci układu równań różniczkowych rzędu pierwszego

$$\frac{dz(t)}{dt} = \varphi[z(t), x(t)]$$

Uzupełnieniem opisu są równania wyjścia formułujące związek między wielkościami wyjściowymi – a zmiennymi stanu i wejścia

$$y(t) = \psi[z(t), x(t)]$$

Innym rodzajem modeli dynamicznych są modele, w których uwzględnia się opóźnienia czasowe (wynikające z ograniczonej prędkości przemieszczania się zjawisk w przestrzeni). W modelach, w których uwzględnia się opóźnienia, a nie uwzględnia własności akumulacyjnych podkreśla się, że reakcja w chwili  $t$  jest skutkiem oddziaływania wejściowego, które wystąpiło odpowiednio wcześniej, a mianowicie w chwili  $t-h$ :

$$y(t) = \psi[x(t-h)]$$

Model matematyczny systemu dynamicznego ciągłego, w którym uwzględnia się zarówno własności akumulacyjne, jak i opóźnienia stanu w stosunku do wielkości wejściowych, ma równanie stanu o postaci:

<sup>16</sup> Fakt występowania [9] parametru czasu w równaniach tworzących model jeszcze nie przesądza o tym, że model jest dynamiczny. Jeżeli we wszystkich zależnościach tworzących model wszystkie wielkości dotyczą tej samej chwili – to model taki jest modelem statycznym. Tak więc można stosować modele statyczne nawet do opisu związku między wartościami chwilowymi wielkości wejściowych i wyjściowych wyrażając je równaniem wektorowym.

$$\frac{dz(t)}{dt} = \varphi[z(t), x(t-h)]$$

W modelach dotyczących systemów, w których występuje dziedziczenie pewnych cech w przyszłości występują opóźnienia stanu, zatem:

$$\frac{dz(t)}{dt} = \varphi[z(t-h), x(t)]$$

Należy zauważyć, że dla modeli z opóźnieniami (w zmiennych stanu) do określenia stanu bieżącego  $z(t)$  wymagana jest nie tylko, jak dla modeli bez opóźnień, znajomość wielkości wejściowych  $x(t)$  oraz stanu początkowego  $z(t_0)$ , ale ponadto znajomość pewnych stanów wcześniejszych.

Zwykle modele dynamiczne opisywane są za pomocą równań stanu z jedną zmienną niezależną  $t$ , której fizyczną interpretacją jest czas. Taki opis jest niewystarczający dla systemów, w których stan zmienia się z upływem czasu ale różnie, w różnych punktach przestrzeni<sup>17</sup>, na jakiej rozpościera się modelowany system. W takim wypadku uwzględnia się w zmiennych stanu nie tylko czas ( $t$ ) ale również zmienne przestrzenne ( $l$ ). W równaniu stanu eksponuje się oprócz czasu wpływ pozostałych zmiennych niezależnych:

$$\frac{\partial z(t,l)}{\partial t} = F[z(t,l), x(t,l)],$$

gdzie lewa strona oznacza pochodną cząstkową względem zmiennej  $t$ . Występujący po prawej stronie zapis  $F(\dots)$  jest w ogólnym przypadku nie funkcją, lecz operatorem określonym na funkcjach zmiennych przestrzennych  $l$ . Oznacza to w szczególności, że po prawej stronie w nawiasach kwadratowych mogą występować pochodne cząstkowe stanu względem zmiennej<sup>18</sup>  $l$ . Wielkości wejściowe  $x$  mogą działać na system „punktowo”. Również wielkości wyjściowe  $y$  mogą reprezentować tylko wybrane punkty. Wtedy dla ustalonego  $t$  funkcjom zmiennych przestrzennych rozłożonych i skupionych przyporządkowuje się wektory liczb rzeczywistych. Zatem „punktowe” wyjścia zależą od stanu rozłożonego w przestrzeni i od „punktowych” wejść.

Modelowanie symulacyjne, jako metoda badania złożonych systemów działania, jest ciągle w fazie opracowywania. Dlatego odpowiedź na pytanie: kiedy poszukiwać rozwiązań analitycznych, a kiedy stosować symulację? – pozostaje nadal zagadnieniem

<sup>17</sup> Na przykład model koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze nad regionem przemysłowym.

