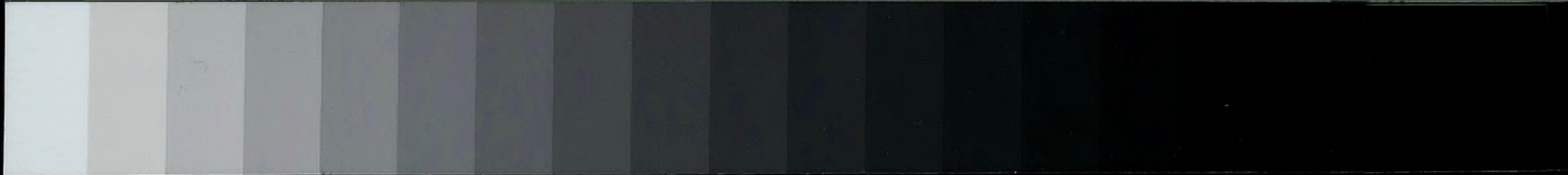


A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



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 KONCEPCYJNYCH
MATEMATYCZNYCH MODELI POTENCJAŁU
OBRONNEGO PAŃSTWA I BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Zadanie badawcze IV

61069

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej

S/1672



05-004672-001-0

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 KONCEPCYJNYCH
MATEMATYCZNYCH MODELI
POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I BOJOWEGO SIŁ
ZBROJNYCH**

Zadanie badawcze IV



ZESPÓŁ AUTORSKI:

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

Autorzy:

Plk dr inż. Maciej RATAJCZAK

Plk dr inż. Ryszard WIELEBA

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 IV projektu.

Przedstawiane opracowanie zawiera specyfikację założeń koncepcyjnych matematycznych modeli badanych przedmiotów: potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych.

Wynikiem realizacji projektu badawczego ma być bowiem określony symulacyjny model badanych przedmiotów. Tak więc, po analizie różnych koncepcji modeli (przedstawionych w poprzednich sprawozdaniach z realizacji projektu) autorzy proponują przyjąć jako obowiązujące w dalszych badaniach następujące założenia:

1. Generalną koncepcję rozwiązania problemu przedstawioną w rozdziale pierwszym;
2. Systemowe ujęcie badanych przedmiotów w dekompozycji przedstawionej w rozdziale drugim;
3. Jako metodę oceny proponujemy skoncentrować się na wielowymiarowej analizie porównawczej, prezentowanej w rozdziale trzecim;
4. wartościowanie niemierzalnych cech systemów pozyskać w procesie badania ekspertów;

5. problemy funkcji agregujących (metod określania odległości w przestrzeni wielowymiarowej) pozostawić do rozwiązania w etapie weryfikacji modelu;
6. po rozwiązaniach formalnych matematycznych modeli skoncentrować się na konstrukcji modeli rzeczowych badanych przedmiotów – sygnalizowane w rozdziale czwartym.

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI.....	5
WPROWADZENIE.....	6
1. OGÓLNY ZARYS KONCEPCJI ROZWIĄZANIA PROBLEMU.....	7
2. SYSTEMOWE UJĘCIE BADANYCH PRZEDMIOTÓW.....	18
3. OGÓLNA METODA ROZWIĄZANIA PROBLEMU.....	25
3.1. OGÓLNE ZASADY DOBORU CECH.....	27
3.2. PROBLEM WAG CECH DIAGNOSTYCZNYCH.....	30
3.3. PORÓWNYWALNOŚĆ CECH DIAGNOSTYCZNYCH - PROCEDURY UNIFIKACJI ZMIENNYCH.....	32
3.4. RODZAJE MIAR PODOBIENSTWA.....	34
3.5. WYBRANE METODY /PROCEDURY/ TAKSONOMICZNE.....	39
3.6. SCHEMAT TYPOWEGO POSTĘPOWANIA PORZĄDKUJĄCEGO ZBIÓR OBIEKTÓW.....	41
4. OD MODELU FORMALNEGO DO RZECZOWEGO.....	49
ZAKOŃCZENIE.....	50
BIBLIOGRAFIA.....	51

WPROWADZENIE

Przedstawione opracowanie dotyczy założeń do konceptualizacji matematycznych modeli 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 powszechnie kilka znaczących w tej dziedzinie modeli (metod). Szczególnie dotyczących potencjału bojowego sił zbrojnych. Prac dotyczących modelowania potencjału obronnego państwa jest znacznie mniej. Z rzadka jednak konceptualizowany model przyjmuje postać aplikacji software'owych. Jeszcze rzadziej aplikacja taka staje się narzędziem do oceny (badania: projektowania, planowania, itp.) potencjału (obronnego państwa, bojowego sił zbrojnych).

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

Rozdział pierwszy dotyczy **ogólnego zarysu koncepcji rozwiązania problemu** – opracowania modeli ocenowych badanych przedmiotów: systemu obronnego państwa i systemu sił zbrojnych.

Rozdział drugi przedstawia **ogólne założenia systemowego ujęcia badanych przedmiotów**: potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

Rozdział trzeci dotyczy **szczególonych założeń konceptualizowanych modeli** potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych w postaci modelu formalnego w klasie metod wielowymiarowej analizy porównawczej.

Rozdział czwarty sygnalizuje konieczność opracowania poprawnych rzeczowo modeli identyfikacyjnych potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych ze względu na potrzeby określone w wymaganiach rozdziału trzeciego.

W zakończeniu opracowania przedstawiono syntezę problemów podjętych w rozdziałach 1 – 3. Syntezy dokonano z punktu widzenia zasadności i realizacyjności nakreślonej koncepcji.

1. OGÓLNY ZARYS KONCEPCJI ROZWIĄZANIA PROBLEMU

I. Cel realizacji przedsięwzięcia

Opracowanie matematycznych modeli ocenowych systemu obronnego państwa i sił zbrojnych. Zrealizowane narzędzie umożliwi prowadzenie badań nad stanem i rozwojem bezpieczeństwa i obronności państwa.

II. Zastosowania

Opracowane modele przeznaczone powinny być do:

1. prowadzenia prac badawczych nad bezpieczeństwem państwa;
2. edukacji i dydaktyki w zakresie zarządzania strategicznego;
3. wspomagania decyzji strategicznych dotyczących rozwoju państwa.

III. Postać efektu pracy

Symulacyjny model bezpieczeństwa i obronności państwa.

IV. Sposób realizacji

Realizacja modeli obejmować będzie następujące przedmioty badawcze:

1. Opracowanie koncepcji modelu:
 - a) Systemu obronnego państwa,
 - b) Sił zbrojnych.

W każdym modelu określone zostanie:

- ustalenie podsystemów/elementów i związków między nimi;
- operacjonalizacja ustalonych elementów i związków;
- określenie miar /tj. kwantyfikacja/ zoperacjonalizowanych elementów /czyli określenie zmiennych/ i związków /czyli relacji/ występujących między nimi;
- określenie charakteru zmienności zmiennych i relacji /stałe - zmienne; wolno-szybkozmiennie; itp/;
- wybór zmiennych sterujących /w tym decyzyjnych/, zakłócających, itp;
- określenie parametrów modelu.

2. Opracowanie koncepcji prowadzenia prac na modelu /w tym określenie postaci scenariusza przeprowadzanych eksperymentów dla różnych zastosowań/;

3. Opracowanie projektu koncepcyjnego systemu komputerowego:

- opracowanie postaci formularza danych wejściowych;
- opracowanie postaci raportów i zestawień wynikowych;
- opracowanie schematów przetwarzania danych;
- opracowanie grafiki

4. Opracowanie projektu technologicznego systemu komputerowego;

5. Opracowanie niezbędnych /modelowych/ baz danych dla systemu;

6. Testowanie systemu i dopasowywanie modelu;

7. Opracowanie dokumentacji eksploatacyjnej i eksploatacja próbna.

V. Ogólny zarys ujęcia problemu

V.1. Metodyczny

Jako metoda badawcza zastosowana będzie **analiza systemowa**, pozwalającą w całościowy sposób ująć problem systemu obronnego państwowego w otoczeniu systemowym /bliższym i dalszym/ oraz system sił zbrojnych. Pozwoli zamodelować i sklasyfikować sytuacje systemowe w jakich znaleźć się mogą systemy. Ze zbioru sytuacji systemowych wyodrębniony może być podzbiór **sytuacji zagrożenia** /kryzysowych i konfliktowych/ bezpieczeństwa systemów.

Schemat postępowania badawczego w przeprowadzanej analizie systemowej przedstawiony został na rys.1. Każdy z etapów pozwoli zrealizować określony cel:

Analiza identyfikacyjna - opisać istotne cechy systemu i otoczenia systemowego oraz opisać sytuację systemową systemu i otoczenia;

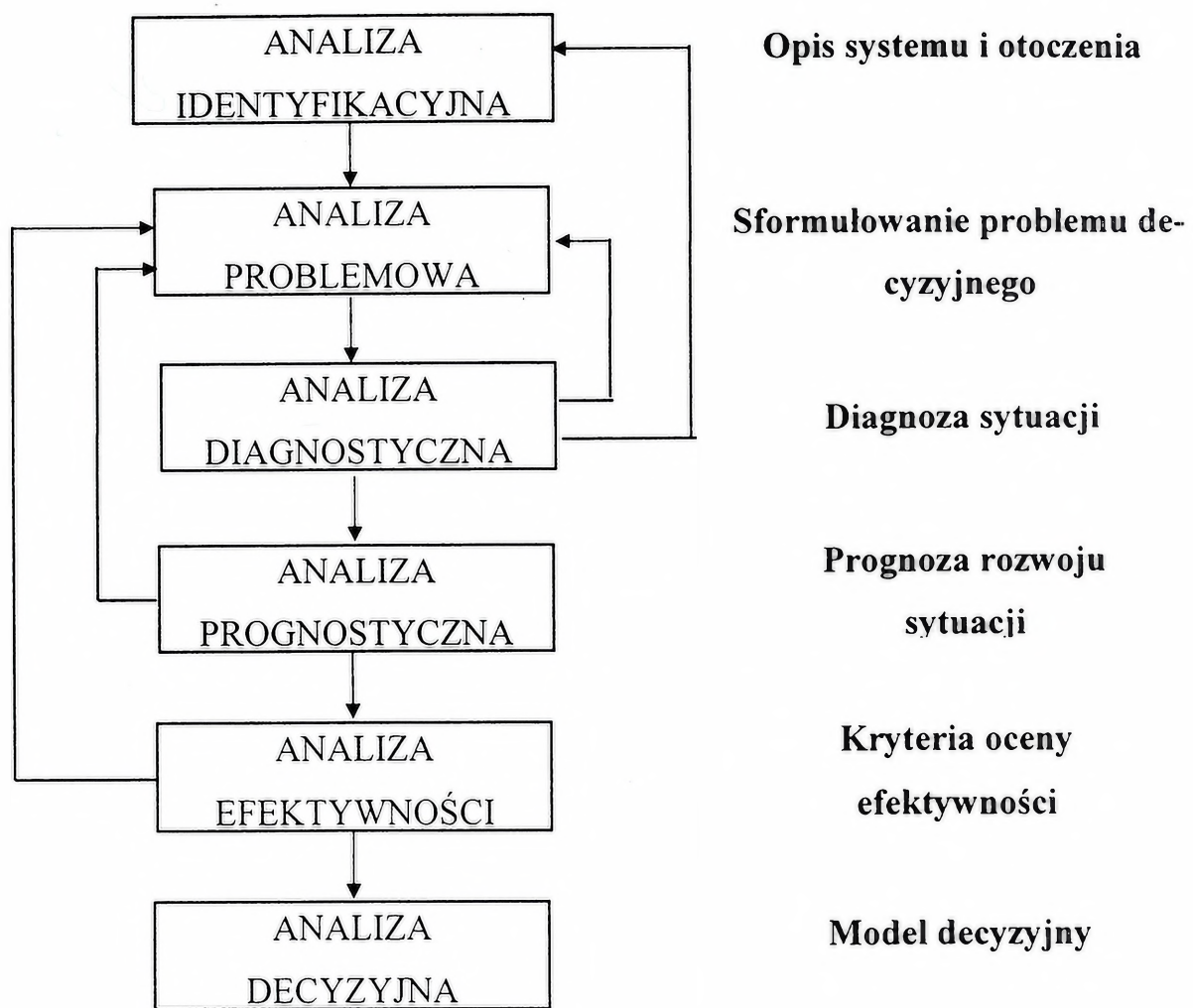
Analiza problemowa - sformułować problem decyzyjny /rozwojowy, korekcyjny/ i/lub poznawczy /identyfikacyjny, ocenowy/;

Analiza diagnostyczna - określić stan systemu znajdującego się w określonej sytuacji systemowej, tj. określić mocne i słabe strony systemu wynikające z danej sytuacji;

Analiza prognostyczna - określić możliwe i prawdopodobne scenariusze rozwoju /zmian/ sytuacji systemowej, tj. możliwych i prawdopodobnych szans i zagrożeń rozwoju systemu;

Analiza efektywności - określić podstawowe kryteria oceny efektywności systemu, tj. oceny możliwych i prawdopodobnych wariantów zmian sytuacji systemowej;

Analiza decyzyjna - określić zbiór dopuszczalnych wariantów rozwiązania danej sytuacji /strategie/, określić przyszłe stany sytuacji systemowej, zaproponować zbiór kryteriów oceny wariantów rozwiązania sytuacji decyzyjnej wraz z regułami wyboru wariantu najlepszego.



