R G B WH GR BL Grey Scale #13 C M Y K
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19
DANES-PICTA.COM

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM INFORMATYKI

SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Projekt badawczy typu „grant" nr 0T00A 055 18

OPRACOWANIE ZWARTE WYNIKÓW BADAŃ

Zadanie badawcze VIII

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. .....
Akademii Obrony Narodowej
62810
Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/5057
05-005057-002-0

WARSZAWA 2001

Colour Chart #13
Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black
Inches Centimetres
DANES-PICTA.COM

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM INFORMATYKI

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 62810
II
Akademii Obrony Narodowej

SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Projekt badawczy typu „grant" nr 0T00A 055 18

OPRACOWANIE ZWARTE WYNIKÓW BADAŃ

Zadanie badawcze VIII

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Nr ewid. .....
II
Akademii Obrony Narodowej

Warszawa **2001**

Projekt badawczy typu „grant" nr 0T00A 055 18 realizował zespół w składzie:

Kierownik pracy:

Płk prof. dr hab. inż. Czesław FLANEK

Zespół autorów:

Płk dr inż. Maciej RATAJCZAK
Kmdr dr hab. inż. Krzysztof FICOŃ
Płk dr inż. Ryszard WIELEBA
Płk dr inż. Zbigniew KLIMKIEWICZ
Płk dr inż. Marek KINASIEWICZ
Płk dr inż. Marian URBANEK
Płk mgr inż. Hieronim KORNACKI
Ppłk dr inż. Janusz WOCIAL
Mjr dr Grzegorz KOTT
Mjr dr Henryk SPUSTEK

Przedstawione opracowanie jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr 0T00A 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 VIII projektu.

Przedstawiane opracowanie jest zwartą publikacją opracowań dotyczących wszystkich zadań badawczych realizowanych w projekcie. I tak

I. Zadanie badawcze I:

Analiza dotychczasowych koncepcji, modeli i metod oceny potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych

II. Zadanie badawcze II:

Analiza systemów i programów komputerowych pod względem ich przydatności w parach dotyczących ocen potencjałowych

III. Zadanie badawcze III:

Opracowanie założeń metodologicznych modeli potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych

IV. Zadanie badawcze V:

Opracowanie założeń koncepcyjnych matematycznych modeli potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych

V. Zadanie badawcze V:

Opracowanie koncepcji matematycznych modeli symulacyjnych z uwzględnieniem czasu (retrospektywnych i prospektywnych)

VI. Zadanie badawcze VI:

Opracowanie koncepcji matematycznych modeli symulacyjnych z uwzględnieniem rozkładów przestrzennych

VII. Zadanie badawcze VII:

Opracowanie kompleksowego modelu potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych

VIII. Zadanie badawcze VIII:

Opracowanie zwarte wyników badań

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE **11**

1. FORMY OPISU PRZEDMIOTU BADAŃ, ISTOTA KONCEPCJI MODELU, TEORII OCENY **19**

2. POTENCJAŁ OBRONNY **23**

2.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału obronnego państwa 23

2.2. Kwantyfikowane ujęcie potencjału obronnego państwa 32

2.3. Prezentacja wyników wybranych kwantyfikatywnych ujęć potencjału obronnego 35

3. POTENCJAŁ BOJOWY SIŁ ZBROJNYCH **55**

3.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału bojowego sił zbrojnych 55

3.2. Kwantyfikowane ujęcie potencjału bojowego sił zbrojnych 56

3.2.1. Uproszczona metoda porównania wartości bojowej (użytkowej) uzbrojenia i sprzętu wojskowego 56

3.2.2. Punktowa ocena bojowych możliwości wojsk 62

3.2.3. Uniwersalna metoda oceny wartości bojowej (użytkowej) uzbrojenia oraz potencjału bojowego Związków taktycznych i operacyjnych Sił Zbrojnych 76

3.3. Prezentacja wybranych kwantytatywnych ujęć potencjału bojowego Sił Zbrojnych 81

3.3.1. Operacjonalizacja pojęcia potencjału bojowego 81

3.3.2. Realizacja metody pomiarów potencjału bojowego 82

3.3.2.1. Opracowanie danych źródłowych 82

3.3.2.2. Podstawy informacyjne opracowanych danych 83

3.3.2.3. Warsztat i narzędzia badawcze 84

3.3.3. Ocena potencjału bojowego SZ Polski 85

3.3.3.1. Ocena stanu i struktury potencjału bojowego SZ Polski 85

4. ANALIZA SYSTEMÓW I PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH POD WZGLĘDEM ICH PRZYDATNOŚCI W PRACACH DOTYCZĄCYCH OCEN POTENCJAŁU **88**

4.1. Procedura badania SOP i SZ 88

4.2. Istota komputerowych modeli ocenowych potencjału 91

4.3. Teoretyczne modele walki 96

4.3.1. Modele kalkulacyjne 96

4.3.1.1. Istota modelu 96
4.3.1.2. Modele funkcjonujące 98
4.3.2. Modele taksonomiczne 108
4.3.2.1. Istota modelu taksonomicznego 108
4.3.2.1.1. Cech stymulanta i destymulanta 110
4.3.2.1.2. Klasyfikacja cech diagnostycznych 111
4.3.2.1.3. Zasady normalizacji cech diagnostycznych 112
4.3.2.1.4. Metoda wyznaczania wag cech diagnostycznych 114
4.3.2.2. Formalny zapis zagadnienia klasyfikacji 116
4.3.2.2.1. Formuła syntetycznej miary oceny 118
4.3.2.2.2. Schemat procedury badania taksonomicznego 119
4.3.2.3. Perspektywy zastosowania 123
4.3.3. Modele symulacyjne 125
4.3.3.1. Istota modelowania symulacyjnego 126
4.3.3.2. Ogólne wskazówki budowy modeli działań bojowych 130
4.3.3.3. Metody modelowania 133
4.3.3.4. Wnioski natury metodologicznej 135
4.3.4. Modele ekspertowe 137
4.3.4.1. Istota modelu ekspertowego 138
4.4. Realne modele walki 154
4.4.1. Model - 5 154
4.4.2. CBS 162
4.4.3. CORA 177
4.4.4. SimoF 183
4.4.5. ABS2000 186

5. METODOLOGICZNE ASPEKTY MODELWANIA PRZEDMIOTU BADANEGO 187

6. ISTOTA MODELOWANIA W ANALIZIE SYSTEMOWEJ 194
6.1. Metoda systemowa 195
6.2. Definicja systemu 198
6.3. Istota modelowania 203
6.3.1. Definicja modelu 203

6.3.2. Opis morfologiczny (strukturalny) 206
6.3.3. Opis funkcjonalny 208
6.4. Symulacja i modelowanie systemowe 212

7. METODA ANALITYCZNA OCENY PRZEDMIOTU BADAŃ..... 218
7.1. Określenie wymiarów i ich wag 218
7.1.1. Metoda porównywania parami 219
7.1.2. Metoda Churchmana - Ackoffa 221
7.1.3. Metoda określania miary względnej 222
7.2. Określanie wartości wymiarów 224
7.3.Agregacja (integracja) wymiarów 224
7.3.1. Strategia liniowa 224
7.3.2. Strategia alternatywna 225
7.3.3. Strategia konfiguracyjna 226
7.4. Uwagi końcowe 226

8 OGÓLNY ZARYS KONCEPCJI ROZWIĄZANIA PROBLEMU 228

9. SYSTEMOWE UJĘCIE BADANYCH PRZEDMIOTÓW 238

10. OGÓLNA METODA ROZWIĄZANIA PROBLEMU 244
10.1. Ogólne zasady doboru cech 246
10.1.1. Merytoryczne kryteria doboru cech 247
10.1.2. Statystyczne kryteria doboru cech 248
10.2. Problem wag cech diagnostycznych 248
10.3. Porównywalność cech diagnostycznych - procedury unifikacji zmiennych .. 249
10.3.1. Cechy ilościowe 249
10.3.2. Cechy jakościowe 252
10.4. Rodzaje miar podobieństwa 252
10.5. Wybrane metody (procedury) taksonomiczne 256
10.6. Schemat typowego postępowania porządkującego zbiór obiektów..... 258

11. OGÓLNA KONCEPCJA MODELU MATEMATYCZNEGO POTENCJAŁU OBRONNEGOPAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH 264
11.1. Czteroelementowa dekompozycja podmiotów 264
11.2. Wielokryterialna przestrzeń ocenowa 265

12. STATYCZNY MODEL MATEMATYCZNY 270

12.1. Formalne związki pomiędzy systemami SOP i SZ 270
12.2. Koncepcja kierunków oceny podsystemów SOP i SZ 273

13. OPIS TEORETYCZNY DYNAMICZNEGO MODELU MATEMATYCZNEGO 276
13.1. Metoda prognozowania oparta na tendencji rozwojowej 277
13.2. Realizacja metody tendencji rozwojowej 281
13.2.1. Podjęcie decyzji o postaci modelu opisującego hipotetyczne związki . 282
13.2.2. Estymacja (oszacowanie) parametrów przyjętego modelu 284
13.2.3. Weryfikacja dopasowania modelu do danych empirycznych 284

14. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH METOD EKONOMETRII PRZESTRZENNEJ..... 287
14.1. Modele ekonopmetryczne..... 287
14.2. Modele trendu powierzchniowego..... 289
14.3. Modele dyfuzji przestrzennej..... 292
14.4. Modele grawitacji i ciążenia 294
14.5. Metody grafowe 296
14.6. Metody optymalizacyjne 296
14.7. Metody symulacyjne 297

15. PODSTAWY INFORMACYJNE EKONOMETRII PRZESTRZENNEJ..... 299
15.1. Wybór jednostki badawczej 299
15.2. Określenie cech obiektów 300
15.3. Transformacja skal pomiarowych..... 303
15.4. Kryteria diagnostyczności cech 304
15.5. Wymiarowość zmiennych 306
15.6. Struktury danych wyjściowych 307

16. KONCEPCJA MATEMATYCZNEGO MODELU POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA..... 312

17. KONCEPCJA MATEMATYCZNEGO MODELU POTENCJAŁU SIŁ ZBROJNYCH 326

18. KOMPLEKSOWY SYMULACYJNY MODEL POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA 335
18.1. Pojęcie potencjału obronnego państwa 335
18.1.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału obronnego państwa 335
18.1.2. Operacjonalizacja pojęcia potencjału obronnego państwa 339
18.2. Statyczny model potencjału obronnego państwa 340
18.2.1. Uproszczenia modelu ocenowego SOP w stosunku do systemu SOP 343
18.2.2. Użyteczność modelu potencjału obronnego państwa..... 345
18.3. Statyczno - dynamiczny model potencjału obronnego państwa..... 348
18.4. Koncepcja dynamicznego modelu potencjału obronnego państwa 353

19. KOMPLEKSOWY SYMULACYJNY MODEL POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH 376
19.1. Pojęcie potencjału bojowego 376
19.1.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału bojowego 376
19.1.2. Operacjonalizacja pojęcia potencjału bojowego 377
19.2. Statyczny model potencjału bojowego Sił Zbrojnych 378
19.2.1. Uproszczenia modelu ocenowego SZ w stosunku do systemu SZ 378
19.2.2. Użyteczność modelu potencjału bojowego Sił Zbrojnych 380
19.3. Statyczno - dynamiczny model potencjału bojowego Sił Zbrojnych 385
19.4. Dynamicznego modelu potencjału bojowego Sił Zbrojnych 390
19.4.1. Synteza modeli realnych 390
19.4.2. Matematyczne modele walki 392
19.4.3. Modele walki Lanchastera 393
19.4.4. Koncepcja dynamicznego modelu potencjału bojowego Sił Zbrojnych 401

ZAKOŃCZENIE 406

BIBLIOGRAFIA 407

WPROWADZENIE

Przedstawione opracowanie jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr 0T00A 055 18 pt. **SYMULACYJNE MODELE POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH**.

Praca jest syntezą dotychczasowej wiedzy naukowej w dziedzinie potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. W każdym przypadku podejmuje zarówno ogólnoteoretyczne ujęcie przedmiotu, jak też kwantytatywne. Ujęcie ilościowe przedmiotu posiadającego niejednoznaczne określenie ogólnoteoretyczne, ponadto przedmiotu nierealizującego się i wieloaspektowego, nadto trudno mierzalnego lub wręcz niemierzalnego w wielu aspektach - jest niezwykle trudne. Uzyskany wynik prowadzi często do wielu dyskusji i wzbudza kontrowersje.

Autorzy opracowania od kilku lat zajmują się badaniem i oceną potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych – z jednej strony oraz modelowaniem matematycznym i systemami symulacyjnymi – z drugiej strony. Systematycznie także uczestniczą w pracach zespołów podejmujących powyższe problemy. Powyższe doświadczenia (metodyczne i operacyjne) oraz specjalistyczna wiedza (teoretyczna i projektowa) upoważniają ich do podjęcia powyższego zagadnienia do realizacji.

Przedstawiane opracowanie zawiera syntezę problemów podstawowych, które autorzy poddali analizie problemowej. Wnioski dotyczą ustalenia stanu wiedzy w tej dziedzinie, ze szczególnym uwzględnieniem problemów operacjonalizacji pojęć ogólnoteoretycznych (potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych). W efekcie możliwe stało się opracowanie materiału podstawowego, niezbędnego do dalszej pracy i stanowiącego podstawę dalszej analizy i konceptualizacji ogólnych modeli kompleksowych i szczegółowych w postaci modeli symulacyjnych.

Przedstawione opracowanie otwiera problem oceny potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

W dotychczasowych wojskowych badaniach naukowych problemy powyższe były wielokrotnie podejmowane przez różnych autorów i na różne potrzeby. W związku z tym posiadały różne zastosowania.

Opracowanie zawiera wprowadzenie, merytoryczne, oraz bibliografię.

Rozdział pierwszy dotyczy stosowanego przez badaczy opisu przedmiotu badawczego – potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Koncentruje się na aspekcie ocenowym badanego przedmiotu. W związku z tym przedstawia różnorodne formy opisu przedmiotu: od najbardziej kompletnej – teorii, poprzez model, metodę i wreszcie koncepcję – jako najmniej ścisłą i dokładną.

Następny **rozdział (drugi)** dotyczy opisu potencjału obronnego państwa. Przedstawione zostały różnorodne określenia (ujęcia) ogólnoteoretyczne – brak jest, bowiem w nauce ustalonych poglądów w tej materii. Po analizie problemu zaproponowana została definicja. Następnie przedstawione zostało kwantytatywne ujęcie problemu wraz z przykładami realizacji. Wyniki badań empirycznych zaprezentowano w formie graficznej.

Rozdział trzeci dotyczy potencjału bojowego. Tu także przedstawione zostały ogólnoteoretyczne ujęcia analizowanego potencjału. Ze względu na różnorodność stosowanych określeń, zaproponowano definicję pojęcia. Przedstawiono szereg metod kwantytatywnego przedstawienia potencjału bojowego sił zbrojnych. Badania empiryczne zrealizowano stosując jedną z przedstawionych metod. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów wraz z omówieniem.

.Pierwsze rozdziały pracy stanowiły podstawę dalszych badań w dziedzinie potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych w aspekcie modeli symulacyjnych. Podstawą tych badań są konstatacje dokonane w syntezie:

- ustalony stan rzeczy (zastany i zaproponowany),
- uświadomione uproszczenia i redukcje problemu,
- niedoskonałości stosowanych metod.

Rozdział czwarty przedstawionego opracowania zawiera przegląd funkcjonujących i projektowanych narzędzi *software'owych* w zastosowaniach ocenowych potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Analizę dostępnych narzędzi *software'owych* przeprowadzono przyjmując za kryterium klasę modelu przyjętą w implementacji programowej.

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). Taki stan rzeczy powinien się zmienić.

Rozdział ten podzielony został na pięć podrozdziałów merytorycznych.

Podrozdział pierwszy dotyczy systemów i programów komputerowych, których główną funkcją jest ocena określonego przedmiotu. Tak, więc wymaganiem podstawowym aplikacji jest realizacja odpowiedniego modelu ocenowego określonego oryginału (przedmiotu) zastosowanego przez badacza do opisu przedmiotu badanego – potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

Podrozdział drugi dotyczy **modeli kalkulacyjnych** opisu potencjału obronnego państwa. Przedstawione zostały różnorodne określenia (ujęcia) ogólnoteoretyczne – brak jest, bowiem w nauce ustalonych poglądów w tej materii. Po analizie problemu zaproponowana została definicja. Następnie przedstawione zostało kwantytatywne ujęcie problemu wraz z przykładami realizacji. Wyniki badań empirycznych zaprezentowano w formie graficznej.

Podrozdział trzeci dotyczy **modeli taksonomicznych**. Tu także przedstawione zostały ogólnoteoretyczne ujęcia analizowanego modelu. W szczegółach analizie poddano kategorie cech diagnostycznych badanego obiektu. Podana została także procedura badania taksonomicznego.

Podrozdział czwarty dotyczy **modeli symulacyjnych**. Przedstawione zostały podstawowe pojęcia: symulacji, i modelu symulacyjnego. W szczególności uwagę skupiono na istocie modelowania symulacyjnego, przedstawiając także ogólne wskazówki budowania modeli tej klasy. Ponadto zaprezentowano ogólne wnioski natury metodologicznej oraz przykład modelu symulacyjnego: Model-5.

Podrozdział piąty dotyczy **modeli ekspertowych**. Przedstawiona została istota modelu ekspertowego. Pokazano architekturę systemu PC-Shell oraz strukturę bazy wiedzy systemu ekspertowego. Każdy moduł został omówiony z punkty widzenia funkcjonalnego. Pokazane zostały obszary zastosowań tej klasy systemów.

Kolejny podrozdział został poświęcony realnym modelom walki. Przedstawione zostały charakterystyki następujących modeli walki: Model – 5, CBS, CORA, SimoF oraz ABS2000. Prezentacja realnych modeli walki zakończona została przedstawieniem ich syntezy.