<sup>18</sup> Zmienna niezależna  $l$  może być skalarem. Tak się dzieje gdy modeluje się systemy jednorodnie w przekroju, a zmienne wzdłuż tylko jednej osi przestrzennej.

otwartym. Niezależnie od powyższego warto zaznaczyć, że modelowanie symulacyjne pozwala:

- opisać zachowanie się systemu;
- budować teorie i hipotezy, które mogą objaśniać obserwowane zachowanie się systemu;
- wykorzystywać te teorie i hipotezy do przewidywania przyszłego zachowania się systemu, tj. do przewidywania tych przyszłych stanów systemu, które mogą wynikać ze zmiany elementów systemu lub sposobów jego działania.

Metody badań symulacyjnych mogą służyć do:

- odtwarzania funkcjonowania systemów aktualnie już nie istniejących (tzw. symulacja odtwarzająca);
- odwzorowywania działania systemów aktualnie funkcjonujących (tzw. symulacja bieżąca);
- przewidywania działania badanych systemów w przyszłości (tzw. symulacja prognostyczna).

### 3. ISTOTA MODELU OCENOWEGO PRZEDMIOTU

Celem **modelu ocenowego** jest uzyskanie ocen analizowanego systemu rzeczywistego. Ocenę formułuje się wówczas, gdy stwierdza się pewną zgodność (albo niezgodność) danego stanu rzeczy z określonym kryterium. Ocena jest obiektywna wtedy, kiedy oparta jest na kryterium (kryteriach) wyrażającym wartości odpowiadające potrzebom obiektywnym, tj. niezależnym od podmiotu oceniającego.

Najogólniej można wyróżnić oceny:

1. zwykłe, które dotyczą wewnętrznych własności systemu; orzekające, że system jest po prostu dobry lub zły bezwzględnie;
2. użyteczne, które dotyczą zewnętrznych wartości systemu; orzekające, że system jest dobry lub zły do czegoś, z uwagi na coś itp.

Ze względu na uwarunkowania czasowe wyróżnia się oceny:

1. **retrospektywne** (*ex post*), czyli oceny formułowane dla przeszłych (w stosunku do chwili, w której dokonywana jest ocena) stanów systemu;
2. **prospektywne** (*ex ante*), czyli oceny formułowane dla przyszłych stanów systemu.

Ze względu na licznosc zbioru kryteriow oceny efektywnosci wyróżnia się oceny:

1. **jednokryterialne**, czyli formułowane na podstawie jednego i tylko jednego kryterium;
2. **wielokryterialne**, formułowane na podstawie co najmniej dwóch różnych kryteriów.