Rys.1. Metodyka postępowania w analizie systemowej

V.2. Merytoryczny

Państwo, jak każda organizacja, aby istnieć i rozwijać się powinno /i musi/ w sposób ciągły dostosowywać się do zmieniającego się zewnętrznego i wewnętrznego środowiska. Powinno je na bieżąco analizować w celu rozpoznania występujących **szans i zagrożeń**, przy uwzględnieniu własnych **słabych i mocnych** stron. Opracowywane **strategie** /konceptje strategiczne/ rozwoju państwa i realizująca je **polityka**, wyrażana przez podejmowane decyzje, powinny uwzględniać zarówno stan obecny /diagnozę/ jak i stan przewidywany /prognozę/.

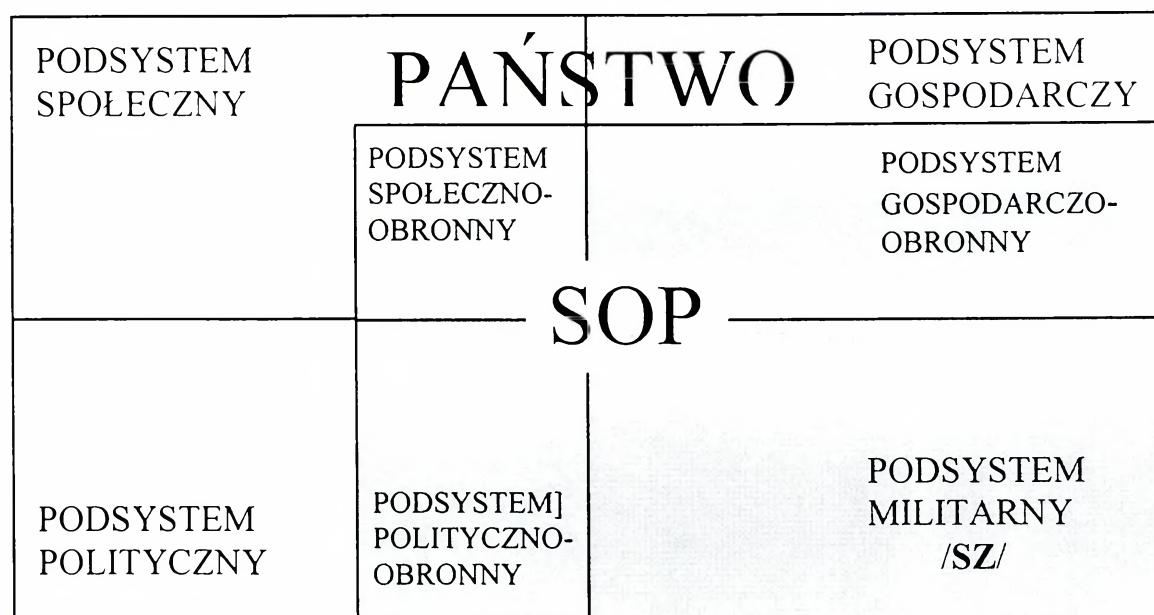
Sterowanie /zarządzanie/ każdym systemem, a więc i państwem, systemem obronnym i siłami zbrojnymi, zorientowane na ich rozwój /a minimalnie, w szczególnie niesprzyjających warunkach, tak wewnętrznych jak i zewnętrznych, na ich przetrwanie/ powinno zawsze zachować **akceptowalny** /ustalony poziom ryzyka/ **stan bezpieczeństwa i obronności**. W szczególności istotne jest jego bezpieczeństwo **polityczno - militarne**.

Analiza obecnego /diagnoza/ i przewidywanego /prognoza/ stanu państwa, systemu obronnego i systemu sił zbrojnych w aspekcie bezpieczeństwa polityczno - militarnego tego państwa¹ i jego obronności, powinna stać się przedmiotem studiów, ćwiczeń, treningów i szkoleń w różnych środowiskach. Przesłanki takiego stanowiska są dwojakie:

- a) doniosłość /znaczenie/ problemu w obecnej sytuacji tworzenia nowego ładu politycznego w Europie;
- b) treści problemu, tj. zarządzania strategicznego.

¹ /Choć obecnie postrzega się raczej bezpieczeństwo zbiorowe /regionalne, globalne/, a nie indywidualnego państwa.

Pojęcie bezpieczeństwa systemu wiąże się z relacjami² /przewaga, równowaga/ w których pozostają względem siebie **potencjały**³ badanych systemów. O bezpieczeństwie systemu państwowego /bezpieczeństwie narodowym/ decydują cztery podstawowe dziedziny jego funkcjonowania /podsystemy/: **polityczny, społeczny, gospodarczy i militarny /SZ/**. Odnosi się to tak do sytuacji wewnętrznej jak i zewnętrznej systemu. Podsystemem „odpowiedzialnym” za zdolność państwa do obrony jest **system obronny państwa /SOP/**. Każda z dziedzin wyodrębnionych z systemu państwowego ma swój „udział” w tworzeniu jego **potencjału obronnego**. Z tego względu SOP rozpatrywany będzie w czterech głównych podsystemach /dziedzinach/: **polityczno - obronnym, społeczno - obronnym, gospodarczo - obronnym i militarnym /SZ/**. Umieszczenie SOP w systemie państwowym przedstawia rys.2. (Problem dokładnie zostanie omówiony w rozdziale 2 opracowania.) Podobnie przyjęta zostanie dekompozycja systemu sił zbrojnych.



Rys.2. Umieszczenie systemu obronnego państwa w systemie państwowym

² Relacje te oceniane są zarówno **statycznie** /ujęcie porównawcze/ jak i **dynamicznie** /ujęcie w zmiennej czasowej/.

Każdy z wymienionych podsystemów zdekomponowanego systemu państwowego, systemu obronnego państwa, i sił zbrojnych podlegać będzie dalszej dekompozycji, aż do **poziomu wystarczającej detalizacji** /wynikającej z celu modelowania/. Po między tak wyodrębnionymi elementami dekompozycji elementu wyższego poziomu określone zostaną **związki/zależności** występujące między nimi. Opis dokonany zostanie w postaci **werbalnej**, a następnie po **operacjonalizacji** pojęć/zjawisk dokonana zostanie ich **kwantyfikacja** /opracowane mierniki pomiaru ich wartości i/lub metoda ich agregacji⁴. Konstruowane mierniki kwantyfikujące przedmioty /podsystemy i relacje/ należeć będą do następujących klas:

- 1) miernik określający **wartość** /bezwzględną/ przedmiotu /**stanu** dla podsystemu, **typu** dla relacji/;
- 2) miernik określający zmianę miernika 1), tj. **tempo** /dla stanu podsystemu, **charakter** dla relacji/ jego wzrostu/malenia w jednostce czasu, a będący miarą tendencji jego rozwoju;
- 3) wskaźnik określający „**poziom inwestycji**” w dany przedmiot, będący miarą skutku świadomego działania mającego na celu wzrost /w dłuższym okresie czasu/ miernika 1);
- 4) wskaźnik określający „**wolne moce**” w danym przedmiocie, będący miarą swobody działania mającego na celu wzrost /w krótkim okresie czasu/ miernika 1);
- 5) wskaźnik określający **wrażliwość** /odporność/ miernika 1) na oddziaływanie zewnętrzne.

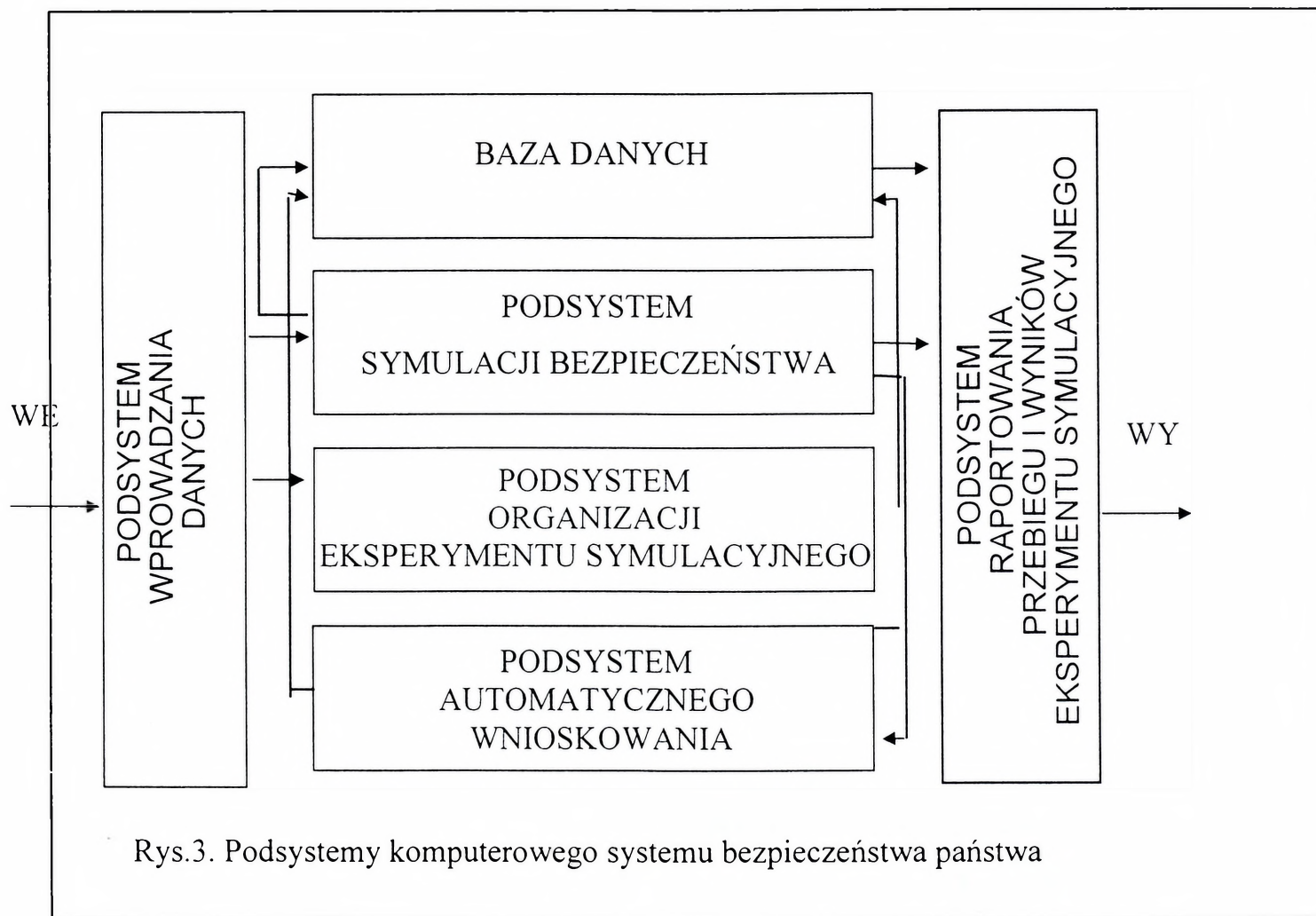
³ Pojęcie **potencjał** jest jedną z globalnych miar agregatowych opisujących system. Pod tym pojęciem rozumie się całokształt możliwości działania danego systemu zgodnie z jego przeznaczeniem.