Ten rozdział pracy jest syntezą dotychczasowego stanu wiedzy naukowej w dziedzinie narzędzi *software'owych* stosowanych do oceny potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

Stanowi on podstawę dalszych badań w dziedzinie niezbędnych współczesnemu badaczowi środków i narzędzi programowych do oceny potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych. Przedstawione wnioski i dokonane konkluzje upoważniają do tego, aby dalsza eksploracja badawcza przeprowadzana była w klasie modeli symulacyjnych. Ta klasa, ze względu na cel badawczy najlepiej rokuje.

Rozdział piąty pracy zawiera założenia metodologiczne niezbędne w procesie modelowania potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

Wszystkie dotychczasowe prace dotyczące modelowania potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego Sił Zbrojnych charakteryzują się podejściem kartezjańskim (redukcyjnym), a nie systemowym. Koncentrują się na poszczególnych aspektach przedmiotu, a nie na ich syntezie, na przedmiocie jako całości.

Ten rozdział pracy został podzielony na trzy spójne tematycznie podrozdziały merytoryczne.

Podrozdział pierwszy dotyczy:

- metodologicznych aspektów modelowania przedmiotu badawczego (sił zbrojnych i systemu obronnego państwa);
- precyzacji celu, jaki model powinien spełniać,
- poziomu detalizacji przedmiotu badań;
- 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 szósty 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 siódmy poświęcone zostały na przedstawienie 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.

Rozdział ósmy poświęcony na przedstawione założeń do konceptualizacji matematycznych modeli potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

Z dotychczasowych wojskowych badań naukowych problemów modelowania potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych 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).

W tym rozdziale przedstawiono **ogólny zarys koncepcji rozwiązania problemu** – opracowania modeli ocenowych badanych przedmiotów: systemu obronnego państwa i systemu sił zbrojnych.

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

Rozdział dziesiąty poświęcony został na przedstawienie ogólnej metody rozwiązania problemu.

Rozdział jedenasty prezentowanego opracowania zawiera koncepcję matematycznych modeli symulacyjnych potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych. Rozdział ten podzielony został na trzy podrozdziały merytoryczne.

W tym rozdziale autorzy przedstawili ogólną koncepcję modelu potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Koncepcja kreowanych modeli matematycznych oparta została na wielowymiarowej analizie porównawczej.

Rozdział dwunasty poświęcony został na przedstawienie statycznego modelu matematycznego potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Przedstawiono formalny model matematyczny badanych przedmiotów. Następnie zaproponowano modele identyfikacyjne.

W **rozdziale trzynastym** przedstawiony został dynamiczny (z uwzględnieniem czasu) model matematyczny potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Przedstawiono formalny model matematyczny badanych przedmiotów. Następnie określony został model decyzyjny (poprzez wyróżnienie zmiennych sterowalnych) w celu świadomego sterowania rozwojem badanych przedmiotów. Jednocześnie wyróżnione zostały zmienne niesterowalne (zakłócające), istotnie wpływające na wartość modelowanych potencjałów.

Przedstawione modele statyczne oraz dynamiczne umożliwiają prowadzenie badań (analiz retrospektywnych i prospektywnych) nad rozwojem potencjałów: obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych.

W zaproponowanej koncepcji realizacji matematycznego modelu potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych wyróżnione zostały zmienne wejściowe (i stanu) w strukturze hierarchicznej (w celu umożliwienia prowadzenia badań ze względu na „głębię" modyfikacji przedmiotów realnych. Jeżeli określona zmienna predestynowana została do pełnienia roli zmiennej decyzyjnej, wówczas podany został jej rozkład teoretyczny z odpowiednimi parametrami tego rozkładu, właściwymi dla realnej cechy opisywanej tą zmienną.

Kolejne rozdziały zawierą koncepcję matematycznych modeli symulacyjnych potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych z uwzględnieniem rozkładu przestrzennego.

Autorzy przedstawili ogólne koncepcje modeli z uwzględnieniem rozkładu przestrzennego. Koncepcje tych modeli matematycznych oparte zostały na wielowymiarowej analizie porównawczej. Niestety, specyficzne przedmioty modelowania - potencjał obronny państwa i potencjał bojowy sił zbrojnych – nie mogły być przedstawiane w takiej konwencji.

W dalszej części przedstawiony został matematyczny model potencjału obronnego państwa oraz potencjału bojowego sił zbrojnych. Przedstawiono formalny model matematyczny badanych przedmiotów. Następnie zaproponowano model identyfikacyjny i jego kwantyfikację.

Przedstawiono formalny model matematyczny badanych przedmiotów. Następnie określony został model decyzyjny (poprzez wyróżnienie zmiennych sterowalnych) w celu świadomego sterowania rozwojem badanych przedmiotów. Jednocześnie wyróżnione zostały zmienne niesterowalne (zakłócające), istotnie wpływające na wartość modelowanych potencjałów.

Przedstawione modele statyczne oraz dynamiczne umożliwiają prowadzenie badań (analiz przestrzennych) potencjałów: obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych.

W zaproponowanej koncepcji realizacji matematycznego modelu potencjału obronnego państwa i bojowego sił zbrojnych wyróżnione zostały zmienne wejściowe (i stanu) w strukturze hierarchicznej (w celu umożliwienia prowadzenia badań ze względu na „głębię" modyfikacji przedmiotów realnych. Jeżeli określona zmienna predestynowana została do pełnienia roli zmiennej decyzyjnej, wówczas podany został jej rozkład teoretyczny z odpowiednimi parametrami tego rozkładu, właściwymi dla realnej cechy opisywanej tą zmienną.

W **dwóch ostatnich rozdziałach** prezentowanej pracy przedstawiona została synteza badań nad symulacyjnymi modelami potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych.

Przedstawione zostały kompleksowe modele badanych przedmiotów, tj. potencjału obronnego państwa jako kwantytatywnej miary ocenowej systemu obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych jako kwantytatywnej miary ocenowej systemu sił zbrojnych.

Główny problem ogólnoteoretyczny pojawił się już na samym początku procesu badawczego i dotyczył definicji ideowej (ogólnoteoretycznej) potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Dotychczas stosowane definicje, formułowane były w postaci numerycznej, z zaznaczeniem, że podany zbiór charakterystyk jest raczej niezupełny. Definicje w postaci „*to całokształt możliwości w...*" były mało treściwe, zbyt ogólne. Następnym problemem była operacjonalizacja zmiennych i pojęć użytych w definicjach ogólnoteoretycznych. Kolejnym – dokonanie pomiaru.

Nadmienić należy, że jak dotychczas definicje operacyjne potencjału obronnego państwa nie funkcjonują w naukach wojskowych, koncentracja uwagi i badań dotyczy co najwyżej potencjału gospodarczo – obronnego. Wydaje się, że można go utożsamiać z potencjałem obronnym w przypadku modelowania problemów w skali globalnej.

Albowiem aspekty odwzorowane w takim modelu obejmują charakterystyki których realizacje są znane (i publikowane), nie zawierają charakterystyk trudno mierzalnych (i kontrowersyjnych) dotyczących cząstkowych potencjałów polityczno – obronnych (organizacja SOP, SZ, mobilizacja, itp.) i społeczno – obronnych (wola walki, obronne przygotowanie społeczeństwa, itp.).

Dla każdego przedmiotu badawczego przedstawiony został:

model statyczny:

- potencjału obronnego państwa;
- potencjału bojowego sił zbrojnych,

model statyczno – dynamiczny (model statyczny w szeregu czasowym):

- potencjału obronnego państwa;
- potencjału bojowego sił zbrojnych,

model dynamiczny:

- potencjału obronnego państwa w postaci modelu wojny;
- potencjału bojowego sił zbrojnych w postaci modelu walki,

Dla modeli statycznych i statyczno – dynamicznych przedstawione zostały wyniki badań empirycznych, będące egzemplifikacją praktycznych zastosowań zaproponowanych modeli ocenowych. Pozwalają one ocenić siłę indykacji tych modeli i ich użyteczność w procesach badawczych w dziedzinie nauk wojskowych i politycznych.

Na zakończenie prezentacji całości badań autorzy pozwolili sobie zarekomendować podjęte problemy do dalszej penetracji naukowej przez innych autorów.

Wreszcie załączona bibliografia może być dobrym przewodnikiem w pracy stanowiącej syntezę problemu.

1. FORMY OPISU PRZEDMIOTU BADAŃ. ISTOTA KONCEPCJI MODELU, TEORII OCENY

Przez ***formę przedmiotu*** (rzeczy lub zjawiska) rozumiemy współcześnie – w ogólnym - wewnętrzną strukturę przedmiotu, całościowy układ części Przez pojęcie *forma* rozumiemy zwykle korelat terminów „treść", „materia, tworzywo" itp. W węższym znaczeniu - ukształtowanie, wygląd danego przedmiotu.

W różnych kierunkach filozoficznych rozumiany był różnie. Przyjmijmy, że to obiektywny układ lub myślowe odbicie przedmiotu. W związku z powyższym, mamy prawo rozpatrywać „głębię" tego oglądu, adekwatność obrazu do przedmiotu, itp. W nauce o dojrzałości odwzorowania przedmiotu w abstrakcyjny świat pojęć i symboli oraz związków zachodzących pomiędzy nimi świadczy:

- zasób informacji i wiedzy, tj. poszczególne teorie, prawa i twierdzenia o przedmiocie,
- procedury postępowania, przy których użyciu nauka wytwarza ten zasób wiedzy, a zatem sam proces badawczy.

Oba wyżej wymienione problemy są we wzajemnym (dodatnim) sprzężeniu
zwrotnym wtedy, kiedy naukę traktujemy jako proces badania, tj. procedurę mającą na celu:

- znajdowanie odpowiedzi na pytania,
- rozwiązywanie problemów,
- opracowywanie bardziej skutecznych sposobów postępowania przy szukaniu odpowiedzi na pytania i rozwiązywaniu problemów.

Jest rzeczą ogólnie znaną, że posługując się nauką (w przeciwieństwie do zdrowego rozsądku) mamy więcej szans na uzyskanie poprawnych odpowiedzi na pytania i lepszych rozwiązań problemów. Nie znaczy to, że nauka umożliwia zawsze osiągnięcie lepszych wyników, lecz że uzyskanie tego rodzaju wyników jest *bardziej prawdopodobne* wtedy gdy się do niej odwołujemy.

Charakterystyczne dla nauki są także jej tendencje do samokrystalizacji i samo doskonalenia się. Jest to instytucja stale rozwijająca się i dążąca do ideału; zwiększać nieograniczenie naszą widzę oraz umiejętności formułowania odpowiedzi na pytania i rozwiązywania problemów. Stąd wynika postulat prowadzenia każdego badania na-

ukowego w taki sposób, żeby przyczyniało się ono do zwiększenia sprawności wykonywania przyszłych badań. Co oznacza, że badania należy tak projektować, aby informowały one i instruowały, w jaki sposób można ulepszyć samo ich prowadzenie?

Postęp naukowy odbywa się w dwu wymiarach. Po pierwsze, poszerza się stale zakres pytań i problemów, do których stosuje się ujęcie naukowe. Po drugie, nauka zwiększa stale sprawność wykonywania swych badań. Wytworami dociekań naukowych są, zatem: (1) zasób informacji i wiedzy, umożliwiający nam większą możliwość sterowania przedmiotem oraz (2) zasób sposobów postępowania, umożliwiający nam lepsze posługiwanie się tym zasobem informacji i wiedzy.

Nauka, zatem, zarówno informuje, jak i instruuje. Zasób informacji wytworzony przez naukę oraz wiedza, jak ich użyć - to dwa jej wytwory.

Mówiąc o zasobach informacji i wiedzy wymienia się poszczególne teorie, prawa i twierdzenia, które powstały w różnych naukach.

Mówiąc o procedurach wymienia się zazwyczaj *narzędzia, techniki i metody*. Powszechna skłonność do zamiennego używania powyższych trzech terminów zmusza do wprowadzenia rozróżnień, których należy koniecznie przestrzegać w dyskusjach na temat procedur naukowych.

Przez ***narzędzie naukowe*** rozumie się fizyczny lub pojęciowy aparat (instrument) używany w badaniu naukowym.

Przez ***technikę naukową*** rozumie się sposób osiągania naukowego celu, naukowy sposób działania. Techniki zatem to sposoby posługiwania się narzędziami naukowymi.

Przez ***metodę naukową*** rozumie się zasadę, według której dokonywany jest w nauce wybór odpowiednich technik, tj. kryterium oceny alternatywnych sposobów działania.

A zatem, podczas gdy techniki użyte przez jakiegoś uczonego są wynikiem jego *decyzji,* to sposób, w jaki te decyzje są podejmowane, jest wynikiem jego *zasad podej-*

mowania decyzji. Metody to zasady dokonywania wyboru wariantu, techniki to same te warianty[1].

Ogólnie, zatem konkretyzując rozważania, przyjmijmy (kryterium wiodącym jest wielkość wiedzy o przedmiocie, jaką nauka posiada i dojrzałość procedur badawczych przedmiotu), że:

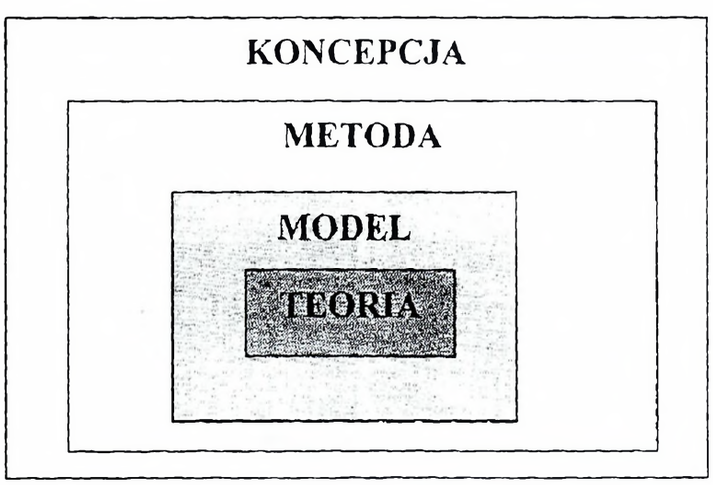
Koncepcja to ogólne ujecie czegoś, obmyślony plan działania, rozwiązania czegoś, pomysł, projekt.

Metoda - w znaczeniu ogólnym: sposób postępowania, świadomy i powtarzalny wybór działania; w znaczeniu węższym - zespół celowych czynności i środków, w szczególności prowadzących do wykonania określonego zadania lub rozwiązania dane go problemu. W nauce przez metodę rozumie się też całokształt ogólnych założeń badawczych, wytycznych w postępowaniu naukowym lub sposób ujmowania badanych faktów.

Model - opis matematyczny o własnościach zbliżonych do wyróżnionych własności obiektu modelowanego

Teoria - w znaczeniu ogólnym - wiedza wyjaśniająca daną dziedzinę rzeczywistości, ściśle związana z praktyką, tj. formułowana na jej podstawie, a wtórnie stanowiąca podstawę działań praktycznych

Wydaje się, że powyższe formy opisu badanego przedmiotu można zobrazować teoriomnogościowo tak jak na rys.1.



Rys. 1. Teoriomnogościowa interpretacja naukowego opisu przedmiotu

[1] *Teorię, której przedmiotem są metody naukowe, nazywa się często metodologia. Celem metodologii jest doskonalenie procedur i kryteriów stosowanych w badaniach naukowych. Z tej racji metodologia jest często nazywana logika nauki.*

Przyjęcie w procesie badawczym jakiejkolwiek z wyżej wymienionych form opisu przedmiotu nie uwolni nas od natury (własności) badanego przedmiotu. Każdy przedmiot posiada, bowiem określone własności ujmowane jakościowo, a pewne - które mierzalne - ilościowo.

Każda z własności, która może być kwantyfikowana, może także być potraktowana jakościowo. Jakość można uważać za pewien przedział na skali służącej do pomiaru danej własności. Ale jest także prawdą, że każda własność jakościowa jest potencjalne uchwytna ilościowo. Właśnie jako taki przedział na pewnej skali. Nie zdołamy nigdy przetłumaczyć wszystkich własności jakościowych na tego rodzaju miary, ale z postępem nauki coraz większa liczba pojęć jakościowych jest zastępowana równoważnymi pojęciami ilościowymi. Jednakże rozwój ten nie jest jednokierunkowy. Jednocześnie z powstaniem w nauce coraz to nowych miar, wymaga ona coraz więcej oszacowań jakościowych.

Kwantyfikowanie (ujmowanie ilościowe) zależy w każdym stadium rozwoju a od ujmowania jakościowego. To, co jest ujęte jakościowo w pewnym stadium, może być ujęte ilościowo w innym, ale w każdym z nich niezbędne są pewne oszacowania jakościowe. Dlatego postęp w nauce jest nie tylko funkcją wzrastającej umiejętności efektywnego ilościowego ujmowania zjawisk (tzn. pomiaru), lecz zależy także od 3stającej umiejętności efektywnego ujmowania ich w kategoriach jakościowych.

2. POTENCJAŁ OBRONNY PAŃSTWA

2.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału obronnego państwa

Przed przystąpieniem do formułowania poglądu na treść i istotę potencjału obronnego państwa należy zatrzymać się na krótko nad pojęciem potencjału, bowiem w tej kwestii poglądy wielu autorów są niejednolite. Nawet w matematycznych modelach potencjału występują kwestie dyskusyjne, a ich zastosowanie do badań ekonomicznych ciągle jest przedmiotem kontrowersji.

W związku z tym wydaje się celowe przedstawienie etymologicznego źródła słowa „potencjał". Pochodzi ono od słów łacińskich:

- Potentialis – możliwy, mogący zaistnieć;
- Potentia – siła , moc.

Termin ten znany jest z filozofii Arystotelesa, według którego „potencjalne" oznacza to, co możliwe, w odróżnieniu od tego ci już powstało i jest[2]

W fizyce potencjał jest wielkością charakteryzującą pole sił, a potencjał w danym punkcie jest pracą wykonaną przy przesunięciu z danego punktu do nieskończoności jednostkowego ładunku elektrycznego, gdy odbywa się to w polu elektrycznym lub magnetyczny, gdy praca przebiega w polu magnetycznym albo jednostki masy, jeśli praca jest wynikiem potencjału grawitacyjnego[3]. W elektrotechnice zaś, różnicę potencjałów określa się jako napięcie elektryczne, a w przypadku otwartego źródła prądu mówi się o sile elektromotorycznej. Układ materialny posiada energię potencjalną, a więc energię zdolna do wykonania pracy, dzięki istnieniu i działaniu sił wewnętrznych[4].