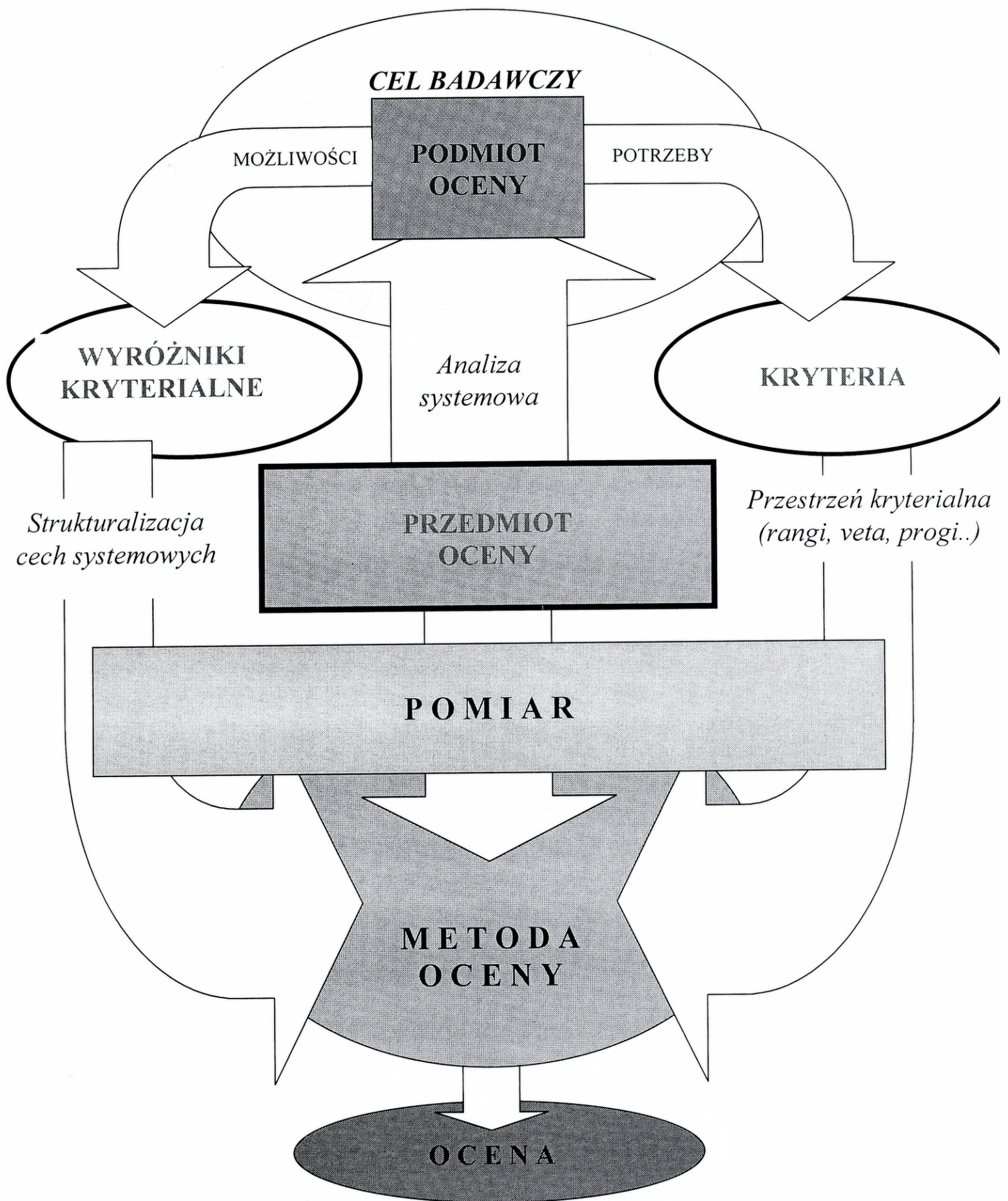
Do najważniejszych czynności realizowanych w procesie oceniania systemów należą:

- wybór istotnych cech systemu oraz skali wartości wspólnej dla wszystkich cech;
- wybór kryterium (kryteriów) oceny systemu;
- ustalenie rodzaju oceny systemu;
- ustalenie metody oceny systemu;

- określenie sposobu zastosowania oceny w procesie racjonalizacji funkcjonowania lub projektowania systemu.

Na rys. 5 pokazano koncepcję modelu ocenowego.

Model ocenowy konceptualizuje i realizuje określony podmiot z punktu widzenia celu badawczego. Wychodząc z tych przesłanek określa potrzeby jaki otoczenie wymaga od przedmiotu ocenianego, a także możliwości jakie tkwią w przedmiocie w aspekcie potrzeb. Potrzeby powinny określić funkcje kryterialne (m.in. rangi w przypadku wielu kryteriów oraz ewentualnie progi i veta, a więc zakres akceptowalnych wartości dla każdego kryterium). Natomiast z możliwości przedmiotu, poprzez strukturalizację jego cech systemowych określić należy tzw. wyróżniki kryterialne. Podstawowym etapem jest opracowanie odpowiedniej metody oceny, metodologicznie poprawnej. Z punktu widzenia przyjętej metody należy dokonać pomiaru przedmiotu. W tym celu dla każdego elementu zbioru wyróżników kryterialnych określić należy sposób pomiaru (miernik, skalę pomiarową, zakres, itp.). Mogą to być badania eksperckie, pomiar bezpośredni, inne miary ocenowe, itp. Po opracowaniu danych właściwych dla badanego przedmiotu, stosując przyjętą metodę oceny w aspekcie określonej przestrzeni kryterialnej, opracowywana jest ocena badanego przedmiotu.