⁴ Problem ten jest niezwykle ważny i naukowo poznawczy. Pomimo opracowania - przez różnych badaczy - wielu norm, kryteriów i miar, nie udało się jeszcze określić /w sposób satysfakcjonujący/ syntetycznych wskaźników: siły, efektywności, itp. państwa. Po prostu nie umiemy jeszcze tego zrobić, aby ująć wszystkie czynniki przynależne sferze politycznej, społecznej, gospodarczej i militarnej, które składają się na ocenę danego państwa, na jego siłę w stosunkach międzynarodowych, na jego bezpieczeństwo. Próby podjęcia konstrukcji takich mierników zostaną tu podjęte.

Powyższe klasy mierników i wskaźników - po ich konkretyzacji stanowią będą **zmienne modelu** symulacyjnego /szczególnie 1) i 3)/ oraz **zmienne zmian modelu** /szczególnie 2) i 4)/. Ze zbioru tak określonych zmiennych ustalony zostanie pewien podzbiór - **zmienne decyzyjne**. W ten sposób umożliwienie sterowania z zewnątrz zmianami zmiennych zmian modelu odpowiadać będzie podejmowaniu decyzji.

VI. OPRACOWANIE SYSTEMU KOMPUTEROWEGO

W projektowanym systemie komputerowym wyróżnia się następujące główne podsystemy /rys.3/:



Rys.3. Podsystemy komputerowego systemu bezpieczeństwa państwa

Każdy z wyróżnionych podsystemów spełnia określoną funkcję w systemie komputerowym. I tak:

- Podsystem **wprowadzania danych** - służy do komunikacji z użytkownikiem: kompletuje i przyjmuje wektor zmiennych wejściowych opisujących stany podsystemów i sytuację systemową;
- Podsystem **organizacji bazy danych** - porządkuje opracowane /przez użytkownika i system komputerowy/ dane dotyczące opisywanych stanów podsystemów i sytuacji systemowej, dane dotyczące przebiegu symulacyjnego i wyników eksperymentu. Umożliwia tworzenie plików referencyjnych i wspomagających. Na żądanie udostępnia je do modyfikacji i oglądu.
- Podsystem **symulacji bezpieczeństwa i obronności państwa** - stanowi jądro systemu symulacji sytuacji systemowej, którą przeprowadza według opracowanego modelu; realizuje symulowane zmiany⁵ stanów systemów i sytuacji systemowej w czasie.
- Podsystem **organizacji eksperymentu symulacyjnego** - pozwala na opracowanie scenariusza zmian zmiennych modelu w czasie.
- Podsystem **automatycznego wnioskowania** - umożliwi ze wskazanego zbioru zrealizowanych przebiegów symulacyjnych /jednorodnych ze względu na określone kryterium/ wykryć podobieństwa /następstwa, itp/. W ten sposób system tworzyć będzie **bazę wiedzy** o zagrażających sytuacjach systemowych.
- Podsystem **raportowania przebiegu i wyników eksperymentu** - w różnych postaciach /tekstowej, graficznej/ dokumentować będzie zasoby informacyjne systemu.

Ogólnie mówiąc, wyróżnić można trzy główne **klasy zadań** realizowane w systemie. Są to:

1. **IDENTYFIKACYJNE - monitorowanie** /raportowanie i wizualizacja /graficzna, pseudograficzna i numeryczna/ stanu systemów /państwowego, obronnego i militarnego/ i sytuacji systemowej w jakiej się znajdują.
2. **OCENOWE - diagnozowanie** stanu systemów i sytuacji systemowej oraz ich **klasyfikowanie** ;
3. **DECYZYJNE:**
Statyczne /przed eksperymentem symulacyjnym/: tj. określanie stanu /struktury i relacji/ systemów: SZ, SOP i państwa oraz określanie sytuacji systemowej;
Dynamiczne /w czasie przebiegu symulacyjnego i po jego zakończeniu/: tj. określanie zmian /co?, gdzie?, kiedy?, jak?/ stanu systemów i sytuacji systemowej, aby zachować i/lub osiągnąć (powrócić) pożądany stan systemu państwowego, obronnego i militarnego.
4. **/PSEUDO/OPTYMALIZACYJNE** - wybór najlepszego /w sensie przyjętej przestrzeni kryterialnej/ ze zbioru możliwych wariantu rozwiązania sytuacji decyzyjnej. Zbiór wariantów możliwych rozwiązań powstaje w wyniku przeprowadzenia serii eksperymentów symulacyjnych według opracowanych scenariuszy.

W efekcie komputerowy system symulacyjnego modelu bezpieczeństwa i obronności państwa charakteryzować się będzie następującymi, ważnymi z punktu widzenia jego **użyteczności**, następującymi cechami:

⁵ Realizacja zmian zależna jest od **formy** systemu komputerowego: w systemie autonomicznym zmiany /ich charakter i zakres/ ustalone zostały wcześniej i następują bez angażowania użytkownika; w systemie interakcyjnym następuje komunikacja z użytkownikiem w celu określenia tych zmian.

- **Automatyzacją opracowywania scenariusza** /optymistycznego i pesymistycznego/ rozwoju stanów systemów i sytuacji systemowej dla obu stron;
- **Przyjaznym** /ze wspomaganie/ sposobem **określenia** wartości zmiennych wymaganych dla eksperymentu symulacyjnego /opracowanie „wzorców ideowych” sytuacji systemowej i „typowych” rozkładów zmiennych/;
- Organizacją **bazy danych** zawierającą informacje opisujące stany systemów i sytuacje systemowe: **aktualnie** /w wielu wariantach ćwiczebnych/, w **retrospektywie** /dla opisu rzeczywistości w określonej chwili/momencie czasu/, **prospektywne** /będące wynikiem eksperymentu symulacyjnego/;
- Organizacją plików referencyjnych dla elementów **automatycznego wnioskowania** systemu;
- Realizacją **weryfikacji a posteriori** i określeniem oceny jakości eksperta /użytkownika/;
- Realizacją **automatycznego raportowania** wyników eksperymentu symulacyjnego;
- Automatycznym **określeniem związków** dla serii eksperymentów;

2. SYSTEMOWE UJĘCIE BADANYCH PRZEDMIOTÓW

System organizacyjny państwa rozpatrujemy w czterech głównych dziedzinach (podsystemach): politycznej, społecznej, gospodarczej i militarnej (rys.4).

S	G
P	M

Rys. 4. Elementarna dekompozycja systemu państwowego

Możemy więc zapisać:

$$P_p = \langle P, S, G, M \rangle$$

Gdzie: P - system państwowy

P – podsystem polityczny, czyli stan politycznego zorganizowania państwa i społeczeństwa;

S – podsystem społeczny, czyli stan rozwoju społeczeństwa państwa (demografia, ochrona zdrowia, kondycja socjalna, oświata i nauka, kultura);

G – podsystem gospodarczy, czyli stan rozwoju gospodarczego (ekonomiczny (przemysł, rolnictwo, transport), techniczno – technologicznego, ekologicznego);

M – podsystem militarny, czyli stan sił zbrojnych

Siła (potęga) S_p państwa jest zatem funkcją sił S_d dziedzinowych państwa, tj.:

$$S_p = f_p (S_p(P), S_s(S), S_g(G), S_m(M))$$

Ustalamy, że miernikiem wartości każdego podsystemu jest:

- **Potencjał** – dla określenia stanu;
- **Intensywność** – dla określenia tempa rozwoju (zmian wartości stanu);

System obronny państwa rozpatrujemy także w czterech głównych dziedzinach (podsystemach): polityczno - obronnej, społeczno - obronnej, gospodarczo - obronnej i militarnej (rys.5).

S-O	G-O
P-O	M

Rys. 5. Elementarna dekompozycja SOP

Możemy więc zapisać:

$$SOP_p = \langle P - O, S - O, G - O, M \rangle$$

Gdzie: **SOP** - system obronny państwa

P-O – podsystem polityczno - obronny, obejmuje stan i rozwój formalno – prawnych gwarancji nieagresji (ze strony innych) i wzajemnej pomocy (na wypadek agresji) oraz własne rozwiązania (prawne, organizacyjne) niezbędne w stanach wyższej konieczności;

S-O – podsystem społeczno - obronny obejmuje stan i rozwój społecznej infrastruktury obronnej (urządzenia ochronne dla ludności) obronnie zorganizowane i przygotowane do obrony społeczeństwo;

G – podsystem gospodarczo – obronny obejmuje stan i rozwój gospodarczej infrastruktury obronnej (surowce i zasoby strategiczne, przemysł zbrojeniowy, moce produkcyjne);

M – podsystem militarny, czyli stan i rozwój sił zbrojnych

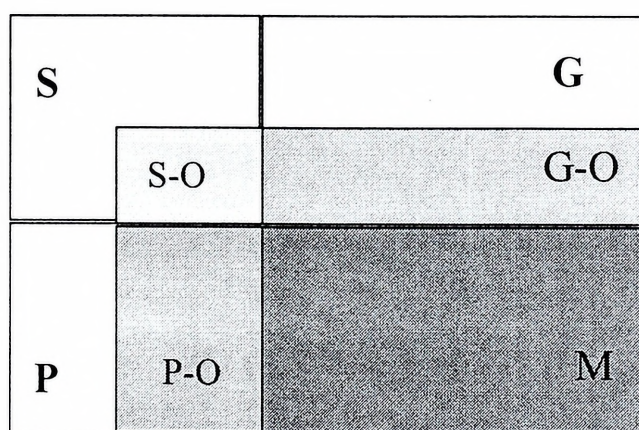
Siła (potęga) S_{SOP} systemu obronnego państwa jest zatem funkcją sił S_{d-o} dziedzinowych podsystemów obronnych, tj.:

$$S_{SOP} = f_{SOP} (S_{p-o}(P-O), S_{s-o}(S-O), S_{g-o}(G-O), S_m(M))$$

Ustalamy, że miernikiem wartości każdego podsystemu jest:

- **Potencjał** – dla określenia stanu;
- **Intensywność** – dla określenia tempa rozwoju (zmian wartości stanu);

Z drugiej strony SOP jest podsystemem systemu państwowego. Określić więc należy relacje między systemem państwa a SOP. Przyjmijmy, że usytuowanie SOP w państwie jest takie jak na rys.6.



Rys. 6. Usytuowanie SOP w systemie państwa

Powyższe ustalenia formalne nie posiadają tylko czysto analitycznej postaci. Formułują bowiem także zakres rozpatrywanych problemów i zachodzących związków między nimi. Problemy i związki tu nie ujęte, uznane zostały za nieistotne i wobec tego zostały pominięte. Stanowi to zatem ograniczenie rzeczywistości, którą modelujemy. Zapis formalny związków funkcyjnych uświadamia złożoność problemów i podlegać musi głębszej analizie.

Ogólnie mówiąc celem tej dekompozycji jest logiczna strukturalizacja nieznanego.

Przyjmijmy teraz, że na każdy z wyróżnionych podsystemów dziedzinowych państwa oddziaływać może pewien strumień wejściowy Z_d . (nie wnikając czy pozytywnie czy negatywnie oceniany) Wówczas globalny strumień Z będzie następujący:

$$Z = f^z (Z_p, Z_s, Z_g, Z_m)$$

Każdą Z_d rozpatrywać należy jako

$$Z_{d.} = \zeta^z_d (\beta, \beta^0)$$

tzn. oddziaływanie zewnętrzne przenoszone jest na podsystem dziedzinowy, a skutek zależy od odporności β podsystemu i β^0 podsystemu – obronnego w funkcji ζ^z_d .

Wobec tego zapisać można:

$$Z = f^z (\zeta^z_p (\beta, \beta^0), \zeta^z_s (\beta, \beta^0), \zeta^z_g (\beta, \beta^0), \zeta^z_m (\beta, \beta^0))$$

Związek powyższy identyfikuje główne klasy strumieni oddziaływania otoczenia na system państwowy i SOP w związkach funkcyjnych ich odporności.