Współcześnie przez słowo „potencjalny" rozumiemy: „tkwiący w czymś i mogący się ujawnić w określonych okolicznościach, przez odpowiednie działanie, tak, w

---

[2] Por. Słownik wyrazów obcych, Warszawa 1977, s.594
[3] Por. M. Jeżewski, Fizyka ogólna, Warszawa 1985, cz 1s. 112
[4] Tamże, s. 198

którym coś tkwi może wystąpić w określonych warunkach"[5]. Natomiast potencjał, to: „zasób możliwości, mocy, zdolności wytwórczej itp., tkwiący w czymś"[6].

Potencjał według „Słownika terminów z zakresu bezpieczeństwa narodowego" oznacza całokształt możliwości materialnych i ludzkich tkwiący w jakimś elemencie rzeczywistości społecznej zwłaszcza: w grupie państw stowarzyszonych (objętych różnymi układami), państwie (części państwa); w jakiejś dziedzinie, jak na przykład gospodarka (dział gospodarki), obronność (wojsko).

Wydaje się, że termin „potencjał" może być rozumiany dwojako, a mianowicie:

- Jako zespół, całokształt istniejących, badanych i wykorzystanych sił, środków i warunków;
- Jako zespół, całokształt możliwości, które mogą być wykorzystane w pewnych warunkach.

Powyższe interpretacje pojęcia **potencjał** są ściśle ze sobą związane. Możliwości zawsze wynikają z pewnych sił i środków. Potencjał jest zatem określony przez pewne siły i środki istniejące w czymś w sposób obiektywny. Te siły i środki stanowią możliwości realizacji danego celu. Uruchomienie ich wymaga jednak podjęcia stosownych działań, które są koniecznym warunkiem wykorzystania tych możliwości. Dopóki działania te nie zostaną podjęte, dopóty te siły nie mogą przynieść żadnego materialnego efektu. Wydaje się, że fakt istnienia takich sił i środków może być jednak sam w sobie źródłem pewnych korzyści. W każdym bądź razie wstępnym warunkiem zrealizowania jakichkolwiek korzyści z tytułu występowania pewnych sił i środków jest ich znajomość.

Określenie kondycji gospodarki państwa, jest procesem trudnym i skomplikowanym. Przeprowadzenie analiz porównawczych potencjału gospodarczego poszczególnych państw wymaga dostępu do wiarygodnych źródeł informacji oraz posiadania odpowiednich narzędzi (modeli) do przeprowadzenia takich analiz. Ponadto dysponując danymi o siłach zbrojnych państw oraz właściwymi modelami do szacowania potencjału rażenia byłaby możliwość porównania zdolności gospodarczo obronnych różnych krajów. Stopień trudności takich porównań nie jest jednakowy i zależy od przedziału czasu obserwacji procesów gospodarczych. Dysponując narzędziami stosunkowo prosto można prowadzić różnorodne analizy dotyczące przeszłości. Trudności wzrastają, gdy

---

[5] Słownik języka polskiego, Warszawa 1979, s.854
[6] Tamże, s. 854

takie oceny prowadzi się w czasie rzeczywistym a tym bardziej, gdy mają charakter prognostyczny. Wynika to między innymi stąd, że gospodarka państwa reaguje na różnorodne uwarunkowania zarówno wewnętrzne jak i zewnętrzne. Stan gospodarki narodowej jest obrazem sił ekonomicznych państwa, oznacza potencjalne możliwości zapewniające potrzeby narodu w okresie pokoju lub konfliktu.

Pojęcie potencjału wprowadzono w literaturze ekonomicznej dla podkreślenia związku sił zbrojnych z zapleczem gospodarczym. Uważa się bowiem, że kompletne przygotowania do obrony (wojny) powinny obejmować:

- Przygotowania wojskowe
- Przygotowania polityczne,
- Przygotowania gospodarcze,
- Przygotowania propagandowe.

Siła militarna, siła polityczna i siła ekonomiczna wzajemnie się warunkują i uwiarygodniają. Postrzegane we wzajemnym związku są określone pojęciem potencjał.

W literaturze przedmiotu rzeczywistość ekonomiczna państwa postrzeganą w aspekcie obronności określano takimi terminami bliskoznacznymi jak:

- Potencjał wojenny,
- Potencjał militarny,
- Potencjał wojskowy,
- Potencjał wojenno – ekonomiczny,
- potencjał wojskowo – gospodarczy,
- potencjał gospodarczo – obronny.

Ta różnorodność pojęć wprowadziła pewien terminologiczny chaos. Spośród definicji potencjału spotykanych w literaturze można przytoczyć przykładowo następujące:

1. „Potencjał ekonomiczny jest to całokształt możliwości ekonomicznych kraju, które w danych warunkach ustrojowych można uruchomić w razie potrzeby w interesie państwa przy maksymalnym wysiłku dla osiągnięcia wyznaczonych celów”[7]

---

[7] Libicki B, W sprawie mierzenie potencjału ekonomicznego w polskiej literaturze lat 1950 – 1970. Skrypty uczelniane Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, z. 27/1979.

2. „Potencjał wojenno – ekonomiczny jest to zdolność sił ekonomicznych państwa do wykonania maksymalnej produkcji wojennej w czasie mobilizacji gospodarczej i prowadzenia wojny”[8].
3. „Potencjał wojenno – ekonomiczny oznacza zdolność sił ekonomicznych państwa do maksymalnej realizacji całości ekonomicznych potrzeb i wymogów wojny, w danych warunkach społecznych i naturalnych w każdym okresie wymaganym przez obronność”[9].
4. „Potencjał wojenno – ekonomiczny jest to zdolność sił ekonomicznych danego państwa do wykonania maksymalnej produkcji wojennej w określonym czasie”[10].
5. „Potencjał wojenno – ekonomiczny jest to zdolność państwa do mobilizacji i rozwinięcia oraz zaopatrywania sił zbrojnych , określone w znacznej mierze przez moce wytwórcze, a więc zasoby siły roboczej, surowców i inne”[11].
6. „Potencjał wojenno ekonomiczny to zdolność gospodarki narodowej do zasilania sił zbrojnych w niezbędny sprzęt i materiały, a także do zapewnienia pewnego minimum poziomu egzystencji społeczeństwa”[12].

Profesor Rogucki wyróżnia następujące kategorie potencjału[13]:

- potencjał wojskowy – równy masie stacjonarnego systemu wojskowego, określonego w tradycyjnym języku operacyjno – taktycznym liczbą armii i związków taktycznych;
- potencjał militarny – to potencjał wojskowy powiększony o tzw. militarny sektor gospodarczy (skupiający wyszkolone „rezerwy ludzkie”, rezerwy techniki wojskowej, wyspecjalizowane moce produkcyjne);
- potencjał wojenny – jest to potencjał militarny poszerzony o zmoblizowane zasoby ludzkie i rzeczowe, wykorzystane w przestawionym (na wojenny) system funkcjonowania państw i społeczeństwa;

---

[8] Stankiewicz W. Ekonomika wojenna. Warszawa 1970.
[9] Beczkiewicz Z. Szkice z ekonomiki wojennej.Warszawa 1965.
[10] Ciastoń S. Ekonomiczne aspekty obronności. Warszawa 1969.
[11] Knorr K. Military power and potential. Princeton University 1070.
[12] Sułek M. Pomiar potencjału wojenno – ekonomicznego za pomocą mierników syntetycznych. Materiały i studia nr 11/1992. AON Warszawa.
[13] Rogucki A. Analiza systemów w planowaniu obrony. Wydawnictwa Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa 1975

- potencjał obronny – wyraża granicę możliwości oddania przez system państwowy sił i środków na potrzeby wojny we względnie krótkim czasie. Granica ta jest zbieżna z wartością produkcji globalnej.

To co wyróżnia te kategorie potencjału to odmienne poziomy gotowości mobilizacyjnej to znaczy gotowości do wykorzystania:

- potencjał o wysokim poziomie gotowości – potencjał wojskowy(realna siła);
- potencjał o średnim poziomie gotowości – potencjał wojenny(rezerwy dalsze);
- potencjał o niskim poziomie gotowości – potencjał wojenny (rezerwy dalsze);
- potencjał o bardzo niskim poziomie gotowości – potencjał obronny (quasi rezerwy).

Przytoczone definicje (niezależnie od zawartych w nich rozbieżności wynikających z poglądów autorów określają w miarę jednoznacznie zakres problemu.

Potencjał militarny wg K. Knorra „jest jedną z podstaw potęgi militarnej i równa się znajdującym w dyspozycji narodu zasobom na tworzenie i utrzymanie sił zbrojnych".

Wg K. Knorra najistotniejsze dla określenia potencjału militarnego są:

- możliwości ekonomiczne i technologiczne;
- umiejętności administracyjne;
- polityczne podstawy siły militarnej.

W każdym przypadku tworzenia lub powiększania sił militarnych w czasie pokoju i wojny naród uruchamia swój potencjał militarny. W pojęciu tym wyraża się współzależność nakładów i wyników."[14]

Potencjał militarny[15] stanowią możliwość (zdolność) prowadzenia działań wojennych przez państwo lub koalicję państw. Potencjał militarny określają jakościowy i ilościowy stan sił zbrojnych, stan przeszkolonych rezerw osobowych, stan zapasów ma-

---

[14] K. Knorr , Military power and potencial, Lexington 1970, s.15
[15] Leksykon wiedzy wojskowej, MON, Warszawa 1979, s. 324

teriałowych , a także infrastruktura wojskowa (porty wojenne, lotniska, wyrzutnie rakiet, magazyny wojskowe, koszary).

Potencjał militarny (wojskowy) – ogół możliwości w zakresie prowadzenia walki zbrojnej przez państwo lub koalicję państw, które bezpośrednio decydują o losach wojny. Wielkość potencjału wojskowego określa czynnik osobowy, tzn. siły zbrojne i przeszkolone rezerwy oraz rzeczowy, do którego zalicza się zapasy środków walki i zabezpieczenia materiałowo – technicznego oraz wchodzące w skład infrastruktury wojskowej (porty wojenne, lotniska, wyrzutnie rakiet, magazyny wojskowe, koszary)[16].

Potencjał militarny (wojskowy) według „Słownika terminów zakresu bezpieczeństwa narodowego" oznacza część potencjału obronnego państwa, wyrażającego się zdolnością sił zbrojnych do zapobiegania i przeciwdziałania zagrożeniom militarnym i wojnie.[17]

Potencjał wojenno–ekonomiczny[18] zdefiniowany jest jako realne możliwości w zakresie zabezpieczenia materiałowych potrzeb i wymogów współczesnej wojny zarówno na froncie , jak i na zapleczu . Możliwości te wypływają z poziomu rozwoju sił wytwórczych oraz z poziomu rozwoju ustroju ekonomicznego i politycznego walczącego kraju. Przy ocenie wojenno - ekonomicznego potencjału kraju uwzględnia się również charakter wojny , rozmiar potrzeb związanych z jej prowadzeniem i stopień odporności zaplecza na oddziaływanie przeciwnika.

Potencjał wojenny państwa zdefiniowany jest jako całokształt możliwości materialnych i moralnych państwa, które mogą być wykorzystane do realizacji celów wojny. Wielkość tych możliwości w danym okresie zależy od ilości i jakości środków walki, zwłaszcza broni jądrowej i środków dostarczania jej do celu, produkcyjnej przemysłu zbrojeniowego, ilości i jakości wyszkolonych rezerw oraz stopnia przygotowania kadr i ich zdolności organizatorskich, umiejętności wyższych dowódców w zakresie kierowania przygotowaniem i wykorzystaniem sił zbrojnych w skali strategicznej, operacyjnej i taktycznej.

Najogólniej potencjał wojenny państwa dzieli się na:

- moralno-polityczny,
- wojskowy – potencjał militarny;
- wojenno-ekonomiczny.

---

[16] Mała encyklopedia wojskowa, t. 2, Warszawa 1970, s. 761.
[17] Słownik terminów zakresu bezpieczeństwa narodowego, AON, Warszawa 1996, s.57.

Potencjał wojenny siły roboczej zdefiniowano jako ilość i jakość zasobów ludzkich, które państwo może przeznaczyć do wykonywania maksymalnej produkcji i usług wojennych oraz na potrzeby sił zbrojnych.

Potencjał militarny i siła militarna to nie jest to samo. Siła militarna tworzona jest na bazie potencjału militarnego, który tradycyjnie definiowany jest w kategoriach ekonomicznych (jako ogół zasobów osobowych i rzeczowych znajdujących się w dyspozycji państwa, które można przeznaczyć na tworzenie i utrzymanie sił zbrojnych)[19]. Siła militarna jest uruchamianą (zmobilizowaną) częścią potencjału; potencjał jest miarą pośrednią, siła – bezpośrednią. W potencjale zawarte są możliwości przyszłe, a w sile – aktualne i gotowe. Potencjał militarny państwa odgrywa istotną rolę w stosunkach międzynarodowych. Dlatego jest, dla różnych celów, poddawany różnego rodzaju analizom , ocenom , porównaniom itp. Analizę i ocenę potencjałów militarnych państw prowadzi się , m.in. , w celu :

1. Określenia bieżącego stanu uzbrojeń oraz tendencji ich rozwoju w poszczególnych państwach ;
2. Porównania aktualnych stanów systemów militarnych państw i tendencji w ich rozwoju ;
3. Porównania aktualnych stanów wybranych elementów systemów militarnych innych państw z elementami własnego systemu militarnego .

Dokonanie oceny liczbowej systemu militarnego państwa jest bardzo trudne do przeprowadzenia ze względu na to , że system militarny państwa składa się z:

1. elementów wymiernych, np.: wysokość budżetu militarnego państwa, stan osobowy sił zbrojnych, stan osobowy rezerw sił zbrojnych, stany liczebne środków uzbrojenia i wyposażenia technicznego, stany ilościowe środków materiałowych itp.;
2. elementów trudno wymiernych, np. : stan wyszkolenia sił zbrojnych, stan wyszkolenia rezerw sił zbrojnych, stany jakościowe środków uzbrojenia i wyposażenia technicznego, stany techniczne infrastruktury itp.;
3. elementów bardzo trudno wymiernych lub niewymiernych, np.: przyzwolenie społeczne na prowadzenie działań wojennych, stopień determinacji społeczeństwa w zakresie wyrzeczeń na rzecz zbrojeń, wola zaangażowania się

---

[18] Leksykon wiedzy wojskowej, MON, Warszawa 1979, s. 324.
[19] K.Knorr, Military Power and Potential, Lexingtona 1970, s.15.

żołnierzy w walce , przygotowanie kadry dowódczej do prowadzenia operacji militarnej itp.

W. Stankiewicz[20] określa **potencjał wojenny** jako zdolność wszystkich sił społecznych do ponoszenia pełnych ciężarów wojennych w czasie przygotowania i prowadzenia wojny. Natomiast wg M. Daniluka[21] potencjał wojenny stanowi całokształt możliwości materialnych i moralnych państwa, jakie mogą być zmobilizowane i wykorzystane w razie zagrożenia wojennego i wojny. Określają go wszystkie siły i środki, którym państwo może dysponować w realizacji swoich celów na drodze wojennej. Ponadto określa on potencjał jako możliwości militarne państwa, które stanowią: stany osobowe sił zbrojnych, ich zdolność bojowa, przeszkolone rezerwy osobowe, dysponowane uzbrojenie i sprzęt wojskowy, infrastruktura wojskowa oraz zdolność odtwarzania i rozbudowy sił zbrojnych.

Potencjał wojenny wg Krawczenki[22] to całokształt możliwości militarnych kraju lub koalicji, które mogą być wykorzystane w wojnie. G. Krawczenko wyróżnia następujące elementy potencjału wojennego: liczebność armii i przeszkolonych rezerw, liczebność i umiejętności kadry dowódczej oraz rezerwy kadrowe, ilość i jakość uzbrojenia, zaopatrzenie materiałowo-techniczne, rozmiary terytorium państwa i charakter granic państwowych, system umocnień na przewidywanych teatrach działań wojennych, system dowodzenia, organizacja zaplecza, system masowego szkolenia, stan nauki i sztuki wojennej.