Rys. 5. Koncepcja modelu ocenowego

ŹRÓDŁO: J. Wocial

## 4. METODA ANALITYCZNA OCENY PRZEDMIOTU

W procesie oceny wartości (użyteczności) przedmiotu badanego (systemu sił zbrojnych, systemu obronnego państwa) wielowymiarowego wyróżnić można trzy niezależne fazy:

1. **określenie wymiarów /cech/ i ich znaczenia /wag, hierarchii/;**
2. **określenie wartości wymiarów /cech/;**
3. **agregacja /integracja/ wymiarów /cech/.**

Należy zauważyć, że określanie wag wymiarów i wartości wymiarów, to dwa merytorycznie zupełnie różne problemy - nie mające żadnego związku między sobą. Natomiast metody umożliwiające ich określenie mogą być jednakowe. O ile wagi wymiarów określamy metodami eksperckimi, to wartości wymiarów określane są w zależności od ich "natury" i dostępności instrumentów pomiarowych. I tak, jeżeli wymiary są niemierzalne, to dane o ich wartości uzyskać możemy stosując te same metody, co dla uzyskania danych o ich wagach.

Przedstawimy trzy metody umożliwiające określenie wag /i/lub wartości/ wymiarów. Wszystkie są eksperckie. Metoda porównywania parami powinna (i raczej jest) najczęściej stosowana (po elementarnej ocenie bezpośredniej), metoda Churchmana - Ackoffa wykorzystana może być raczej w realizacji komputerowej, metoda "określenia miary względnej" jest ideowo i praktycznie uciążliwa dla eksperta oceniającego.

### 4.1. OKREŚLANIE WYMIARÓW I ICH WAG

Każdy badany przedmiot ma praktycznie nieskończoną liczbę cech. Człowiek podejmujący problem jego oceny bierze pod uwagę tylko niektóre z nich. O selekcji wymiarów decydują cele, do których dąży badacz. Wymiary, które wybierze do analizy nazywamy *predyktywnymi*<sup>19</sup>. Wtedy badany przedmiot  $x$  opisujemy:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$$

w którym  $x_n$  to kolejne wymiary predyktywne.

<sup>19</sup> J. Koziński - *Psychologiczna teoria decyzji*, PWN, 1977, s. 121 i dalsze

Wymiary predyktywne mogą różnić się z punktu widzenia ich ważności. Dla jednego eksperta ważniejsza jest jedna cecha, dla drugiego inna, dla innego zaś wszystkie mogą być jednakowo ważne. Widać stąd subiektywne traktowanie ważności wymiarów. Ocena ważności polega na przypisaniu wymiarom odpowiednich wag.

Określenie wag albo inaczej szacowanie hierarchii cech, albo jeszcze inaczej *rangowanie* cech przeprowadzić można wieloma metodami. Najczęściej stosowana jest metoda porównywania parami<sup>20</sup>.

#### **4.1.1. Metoda porównywania parami**

Metodę porównywania parami charakteryzuje następujące postępowanie:

I. Należy przyjąć wielowartościową skalę zróżnicowania hierarchii cech względem siebie. Wielowartościowość oznacza tu liczbę rang, jakimi rozróżniać będziemy badane cechy. Rozróżnienie może być dychotomiczne lub wielowartościowe. Przy dychotomicznym rozróżnianiu orzekamy, że między cechami występuje związek przewyższania albo równoważności. Dla "właściwego" wielowartościowego rozróżniania, jego znaczenie zależy od liczby rang, jaką przyjęliśmy.

Jeśli przyjmimy trójwartościową skalę wówczas znaczenie rang będzie następujące:

1. cechy wcale nie różnią się rangą;
2. cechy różnią się rangą średnio;
3. cechy różnią się rangą bardzo znacznie.

Jeśli przyjmimy pięciowartościową skalę, wówczas znaczenie rang będzie następujące:

1. cechy prawie wcale nie różnią się rangą;
2. cechy nieznacznie różnią się rangą;
3. cechy różnią się rangą średnio;
4. cechy znacznie różnią się rangą;
5. cechy różnią się rangą bardzo znacznie.

Więcej wartościowych skal nie zaleca się stosować.

II. Należy sporządzić tabelę zróżnicowania cech według schematu pokazanego w tablicy 1 /przykład dla skalowania pięciowartościowego i siedmiu cech predyktywnych/.

Tabela 1. Ustalanie hierarchii cech.