Z kolei rozpatrując wektor wyjściowy S systemu mamy analogicznie:

$$S = f^s (S_p, S_s, S_g, S_m)$$

I definiuje siłę państwa, jego oddziaływanie na otoczenie zewnętrzne.

$$S_{d.} = \zeta^s_d (\beta, \beta^0)$$

Tzn. siła dziedzinowa jest funkcją ζ^s_d siły podsystemu obronnego tej dziedziny - β^0 i podsystemu pozaobronnego - β . W związku z powyższym, mamy:

$$\mathbf{S} = \mathbf{f}^s (\zeta_p^s (\beta, \beta^0), \zeta_s^s (\beta, \beta^0), \zeta_g^s (\beta, \beta^0), \zeta_m^s (\beta, \beta^0))$$

Przyjeliśmy zatem, że siła systemu państwa i jego podsystemów dziedzinowych jest (1) funkcją oddziaływań zewnętrznych oraz (2) jakości systemu i jego podsystemów dziedzinowych. Wobec tego siła \mathbf{S}_d d-tego podsystemu dziedzinowego jest funkcją potencjału \mathbf{P}_d podsystemu i strategii \mathbf{S}_d jego użycia. Tak więc siłę oddziaływania \mathbf{S}_d d-tego podsystemu dziedzinowego można zapisać następująco:

$$\mathbf{S}_d = \mathcal{S}_d (\mathbf{P}_d, \mathbf{S}_d, \mathbf{Z}_d)$$

gdzie:

\mathbf{P}_d – potencjał d-tego podsystemu

\mathbf{S}_d – strategia rozwoju potencjału d-tego podsystemu

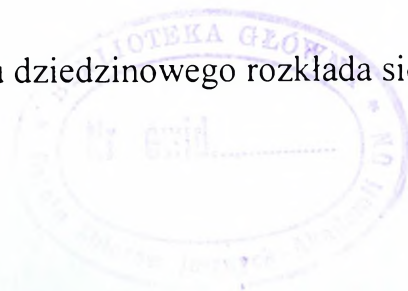
\mathbf{Z}_d – oddziaływania zewnętrzne na d-ty podsystem.

Przyjmujemy także, że oddziaływania zewnętrzne \mathbf{Z}_d skierowane mogą być zarówno na potencjał \mathbf{P}_d jak i na strategię \mathbf{S}_d . Wobec tego mamy:

$$\mathbf{S}_d = \mathcal{S}_d (\mathbf{P}(\mathbf{P}_d, \mathbf{Z}_d), \mathbf{S}(\mathbf{S}_d, \mathbf{Z}_d))$$

W takim ujęciu siła rozpatrywanego podsystemu dziedzinowego jest funkcją zmodyfikowanego potencjału i zmodyfikowanej strategii rozwoju potencjału. Ta modyfikacja może np. polegać na utrzymaniu niezmiennego poziomu potencjału, jeśli jest to możliwe, bez względu na oddziaływanie otoczenia, kosztem np. efektywniejszej strategii rozwoju w przyszłości.

Z drugiej strony zdecydowano, że siła podsystemu dziedzinowego rozkłada się na:



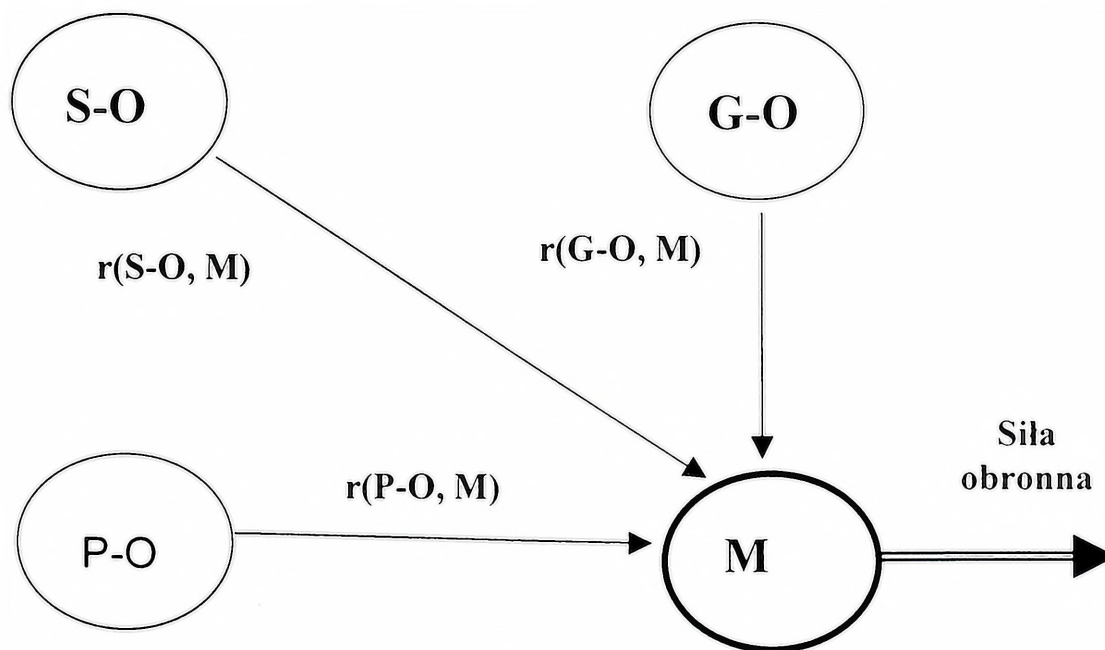
$$S_d = \zeta_d^s(\beta, \beta^0)$$

Wobec tego mamy:

$$S_d = \mathcal{S}_d \{ [\zeta_d^s(P(P_d, {}^P Z_d)), \zeta_d^s(S(S_d, {}^P Z_d))], [\zeta_d^s(P(P_d, {}^O Z_d)), \zeta_d^s(S(S_d, {}^O Z_d))] \}$$

Czyli formalnie wyodrębnione oddziaływania zewnętrzne na potencjał i strategię jego rozwoju dla podsystemów dziedzinowych państwa i podsystemów dziedzinowo – obronnych SOP.

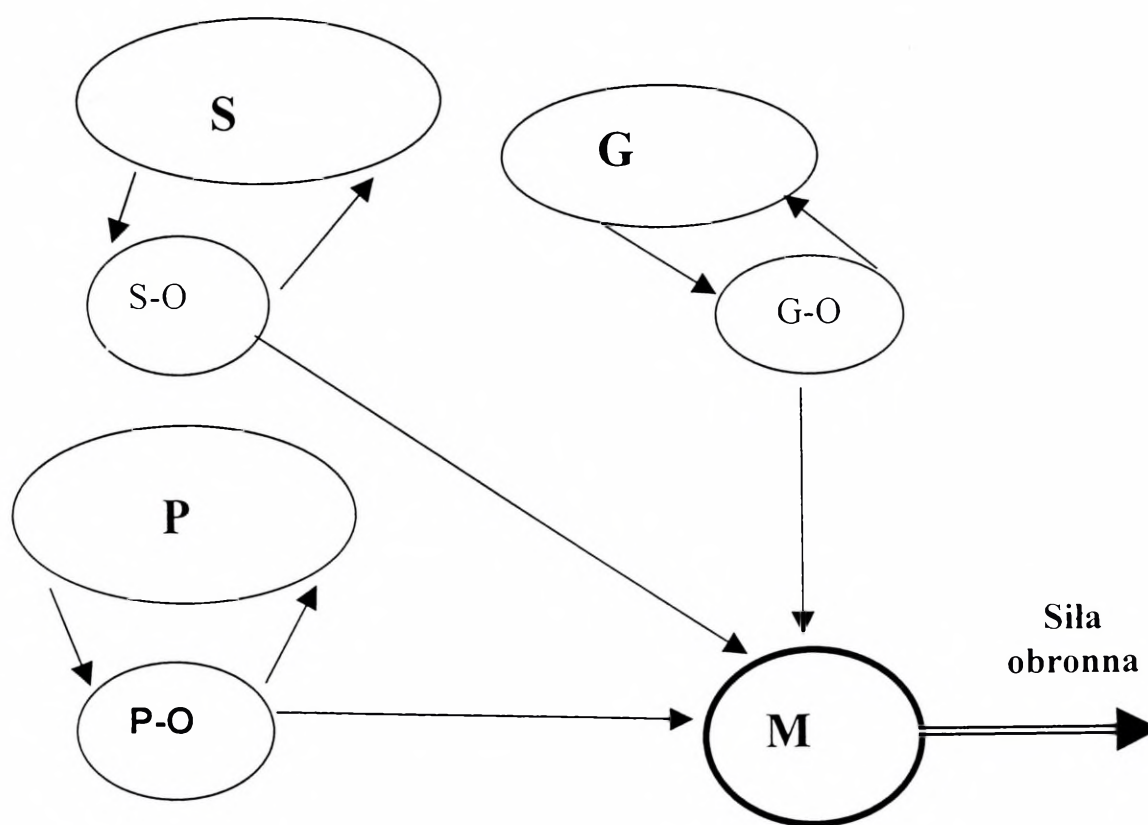
Po logicznej dekompozycji systemu państwowego i SOP otrzymujemy formalny model identyfikacyjny, w którym określone zostały elementy i relacje między nimi. Najprostszy model identyfikacyjny SOP przedstawiony został na rys.7.



Rys.7. Model identyfikacyjny SOP

Gdzie $r(d-O, M)$ określają związki (relacje) pomiędzy podsystemami dziedzinowo – obronnymi a podsystemem militarnym

Po opisie modelu identyfikacyjnego systemu państwa i SOP należy przejść do analizy identyfikacyjnej relacji między systemowych: państwo – SOP i określić relacje między każdym podsystemem dziedzinowym państwa a odpowiadającym mu podsystemem dziedzinowo – obronnym SOP. Po złożeniu wyników analizy możliwe jest opracowanie modelu relacyjnego SOP w systemie państwowym. Minimalny model relacyjny SOP przedstawiony został na rys.8.



Rys. 8. Minimalny model relacyjny system państwowy – SOP

Po opracowaniu formalnego modelu identyfikacyjnego SOP, czyli zbudowaniu modelu formalnego w którym określone zostały elementy systemu i relacje między nimi, a przez to uwidocznione redukcje systemu rzeczywistego, należy opracować rzeczowy model identyfikacyjny oryginału.

3. OGÓLNA METODA ROZWIĄZANIA PROBLEMU

Ze względu na to, że (1) opisywane przedmioty – SOP i SZ - są systemami złożonym; (2) definiowanymi przez enumerację swoich cech; (3) nie realizującymi się; (4) w wielu wymiarach niemierzalnymi, to wydaje się, że właściwą metodą ich oceny będzie *wielowymiarowa analiza porównawcza*.

Metody wielowymiarowej analizy porównawczej znalazły szerokie zastosowanie w badaniach porównawczych prowadzonych w wielu dyscyplinach naukowych. Od dawna stosowane były w badaniach ekonometrycznych, później w badaniach zjawisk społeczno - gospodarczych⁶, wreszcie - społecznych, psychologicznych, pedagogicznych i wojskowych. W ostatnich latach rozwija się także wykorzystanie tych metod do badań takich jak np.: analiza polityki państwa i strategii rozwoju państwa.

Podklasą wielowymiarowej analizy porównawczej są metody *taksonomii*. Przez *taksonomię* rozumie się dyscyplinę naukową zajmującą się zasadami i procedurami klasyfikacji /tzn. porządkowania, grupowania, dyskryminacji, delimitacji, podziału/⁷ zbioru przedmiotów /obiektów lub zjawisk/.

Ogólna procedura badania taksonomicznego składa się z następujących etapów:

- E1. wstępna analiza badanego systemu;
- E2. dobór cech diagnostycznych;
- E3. zebranie danych statystycznych;
- E4. ocena podobieństwa klasyfikowanych jednostek;
- E5. wybór metody klasyfikacji;
- E6. klasyfikacja obiektów za pomocą wybranej metody;
- E7. weryfikacja wyników klasyfikacji;
- E8. merytoryczna interpretacja wyników klasyfikacji.