W rozważaniach teoretycznych, jak i przygotowaniach praktycznych najistotniejsze znaczenie mają trzy pojęcia: potencjał wojskowy, potencjał militarny i potencjał wojenny. Wszystkie one mogą być mniej lub bardziej dokładnie szacowane i kalkulowane. Do pomiaru potencjału wojskowego można użyć miar naturalnych (jednostki organizacyjne sił zbrojnych, zdolność niszczenia) i wartościowych (np. poprzez wydatki wojskowe). Pomiar potencjału militarnego i wojennego (jako wielkich różnoimiennych agregatów) możliwy jest w zasadzie tylko w postaci wartościowej bądź innej postaci abstrakcyjnej. W pojęciu wyróżnionych potencjałów znajdują się elementy potencjalne możliwe do uzyskania w przyszłości w wyniku szeroko rozumianego procesu mobilizacyjnego, jak i elementy już gotowe do działania, natychmiast lub z niewielkim opóźnieniem. Proces mobilizacji odnosi się przede wszystkim do sił zbrojnych i przemysłu

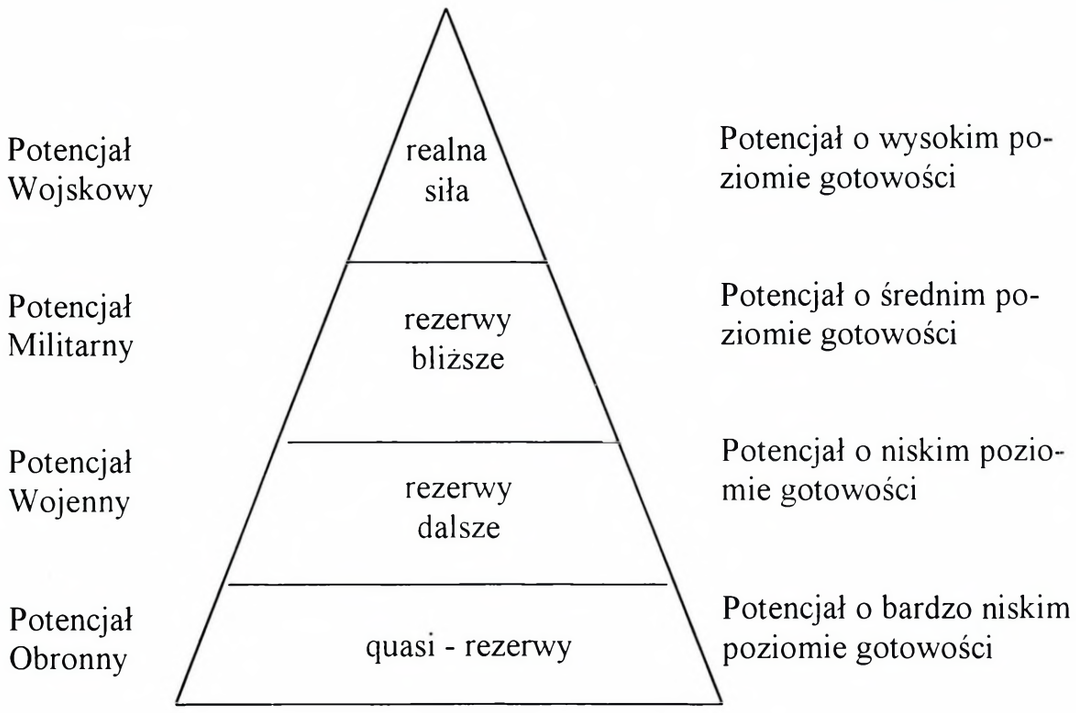
---

[20] W. Stankiewicz, Ekonomika wojenna, Warszawa 1987, s.24.
[21] M. Daniluk ,Gospodarka pokojowa a wojna, MON, Warszawa 1984, s.51.
[22] G. Krawczenko, Ekonomika ZSRR w latach wielkiej wojny ojczyźnianej, Moskwa 1970, s.391.

zbrojeniowego. To co je wyróżnia to odmienne poziomy gotowości mobilizacyjnej (gotowości wykorzystania)[23]. Z tego punktu widzenia wydaje się uzasadnione wyróżnienie kilku warstw w rozpatrywanych potencjałach, np.:

- potencjał o wysokim poziomie gotowości (potencjał wojskowy),
- potencjał o średnim poziomie gotowości (potencjał militarny),
- potencjał o niskim poziomie gotowości (potencjał wojenny),
- potencjał o bardzo niskim poziomie gotowości (potencjał obronny).

Powyższe założenia przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Warstwy potencjału

Potencjał militarny to potencjał wojskowy powiększony o rezerwy bliższe, natomiast potencjał wojenny to potencjał militarny powiększony o rezerwy dalsze. Potencjał wojenny powiększony o quasi – rezerwy to potencjał obronny[24]. Potencjał **wojenno - ekonomiczny** wg

---

[23] M. Sułek, Potencjał gospodarczo – obronny. Pojęcie pomiar, decyzje, AON, Warszawa 1993, s. 13.
[24] Tamże, s 13.

Stankiewicza wyraża zdolność gospodarki narodowej do zaspokojenia materialnych potrzeb wojennych w czasie mobilizacji gospodarczej i wojny.

Wg A. Łagowskiego potencjał wojenno -ekonomiczny zależy od poziomu sił wytwórczych a ponadto od społecznych stosunków produkcyjnych i od realnych możliwości państwa.

Szczególnie uniwersalną i pragmatyczną kategorią potencjału wojennego państwa znalazło się w sferze zainteresowań nauk politycznych. Np. R. Bierzanek przez potencjał wojskowy rozumie „siły zbrojne (lądowe, morskie i powietrzne) składniki gospodarki narodowej mające związek z możliwością wystawienia , uzbrojenia i zaopatrzenia armii na wypadek wojny (a więc sytuacją demograficzną , stan przemysłu zwłaszcza zbrojeniowego, stan podstawowych zapasów".

2.2. Kwantytatywne ujęcie potencjału obronnego państwa

Tradycyjne rozważania nad potęgą narodów są doktrynalne i esencjalistyczne. Autorzy starają się opisać czynniki potęgi nie zajmując się kwantyfikacją. Do niedawna pojęcie „więcej" czy „mniej" siły pozostawało jedynie w sferze rozsądku i intuicji. Wysiłki w kierunku rozwijania bardziej systematycznych miar potencjału datują się dopiero od lat pięćdziesiątych..

Kwantyfikacja jest zagadnieniem z zakresu badań empirycznych; te z kolei wymagają przyjęcia w sposób mniej lub bardziej wyraźny definicji operacyjnych.

Kiedy poszukuje się wszelkich danych, aby obserwować kształtowanie się zjawisk, porównywać je i analizować potencjał obronny w realnym świecie szybko odkrywa się zapotrzebowanie na definicje operacyjne. Wynikły problem skupia się na trzech płaszczyznach. Pierwsza sprowadza się do stwierdzenia, że luka między pojęciem a definicją operacyjną jest tak duża, że nie zawsze można określić relację między definicją abstrakcyjną a definicją operacyjną. Druga płaszczyzna to różne miary operacyjne nie wydają się korelować ze sobą, co sugeruje, że mogą one uwypuklać różnorodne aspekty stosunków siły. Trzecia płaszczyzna – prawie każda proponowana miara doprowadziła do wielkich kontrowersji.

W literaturze przeważa sceptycyzm co do możliwości kwantyfikacji i pomiaru potencjału obronnego. K. Knorr przenosi problem porównań potencjałów militarnych na problem porównań zmobilizowanych sił militarnych, czyli porównania ich siły wal-

ki. Według Knorra „nie ma ani teoretycznego przewodnika, ani empirycznej aparatury do zmierzenia i porównania, a zwłaszcza przewidywania, siły walki zmobilizowanych sił zbrojnych różnych państw. (Nie oznacza to, że wywiad wojskowy nie podejmuje się takich porównań, ale jest w tym dużo zgadywania. Efekty są mniej lub bardziej oparte na odczuciach i nie cechują się dużą wiarygodnością)".

Ch. J. Hitach, R.N. McKean w „Ekonomice obrony" również zajmują zdecydowane stanowisko, „ Nie ma żadnego pojedynczego wskaźnika lub odrębnej grupy wskaźników, którymi można by określić wielkość potencjału danego państwa."

Jednak również występuje grupa badaczy, którzy optymistycznie wyrażają się w tej sprawie i opowiadają się za poszukiwaniem syntetycznych wskaźników potencjału obronnego państwa. Wychodzą oni z założenia, że wyniki konfliktu zbrojnego są kosztownym i obiektywnym kryterium, jednak nie do zaakceptowania w XXI wieku.

W celu pełniejszego zaspokojenia potrzeb decyzyjnych, potencjał gospodarczo obronny powinien być opisywany, a następnie mierzony, w postaci kilku parametrów. W strategii bezpieczeństwa narodowego najbardziej przydatne są następujące wielkości.:

- Wielkość (masa)
- Gotowość;
- Mobilność (elastyczność

Wielkość (masa) potencjału gospodarczo obronnego odzwierciedla głownie jego charakterystyki ilościowe. Uproszczonymi miarami w kategorii masy mogą być np. liczba ludności, powierzchnia, zasoby naturalne, rezerwy osobowe i rzeczowe, ilość uzbrojenia[25].

Gotowość potencjału gospodarczego jest wielkością bezwymiarową i wyrażają ją takie wskaźniki jak:

- udział wydatków przeznaczonych na obronność państwa w produkcie krajowym;
- stosunek liczebności sił zbrojnych do populacji generalnej;
- udział produkcji specjalnej (o przeznaczeniu wojskowym) w ogólnej produkcji przemysłowej;

---

[25] M. Sułek, Gospodarcze podstawy polityki i strategii bezpieczeństwa „ QUASIMODO" AON Warszawa 1997r,

- udział eksportu uzbrojenia i sprzętu wojskowego w ogólnej wielkości eksportu.

Mobilność potencjału gospodarczo obronnego kształtowana jest – w odpowiednich proporcjach – przez zespolone oddziaływanie czynników ekonomiczno militarnych, demograficznych oraz czasoprzestrzennych. Inaczej mówiąc – wyraża stopień nasycenia czynnika demograficzno – terytorialnego czynnikiem ekonomiczno militarnym.

Model pomiaru potencjału gospodarczo obronnego metodą M. Sułka pozwala liczyć w sposób syntetyczny **wskaźniki globalne (Pg)** oraz **wskaźniki wykorzystania (Pw)**. Aby uzyskać wskaźniki globalne należy w modelu uwzględnić jednakową stopę wydatków wojskowych dla wszystkich porównywanych krajów (najwygodniej jest przyjmować wielkość graniczną m. = 1). Podstawienie rzeczywistej stopy wydatków wojskowych prowadzi do obliczenia wskaźnika wykorzystania.

Produkt krajowy brutto (D) reprezentuje czynnik ekonomiczny, przy czym jego wielkość podana jest w kategoriach bezwzględnych. Stopa wydatków wojskowych (m.) reprezentuje czynnik militarny i w modelu pełni rolę współczynnika korygującego (współczynnika wskazującego na adekwatność, dostosowanie gospodarki do potrzeb obronnych). Czynnik demograficzny reprezentowany jest przez ludność (L), która jest podstawą tworzenia produktu krajowego brutto oraz sił zbrojnych. Powierzchnia (p) reprezentuje czynnik geograficzny – bywa ona elementem kontrowersyjnym, niemniej jednak trudno podważyć jej rolę nie tylko ekonomiczną, ale i militarną (w wymiarze taktycznym i strategicznym).

Różnica między wskaźnikiem globalnym a wskaźnikiem globalnym a wskaźnikiem wykorzystania daje wskaźnik potencjalnych rezerw. Można więc zapisać:

$$P_g = P_w + P_r.$$

Wskaźnikami pochodnymi wynikającymi z modelu jest **gotowość (q)** oraz **mobilność (f):**

$$q = Pw / Pg;$$

$$f = W^{0,66} / (L^{0,22} * p^{0,22}).$$

Pierwszy świadczy raczej o determinacji władzy i społeczeństwa w kwestii zbrojeń, natomiast drugi obrazuje „nasycenie" ekonomiczno militarne czynnika przestrzen-

no-demograficznego i zależy nie tylko od wysokości wydatków wojskowych, ale również od poziomu gospodarczego i gęstości zaludnienia. Gotowość ma bardziej charakter ilościowy, mobilność – bardziej jakościowy.

W szacunkach i pomiarach terminów mocy i potencjału obronnego państw występuje wiele błędów pomiarowych. Jest rzeczą oczywistą, że błędy w szacunkach, kalkulacjach i pomiarach są nie do uniknięcia. Ośrodki decyzyjne (państwowe) w zakresie bezpieczeństwa narodowego reagują raczej na rzędy wielkości, a nie na marginalne przesunięcia w oszacowanych wskaźnikach potencjału obronnego państw.

2.3. Prezentacja wyników wybranych kwantytatywnych ujęć potencjału obronnego

Wydatki na obronę narodową Polski i państw otoczenia (ceny bieżące) mld. dol. USA

Lp.	Państwo	1990	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	USA	272,1	284,1	276,8	281,1	273,4	281,4	285,3
2	FRANCJA	41,8	44,8	47,1	47,5	46,1	41,8	43,8
3	W.BRYTANIA	37,0	37,5	36,4	34,3	34,6	35,7	36,7
4	NIEMCY	36,0	33,9	37,8	41,0	40,0	33,8	32,1
5	WŁOCHY	22,9	25,6	23,1	19,5	23,0	21,7	21,9
6	ROSJA	35,8	30,0	27,3	20,2	17,2	19,8	21,3
7	TURCJA	5,7	3,2	5,7	6,6	7,4	8,3	8,1.4
8	HISZPANIA	8,4	6,3	8,5	8,4	8,7	7,4	7,8
9	POLSKA	1,4	1,9	2,3	2,9	3,1	3,4	3,3
10	GRECJA	3,7	3,4	4,2	5,0	5,5	5,4	4,9
11	PORTUGALIA	1,8	2,2	2,3	2,6	2,5	2,5	2,4
12	CZECHY	0,9	0,9	1,0	1,5	1,6	1,6	1,5
13	UKRAINA	7,9	6,3	4,9	2,9	2,6	1,3	1,4
14	WĘGRY	0,9	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7
15	BIAŁORUŚ	1,1	1,0	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6
16	SŁOWACJA	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4
17	LITWA	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
18	ŁOTWA	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

Źródło: opracowanie własne

Potencjał obronny obliczony według modelu Cline'a

$$Pp = (C + E + M) * (S + W)$$

gdzie:

Pp - *perceived power* (potencjał ogólny) państwa w stosunkach międzynarodowych;

C – *critical mass* (masa krytyczna) czyli ludność i terytorium łącznie danego państwa;

E – *economik capability* (możliwości gospodarki) potencjał gospodarczy;

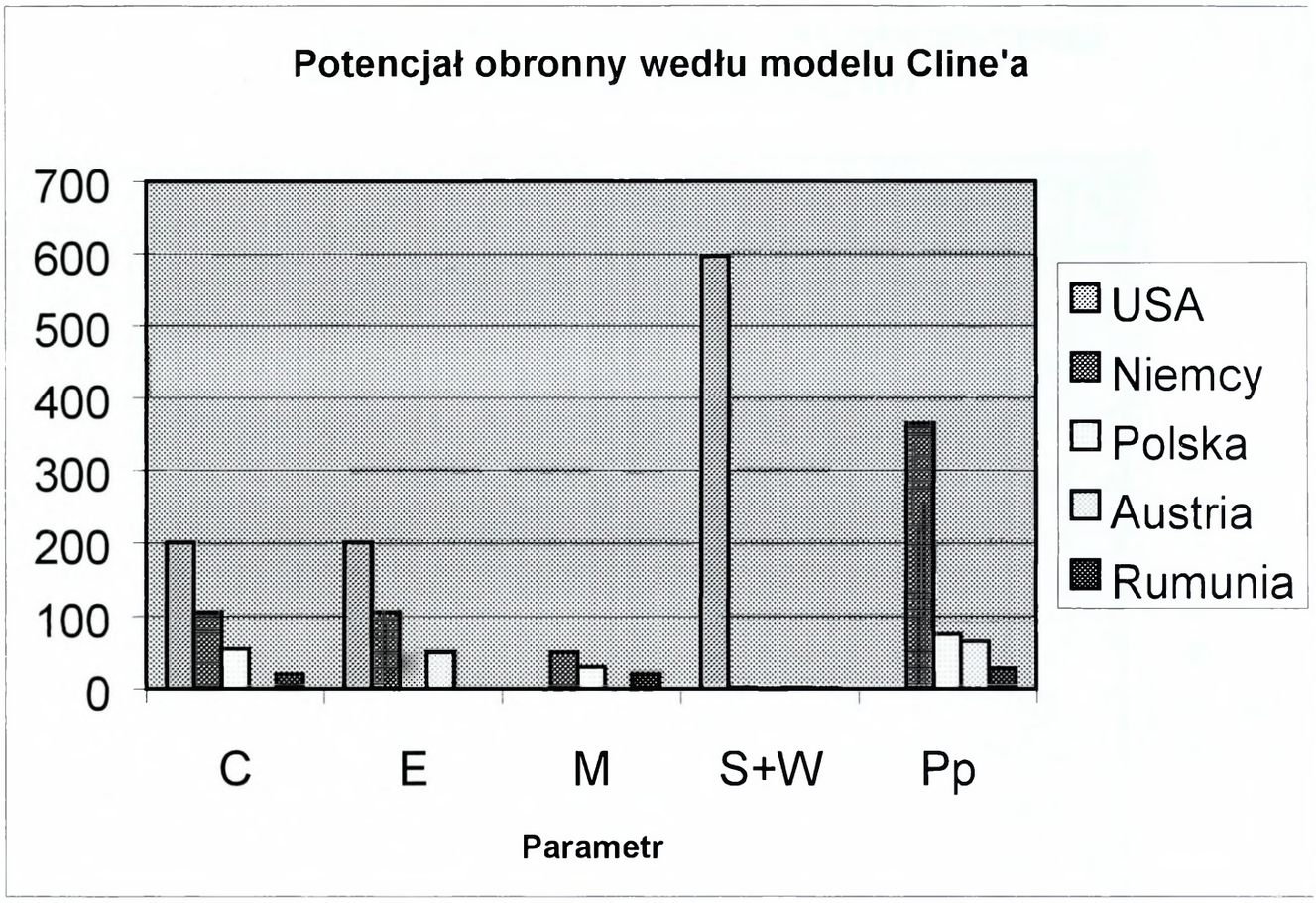
M – *militqry capability* (możliwości militarne) potencjał militarny;

S – *strategic purpose* (strategia państwa;

W – wola urzeczywistnienia strategii państwa.

Państwo	C	E	M	S+W	P_p
USA	100+100	100+100	100*0,5+0,6		596
Niemcy	30+75	25+50+30	50	*0,6+0,8	364
Polska	15+40	0+0+0	30	*0,4+0,6	75
Austria	0+0	0+20+30	0	*0,7+0,6	65
Rumunia	0+20	0+0+0	20	*0,3+0,4	28

Źródło: opracowano na podstawie L. Moczulski Geopolityka.



Wskaźnik globalny

Model pomiaru potencjału gospodarczo-obronnego metodą M. Sułka pozwala liczyć w sposób syntetyczny wskaźnik globalny Pg (gdy m = 1).