NUMER CECHY	1	2	3	4	5	6	7	$\Sigma$	%
1		1 / 5	1 / 5	1 / 4	5 / 2	1 / 4	7 / 2	1 / 18	<b>26,4</b>
2	1 / 5		2 / 3	2 / 2	5 / 4	6 / 2	7 / 4	2 / 5	<b>7,3</b>
3	1 / 5	2 / 3		4 / 2	5 / 5	6 / 3	7 / 4	3 / 0	<b>0,3</b>
4	1 / 4	2 / 2	4 / 2		5 / 4	6 / 1	7 / 4	4 / 2	<b>2,9</b>
5	5 / 2	5 / 4	5 / 5	5 / 4		5 / 4	5 / 2	5 / 21	<b>30,8</b>
6	1 / 4	6 / 2	6 / 3	6 / 1	5 / 4		7 / 2	6 / 6	<b>8,8</b>
7	7 / 2	7 / 4	7 / 4	7 / 4	5 / 2	7 / 2		7 / 16	<b>23,5</b>
$\Sigma$	-	-	-	-	-	-	-	- / 68	<b>100,0</b>

W tabeli 1 w główce każdego wiersza i każdej kolumny wpisano kolejne numery porównywanych cech. Porównania należy dokonać, konfrontując kolejno każdą cechę z każdą i wpisując wynik oceny na przecięciu każdego wiersza i każdej kolumny. W polu przecięcia występują dwa trójkąty: górny i dolny. W górnym trójkącie ekspert wpisuje numer cechy, której rangę uznaje za ważniejszą w porównaniu z rangą cechy porównywanej. W dolnym wpisuje stopień, w jakim uznaje, że poziom cechy górującej rangą różni się od poziomu cechy porównywanej. W kolumnie przedostatniej przedstawia się /dla każdego wiersza - cechy/ sumę punktów /wartości z dolnych trójkątów/, przypadających dla wiersza - cechy o randze wyższej od każdej cechy porównywanej /tzn. w górnym trójkącie występuje numer wiersza - cechy/. W ostatnim wierszu przedostatniej

<sup>20</sup> K. Cholewicka – Goździk – *Kompleksowa ocena jakości. Metoda, przykłady*, PWE, 1984r, s. 116

kolumny wpisuje się sumę punktów, jaką uzyskały wszystkie objęte oceną cechy /sumę tę przyjmuje się za 100%/. W ostatniej kolumnie tablicy oblicza się procent punktów przypadających na każdą z porównywanych cech. Jest to poszukiwana ranga wartości każdej cechy /w zbiorowości wszystkich badanych cech - predyktywnych/, uzyskana na podstawie oceny /deklaracji/ indywidualnej eksperta.

#### **4.1.2. Metoda Churchmana - Ackoffa**

Jedną z metod hierarchizacji cech /objektów/, jak również wartościowania cech /objektów/ jest metoda Churchmana - Ackoffa.

Założenia metody:

Niech  $\Omega = (O_1, \dots, O_n, \dots, O_N)$  oznacza zbiór obiektów, którym należy przypisać wartości  $W_1, \dots, W_n, \dots, W_N$ . Zakładamy:

1. Każdemu obiektowi  $O_n$  w pewnym zbiorze obiektów  $\Omega$  w określonej sytuacji  $S$  odpowiada rzeczywista nieujemna liczba  $W_n$ , będąca miarą ważności względnej obiektu  $O_n$  w tej sytuacji. /Każde  $W_n$  jest zatem odniesione do zbioru  $\Omega$  i do sytuacji  $S$  /
2. Jeśli  $O_j$  jest ważniejsze niż  $O_k$  to  $W_j > W_k$ , a jeśli  $O_j$  jest równoważne  $O_k$ , to  $W_j = W_k$ .
3. Jeśli  $W_j$  oraz  $W_k$  odpowiadają odpowiednio  $O_j$  oraz  $O_k$ , to  $W_j + W_k$  odpowiada złożonemu obiektowi  $O_j$  oraz  $O_k$ .

## 1. PROCEDURA I - wariant 1

Niech  $\Omega = (O_1, \dots, O_n, \dots, O_N)$  będzie zbiorem obiektów do zwartościowania, wówczas:

- P.1. Uporządkować obiekty  $O_n$  ( $n = 1, \dots, N$ ) według ich ważności zgodnie z propozycją eksperta.
- P.2. Przypisać każdemu obiektowi liczbę odpowiadającą jego względnej ważności.
- P.3. Ustalić, co jest ważniejsze:  $O_1$ , czy zespół pozostałych obiektów:  $O_2, \dots, O_n, \dots, O_N$ .
  - P.1. Jeśli ekspert preferuje  $O_1$ , to należy badać dalej, co jest ważniejsze:  $O_2$  czy zespół pozostałych obiektów  $O_3, \dots, O_n, \dots, O_N$ , itd.
  - P.2. Jeśli ekspert preferuje zespół  $O_2, \dots, O_n, \dots, O_N$  pozostałych elementów, to należy badać dalej, co jest ważniejsze:  $O_1$  czy zespół obiektów  $O_2, \dots, O_n, \dots, O_{N-1}$ , itd.
- P.4. Ustalić, czy liczby przypisane obiektom w P2 są niesprzeczne z relacjami ustalonymi w P3. Jeśli TAK, to procedura jest zakończona, jeśli NIE, to należy zmodyfikować albo liczby, albo preferencje.