⁶ U. Siedlecka – *Analiza taksonomiczna retrospektywnego rozwoju gospodarczego Polski*, PNiP nr 1(62) 1989r

⁷ T. Grabiński, S. Wydymus, A. Zeliaś – *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno – gospodarczych*, PWN, 1989, s. 9.

Omówimy po krotce każdy ze wskazanych etapów:

E1. Etap ten jest wyjściowym w procedurze badawczej. Polega na analizie badanego systemu, której celem jest sprecyzowanie:

- podstawowych celów badawczych;
- obiektów podlegających klasyfikacji;
- jednostki czasu, dla której prowadzone będą badania.

E2. Etap ten polega na doborze zmiennych /cech, charakterystyk, atrybutów, parametrów, wskaźników/ diagnostycznych zależnych (w niektórych badaniach tego typu - np. ekonometrycznych - nazywa się je zmiennymi *objaśniającymi* lub zmiennymi *egzogenicznymi*). Prace tego etapu mają zasadnicze znaczenie; przesądzają bowiem ostateczny wynik procesu badawczego. Cechy badanych obiektów są na ogół znane, chociaż ich liczba jest znaczna /niektórzy autorzy stwierdzają, że jest ich nieskończona liczba/. Redukcja cech polega na wyodrębnieniu cech odznaczających się największą diagnostycznością, tj. adekwatnością względem badanego zjawiska /zmiennej niezależnej/. /Zmienna niezależna nazywana jest zmienną *objaśnianą* lub *endogeniczną* albo *agregatową*./ Badaniu diagnostyczności cech służą metody statystyczne /jeśli zjawisko jest obserwowalne/.

E3. Etap ten polega na zebraniu materiału statystycznego, czyli danych /typowo: liczbowych, ale mogą to być również dane typu "lingwistycznego"/, będących **realizacjami** wybranych w E1 cech. Dotyczy to wszystkich cech dla wszystkich obiektów /w każdej jednostce czasu - jeśli prowadzimy badania w wymiarze czasowym/.

E4. Etap ten polega na statystycznej ocenie podobieństwa klasyfikowanych obiektów Dla obiektów wielocechowych jest to zasadniczy problem w ich wartościowaniu /problem optymalizacji wielokryterialnej/ przy nieznannej /a nie wiadomo, czy w ogóle istniejącej/ zależności funkcyjnej zmiennej zależnej od zmiennych niezależnych Prowadząc analizę tymi metodami zakłada się związek nie tylko zależności merytorycznej ale i zależności statystycznej. W zasadzie "ściskość" tego związku wymagana jest w różnym stopniu, w zależności od aspektu badawczego. Do syntetycznej oceny

podobieństwa obiektów opisywanych przez wiele cech służą różne definiowane *miary podobieństwa*. Podstawowymi problemami są tutaj: normalizacja cech, wybór systemu cech diagnostycznych oraz wybór miary podobieństwa

E5. Etap ten polega na wyborze odpowiedniej metody klasyfikacji. Istnieje wiele różnorodnych *procedur taksonomicznych*, a ich wyniki są także uzależnione od warunków określonych przez stosowaną metodę.

E6. Etap ten polega na dokonaniu klasyfikacji badanych obiektów za pomocą metody wybranej w E5 na podstawie właściwości reprezentowanych przez cechy diagnostyczne przyjęte do ich opisu w E2. Podstawa klasyfikacji jest *macierz wartości miar podobieństwa* porównywanych obiektów.

E7. Etap ten polega na weryfikacji uzyskanych wyników klasyfikacji. Podstawowe znaczenie ma tutaj wiedza badacza o badanych obiektach, jego doświadczenie i rozsądek.

E8. Etap ten polega na merytorycznej interpretacji wyników klasyfikacji i ich praktycznym wykorzystaniu - określonym przez cel badania.

3.1. Ogólne zasady doboru cech

Klasyfikacja obiektów za pomocą metod taksonomicznych wymaga wyspecyfikowania cech szczegółowych, opisujących dane przedmioty. Od ich doboru zależą w znacznym stopniu ostateczne wyniki badania: poprawność analiz i trafność ocen, a także zasadność wnioskowania, a przez to i trafność decyzji podejmowanych na ich podstawie. Zestaw cech diagnostycznych powinien być tak sporządzony, by w sposób możliwie pełny charakteryzował najważniejsze aspekty badanego problemu /zjawiska/. Chodzi również o minimalizację zbioru "wszystkich" cech do zbioru cech o największym zasobie informacji o badanym zjawisku.

Dobór cech może być rozpatrywane jako zadanie:

- pozastatystyczne /analiza merytoryczna/;
- statystyczne.

Przy podejściu pozastatystycznym do zbioru cech diagnostycznych powołuje się takie wielkości, które w świetle posiadanej wiedzy merytorycznej o badanych zjawiskach stanowią rzeczywiście najważniejsze charakterystyki porównywanych obiektów.

Przy podejściu statystycznym wybór cech odbywa się w drodze przetwarzania i analizy informacji statystycznych za pomocą odpowiednich procedur formalnych.

Najbardziej właściwa wydaje się dwuetapowa procedura doboru cech, w której oba podejścia stosuje się jednocześnie. Wówczas w etapie pierwszym sporządzany jest zestaw tzw. potencjalnych cech diagnostycznych na podstawie ich merytorycznych wartości. Zestaw ten jest wynikiem badań ankietowych przeprowadzanych wśród kompetentnego grona ekspertów z danej dziedziny. W drugim etapie redukuje się tak ustaloną listę za pomocą metod formalnych ze względu na statystyczne właściwości cech pierwotnych. Podstawowym bowiem kryterium oceny przydatności różnych wielkości powinny być ich wartości merytoryczne zależne od celu badania.

1. Merytoryczne kryteria dobru cech

W celu zrealizowania tego postulatu można zastosować metody heurystyczne, tj. metody kolejnych przybliżeń, bazujące na opiniach ekspertów. Wiedza i doświadczenie specjalistów z danej dziedziny są skuteczną drogą do osiągnięcia tego. Ważną zaletą heurystycznego doboru cech jest możliwość zastosowania go do zjawisk niemierzalnych. Ponadto metody te umożliwiają ocenę znaczenia cech dla przyszłego kształtowania się badanego zjawiska. Proponujemy zastosować znane metody "grupowego myślenia", jak "burzę mózgów" oraz wywodzącą się z niej "metodę delficką"⁸. Prawidłowe przeprowadzenie tych badań prowadzi do uzyskania jasnej i zgodnej opinii ekspertów, dotyczącej wartości merytorycznych i hierarchii różnych cech. Dla uniknięcia niebezpieczeństwa uzależnienia się od subiektywizmu ocen, badania przeprowadzić należy w możliwie szerokim kręgu specjalistów z danej dziedziny wiedzy.

⁸ J. Antoszkiewicz – *Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie problemów*, PWE, 1990r.

Istotnym zagadnieniem jest przydzielanie *rang* poszczególnym cechom, co również rozwiązane może być w różny sposób Często porządkuje się cechy od najważniejszej do najmniej istotnej dla opisu badanego zjawiska i przypisuje się im rangi będące wartościami kolejnych liczb naturalnych. Wadą takiego rozwiązania jest niemożliwość nadania jednakowego znaczenia kilku cechom. Znane są systemy umożliwiające w szczególnych przypadkach nadanie wszystkich punktów jednej cesze lub równej liczby punktów każdej z cech /punktów jest tyle co cech/. Taka procedura umożliwia rozszerzenie zaproponowanej wstępnie listy cech /w przypadku pominięcia cech ważnych dla badanego zjawiska/.

2. Statystyczne kryteria dobru cech

Zbiór potencjalnych cech diagnostycznych zawiera te wszystkie wielkości, które w świetle opinii ekspertów mają najważniejsze wartości merytoryczne dla opisu badanego zjawiska. Eksperci nie są jednak w stanie uchwycić formalnych właściwości wybranych przez nich cech, takich jak wartości dyskryminacyjne oraz ilościowe powiązania między cechami. Z tego powodu przeprowadza się redukcję zbioru potencjalnych cech. Bada się następujące związki:

- a) czy potencjalne cechy diagnostyczne odznaczają się dostatecznie dużą zmiennością /porównując współczynnik zmienności poszczególnych cech/;
- b) czy potencjalne cechy diagnostyczne są między sobą powiązane /przez to są nośnikami tej samej informacji/. Określamy to badając:
 - ich liniową niezależność /współczynniki korelacji liniowej między cechami/,
 - odległość między nimi /miarę odległości/.

Określona tak macierz korelacji /lub macierz odległości/ stanowi podstawę do wyboru cech diagnostycznych.

Zaleca się - a powyższe działania zmierzają do tego - aby wybrane cechy diagnostyczne odznaczały się:

- słabą korelacją między sobą;
- mocną korelacją z pozostałymi cechami /nie uwzględnianymi/.

3.2. Problem wag cech diagnostycznych

Problem estymacji współczynników wagowych cech diagnostycznych jest kontrowersyjny. Dotyczy to nie tylko tego, czy w ogóle należy stosować systemy wag, ale również i tego, jak je określać. Stosowanie w sposób bezpośredni cech diagnostycznych, uwolnionych od mian, do wyznaczania wartości miar podobieństwa obiektów oznacza jednocześnie przyjęcie założenia o przypisywaniu im jednakowego znaczenia dla opisu klasyfikowanych obiektów, a tym samym o jednakowych wagach poszczególnych zmiennych. Na ogół jednak wśród cech diagnostycznych znajdują się wielkości o różnych zasobach informacji z punktu widzenia celu badania.

Dla uwzględnienia niejednakowego znaczenia poszczególnych cech diagnostycznych proponuje się skonstruować wagi, które następnie byłyby użyte przy wyznaczaniu wartości miar podobieństwa obiektów. Ze względu na ich charakter można wskazać na dwa rodzaje wag:

- R1. wagi dotyczące merytorycznych wartości cech diagnostycznych;
- R2. wagi ukazujące statystyczne właściwości cech diagnostycznych.

Dla wag wysuwa się zazwyczaj postulat, aby odznaczały się następującymi właściwościami:

- były unormowane: $\forall k \in K, 0 \leq w_k \leq 1$
- suma wszystkich wag wynosiła $\sum_{k=1}^K w_k = 1$
- przyjmowały tym większe wartości, w im większym stopniu dana cecha spełnia określone kryterium.

Wagi cech diagnostycznych pierwszego /R1/ i drugiego /R2/ rodzaju przedstawione poniżej spełniają własności tego postulatu.

1 Wagi dotyczące merytorycznych wartości cech diagnostycznych

Jeśli znaczenie cech diagnostycznych oceniane jest przez ekspertów /indywidualnie lub zespołowo/, wówczas wagę pierwszego rodzaju określa się następująco:

Przyjmijmy, że:

- zbiór Ω obiektów podlegających klasyfikacji jest następujący:

$$\Omega = (O_1, \dots, O_n, \dots, O_N) \quad n = 1, \dots, N;$$

- wektor C cech diagnostycznych opisujących każdy obiekt O_n :

$$C = (C_1, \dots, C_m, \dots, C_M) \quad m = 1, \dots, M;$$

- zbiór E ekspertów oceniających znaczenie cech jest w postaci:

$$E = (E_1, \dots, E_l, \dots, E_L) \quad l = 1, \dots, L;$$

Po ocenie ważności cech przez L ekspertów mamy:

$$\forall l \in L, \forall m \in M \text{ określona jest waga } w_l(C_m)$$

Obliczamy:

$$1. \forall m \in M \quad w(C_m) = \sum_{l=1}^L w_l(C_m)$$

$$2. \quad SW = \sum_{m=1}^M w(C_m)$$

$$3. \forall m \in M \quad W_m = \frac{w(C_m)}{SW}$$

2 Wagi ukazujące statystyczne właściwości cech diagnostycznych

Są stosowane, jeśli cechy diagnostyczne dobierane są według kryteriów formalnych. Wówczas wagi ujmują trzy elementy:

- liczbę cech reprezentowaną przez daną cechę diagnostyczną;
- poziom jej skorelowania z tymi cechami;
- poziom zmienności poszczególnych cech diagnostycznych⁹.