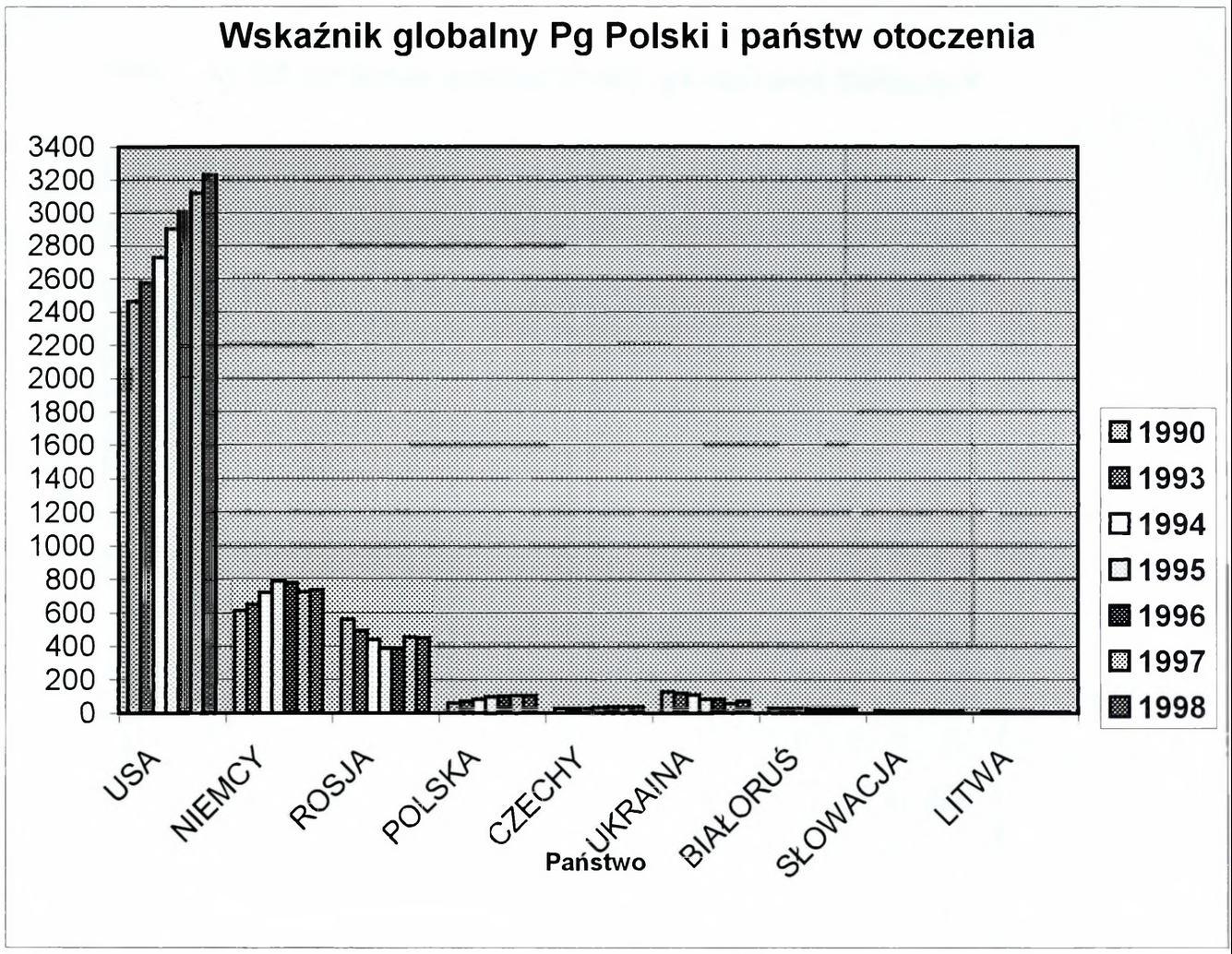
Zestawienie i porównanie wskaźników Pg dla poszczególnych państw w szerokim horyzoncie czasowym daje możliwość głębokiej i wszechstronnej analizy empirycznej poszczególnych badanych wartości.

Wskaźniki globalne Pg potencjału gospodarczo-obronnego Polski i państw otoczenia przedstawiono w tabeli.

Wskaźniki globalne Pg Polski i państw otoczenia

Lp.	PAŃSTWO	1990	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	USA	2461,6	2576,8	2730,2	2901,0	3004,1	3117,6	3228,4
2	NIEMCY	607,9	645,6	717,4	785,7	773,6	721,7	731,7
3	FRANCJA	483,2	516,0	543,7	569,9	570,9	537,0	547,8
4	W.BRYTANIA	387,7	405,3	412,9	421,7	434,0	464,5	452,8
5	WŁOCHY	426,7	458,8	442,2	425,1	456,8	440,0	441,5
6	HISZPANIA	247,5	273,2	271,0	269,9	276,8	260,2	262,6
7	ROSJA	555,5	490,0	436,7	383,7	383,8	450,3	448,2
8	TURCJA	129,9	108,3	126,8	143,1	149,8	156,5	151,2
9	POLSKA	58,7	70,3	82,0	96,3	100,6	104,7	102,8
10	PORTUGALIA	42,4	48,2	51,1	53,9	55,1	53,3	54,2
11	CZECHY	25,2	25,0	25,6	34,3	36,7	35,5	34,7
12	UKRAINA	126,1	118,9	106,5	82,0	82,2	55,6	69,3
13	WĘGRY	28,2	27,9	28,6	29,1	31,7	31,9	30,4
14	BIAŁORUŚ	29,5	29,4	27,8	20,8	21,2	20,4	20,6
15	SŁOWACJA	12,5	11,8	11,0	14,1	14,2	14,9	14,8
16	LITWA	11,1	10,5	7,0	7,5	7,5	8,0	7,9
17	ŁOTWA	9,7	8,9	9,8	7,4	6,2	6,9	7,1

Źródło: obliczenia własne

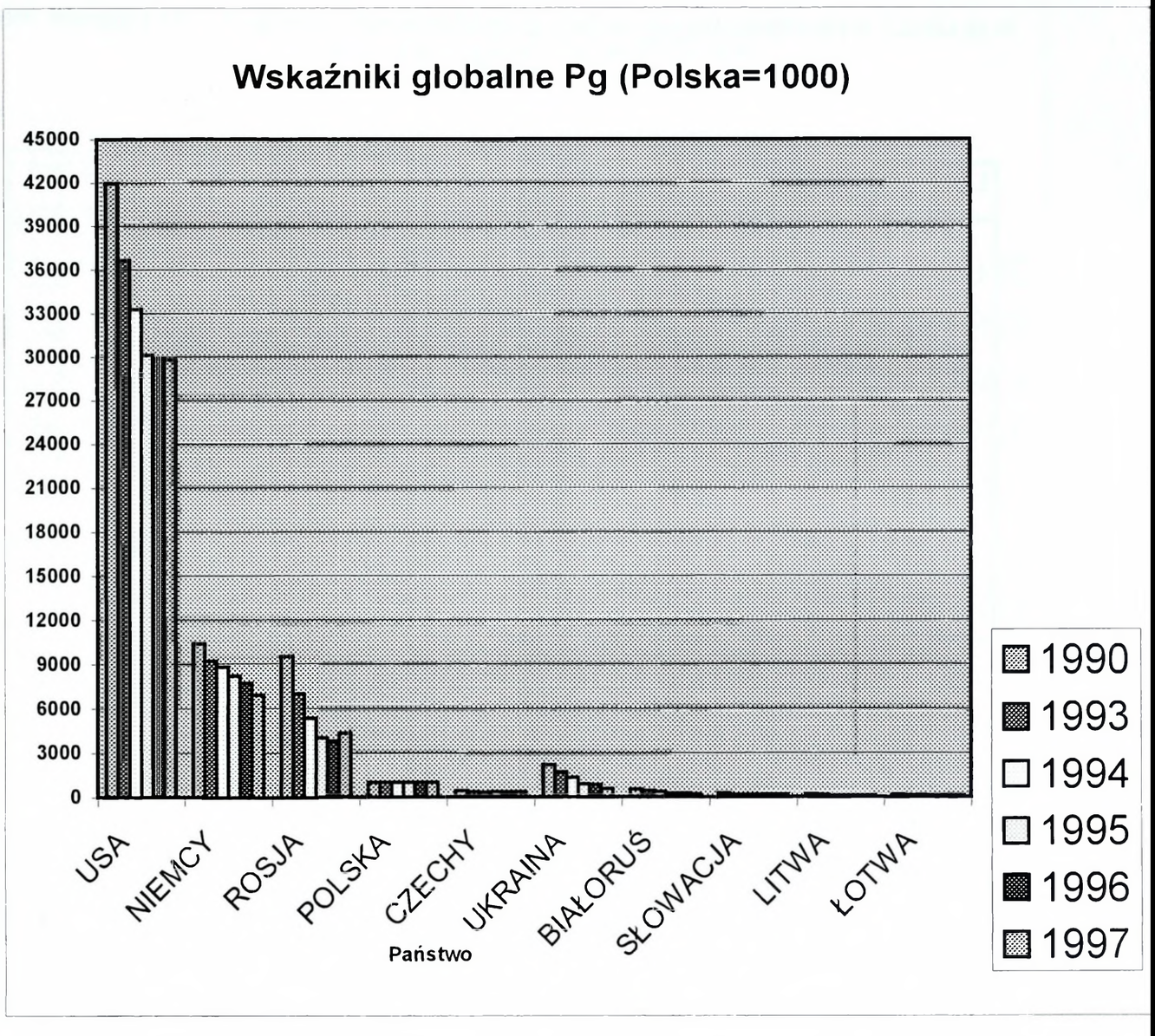


W całym badanym okresie globalny wskaźnik potencjału gospodarczo-obronnego Polski (P_g) wykazywał tendencję spadkową. Wskaźniki globalnego potencjału gospodarczo-obronnego Polski i państw otoczenia i jego wartość w latach 1990 - 1998 była porównywalna ze wskaźnikami osiągniętymi przez takie państwa jak: Belgia, Holandia i Turcja.

Wskaźniki globalne Pg Polski i państw otoczenia (Polska = 1000)

Lp.	PAŃSTWO	1990	1993	1994	1995	1996	1997
1	USA	41963	36637	33301	30111	29868	29785
2	NIEMCY	10364	9180	8750	8155	7692	6895
3	FRANCJA	8237	7336	6632	5916	5676	5130
4	W.BRYTANIA	6610	5762	5036	4377	4315	4437
5	ROSJA	9470	6967	5326	3983	3816	4303
6	WŁOCHY	7274	6524	5394	4413	4542	4204
7	HISZPANIA	4219	3884	3305	2802	2752	2486
8	TURCJA	2214	1540	1547	1485	1489	1495
9	HOLANDIA	1820	1645	1519	1386	1326	1212
10	SZWECJIA	1827	1530	1315	1120	1075	1026
11	POLSKA	1000	1000	1000	1000	1000	1000
12	CZECHY	429	356	312	356	365	339
13	UKRAINA	2150	1691	1299	852	817	532
14	WĘGRY	480	397	349	302	315	304
15	BIAŁORUŚ	503	418	339	216	211	195
16	SŁOWACJA	212	167	134	146	141	143
17	LITWA	189	149	86	78	75	76
18	ŁOTWA	165	127	119	77	62	66

Źródło: obliczenia własne



Wskaźnik wykorzystania Pw

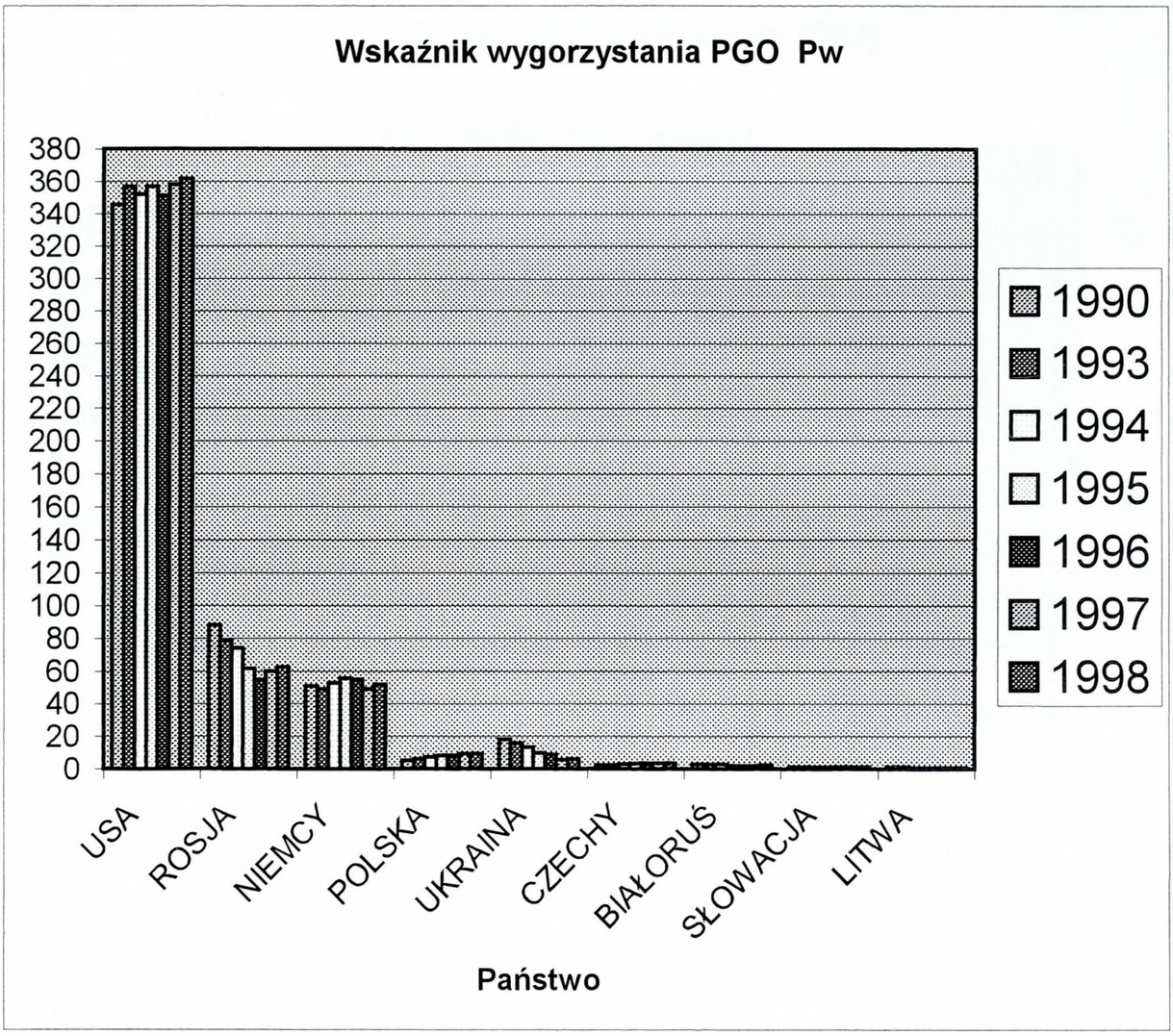
Wskaźnik wykorzystania Pw informuje nas w sposób syntetyczny o ogólnych możliwościach wykorzystania potencjału gospodarczo – obronnego badanych państw na cele obronne.

Wskaźniki wykorzystania Pw potencjału gospodarczo – obronnego Polski i państw otoczenia w poniższej tabeli

Wskaźniki wykorzystania potencjału gospodarczo-obronnego Polski i państw otoczenia

Lp.	PAŃSTWO	1990	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	USA	345,6	356,9	352,0	356,9	351,2	358,1	361,8
2	ROSJA	88,0	78,5	73,7	61,5	54,6	59,8	62,3
3	FRANCJA	54,5	57,1	59,0	59,4	58,2	54,8	58,3
4	NIEMCY	50,7	48,9	52,5	55,4	54,5	48,9	51,8
5	W.BRYTANIA	46,1	46,5	45,7	43,9	44,3	45,3	46,1
6	WŁOCHY	34,5	37,1	34,6	31,1	34,6	33,3	34,7
7	TURCJA	15,5	10,8	15,9	17,3	18,7	20,2	19,3
8	HISZPANIA	17,4	14,5	17,6	17,5	18,0	16,2	17,5
9	POLSKA	5,2	6,3	7,3	8,3	8,7	9,2	9,2
10	SZWECJA	10,7	10,5	10,5	9,5	9,3	9,0	9,2
11	UKRAINA	18,2	15,8	13,3	9,6	8,9	5,7	6,3
12	CZECHY	2,6	2,6	2,8	3,5	3,7	3,7	3,8
13	WĘGRY	2,6	2,3	2,2	2,1	2,2	2,2	2,2
14	BIAŁORUŚ	3,1	3,0	3,0	2,3	2,3	2,3	2,4
15	SŁOWACJA	1,3	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4
16	LITWA	1,3	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
17	ŁOTWA	0,8	0,7	0,7	0,5	0,4	0,5	

Źródło: obliczenia własne



Przedstawione wyniki pomiaru potencjału wykorzystania (Pw) pozwalają scharakteryzować ogólne możliwości obronne państwa.

Największą masę potencjału w kategorii Pw posiadają następujące państwa: USA, Francja, Niemcy, Rosja, Wlk. Brytania.

Największy wzrost wskaźnika wykorzystania Pw we wszystkich badanych państwach stwierdzono w takich państwach jak: Turcja 123%, Włochy 85%, Francja 64%.