## 2. PROCEDURA I - wariant 2 /dla dużej liczby elementów/

- P.4. Wybrać jeden z obiektów w sposób losowy.
- P.5. Podzielić losowo pozostałe obiekty na grupy w przybliżeniu cztero - pięcio elementowe /nie jest konieczne, aby grupy były równoliczne/.
- P.6. Dołączyć obiekt wybrany w P1 do każdej z grup.
- P.7. Ocenić każdą grupę za pomocą procedury I w ten sposób, że po ocenie pierwszej grupy /uzyskaniu oceny wybranego w P1 obiektu/ przypisać tę liczbę obiektowi wybranemu w P1 przy ocenie pozostałych grup. Przypisując później /i korygując/ liczby odpowiadające obiektom w innych grupach należy pominąć tę liczbę.

Rozwiązanie uzyskane tą metodą nie musi być jedyne, ale metoda posuwa naprzód problem pomiaru wartości w dwóch ważnych punktach:

- a) dostarcza systematycznej metody ustalania, czy preferencje wyrażane przez eksperta są, czy też nie są niesprzeczne wewnętrznie oraz zgodne z jego ilościowym oszacowaniem wartości względnej, czyli z przypisanymi liczbami.
- b) dostarcza metody ustalania granic, w jakich oceny wartości są niesprzeczne z wyrażonymi preferencjami.

#### 4.1.3. Metoda określania miary względnej

Stosowana jest do wartościowania obiektów zarówno ilościowych, jak i jakościowych, a także ilościowo - jakościowych. /Jeśli zakłada się przechodność preferencji, to miara ta jest przedziałowa./

Niech  $\Omega = (O_1, \dots, O_n, \dots, O_N)$  będzie zbiorem wyłączających się i dopełniających obiektów. Zakładamy, że ekspert potrafi dokonać takiego oszacowania, które prowadzi do uzyskania zbioru takich prawdopodobieństw  $(p_1, \dots, p_n, \dots, p_N)$ , że alternatywy  $p_1 O_1, \dots, p_n O_n, \dots, p_N O_N$  są pod względem preferencji jednakowe. Wtedy przy założeniu, że ekspert próbuje zmaksymalizować wartość oczekiwaną, należy wnioskować, że

$$p_1 O_1 = \dots = p_n O_n = \dots = p_N O_N$$

przy czym  $W_n$  jest wartością względną obiektu  $O_n$  ( $n = 1, \dots, N$ ).

Niech  $\sum W_n = K$ , przy czym  $K$  jest pewną stałą ustaloną arbitralnie, założmy  $K=1$ .

Z tego, że  $p_1 O_1 = p_2 O_2$  wynika, że  $W_2 = (p_1 / p_2) * W_1$

podobnie z tego, że  $p_1 O_1 = p_3 O_3$  wynika, że  $W_3 = (p_1 / p_3) * W_1$ ,

czyli ogólnie  $W_n = (p_1 / p_n) * W_1$ .

Zatem  $W_1 + (p_1 / p_2) * W_1 + (p_1 / p_3) * W_1 + \dots + (p_1 / p_N) * W_1$  i stąd otrzymuje

$$W_1 = 1 / [ 1 + (p_1 / p_2) + (p_1 / p_3) + \dots + (p_1 / p_N) ]$$

Tak więc ustalona została wartość  $W_1$  obiektu  $O_1$ , a stąd łatwo otrzymać pozostałe wartości względne  $W_2, \dots, W_n, \dots, W_N$ .

Podsumowując należy stwierdzić, że określenie wag ma zasadnicze znaczenie w rozwiązywaniu zadań ocenowych. Przy czym preferencje pojedynczych ekspertów mogą być różne, nawet dość istotnie. Powstaje wtedy problem integracji preferencji indywidualnych /pojedynczych ekspertów/ w preferencję uogólnioną /dotyczącą całego zespołu ekspertów/.