3.3. Porównywalność cech diagnostycznych - procedury unifikacji zmiennych

Cechy diagnostyczne mogą być różnego rodzaju - ilościowe, jakościowe, a ich realizacje /zmienne diagnostyczne/ mogą być wyrażone w różnych skalach¹⁰ - interwałowej /przedziałowej/, stosunkowej, nominalnej, rangowej. Dlatego należy najpierw doprowadzić je do takiej postaci, aby mogły być porównywalne i aby w konsekwencji efektywnie można było wyznaczyć mierniki odległości między badanymi obiektami.

1. Cechy ilościowe

W przypadku cech ilościowych mamy do czynienia z różnymi wartościami w różnych jednostkach miary /mianowane lub niemianowane/. Jeśli nawet mają jednako-
we miana, to nie zawsze mogą być bezpośrednio porównywalne¹¹. Przedstawimy trzy sposoby uwalniania się od mian, których wybór zależy od wielu czynników Są to: standaryzacja, normalizacja i unitaryzacja.

1. **standaryzacja** przeprowadzana jest według formuły:

⁹ E. Nowak – *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno – gospodarczych*, PWE, 1990, s. 35.

¹⁰ Ackoff – rozdział 6

¹¹ Jeżeli liczby będące wartościami zmiennych /wyrażonych w skali interwałowej lub stosunkowej/ przyjmują dużą różnorodność, przez co większe dominują nad mniejszymi uzewnętrzniając swój wpływ na zewnątrz – w obliczeniach numerycznych powstają duże błędy zaokrągleń. W metodach numerycznych analiza tych błędów jest sprawą zasadniczą.

dla $\forall x_{nm}$ obliczam zmienną
$$Z_{nm} = \frac{x_{nm} - \bar{x}_m}{S_m}$$

gdzie:

$$\bar{x}_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_{nm}$$
 jest wartością średnią zmiennej

$$S_m = \frac{1}{N} \left[\sum_{n=1}^N (x_{nm} - \bar{x}_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$
 jest odchyleniem standardowym.

Zestandaryzowane cechy $Z_1, \dots, Z_m, \dots, Z_M$ odznaczają się dwiema właściwościami: (1) wartość średnia każdej z nich jest równa zero, a (2) odchylenie standardowe jest równe jedności.

2. **normalizacja** przeprowadzana jest według formuły:

dla $\forall x_{nm}$ obliczam zmienną
$$Z_{nm} = \frac{x_{nm}}{x_{0m}}$$

gdzie x_{0m} ($m=1, \dots, M$) jest tzw. podstawą normalizacji cechy C_m . Podstawa normalizacji może być ustalana w różny sposób.

3. **unitaryzacja** przeprowadzana jest według formuły:

dla $\forall x_{nm}$ obliczam zmienną
$$Z_{nm} = \frac{x_{nm} - \min_n(x_{nm})}{\max_n(x_{nm}) - \min_n(x_{nm})}$$

otrzymamy w ten sposób $0 \leq z_{nm} \leq 1$

Na koniec należy zauważyć, że potrzeba przekształcania zmiennych pierwotnych nie występuje, jeżeli są to zmienne dychotomiczne lub wyłącznie rangowe.

2. Cechy jakościowe

Cechy jakościowe ze względu na swoją "naturę" najczęściej mierzone są w skali rangowej, a więc są od razu porównywalne. Jeżeli zaś mierzone są w skali przedziałowej, to postępujemy jak w p. 1.

3.4. Rodzaje miar podobieństwa

We wszystkich metodach taksonomicznych występuje konieczność oceny podobieństwa klasyfikowanych obiektów. Do oceny stopnia podobieństwa wielocechowych obiektów stosuje się różnorodne miary podobieństwa. Miary te wskazują, w jakim stopniu porównywane obiekty są do siebie podobne ze względu na wartości opisujących je cech diagnostycznych. Miarami tymi mogą być **odległości** między obiektami albo **wskazniki** podobieństwa obiektów.

1. Odległości między obiektami opisanymi cechami ilościowymi

Niech $d_{ij} = d(O_i, O_j)$ ($i, j = 1, \dots, N$) oznacza odległość między obiektem O_i a obiektem O_j . Odległość tę obliczamy dla każdej pary obiektów ze zbioru Ω wszystkich badanych obiektów. Wyniki obliczeń zestawiamy w postaci macierzy:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1N} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{N1} & d_{N2} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Macierz D posiada własności: dodatnią określoność ($d_{ij} \geq 0$), symetryczność ($d_{ij} = d_{ji}$), zerową diagonalną ($d_{ii} = 0$). Zauważmy, że jeżeli ponadto spełniona jest nierówność trójkąta ($d_{ik} \leq d_{ij} + d_{jk}$), to odległość jest miarą metryczną.

Najbardziej znaną metryką jest metryka Minkowskiego w postaci:

$$d_{ij} = \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |z_{im} - z_{mj}|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

gdzie:

$p = 1, 2, \dots, \infty$

jeśli $p=1$, to mamy metrykę Hamminga /tzw. miejska/;

jeśli $p=2$, to mamy metrykę Euklidesa

Jeśli stosujemy hierarchizację cech diagnostycznych, wówczas powyższy wzór przybierze postać:

$$d_{ij} = \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_m |z_{im} - z_{mj}|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Jest znanych wiele¹² innych definicji odległości między obiektami.

¹² Patrz E. Nowak – *op. cit.* s. 40, T. Grabiński i inni - *op. cit.* s. 30.

2. Wskaźniki podobieństwa obiektów opisanych cechami jakościowymi

Znanych jest wiele miar podobieństwa porównywanych obiektów wielocechowych opisanych wyłącznie przez cechy jakościowe: dychotomiczne i wielowartościowe. Konstrukcje tych miar rozpoczyna się od określenia tzw. czteropolowej tablicy kontyngencji w postaci:

$O_i \setminus O_j$	1	0	ogółem
1	$K_{ij}(1)$	$K_{ij}(1, 0)$	$K_{ij}(1) + K_{ij}(1, 0)$
0	$K_{ij}(0, 1)$	$K_{ij}(0)$	$K_{ij}(0) + K_{ij}(0, 1)$
ogółem	$K_{ij}(1) + K_{ij}(0, 1)$	$K_{ij}(0) + K_{ij}(1, 0)$	K

W tablicy tej przyjęte oznaczenia wyrażają liczbę jednoimiennych cech /dla rozpatrywanych dwóch obiektów i, j /, przyjmujących wartości:

$$K_{ij}(1) - z_{im} = z_{jm} = 1$$

$$K_{ij}(0) - z_{im} = z_{jm} = 0$$

$$K_{ij}(1, 0) - z_{im} = 1, z_{jm} = 0$$

$$K_{ij}(0, 1) - z_{im} = 0, z_{jm} = 1$$

Na podstawie tej tablicy konstruuje się wskaźniki podobieństwa obiektów opisywanych przez cechy dychotomiczne. Proponuje się miernik postaci:

$$C_{ij} = \frac{K_{ij}(1) + \beta K_{ij}(0)}{K_{ij}(1) + \beta K_{ij}(0) + \chi [K_{ij}(1, 0) + \beta K_{ij}(0, 1)]}$$

We wzorze tym wielkości β i χ są parametrami przyjmującymi wartości: $\beta = \{0, 1\}$, $\chi = \{0.5, 1, 2\}$. Najbardziej uzasadnione są te miary, w których $\beta = 1$ i $\chi = 1$. Wówczas wskaźnik przyjmie postać:

$$C_{ij} = \frac{K_{ij}(1) + K_{ij}(0)}{K}$$

Miara zawarta będzie w przedziale $[0,1]$.

Przedstawiony wyżej wskaźnik może być również stosowany dla cech jakościowych wielowartościowych w sytuacji, gdy poszczególne warianty cech nie mogą być uporządkowane według ich intensywności. Oznaczając ogólnie przez K_{ij} liczbę cech o identycznych wariantach występujących dla obiektów O_i oraz O_j , wskaźnik ten można zapisać:

$$c_{ij} = \frac{K_{ij}}{K}$$

Wskaźnik ten jest również unormowany.

3. Odległości między obiektami opisywanymi przez cechy rangowe

Do oceny podobieństwa obiektów opisanych wyłącznie przez cechy rangowe można stosować odległości określone następująco:

$$d_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{|x_{im} - x_{jm}|}{|x_{im} + x_{jm}|}$$

$$d_{ij} = \frac{1}{M} \frac{\sum_{m=1}^M |x_{im} - x_{jm}|}{\sum_{m=1}^M |x_{im} + x_{jm}|}$$

Podkreślamy, że w tym przypadku nie trzeba przeprowadzać standaryzacji cech.

4. Uniwersalne miary podobieństwa obiektów

W poprzednich punktach rozważano konstrukcje miar podobieństwa w przypadkach, gdy cechy diagnostyczne opisujące obiekty były jednakowego charakteru /ilościowe, dychotomiczne i rangowe/. Obecnie zajmiemy się przypadkiem, kiedy cechy te mają różny charakter.

Problem ten możemy rozwiązać następująco:

- Badanie taksonomiczne prowadzimy tylko na jednym typie cech, pozostałe odrzucamy;
- Traktujemy cechy jako jednego rodzaju i stosujemy metody właściwe dla takiego przypadku;
- Przekształcamy zmienne różnych typów do jednego;
- Stosujemy specjalne metody dopuszczające stosowanie pomiarów na skalach różnego typu.

Rozwiązanie pierwsze w sposób istotny może zubożyć wyniki. Drugie jest najczęściej stosowane - cechy traktuje się jako ilościowe, przyjmując jako odległość jedna z opisanych wyżej miar Minkowskiego. Rozwiązanie trzecie powoduje duże straty informacji wyjściowej /o badanym zjawisku/; występuje bowiem w przypadkach zamiany cech ilościowych i rangowych w cechy dychotomiczne i jakościowe wielowartościowe. Sposób czwarty dotyczy stosowania uniwersalnych miar podobieństwa dopuszczających różnicowanie charakteru cech.

Przykładem uniwersalnego wskaźnika jest miara postaci:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^M r_{ij}^{(m)}}{\sum_{m=1}^M w_{ij}^{(m)}}$$

We wzorze tym $r_{ij}^{(m)}$ jest wskaźnikiem podobieństwa obiektów i-tego i j-tego ze względu na cechę C_m , natomiast $w_{ij}^{(m)}$ oznacza wagę cechy C_m zależną od jej charakteru.

Dla zmiennych zero - jedynkowych oraz jakościowych wielowartościowych przyjmujemy:

$r_{ij}^{(m)} = 1$, jeśli obiekty mają jednakowe stany,

$r_{ij}^{(m)} = 0$, jeśli obiekty są różne.

dla cech ilościowych:

$$r_{ij} = \frac{Z_{im} - Z_{jm}}{R_m}$$

gdzie R_m jest rozstępem m-tej cechy.

3.5. Wybrane metody /procedury/ taksonomiczne

W literaturze przedmiotu znanych jest wiele propozycji procedur taksonomicznych, o różnych właściwościach i różnym zorientowaniu na problem, wreszcie o różnej jakości. Wybór właściwej procedury zależy jednak najbardziej od specyfiki badanego zjawiska i celu badawczego.

Przykładowo wśród metod taksonomicznych można wyróżnić następujące ich klasy¹³:

- wzorcowe i bezwzorcowe;
- obszarowe, oparte na podobieństwie i czynnikowe;
- hierarchiczne i niehierarchiczne;
- aglomeracyjne i podziałowe;
- liniowe i nieliniowe

Dla nas najbardziej interesujące są procedury pozwalające uporządkować zbiór badanych obiektów. Pozwalają na to metody liniowe¹⁴, w których uporządkowanie zbioru obiektów wielocechowych /wielowymiarowych/ następuje według pewnego syntetycznego kryterium będącego funkcją zmiennych wyjściowych. Metody nieliniowe umożliwiają jedynie grupowanie obiektów bez wprowadzania relacji porządkującej do zbioru obiektów.

Metody liniowe

Pozwalają na liniowe uporządkowanie obiektów zbioru Ω , tzn. takie, że:

- każdy obiekt ma co najmniej jednego sąsiada oraz co najwyżej dwóch sąsiadów;
- z tego, że obiekt i-ty jest sąsiadem obiektu j-tego, wynika, że obiekt j-ty jest sąsiadem obiektu i-tego;
- istnieją co najwyżej dwa obiekty mające tylko jednego sąsiada.