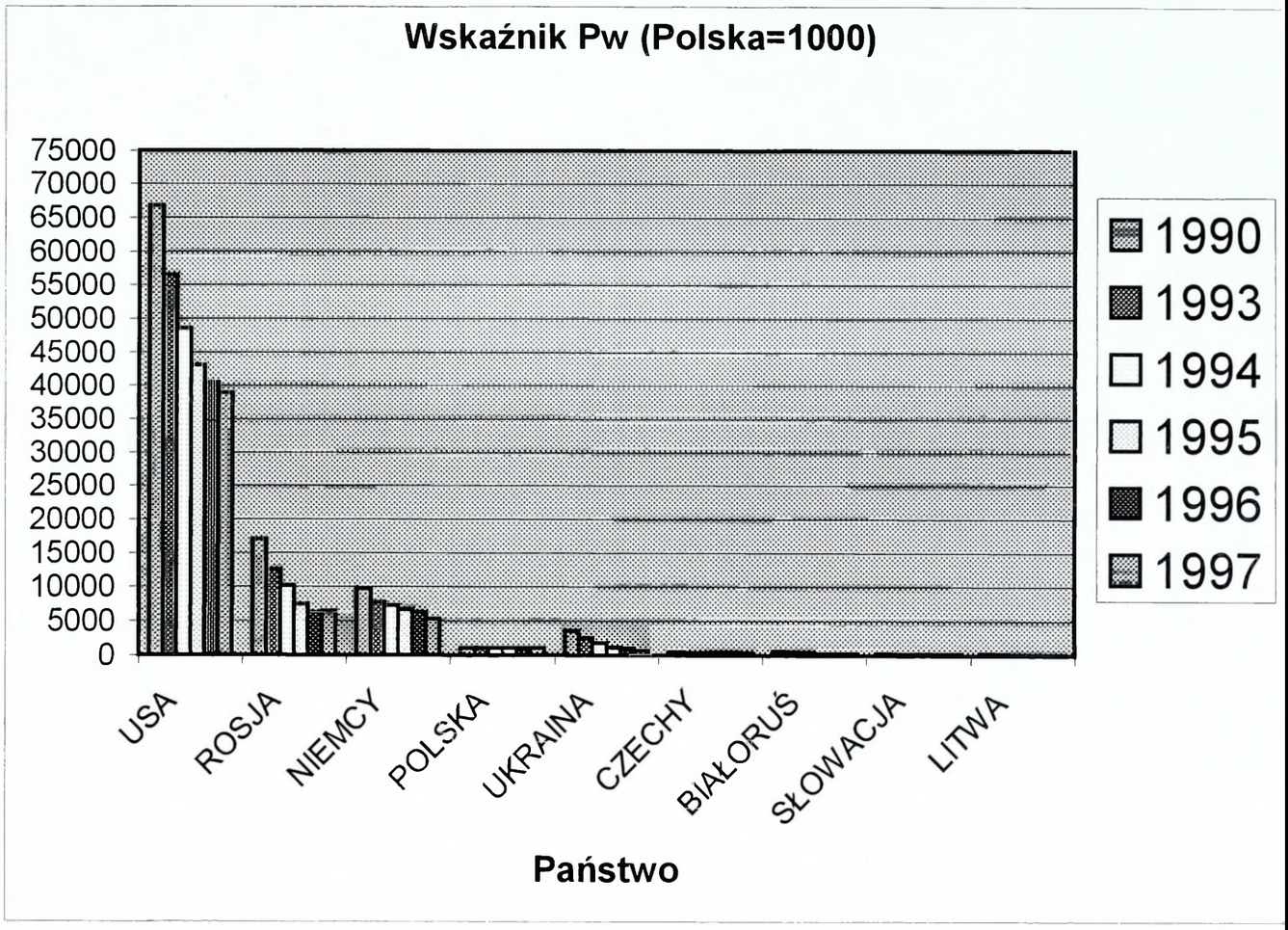
Najniższy wzrost wskaźnika wykorzystania Pw latach stwierdzono w takich państwach jak: Polska spadek o 28,6% i Bułgaria spadek o 21%.

W latach 1990-1997 wystąpiła ogólna tendencja wzrostowa wskaźnika wykorzystania Pw za wyjątkiem takich państw jak: Ukraina spadek o 125%, Rosja spadek o 62%, Węgry spadek o 13%, W. Brytania spadek o 8%, Hiszpania spadek o 2%.

Wskaźnik Pw Polska =1000

Lp.	PAŃSTWO	1990	1993	1994	1995	1996	1997
1	USA	66782	56463	48545	43048	40473	38888
2	ROSJA	17008	12417	10161	7414	6291	6496
3	FRANCJA	10531	9033	8138	7164	6710	5949
4	NIEMCY	9793	7739	7236	6679	6282	5310
5	W.BRYTANIA	8915	7364	6300	5300	5101	4919
6	WŁOCHY	6669	5870	4777	3751	3988	3621
7	TURCJA	2986	1710	2187	2089	2157	2191
8	HISZPANIA	3371	2294	2427	2115	2072	1755
9	POLSKA	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	UKRAINA	3512	2499	1836	1157	1028	616
11	CZECHY	507	404	391	422	431	402
12	WĘGRY	506	368	309	257	258	244
13	BIAŁORUŚ	594	475	416	283	260	255
14	SŁOWACJA	251	214	164	173	159	154
15	LITWA	255	198	115	92	97	92
16	ŁOTWA	161	110	102	66	51	51

Źródło: obliczenia własne



Wskaźnik potencjalnych rezerw

Wskaźnik potencjalnych rezerw P_r charakteryzuje ogólne możliwości potencjału gospodarczo – obronnego. Wskaźnik ten informuje nas w sposób syntetyczny o ogólnych możliwościach rezerw obronnych badanych państw.

Wskaźnik rezerw P_r jest różnicą między wskaźnikiem globalnych P_g i wskaźnikiem wykorzystania P_w :

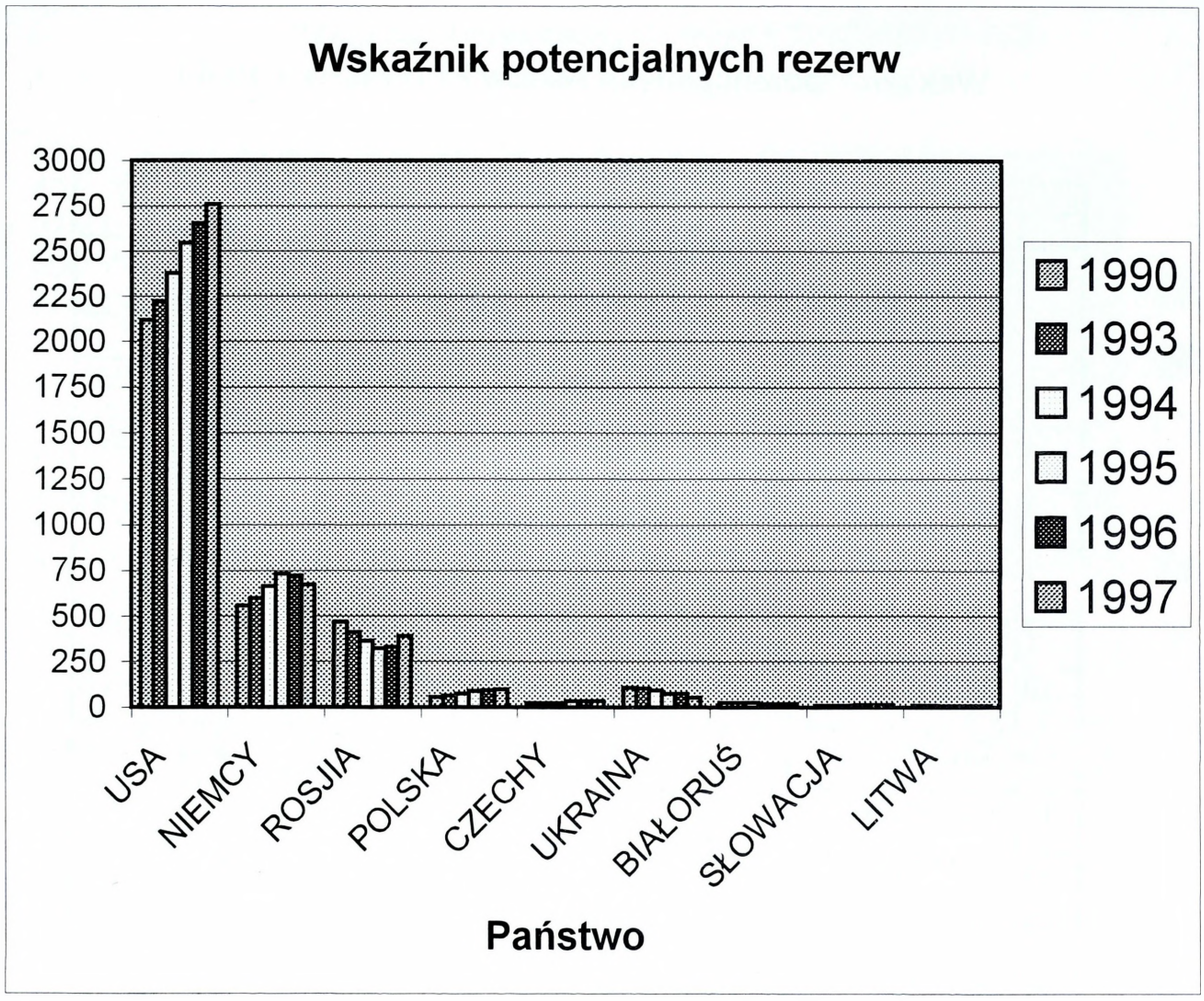
$$P_r = P_g - P_w$$

W tabeli przedstawiono wyniki pomiarów potencjału gospodarczo – obronnego wybranych państw.

Wskaźnik potencjalnych rezerw (Pr) PGO Polski i państw otoczenia

Lp.	Państwo	1990	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	USA	2116,0	2219,9	2378,2	2544,1	2652,8	2759,5	2761,4
2	NIEMCY	557,3	596,7	664,9	730,3	719,1	672,8	673,2
3	FRANCJA	428,7	458,9	484,7	510,6	512,7	482,2	491,5
4	W.BRYTANIA	341,6	358,7	367,2	377,7	389,8	419,2	420,1
5	WŁOCHY	392,2	421,7	407,6	394,0	422,2	406,7	408,2
6	ROSJIA	467,5	411,5	363,0	322,3	329,2	390,5	391,5
7	HISZPANIA	230,1	258,7	253,4	252,4	258,8	244,1	246,9
8	TURCJA	114,4	97,5	111,0	125,8	131,1	136,3	137,3
9	POLSKA	53,5	64,0	74,7	88,1	91,9	95,5	96,8
10	PORTUGALIA	38,4	43,7	46,4	48,8	50,1	48,4	49,3
11	CZECHY	22,5	22,5	22,8	30,8	33,0	31,8	32,1
12	UKRAINA	108,0	103,2	93,2	72,4	73,3	50,0	63,4
13	WĘGRY	25,5	25,6	26,4	26,9	29,5	29,6	29,8
14	BIAŁORUŚ	26,4	26,4	24,8	18,5	19,0	18,1	18,5
15	SŁOWACJA	11,2	10,4	9,8	12,7	12,8	13,5	13,3
16	LITWA	9,8	9,3	6,2	6,7	6,7	7,1	6,8
17	ŁOTWA	8,9	8,2	9,1	6,9	5,8	6,4	6.2

Źródło: obliczenia własne



Największą masę potencjału w kategorii Pr posiadają następujące państwa w kolejności: USA, Niemcy , Francja, Włochy , W. Brytania , Kanada, Rosja.

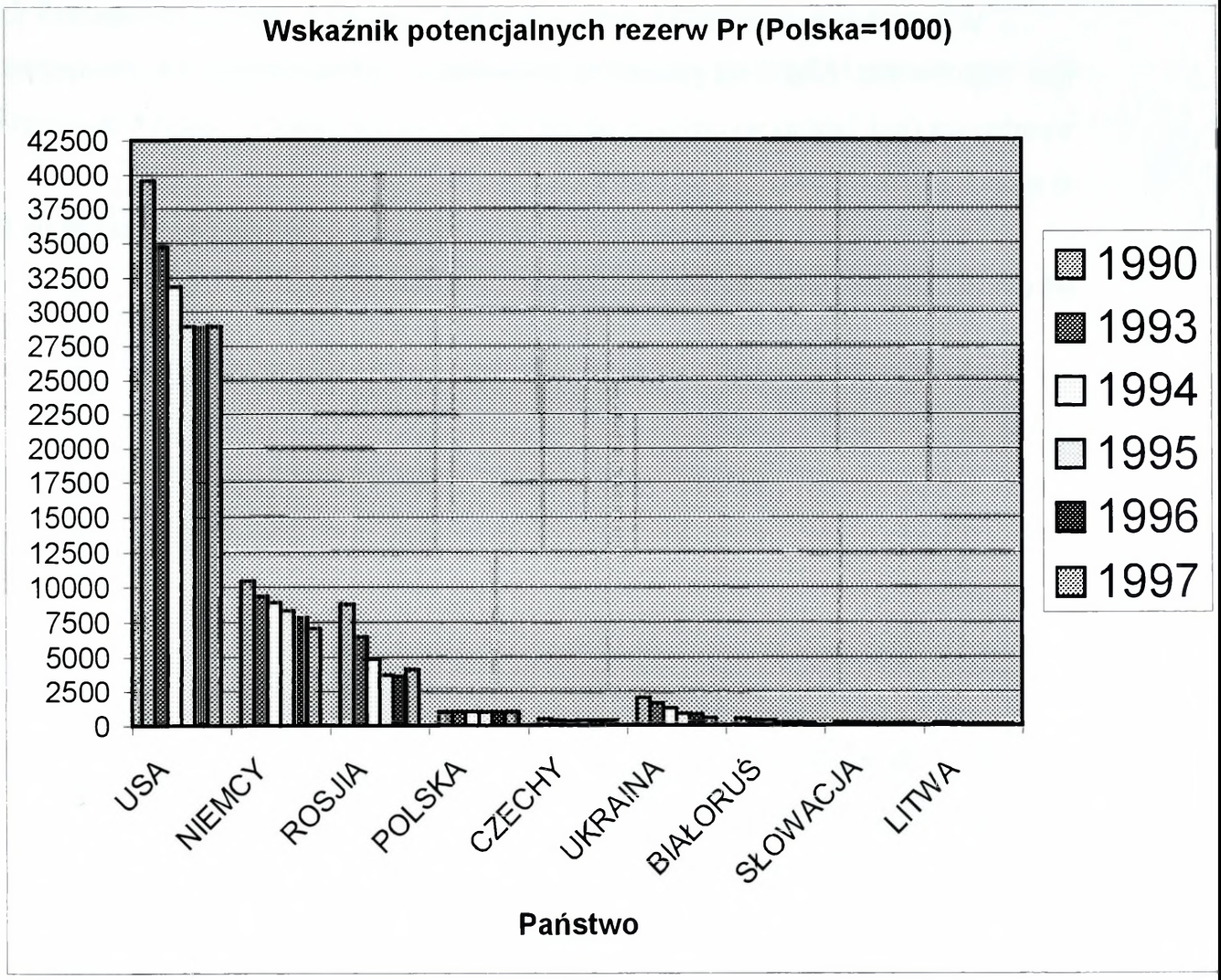
Najmniejszy wzrost wskaźnika potencjalnych rezerw (Pr) potencjału gospodarczo-obronnego latach 1990 -1990 nastąpił w takich krajach jak: Słowacja 14%, Czechy 9%, Polska 3,5%.

W latach 1990-1998 wystąpiła ogólna tendencja wzrostu wskaźników potencjalnych rezerw (Pr) potencjału gospodarczo-obronnego.

Wskaźnik potencjalnych rezerw Pr (Polska = 1000)

Lp.	KRAJE	1990	1993	1994	1995	1996	1997
1	USA	39561	34679	31821	28893	28866	28907
2	NIEMCY	10419	9322	8897	8294	7825	7048
3	FRANCJA	8016	7169	6486	5798	5579	5052
4	W.BRYTANIA	6387	5604	4913	4290	4241	4391
5	WŁOCHY	7333	6588	5454	4475	4594	4260
6	ROSJIA	8741	6429	4857	3660	3583	4091
7	HISZPANIA	4302	4041	3390	2866	2816	2557
8	TURCJA	2140	1524	1485	1428	1426	1428
9	POLSKA	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	PORTUGALIA	717	682	620	554	545	507
11	CZECHY	421	351	305	349	359	333
12	UKRAINA	2018	1611	1247	823	797	523
13	WĘGRY	477	400	353	306	321	310
14	BIAŁORUŚ	494	413	332	210	206	189
15	SŁOWACJA	209	163	131	144	139	142
16	LITWA	182	145	83	77	72	75
17	ŁOTWA	166	128	121	78	63	67

Źródło: obliczenia własne



Gotowość

Gotowość potencjału gospodarczo-obronnego państwa jest wielkością bezwymiarową wyrażająca udział elementów już uruchomionych , gotowych w potencjale globalnym[26]. Gotowość potencjału wyrażają takie wskaźniki jak: udział wydatków obronnych, wojskowych w PKB, stosunek liczebności sił zbrojnych do populacji generalnej, udział produkcji o przeznaczeniu wojskowym w ogólnej produkcji przemysłowej itp.

---

[26] M. Sułek, Gospodarcze podstawy polityki i strategii bezpieczeństwa „QUASIMODO" AON Warszawa 1997r, s. 91.

Wskaźnik gotowości PGO państw można szacować za pomocą poniższych formuł cząstkowych. Gotowość potencjału gospodarczo - obronnego jest wielkością bezwymiarową (jest liczbą) wyrażającą udział elementów już funkcjonujących (gotowych) w gospodarce narodowej.

Pierwszą z nich jest formuła wyrażająca zależność wskaźnika wykorzystania P_w od wskaźnika globalnego Pg wg poniższego wzoru:

$$q' = \frac{Pw}{Pg} = \frac{Ww^{0,651} * L^{0,217} * p^{0,109}}{D^{0,651} * L^{0,217} * p^{0,109}} = \frac{Ww^{0,651}}{D^{0,651}}$$

gdzie:

P_w - wskaźnik wykorzystania potencjału gospodarczo – obronnego;

P_g - wskaźnik globalny;

W_w - to wielkość wydatków na cele obronne;

D - to produkt krajowy brutto;

L - liczba ludności badanego państwa;

P - powierzchnia badanego państwa.

Gotowość cząstkowa wyrażona za pomocą powyższego wzoru jest wprost proporcjonalna do wskaźnika wykorzystania Pw i odwrotnie proporcjonalna do wskaźnika globalnego P_g .