W literaturze przedmiotu<sup>21</sup> dla kreacji preferencji grupowej /zintegrowanej/ wyróżnia się kilka reguł. Najważniejsze to:

- **reguła większości;**
- **reguła Copelanda;**
- **reguła różnic między wyborami i odrzuceniami;**
- **reguła optymalnej predykcji.**

---

<sup>21</sup> M. Misztal – *Elementy systemu wartości współczesnego społeczeństwa polskiego*, PWN, 1990, s. 38 i 247.

## 4.2. OKREŚLANIE WARTOŚCI WYMIARÓW

Zależy jest od rodzaju wymiaru i miary jego wartości. Polega na ocenie /przypisaniu wartości/ każdej cechy predyktywnej dla badanego obiektu. Oceny takiej dokonuje się najczęściej w skali punktowej w odniesieniu do jakiegoś wzorca.

## 4.3. AGREGACJA /INTEGRACJA/ WYMIARÓW

Dokonując integracji wartości wymiarów i ich wag<sup>22</sup>, ekspert określa globalną użyteczność obiektu /procesu/  $x$ . W fazie tej stosuje się różnorodne reguły<sup>23</sup>. Najczęściej stosowane to<sup>24</sup>:

1. strategia liniowa /kompensacyjna/;
2. strategia koniunkcyjna;
3. strategia alternatywna;
4. strategie konfiguracyjne.

### 1. Strategia liniowa

Globalna użyteczność wyniku jest ważoną sumą jego zalet i wad. Strategia ta nazywana jest często strategią kompensacyjną, ponieważ traktuje wymiary jako kompensujące się nawzajem - przyjmuje, że niska wartość jednej cechy kompensowana jest przez wysoką wartość cechy drugiej /nazywana także "moralną algebrą"/.

Aproksymacją formalną strategii jest formuła postaci /B. Franklin/:

$$u(x) = \sum_{i=1}^I \omega_i \cdot x_i$$

<sup>22</sup> M. Łukasik – Goszczyńska – *Decyzje wielowymiarowe i strategie ich podejmowania*, PAN, 1977.

<sup>23</sup> R. Kolman – *Ilościowe określanie jakości*, PWN, 1973, s. 110 podaje dwie rodziny reguł: addytywną (zwykłą, korygowaną, wykładniczą, wykładniczo – korygowaną) i multiplikatywną (zwykłą, korygowaną, wykładniczą, wykładniczo – korygowaną).

<sup>24</sup> B. Roy – *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, WNT, 1990, s. 246 i dalsze.

gdzie:  $x_i$  - oznacza wartość i-tego wymiaru  
 $\omega_i$  - oznacza wagę i-tego wymiaru

## 2. Strategia koniunkcyjna

Ekspert ustala minimalne, czyli progowe wartości wymiarów predyktywnych. Jeśli wszystkie wymiary są co najmniej równe progowi, to przypisuje wynikowi użyteczność pozytywną, w przeciwnym przypadku uznaje go za niekorzystny. Strategie te stosuje często przyroda.

Za dość dobrą aproksymację koniunkcyjnej strategii oceny użyteczności wielowymiarowej można uznać funkcję paraboliczną /H. Einhorn/ postaci:

$$u(x) = \prod_{i=1}^I x_i^{\omega_i}$$

Funkcja ta osiąga maksimum gdy wszystkie wymiary posiadają taką samą wartość, a więc, gdy natężenie cech jest równomierne /przeciętna wszechstronność/.

## 3. Strategia alternatywna

Polega na tym, że ekspert określa progowe natężenia wymiarów - przy czym progi te są tutaj w zasadzie wyższe niż w strategii koniunkcyjnej i każdy wynik, którego co najmniej jeden wymiar osiąga próg, oceniany jest pozytywnie. O globalnej ocenie użyteczności decydują najsilniejsze strony /zalety/ przedmiotu, a nie jego wady.

Pewną aproksymacją alternatywnej strategii oceny użyteczności wielowymiarowej jest funkcja hiperboliczna /B. Einhorn/ w postaci:

$$u(x) = \prod_{i=1}^I \left( \frac{1}{\bar{a}_i - x_i} \right)^{\omega_i}$$

gdzie  $\bar{a}_i$  - arbitralnie wybrana stała, w zasadzie równa liczbie większej o jeden od najwyższej wartości skali, za pomocą której mierzy się wymiar  $i$ .