Metoda Szczotki. W metodzie tej szuka się takiego porządku obiektów, dla którego wartość funkcji - kryterium

$$Q = \sum_{j=1}^{n-1} j \sum_{i=1}^{n-j} d(a_i, a_{i+j})$$

osiąga maksimum. We wzorze symbol $d(a_i, a_{i+j})$ oznacza odległość euklidesową między obiektami i-tym i j-tym. Ponieważ nawet dla niezbyt dużej liczby obiektów $/N/$ obliczenie wszystkich permutacji obiektów jest nierealne, zaleca się poszukiwać uporządkowania *quassioptymalnego* metodą przestawiania par obiektów.

Schemat takiej procedury przedstawia się następująco:

- a) Wychodząc z danego uporządkowania obiektów wyznacza się zmiany wartości kryterium Q wskutek transpozycji dwóch obiektów s oraz t ($s, t = 1, \dots, N; s < t$).

¹³ T. Grabiński i inni – *op. cit.* s.49.

- b) Jeżeli chociaż w jednym przypadku nastąpiła poprawa wartości funkcji Q, to dokonuje się transpozycji obiektów s oraz t, przy czym transponuje się te obiekty, dla których poprawa wartości funkcji Q była największa. Następnie przechodzi się ponownie do punktu 1.
- c) Jeżeli przy wszystkich możliwych przestawieniach par obiektów nie uzyskuje się poprawy wartości funkcji Q, to aktualne uporządkowanie uważa się za *quasioptymalne*.

Metody gradientowe

Metody te polegają na szukaniu takiego wektora współrzędnych, który minimalizuje funkcje-kryterium postaci, np.:

$$K_1 = \frac{\sum_{i < j} (d_{ij} - \delta_{ij})^2}{\sum_{i < j} \delta_{ij}}$$

gdzie δ_{ij} to odległość między i - tym a j - tym obiektem w M - wymiarowej przestrzeni cech, natomiast d_{ij} , to odległość między tymi obiektami w jednowymiarowej przestrzeni określonej przez szukaną zmienną syntetyczną¹⁵.

Opisane wyżej metody iteracyjnego poszukiwania uporządkowania zbioru obiektów są złożone i wymagają komputerowej realizacji.

3.6. Schemat typowego postępowania porządkującego zbiór obiektów

- 1) Określamy zbiór obiektów /przedmiotów/ badanych, które chcemy sklasyfikować

Niech liczność tego zbioru wynosi N, a zbiór ten będzie w postaci:

$$\Omega = (O_1, \dots, O_n, \dots, O_N);$$

¹⁴ Metody porządkowania liniowego znajdują obecnie szerokie zastosowanie w wielowymiarowej analizie porównawczej.

- 2) Każdy obiekt $O_n \in \Omega$ charakteryzujemy wektorem M cech /atrybutów, charakterystyk, parametrów/:

$$C = (C_1, \dots, C_m, \dots, C_M);$$

Fakt ten można zapisać następująco:

$$O_n = (C_{n1}, \dots, C_{nm}, \dots, C_{nM});$$

Jak opisano wyżej /p. 3.1/ problemem, jest dobór cech badanych obiektów Trafność tego doboru w dużej mierze decyduje o wynikach całego eksperymentu badawczego. Zwykle proces doboru cech przeprowadzamy następująco:

- w wyniku wskazań merytorycznych sporządzamy wstępna listę cech opisujących badany obiekt, które mogą być uwzględniane w modelu:

$$C_2 = \{ C_1, \dots, C_{M_2} \}$$

- ze zbioru C wybiera się te, które są do uwzględnienia w modelu (z uwagi na konkretne kryterium wynikające z celu modelowania):

$$C_1 = \{ C_1, \dots, C_{M_1} \}, M_1 \leq M_2, C_1 \subset C_2.$$

- ze zbioru C_1 wybiera się tylko te, które są mierzalne i dla których dostępne są poprawne ich wartości liczbowe. W przypadku charakterystyk niemierzalnych należy skonstruować mierniki ich wartościowania /metodę pozyskania/.

$$C = \{ C_1, \dots, C_M \}, M \leq M_1, C_1 \subset C.$$

- Przypomnijmy, że dążymy, aby wyspecyfikowane cechy diagnostyczne:

- ujmowały konieczne i istotne właściwości obiektów;

¹⁵ Dokładniej patrz E. Nowak – *op. cit.* s.55

- były ze sobą logicznie powiązane;
- nie były zbyt mocno skorelowane między sobą, a silnie skorelowane z cechami nie uwzględnianymi;
- wykazywały istotne różnice dla różnych obiektów

Przy porządkowaniu obiektów problem charakteru cech ma istotne znaczenie, albowiem porządkowanie to odbywa się na podstawie zmiennej agregatowej, która jest wypadkową poszczególnych cech diagnostycznych. Zmienne te mogą odznaczać się różnym kierunkiem oddziaływania na zmienną syntetyczną /dodatnim, ujemnym, neutralnym/. Oddziaływanie to może być ponadto zróżnicowane w zależności od wartości zmiennej. Dlatego wśród cech definiuje się:

- **stymulanty**, jeżeli wraz ze wzrostem wartości zmiennej diagnostycznej wzrasta wartość zmiennej agregatowej;
- **destymulanty**, jeżeli wraz ze wzrostem wartości zmiennej diagnostycznej maleje wartość zmiennej agregatowej;
- **nominanty**, to takie zmienne których określone poziomy wartości są pożądane, wszelkie odchylenia od tych poziomów są zjawiskiem negatywnym z punktu widzenia zmiennej agregatowej

3) Każda cecha C_{nm} posiada swoją realizację /wartość/ - x_{nm} , a więc znany jest wektor \mathbf{X}_n określający wartości obiektu O_n /dla ustalonych charakterystyk/: $\mathbf{X}_n = (x_{n1}, \dots, x_{nm}, \dots, x_{nM})$ i w konsekwencji powstaje macierz \mathbf{X} zwana **macierzą obserwacji** w postaci:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \dots \\ \mathbf{X}_n \\ \dots \\ \mathbf{X}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1M} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nM} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & \dots & x_{NM} \end{bmatrix}$$

Jeśli występują różne typy cech - stymulanty, destymulanty, nominanty - wówczas należy przekształcić je w jeden typ, najczęściej w stymulanty. Destymulanty zamienia się w stymulanty poprzez przekształcenie:

$$y_{mn} = 1 - x_{mn}$$

lub

$$y_{mn} = \frac{1}{x_{mn}}$$

gdzie y_{mn} - realizacja m-tej cechy w n-tym obiekcie po przekształceniu. Nominanty zastępuje się zmiennymi o zbliżonej merytorycznie interpretacji, a jednocześnie będącymi stymulantami bądź destymulantami.

4.1. Zadanie badania taksonomicznego polega na:

- (a) Określeniu "wartości"- W_n obiektu O_n , tzn. $W_n = W(O_n)$ na podstawie wartości jego charakterystyk.
- (b) Dla każdego obiektu $O_n \in \Omega$ określeniu W_n i nałożeniu relacji porządku \mathfrak{R} na wszystkie elementy O_n zbioru Ω ; tzn. dla dowolnych $n_1, n_2 \in N$ określić takie R , że $O_{n1} \mathfrak{R} O_{n2}$

4.2. Realizacja procedury taksonomicznej:

1. Ponieważ zmienne macierzy X zwykle nie są jednorodnie i wyrażone są w różnych jednostkach miary, to aby uniezależnić się od tego przeprowadzamy ich "unifikację" /p. 3.3/, tworząc macierz Z .
2. Jeżeli zmienne diagnostyczne nie w jednakowym stopniu wpływają na zmienną agregatową, to należy wprowadzić wagi /współczynniki hierarchiczne/ cech diagnostycznych. Jeśli przeprowadzona w p.1 "unifikacja" polegała na standaryzacji, wówczas obowiązkowo należy wprowadzić wagi cech, bowiem standaryzacja spowodowała „wyrównanie” ich znaczenia.

3. Określenie macierzy **D** odległości pomiędzy elementami zbioru Ω . Ponieważ w przyjętych w taksonomii numerycznej założeniach każdy z N badanych obiektów O_n traktować można jako punkt w M - wymiarowej przestrzeni cech, to można mówić o wzajemnych *odległościach taksonomicznych* d_{ij} elementów O_i, O_j zbioru obiektów Ω w tej przestrzeni.

Najczęściej wykorzystywaną miarą jest metryka euklidesowa:

$$d_{n_1, n_2}^{ozn} = d(O_{n_1}, O_{n_2}) = \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (z_{n_1 m} - z_{n_2 m})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Wyniki obliczeń zestawiamy w postaci macierzy **D** w postaci:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & d_{12} & \cdots & d_{1N} \\ d_{21} & 0 & \cdots & d_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{N1} & d_{N2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

Macierz **D** jest symetryczna, dodatnio określona z elementami zerowymi na diagonalu.

- 5) Dalsze postępowanie zależy od przyjętej procedury taksonomicznej, jaką chcemy zastosować, np.:

1. **Nieliniowe uporządkowanie** zbioru badanych obiektów /taksonomia wrocławska/.

1. Tworzenie *dendrytu* (grafu niezorientowanego, bez cykli i spójnego), którego wierzchołkami są obiekty, a gałęziami najkrótsze odległości między nimi. W celu wyznaczenia najkrótszego grafu spójnego łączącego elementy zbioru Ω , tj. takiego grafu, dla którego suma długości łuków łączących elementy zbioru Ω jest najmniej-

sza, wyznaczamy najpierw wektor $[d_1, \dots, d_n, \dots, d_N]^T$, którego składowe są najmniejszymi wielkościami w poszczególnych wierszach macierzy \mathbf{D} , czyli:

$$d_i = \min_j d_{ij} \quad i, j = 1, \dots, N$$

2. Graf optymalny uzyskuje się w wyniku łączenia lukiem każdego elementu O_i z tym elementem O_j , dla którego odległość $d_{ij} = d_i$.

2. **Liniowe uporządkowanie** zbioru badanych obiektów /taksonomiczna miara rozwoju/.

1. Określenie stymulant i destymulant
2. Konstrukcja wzorca rozwoju /obiektu wzorcowego/

$$O_0 = (z_{01}, \dots, z_{0m}, \dots, z_{0M})$$

$$z_{0m} = \begin{cases} \max_n z_{nm} & \text{jeżeli jest stymulantą} \\ \min_n z_{nm} & \text{jeżeli jest destymulantą} \end{cases}$$

3. Dla każdego obiektu wyznacza się miarę rozwoju d_n , odzwierciedlającą odchylenie obiektu od wzorca wg formuły:

$$d_n = 1 - \frac{d_{0n}}{d_0}$$

gdzie:

$$d_{0n} = \left[\sum_{m=1}^M (z_{nm} - z_{0m})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