Charakterystykę ogólną gotowości potencjału gospodarczo – obronnego można przedstawić według poniższego wzoru :

$$q = \frac{W_w^{0,651}}{D^{0,651}}$$

gdzie:

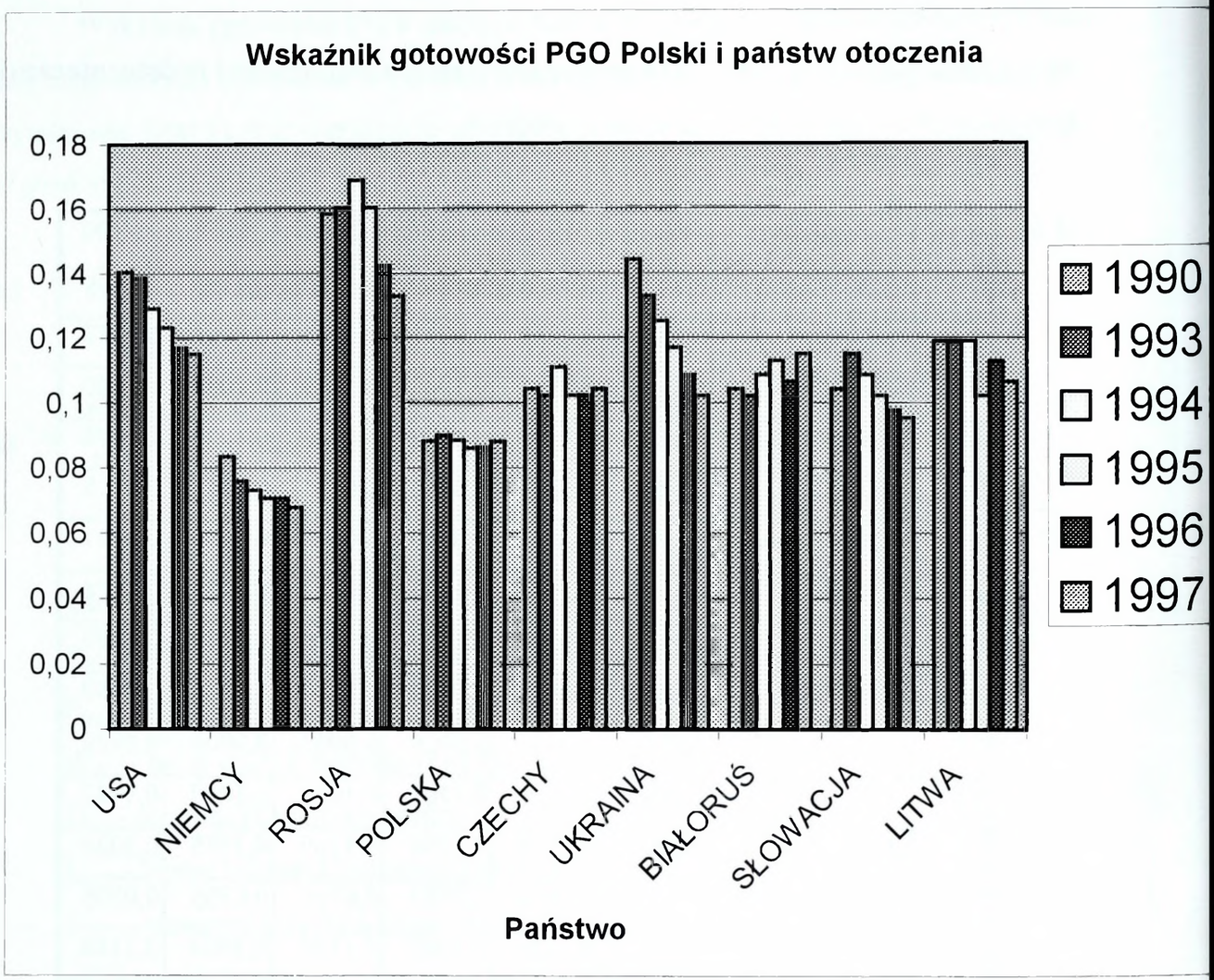
W_w - to wielkość wydatków na cele obronne;

D - to produkt krajowy brutto .

Wskaźniki gotowości potencjału gospodarczo-obronnego Polski i państw otoczenia (q)

Lp.	Państwo	1990	1993	1994	1995	1996	1997
1	USA	0,1404	0,1385	0,1289	0,1230	0,1169	0,1149
2	NIEMCY	0,0834	0,0758	0,0731	0,0705	0,0705	0,0677
3	FRANCJA	0,1128	0,1107	0,1085	0,1042	0,1020	0,1020
4	W.BRYTANIA	0,1190	0,1149	0,1107	0,1042	0,1020	0,0975
5	WŁOCHY	0,0809	0,0809	0,0783	0,0731	0,0758	0,0758
6	HISZPANIA	0,0705	0,0531	0,0650	0,0650	0,0650	0,0621
7	ROSJA	0,1584	0,1602	0,1687	0,1602	0,1422	0,1328
8	TURCJA	0,1190	0,0998	0,1250	0,1210	0,1250	0,1289
9	POLSKA	0,0882	0,0899	0,0884	0,0860	0,0863	0,0880
10	PORTUGALIA	0,0952	0,0952	0,0929	0,0952	0,0906	0,0929
11	CZECHY	0,1042	0,1020	0,1107	0,1020	0,1020	0,1042
12	UKRAINA	0,1441	0,1328	0,1250	0,1169	0,1085	0,1020
13	WĘGRY	0,0929	0,0834	0,0783	0,0731	0,0705	0,0705
14	BIAŁORUŚ	0,1042	0,1020	0,1085	0,1128	0,1064	0,1149
15	SŁOWACJA	0,1042	0,1149	0,1085	0,1020	0,0975	0,0952
16	LITWA	0,1190	0,1190	0,1190	0,1020	0,1128	0,1064
17	ŁOTWA	0,0858	0,0783	0,0758	0,0731	0,0705	0,0677

Źródło: obliczenia własne.



Mobilności potencjału gospodarczo - obronnego

Mobilność potencjału gospodarczo – obronnego oznacza zdolność do osiągania kolejnych szczebli gotowości w jednostce czasu[27], jest to zdolność do przekształcania potencjału w realną siłę. Wraz rozwojem gospodarczym i militaryzacją państw mobilność rośnie, pole sił „ zagęszcza" się[28].

Charakterystykę ogólną mobilności potencjału gospodarczo – obronnego można ponadto przedstawić wg poniższego wzoru:

---

[27] M. Sułek, Gospodarcze podstawy polityki i strategii bezpieczeństwa „QUASIMODO," AON, Warszawa 1997r, s. 91.

[28] Tamże s. 92.

$$f = \frac{W_w^{0,651}}{L^{0,217} \cdot p^{0,217}}$$

gdzie:

W_w - wielkość wydatków przeznaczana na obronność państwa;

L - liczba ludności państwa (w mln),

p - powierzchnia państwa (w tys. km kw.).

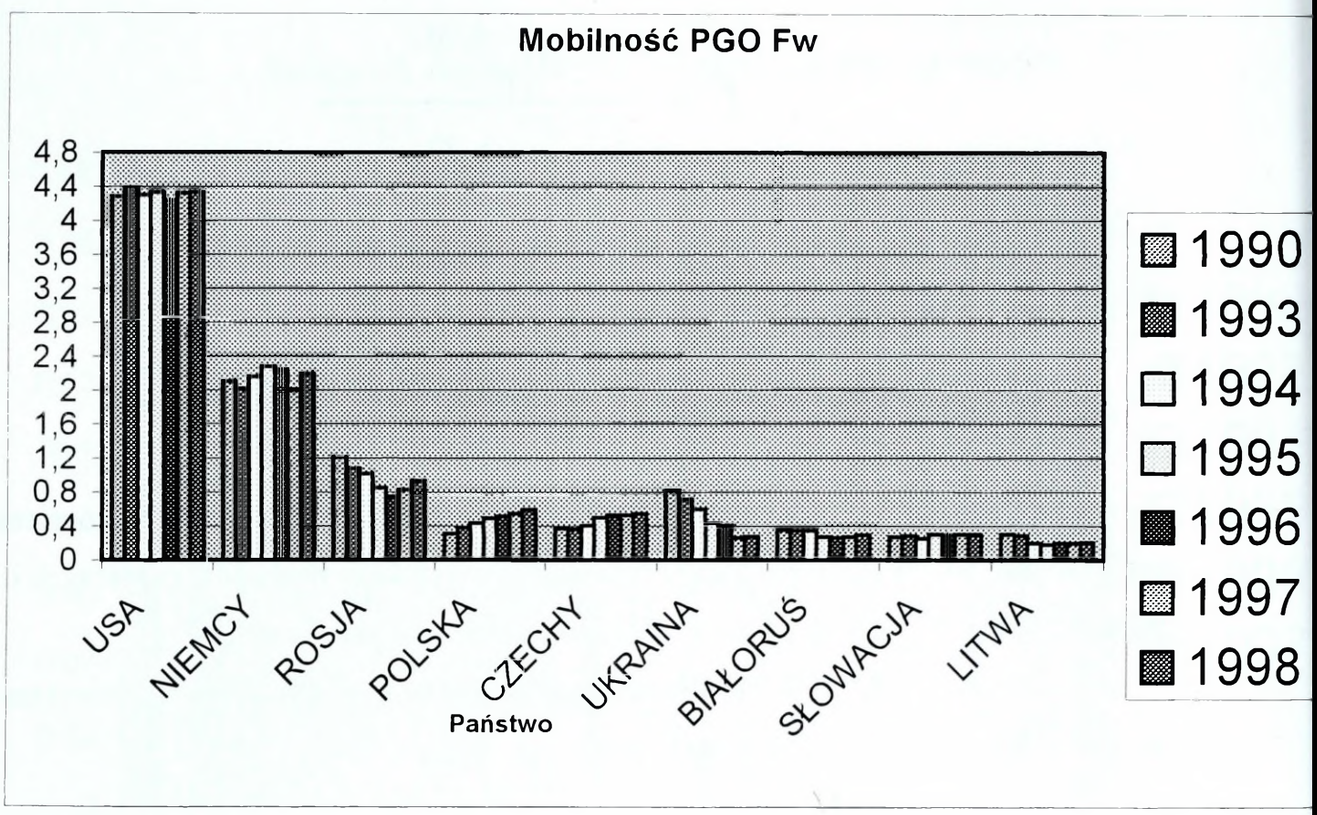
Mobilność PGO państw zależy przede wszystkim od wskaźnika P_w wykorzystania PGO państw jak również mobilność jest zależna od stopy wydatków militarnych i informuje nas o rozwoju gospodarki obronnej w badanym państwie.

Charakterystykę mobilności potencjału gospodarczo – obronnego wg powyższego wzoru przedstawiono w poniższej tabeli

Mobilności f potencjału gospodarczo – obronnego $f=ww^{0,651}/L^{0,217} * p^{0,217}$

Lp.	Państwo	1990	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	USA	4,2815	4,3852	4,2968	4,3261	4,2366	4,3175	4,3245
2	NIEMCY	2,1029	2,0159	2,1588	2,2757	2,2360	2,0053	2,188
3	FRANCJA	2,3712	2,4791	2,5583	2,5727	2,5172	2,3571	2,423
4	W.BRYTANIA	2,3926	2,4107	2,3643	2,2720	2,2792	2,3283	2,2278
5	WŁOCHY	1,7157	1,8448	1,7212	1,5450	1,7197	1,6564	1,7362
6	HISZPANIA	0,9174	0,7610	0,9227	0,9181	0,9403	0,8481	0,9278
7	ROSJA	1,2019	1,0712	1,0074	0,8400	0,7458	0,8170	0,9215
8	TURCJA	0,6277	0,4313	0,6188	0,6743	0,7287	0,7836	0,788
9	POLSKA	0,3040	0,3709	0,4250	0,4853	0,5075	0,5385	0,5843
10	PORTUGALIA	0,5409	0,6340	0,6553	0,7082	0,6917	0,6776	0,7129
11	CZECHY	0,3645	0,3564	0,3954	0,4901	0,5249	0,5210	0,5372
12	UKRAINA	0,8162	0,7089	0,5965	0,4290	0,3975	0,2529	0,2741
13	WĘGRY	0,3482	0,3112	0,2994	0,2877	0,3038	0,3051	0,3512
14	BIAŁORUŚ	0,3508	0,3421	0,3442	0,2677	0,2575	0,2673	0,2854
15	SŁOWACJA	0,2672	0,2782	0,2456	0,2984	0,2841	0,2928	0,2987
16	LITWA	0,2969	0,2816	0,1902	0,1745	0,1929	0,1934	0,1987
17	ŁOTWA	0,2251	0,1891	0,2009	0,1474	0,1167	0,1241	0,1537

Źródło: obliczenia własne.



Aby utrzymać współczynnik mobilności na wysokim poziomie należy utrzymać bazę produkcyjną państwa w nieprzerwanej produkcji obronnej w długim okresie czasu. Wielkość i sposób utrzymania rezerw produkcyjnych bezpośrednio wynika z dysponowanych rezerw produkcyjnych badanego państwa. Przyszły konflikt wg strategów charakteryzować się będzie użyciem bardzo dużego potencjału gospodarczo-obronnego państwa w krótkim okresie czasu (bez zmiany nowej techniki bojowej). Dlatego w przyszłym konflikcie militarnym decydującą rolę odegra najnowocześniejszy sprzęt bojowy obsługiwany przez najlepszych specjalistów cywilnych i wojskowych.

Analizując mobilność badanych państw w 1990 roku stwierdza się, że największy współczynnik mobilności f posiadają takie państwa jak : USA, W. Brytania, Francja, Niemcy. Mobilność USA w 1990 roku jest 2-krotnie większa niż Niemcy , 2,3-krotnie większa niż Włoch, Francji i W. Brytanii.

3. POTENCJAŁ BOJOWY SIŁ ZBROJNYCH

3.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału bojowego sił zbrojnych

Dokonujące się w obecnej dobie częste zmiany w systemach uzbrojenia, ich ciągła modernizacja, a także ewolucja poglądów w dziedzinie ich rzeczywistej skuteczności bojowej oraz możliwości użycia w określonych warunkach, powodują potrzebę precyzyjnego mierzenia możliwości bojowych posiadanych środków walki oraz uwzględniania zmienności walorów bojowych tych środków w zależności od charakteru i warunków prowadzenia działań bojowych.

Warunkiem obiektywnego porównania uzbrojenia lub sprzętu wojskowego jest znajomość jego wartości bojowej (użytkowej). Bez posiadania odpowiedniej metodyki określania wartości bojowej (użytkowej), spełnienie tego warunku jest trudne. Dlatego też
w wielu krajach od lat prowadzone były intensywne prace nad stworzeniem jakościowego miernika wartości bojowej. Z różnych względów wyniki prac i analiz ekspertów wojskowych z tej dziedziny przez długi okres czasu nie były publikowane.

Możliwości bojowe wojska zależą od wielu czynników, wśród których podstawowe znaczenie posiada wyposażenie w uzbrojenie i sprzęt techniczno-wojskowy, przy czym w wyniku osiągnięć techniki rola wskaźników jakościowych niewspółmiernie wzrosła.
Nie ulega wątpliwości, że koncepcje rozwoju uzbrojenia i sprzętu wojskowego poszczególnych rodzajów sił zbrojnych wynikają z jednej strony z rozwoju sił potencjalnego przeciwnika, z drugiej zaś są w znacznym stopniu uwarunkowane możliwościami technicznymi i ekonomicznymi.

Analiza porównawcza środków walki i wartości współczynników jakości uzyskanych na jej podstawie, jest punktem wyjścia do głębszych analiz dotyczących potencjału bojowego zgrupowań wojsk.

Na przestrzeni ubiegłych wieków, z uwagi na używanie stosunkowo prostych środków walki, porównania wartości bojowej poszczególnych rodzajów uzbrojenia i sprzętu wojskowego nie sprawiały większych kłopotów. W miarę upływu czasu i rozwoju technicznych środków prowadzenia wojen zagadnienie to stawało się coraz bardziej skomplikowane.

Istnieje, zatem ciągła potrzeba porównywania sprzętu własnego ze sprzętem sił zbrojnych innych państw (w tym potencjalnych przeciwników) zarówno z operacyjno-taktycznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia oraz wyciągania wniosków z tych porównań dla podejmowania odpowiednich przedsięwzięć organizacyjno-technicznych, zapewniających własnym siłom zbrojnym możliwie korzystną pozycję tak w okresie pokoju, jak i podczas ewentualnego konfliktu zbrojnego.

Trwający nieustannie rozwój nauki i techniki spowodował, że współczesne uzbrojenie i sprzęt wojskowy są coraz bardziej skomplikowane, gwałtownie rosną również koszty jego opracowania, produkcji i eksploatacji. Tym samym znacznie utrudnione zostały decyzje dotyczące jego wyboru. W konsekwencji równie gwałtownie wzrasta zapotrzebowanie na rozwiązywanie podstawowych problemów będących elementami wspomagania procesu podejmowania decyzji, a więc dokonywania racjonalnego wyboru systemu technicznego niezbędnego do realizacji wcześniej założonych celów. W tych procesach istotne znaczenie mają:

- wybór metody analizy i ocen funkcjonowania zarówno elementów, jak i systemów technicznych;
- wybór obiektywnych kryteriów ocen.

O wyborze metody (techniki) decydują przede wszystkim:

- cechy badanego przedmiotu,
- cele badań,
- punkt widzenia przyjmowany w procesie analizy.

3.2. Kwantytatywne ujęcie potencjału bojowego sił zbrojnych

3.2.1. Uproszczona metoda porównywania wartości bojowej (użytkowej) uzbrojenia i sprzętu wojskowego[29]

Metoda ta pochodzi z drugiej połowy lat 70-tych. Jest to metoda, parametryczno-punktowa, która oprócz zmian podstawowych parametrów wymiernych, uwzględnia również cechy niewymierne, mające istotny wpływ na zmiany wartości bojowej uzbrojenia i sprzętu.

W metodzie tej do sumy skorygowanych wskaźników dynamiki zmian parametrów są dodawane punkty za poprawę cech niewymiernych, wg ogólnego wzoru:

$$W = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{p_i}{p_{0_i}} q_i \right) + S$$

gdzie:

W - skwantyfikowany wskaźnik dynamiki zmian wartości bojowej wzoru uzbrojenia i badanego sprzętu;

p - wymierny parametr badanego sprzętu;

p_0 - wymierny parametr sprzętu bazowego (wzorca);

q - współczynnik wagi dla skorygowania dynamiki zmian poszczególnych parametrów;

i - kolejne parametry i współczynniki wagi;

S - suma punktów za cechy niewymierne.