Funkcja ta wzrasta gwałtownie, gdy co najmniej jedna ze zmiennych  $x_i$  osiąga wysoką wartość.

#### 4. Strategie konfiguracyjne

Wspomniane wyżej strategie należały do klasy niekonfiguracyjnych, ponieważ nie dopuszczały żadnych interakcji między wymiarami /cechami/. Mówiąc precyzyjniej, waga przypisywana danemu wymiarowi i ocena wartości nie zależy od pozostałych wymiarów.

Strategie konfiguracyjne zakładają wzajemną interakcje między wymiarami. W tym przypadku dobór każdej cechy i oraz jej waga zależą od konfiguracji innych cech. Stosując strategie konfiguracyjne decydent spostrzega wynik bardziej całościowy.

Istnieje wiele prób formalizacji tego rodzaju strategii. L. S. Goldberg przedstawił jej model iloczynowy w postaci:

$$u(x) = \sum_{i=1}^{I-1} \sum_{j=2}^I \omega_{ij} \cdot x_i x_j$$

Jest to model zakładający interakcje między cechami  $x_i$  oraz  $x_j$ , w którym oblicza się złożone wagi  $\omega_{ij}$ .

#### 4.4. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione metody rozwiązania problemu wartościowania przedmiotów /lub cech tych przedmiotów / - a w konsekwencji ich uporządkowania - opierają się na naturalnym podejściu analitycznym do problemu. Problem złożony /albo nie w pełni znany/ dekomponujemy na czynniki prostsze /jednowymiarowe/, które łatwiej jest rozpoznać.

Nie należy lekceważyć takiego podejścia. Sytuacja decyzyjna występująca w procesie ocenowym przedmiotu jest zawsze /ze swojej natury/ niedokładna, niepewna, nieokreślona. Oceny prawdopodobnych skutków są zawsze hipotetyczne, przewidywane. Dlatego, aby zmniejszyć subiektywizm tych ocen, prowadzi się szerokie badania wśród znawców przedmiotu (ekspertów).

## ZAKOŃCZENIE

W opracowaniu pt. , **OPRACOWANIE ZAŁOŻEŃ METODOLOGICZNYCH MODELI POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH**, stanowiącym III etap projektu badawczego nr OT00A 055 18 pt. **SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH** przedstawione zostały założenia metodologiczno - metodyczne dotyczące procesu modelowania przedmiotu badawczego: tj. sił zbrojnych i systemu obronnego państwa.

## BIBLIOGRAFIA

1. „Analiza i projektowanie strukturalne przy użyciu systemu DECdesign v.2.0” - materiały do kursu” ZBW SSI Wydział Cybernetyki, WAT Warszawa.
2. Barton R. F. „Wprowadzenie do symulacji i gier” Warszawa 1974.
3. Bojarski W. „Podstawy analizy i inżynierii systemów” Warszawa 1984.
4. Chojnacki A. „Modelowanie matematyczne” WAT Warszawa 1986.
5. Czerniak J. „Informacja i zarządzanie” Warszawa 1978.
6. Evans G.W. „Symulacja na maszynach cyfrowych”, WNT, Warszawa 1973.
7. Filar W. „Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki” Wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN, 1979.
8. Fishman G. S. „Symulacja komputerowa – pojęcia i metody”, PWE, Warszawa 1981.
9. Gutenbaum J. „Modelowanie matematyczne systemów” PWN Warszawa-Łódź 1987.
10. Korzan B. „Elementy teorii grafów i sieci metody i zastosowania” WNT Warszawa 1978.
11. Kotarbiński T. „Traktat o dobrej robocie” Ossolineum, Warszawa 1969.
12. Rajski J., Tyszer J. , Modelowanie i symulacja cyfrowa, Poznań 1986.
13. Sienkiewicz P. „Inżynieria systemów kierowania” Warszawa 1988.
14. Sienkiewicz P. „Podstawy teorii systemów” Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 1993.
15. Sienkiewicz P. „Systemy kierowania” Warszawa 1989.
16. P. Sienkiewicz „Teoria efektywności systemów kierowania – Tom I – Wstęp do systemologii – Rozprawa habilitacyjna” ASG WP, Warszawa 1979.