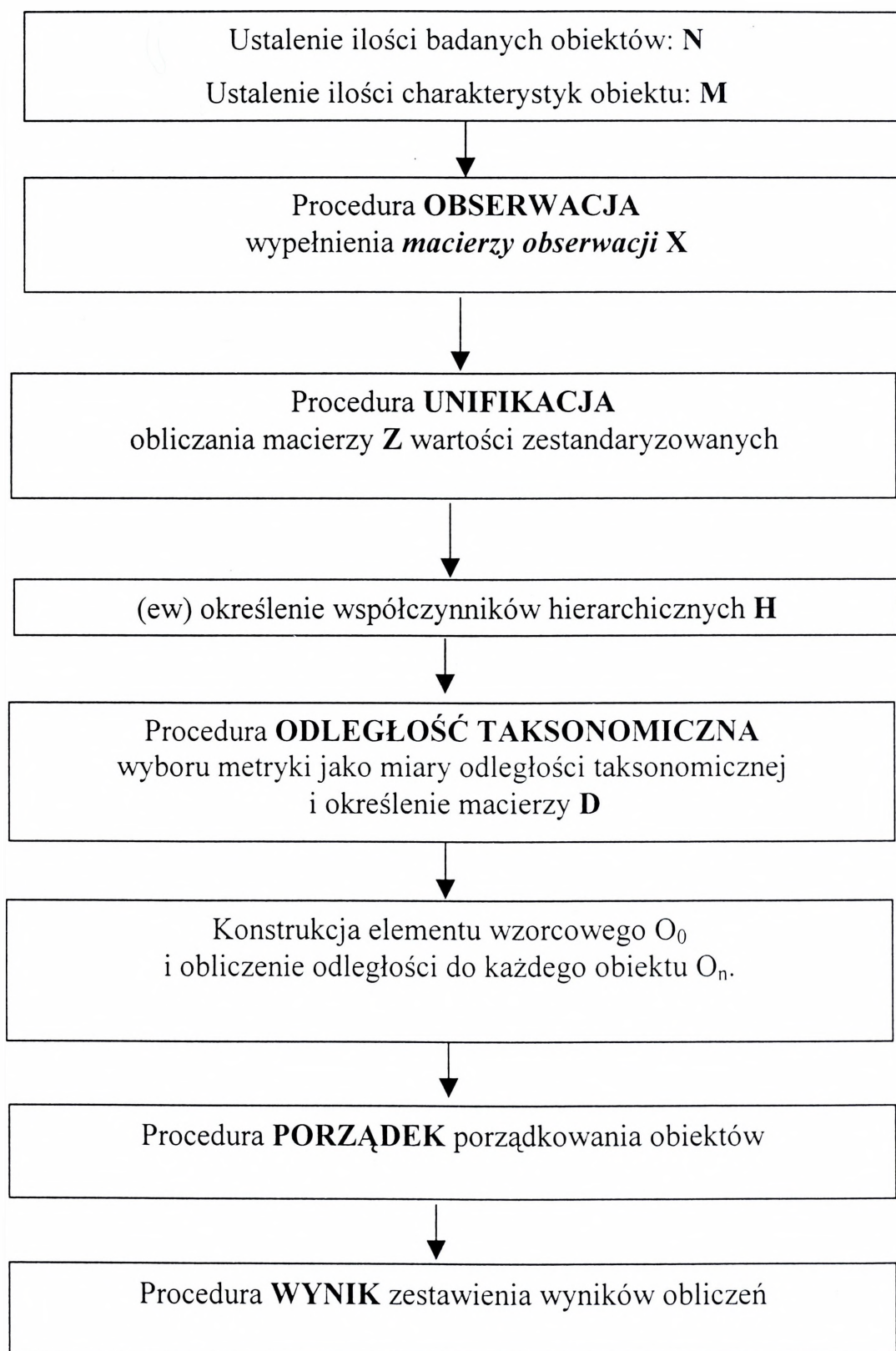
$$d_0 = \bar{d}_0 + 2S_0$$

$$\bar{d}_0 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N d_{0n}$$

$$S_0 = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (d_{0n} - \bar{d}_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

4. Tak określona miara /dla każdego obiektu/ pozwala uporządkować zbiór obiektów rosnąco lub malejąco.

ALGORYTM PROCEDURY TAKSONOMICZNEJ



4. OD MODELU FORMALNEGO DO RZECZOWEGO

Rzeczowy model identyfikacyjny badanych przedmiotów polega na określeniu realnych elementów i związków uzyskanych w procesie dekompozycji formalnej (choć jej realizacja dokonywana była na systemie rzeczywistym). Jednak w tym etapie należy (zgodnie z zasadami modelowania) wybrać rzeczy najistotniejsze, dominujące w rozważanym problemie, nazwać je i określić ich treść. Formalne związki funkcyjne powinny zostać określone do postaci analitycznej funkcji (relacji). W tym etapie decyduje się bowiem racjonalność rzeczowa procesu modelowania, wpływająca na adekwatność konstruowanego modelu. Racjonalność metodologiczna zagwarantowana została w procesie logicznej dekompozycji oryginału (choć zbyt daleko idące redukcje w tym etapie istotnie wpłynąć mogą na adekwatność rzeczową modelu) oraz w stosowaniu formalnie poprawnych metod analizy porównawczej. Choć w złożeniu rzeczywistych cech diagnostycznych (określonych w rzeczowym modelu identyfikacyjnym) wielowymiarowych metod analizy porównawczej z jej formalnymi wymaganiami dotyczącymi ich niezależności utracić możemy pewność co do poprawności uzyskiwanych wyników.

Jeszcze raz zwrócić należy uwagę na problemy operacjonalizacji pojęć i kwantyfikację ich wartości. Otóż formalne modele identyfikacyjne przedstawione na rys. 7. i 8, które są elementarne, określają bowiem pojedyncze związki pomiędzy wyodrębnionymi elementami, to z punktu widzenia operacjonalizacji są niezwykle trudne. Jak bowiem nazwać wyróżnione strumienie oddziaływań (a może splot?), jaką im przypisać treść znaczeniową? I w procesie kwantyfikacji: jak wobec tego dokonać ich pomiaru? Faktycznie czegoś, co jeszcze dalekie jest od strukturalnego oglądu.

ZAKOŃCZENIE

W opracowaniu pt. "OPRACOWANIE ZAŁOŻEŃ KONCEPCYJNYCH MATEMATYCZNYCH MODELI POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH, stanowiącym IV etap projektu badawczego nr OT00A 055 18 pt. **SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH** przedstawione zostały założenia koncepcyjne matematycznych modeli badanych przedmiotów.

Przedstawiono ogólny zarys koncepcji rozwiązania postawionego problemu, systemowe ujęcie badanych przedmiotów: tj. sił zbrojnych i systemu obronnego państwa oraz ogólną koncepcję rozwiązania problemu, stanowiącą formalny model identyfikacyjny oceny przedmiotów.

W dalszych rozważaniach nastąpić powinno opracowanie modeli dynamicznych tj. uwzględniających zmienną niezależną (czas) oraz zmienne przestrzenne. Modele takie będą miały zastosowanie do analiz w szeregu czasowym stanu i struktury przedmiotów oraz do analiz rozkładów przestrzennych wartości potencjału SOP i SZ.

BIBLIOGRAFIA

1. Dupuy T., N. – *Liczby, prognozy i wojna. Cz.1. Ilościowo – jakościowa metoda oceny zdolności bojowej i prognoz wyników walki*. Instytut Badań Strategiczno – Obronnych ASG WP, Warszawa 1984 (tłumaczenie z angielskiego).
2. Ficoń K. – *Zmodyfikowana metoda normalizacji cech diagnostycznych w badaniach taksonomicznych*, Zeszyty naukowe AMW nr 2 (125), Gdynia 1995.
3. Ficoń K. – *Symulacyjne modelowanie potencjału bojowego okrętowych sił morskich państw nadbałtyckich w aspekcie prognozowania obronnego*, Zeszyty naukowe AMW nr 124 A, Gdynia 1995.
4. Flanek Cz., Ficoń K. – *Symulacyjny model potencjału obronnego państw sąsiadujących z Polską, cz.1 – Analiza operacyjna potencjału wojennomorskiego państw bałtyckich*, praca n-b „Symulacja”, Centrum Informatyki AON 1998.
5. Flanek Cz., Ficoń K. – *Symulacyjny model potencjału obronnego państw sąsiadujących z Polską, cz.2 – Analiza potencjału obronnego lądowych sąsiadów Polski*, praca n-b „Symulacja”, Centrum Informatyki AON 1999.
6. Flanek Cz., Kinasiewicz M., Urbanek M. – *Model potencjału obronno – gospodarczego i militarnego*, praca n-b „Potencjał”, Centrum Informatyki AON 1997.
7. Flanek Cz., Kinasiewicz M., Urbanek M. – *Model potencjału obronno – gospodarczego i militarnego*, praca n-b „Potencjał”, Centrum Informatyki AON 1998.
8. Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. – *Koncepcja modelu symulacyjnego systemu obronnego państwa*, praca n-b „Opcja”, Departament Systemu Obronnego MON, Warszawa 1993.
9. Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. – *Strukturalny model systemu państwa i systemu obronnego państwa*, praca n-b „Opcja”, Departament Systemu Obronnego MON, Warszawa 1994.
10. Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A. – *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno – gospodarczych*, PWE, Warszawa 1990.
11. Gutenbaum J. – *Modelowanie matematyczne systemów*, PWN, Warszawa – Łódź 1987.
12. Kilar E., Kinasiewicz M., Urbanek M. – *Modelowanie operacji wojsk lądowych*, ASG, Warszawa 1990.
13. Kinasiewicz M. – *Analiza sytuacji militarnej w Europie*, AON, Warszawa 1990.
14. Kulczycki R. – *System modelowania walki zbrojnej*, sprawozdanie z pracy n-b „Model-1” Instytut Badań Strategiczno - Obronnych ASG, Warszawa 1988.
15. Kulczycki R. – *Metodyka diagnozowania i prognozowania stanu zagrożenia i pokoju*, praca n-b „Opcja”, AON 1996.
16. Kulczycki R., Gogolewski J., Wocial J. – *Metoda wartościowania modeli i jej zastosowanie do wyboru wariantu modelu sił zbrojnych RP*, praca n-b „Kierunki”, AON, Warszawa 1992.
17. Kulczycki R., Gogolewski J., Wocial J. – *Metoda i jej zastosowanie do określania wielkości sił zbrojnych na poziomie niezbędnie wystarczającym*, praca n-b „Kierunki”, AON, Warszawa 1993.
18. Kulczycki R., Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. – *Model walki zbrojnej szczebla operacyjno - strategicznego „SKORPION”*, praca n-b „Sieć”, AON, Warszawa 1995.

19. Kulczycki R., Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. – *Model walki zbrojnej szczebla strategicznego „MODEL WOJNY”*, praca n-b „Sieć-1”, AON, Warszawa 1997.
20. Nowak E – *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno – gospodarczych*, PWE, Warszawa 1990.
21. Nowak E. – *Problemy informacji w modelowaniu ekonometrycznym*, PWN, Warszawa 1990.
22. Pluta W. – *Wielowymiarowa analiza porównawcza w modelowaniu ekonometrycznym*, PWN, Warszawa 1986.
23. Ratajczak M., Wieleba R., Mrowiec T. – *Prognozowanie skutków decyzji podejmowanych w działaniach bojowych z zastosowaniem metody modelowania symulacyjnego*, rozprawa doktorska, AON, Warszawa 1991.
24. Rogucki A. – *Analiza systemów w planowaniu obrony. Apekty ekonomiczno – polityczne*. Biblioteka Wiedzy Wojskowej, MON, Warszawa 1975.
25. Sienkiewicz P. – *Teoria efektywności systemów kierowania*, rozprawa habilitacyjna, ASG 1979.
26. Sienkiewicz P. – *Inżynieria systemów. Wybrane zastosowania wojskowe*, MON, Warszawa 1983.
27. Sienkiewicz P. – *Inżynieria systemów kierowania*. PWE, Warszawa 1988.
28. Sienkiewicz P. – *Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania*, Bellona, Warszawa 1994.
29. Sienkiewicz P. – *Teoria efektywności systemów*, Ossolineum, Wrocław 1987.
30. Steczkowski J., Zeliaś A. – *Statystyczne metody analizy cech jakościowych*, PWE, Warszawa 1981.
31. Sułek M. – *Potencjał gospodarczo – obronny. Pojęcie. Pomiar. Decyzje*, Instytut Ekonomiki Obrony AON, Warszawa 1993.
32. Urbanek M. – *Model symulacyjny zabezpieczenia leczniczo – ewakuacyjnego działań bojowych wojsk na szczeblu taktycznym*, rozprawa doktorska, AON, Warszawa 1992.
33. Wocial J. – *Metoda oceny wartości modeli systemu sił zbrojnych* – rozprawa doktorska, AON, Warszawa 1998.
34. Wocial J. – *Oszacowanie i ocena potencjału rażenia państw sił zbrojnych Polski i państw otoczenia w 1999 roku*, rękopis 1999.
35. Wydymus S. – *Metody wielowymiarowej analizy rozwoju społeczno – gospodarczego*, Zeszyty naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 62, Kraków 1984.
36. Zeigler B. P. – *Teoria modelowania i symulacji*, PWN, Warszawa 1984.