Zasadnicza różnica merytoryczna omawianej metody w stosunku do innych metod polega na tym, że do analizy rachunkowej zmian parametrów wymiernych nie wprowadza się wskaźników dynamiki zmian, lecz wskaźniki przyrostu poszczególnych parametrów. Cechy niewymierne ocenia się metodą punktową wg określonego klucza.

Przy założeniu, że przyrosty poszczególnych parametrów wymiernych powodują proporcjonalny przyrost wartości bojowej porównywanego uzbrojenia i sprzętu technicznego, całkowity przyrost tej wartości (ΔP) równałby się sumie algebraicznej przyrostów poszczególnych parametrów wymiernych (Δp), co można wyrazić wzorem:

$$\Delta P = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \ldots + \Delta p_n = \left(\frac{p_1}{p_{0_1}} - 1 \right) + \left(\frac{p_2}{p_{0_2}} - 1 \right) + \ldots + \left(\frac{p_n}{p_{0_n}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^{n} \Delta p_i$$

lub:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{p_i}{p_{0_i}} - 1 \right)$$

Po uwzględnieniu punktów za cechy niewymierne (ΔW), całkowity przyrost efektywności bojowej (ΔE_b) można wyrazić wzorem:

$$\Delta E_b = \Delta P + \Delta W = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{p_i}{p_{0_i}} - 1 \right) + \Delta W$$

---

[29] *E. Czarkowski, Uproszczona metoda porównywania wartości bojowej (użytkowej) uzbrojenia, Wojskowy Przegląd Techniczny nr 1/1977.*

W rzeczywistości jednak nie wszystkie parametry w jednakowym stopniu wpływają na finalną wartość bojową uzbrojenia i sprzętu technicznego. Przy rozpatrywaniu porównywalnych rodzajów uzbrojenia i sprzętu technicznego (szczególnie bardziej skomplikowanych, o dużej liczbie parametrów) należy wprowadzić system wag dla poszczególnych parametrów wymiernych, a także ocenić wpływ parametrów niewymiernych na końcowy wynik wartości bojowej badanego uzbrojenia.

Wprowadzenie tzw. współczynnika wagi parametru q jest konieczne w celu odpowiedniego zróżnicowania wpływu zmian poszczególnych parametrów wymiernych na końcowy wynik wartości bojowej badanego wzoru uzbrojenia. Wartość współczynnika wagi parametru q mieści się w granicach:

$$0{,}01 \leq q \leq 1{,}00$$

przy założeniu, że suma wag jest równa jedności:

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = 1$$

Zależnie od rangi parametrów należy przyjąć następujące wartości q:

- dla podstawowego parametru (grupy parametrów) q = 0,30÷0,80;
- dla pozostałych parametrów (grup parametrów) q = 0,01÷0,30

Cechy niewymierne z reguły w mniejszym stopniu wpływają bezpośrednio na ogólną wartość bojową uzbrojenia (sprzętu), dlatego też należy odpowiednio ograniczyć liczbę dopisywanych punktów, różnicując ich maksymalną, dysponowaną liczbę (zwaną dalej dysponowaną pulą punktów „dpp" za cechy niewymierne) zależnie od rodzaju sprzętu.

W ten sposób, w przypadku szczególnie skomplikowanych rodzajów uzbrojenia (nosicieli broni) - np. czołg, samolot, okręt - gdy wpływ tych cech jest większy, proponuje się przyjąć dpp=0,25, a dla pozostałego sprzętu 0,10 pkt. W omawianej metodzie proponuje się przyjęcie następujących zasad stosowania oceny punktowej:

1) rozpatrywać nie więcej jak 3÷4 cechy (grupy cech) niewymierne,
2) punkty doliczać wg następującego klucza: dla 1÷2 cech (grup cech) najważniejszych przeznaczyć 50÷60% dpp, a dla pozostałych resztę,
3) wyłącznym warunkiem zapisu punktów w pełnym wymiarze dla badanego wzoru uzbrojenia lub sprzętu za daną cechę niewymierną jest brak tej cechy

sprzętu bazowego; w przypadku wyraźnej różnicy jakości tej cechy na korzyść sprzętu badanego dopisywać tylko część punktów przewidzianą za daną cechę niewymierną (wg uznania prowadzącego analizę porównawczą),

4) w przypadku występowania określonej cechy niewymiernej sprzętu bazowego (wzorca), a braku jej w przypadku sprzętu badanego, lub wyraźnej różnicy jej jakości na niekorzyść sprzętu badanego - przewidzianą liczbę punktów (w pełnym wymiarze lub częściowo) doliczać ze znakiem ujemnym.

Ocena powinna być surowa i krytyczna, w związku z czym nie musi być wyczerpana cała dpp przewidziana za cechy niewymierne.

Przyrosty poszczególnych parametrów wymiernych oblicza się na podstawie wzorów:

$$\Delta p_i = \left(\frac{p_i}{p_{0_i}} - 1 \right) q_i$$

lub:

$$\Delta p_i = \left(1 - \frac{p_i}{p_{0_i}} \right) q_i$$

gdzie:

Δp_i - przyrost i-tego parametru wymiernego wzoru uzbrojenia (sprzętu) badanego;

p_i - wartość i-tego wymiernego parametru wzoru uzbrojenia (sprzętu) badanego;

p_{0i} - wartość i-tego wymiernego parametru wzoru uzbrojenia (sprzętu) bazowego;

q_i - współczynnik wagi dla i-tego parametru wymiernego.

Pierwszy z wymienionych wzorów stosuje się w następujących przypadkach:

1) jeżeli nierówność $p_i > p_{0i}$ jest wynikiem poprawy parametru sprzętu badanego w stosunku do parametru sprzętu bazowego; wówczas iloraz $\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} > 1$, a tym samym wyrażenie $\left(\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} - 1 \right) \mathbf{q_i} > 0$ i przyrost parametru jest dodatni: $\Delta p_i > 0$,

2) jeżeli nierówność $p_i < p_{0i}$ jest wynikiem pogorszenia parametru sprzętu badanego w stosunku do parametru sprzętu bazowego; wówczas $\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} < 1$, a tym samym wyrażenie $\left(\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} - 1\right)\mathbf{q_i} < 0$ i przyrost parametru jest ujemny: $\Delta p_i < 0$,

3) jeżeli $p_i = p_{0i}$, tzn. rozpatrywany parametr nie uległ zmianie; wówczas $\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} = 1$, wyrażenie $\left(\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} - 1\right)\mathbf{q_i} = 0$, a tym samym $\Delta p_i = 0$.

Wzór drugi stosuje się w następujących przypadkach:

1) jeżeli nierówność $p_i < p_{0i}$ jest wynikiem poprawy parametru sprzętu badanego w stosunku do parametru sprzętu bazowego (np. zmniejszenie ciężaru własnego uzbrojenia); wówczas iloraz $\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} < 1$, ale wyrażenie $\left(1 - \frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}}\right)\mathbf{q_i} > 0$ a tym samym $\Delta p_i > 0$;

2) jeżeli nierówność $p_i > p_{0i}$ jest wynikiem pogorszenia parametru sprzętu badanego w stosunku do parametru sprzętu bazowego (np. zwiększenie nacisku jednostkowego pojazdu); w tym przypadku $\frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}} > 1$, ale wyrażenie $\left(1 - \frac{\mathbf{p_i}}{\mathbf{p_{0_i}}}\right)\mathbf{q_i} < 0$ oraz $\Delta p_i < 0$.

Łączny przyrost wszystkich parametrów badanych można obliczyć na podstawie wzoru:

$$\Delta P = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \ldots + \Delta p_n = \left(\frac{p_1}{p_{0_1}} - 1\right)q_1 + \left(\frac{p_2}{p_{0_2}} - 1\right)q_2 + \ldots + \left(\frac{p_n}{p_{0_n}} - 1\right)q_n = \sum_{i=1}^{n} \Delta p_i$$

lub:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{p_i}{p_{0_i}} - 1\right)q_i$$

Łączną liczbę punktów za cechy niewymierne oblicza się wg wzoru:

$$\Delta W = \Delta w_1 + \Delta w_2 + \ldots + \Delta w_m$$

lub:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{n} \Delta w_i$$

Całkowity przyrost efektywności bojowej badanego wzoru uzbrojenia lub sprzętu technicznego oblicza się następująco:

$$\Delta E_b = \Delta P + \Delta W = \sum_{i=1}^{n} \Delta p_i + \sum_{i-1}^{m} \Delta w_i$$

lub:

$$\Delta E_b = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{p_i}{p_{0_i}} - 1 \right) q_i + \sum_{i=1}^{m} \Delta w_i$$

gdzie:

ΔE_b - całkowity przyrost efektywności bojowej badanego uzbrojenia;

$\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{p_i}{p_{0_i}} - 1 \right) q_i$ - suma algebraiczna skorygowanych przyrostów parametrów wymiernych;

$\sum_{i=1}^{m} \Delta w_i$ - suma punktów za wprowadzenie lub udoskonalenie cech niewymiernych.

Wyrażając wskaźnik przyrostu efektywności bojowej ΔE_b w procentach (ΔE_b*100%) otrzymujemy informację o ile procent sprzęt badany ma wyższą (jeżeli $\Delta E_b > 0$) lub niższą (jeżeli $\Delta E_b < 0$) wartość bojową względem sprzętu bazowego (wzorcowego).

Dokonując porównania wartości bojowej uzbrojenia omawianą metodą należy pamiętać, że rachunek wskaźników przyrostów wartości bojowej porównywanych wzorów musi być przeprowadzony przy wykorzystaniu tego samego egzemplarza bazowego (wzorca) - np. będącego w wyposażeniu wojsk - zarówno w odniesieniu do jego parametrów wymiernych jak i cech niewymiernych.

W celu ułatwienia doboru współczynników wag oraz przeprowadzenia poprawnej analizy porównawczej zasadne wydaje się dokonanie podziału rozpatrywanych parametrów wymiernych i cech niewymiernych na grupy parametrów

(cech) charakteryzujących określoną funkcję sprzętu. Następnie, biorąc pod uwagę podstawową funkcję porównywanych wzorów uzbrojenia, należy szacunkowo określić współczynniki wagi dla parametrów podstawowych i pozostałych.

W dalszej kolejności należy przeprowadzić rachunek przyrostu wartości bojowej dwóch porównywalnych, dobrze znanych wzorów uzbrojenia. W przypadku otrzymania wyniku zawierającego wyraźne odchylenia, konieczne jest dokonanie odpowiedniej korekty szacunkowo przyjętych współczynników wagi. Kolejne korekty współczynników wagi oraz rachunki przyrostu wartości bojowej pozwolą na określenie współczynników „wzorcowych", którymi należy się posługiwać przy analizie innych, nieznanych wzorów danego rodzaju uzbrojenia.

3.2.2. Punktowa ocena bojowych możliwości wojsk

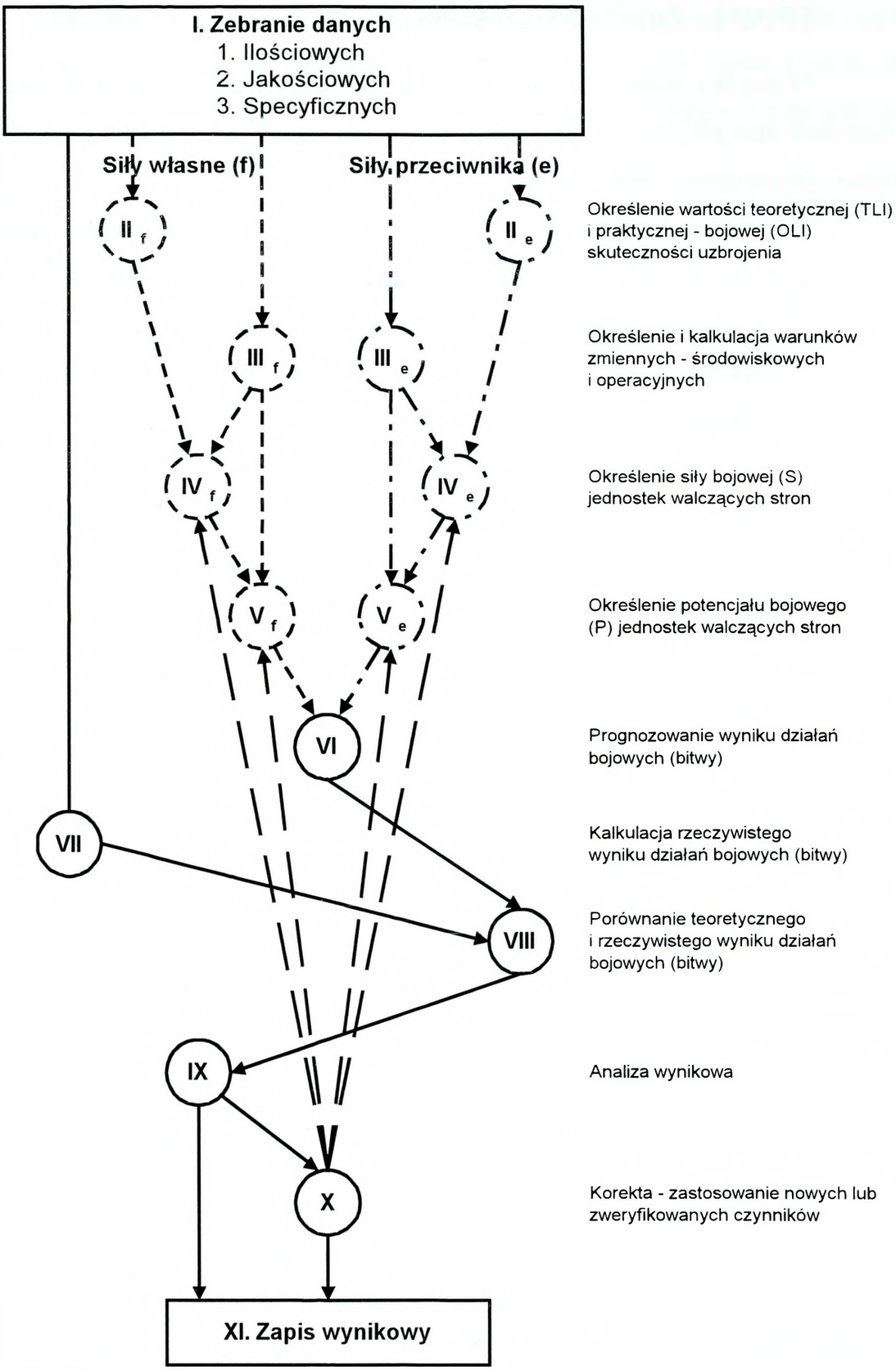
Metoda punktowej oceny sił QJM (The Quantified Judgment Method) została opracowana przez zespół amerykańskich ekspertów wojskowych. Metoda ta bazuje na szczegółowej analizie porównawczej z historycznych bitew, począwszy od starożytności do współczesnych wojen izraelsko-arabskich (do 1973 r. włącznie), ze szczególnym uwzględnieniem 81 bitew z okresu II wojny światowej[30].

Istotą metody QJM jest przedstawienie w sposób policzalny najważniejszych czynników ilościowych i jakościowych, które mają wpływ na przebieg i wynik wojny i są niezbędne do określania możliwości bojowych wojsk oraz prognozowania wyników przyszłych działań bojowych. W kalkulacjach i ocenach prowadzonych zgodnie z wypracowanymi zasadami wykorzystuje się dane tabelaryczne oraz wzory matematyczne uzyskane najczęściej empirycznie z analizy dostępnych historycznych i współczesnych danych statystycznych.

Zgodnie z metodą punktowej oceny sił QJM, proces oceny możliwości analizowanych sił zbrojnych obejmuje jedenaście, w tym osiem podstawowych (od I do VIII) etapów analizy (rys. niżej).

---

[30] *Punktowa ocena bojowych możliwości wojsk (wg poglądów teoretyków amerykańskich), Sygn. Szt. Gen. wewn. 4/184/86.*



Etapy postępowania przy analizie możliwości bojowych wojsk metodą QJM

ETAP I - ZEBRANIE DANYCH

W etapie I zbierane są dane ilościowe i jakościowe dotyczące walczących stron oraz dane specyficzne, dotyczące specyficznych warunków, w jakich prowadzono lub będzie się prowadzić działania bojowe.

- Dane ilościowe - obejmują skład zgrupowania bojowego każdej z walczących stron, z wyszczególnieniem ważniejszych środków bojowych i systemów uzbrojenia każdej jednostki bojowej. Bierze się przy tym pod uwagę wszystkie środki ogniowe wyszczególnione w etatach bojowych TOE (Tables of Organization and Equipment) i tylko te, o których wiadomo, że są w danej jednostce bojowej i mogą być wykorzystane w walce, w tym również broń indywidualną stanów osobowych służb zabezpieczenia i pomocniczych.
- Dane jakościowe - obejmują kompletne charakterystyki taktyczno-techniczne uzbrojenia.
- Dane specyficzne - obejmują głównie zadania stron, poniesione straty w sile żywej i sprzęcie, szerokość i głębokość ugrupowania bojowego, warunki środowiskowe (terenowe i meteorologiczne) a także poziom wyszkolenia i doświadczenie bojowe, stan moralno-polityczny i efektywność dowodzenia jednostkami bojowymi.

Po zebraniu powyższych danych są one klasyfikowane i porządkowane i stanowią dane wejściowe do kolejnych etapów analizy.

ETAP II - OKREŚLENIE WARTOŚCI TEORETYCZNEJ (TLI) I PRAKTYCZNEJ - BOJOWEJ (OLI) SKUTECZNOŚCI UZBROJENIA

Ze względów metodologicznych, m.in. dla uwzględnienia wartości bojowej uzbrojenia w zależności od warunków terenowych, w jakich będzie działać na współczesnym polu walki, uzbrojenie podzielono na:

1. Uzbrojenie niemobilne - do którego zaliczono środki, które nie mają możliwości samodzielnego poruszania się, a jeżeli ją nawet mają - to nie są przystosowane do prowadzenia ognia w ruchu. Do uzbrojenia tego zaliczono środki stacjonarne, przenośne, przewoźne, ciągnione i montowane na podwoziach (artyleria samobieżna).

2. Uzbrojenie mobilne - do którego zaliczono systemy uzbrojenia mogące prowadzić ogień w ruchu. Zaliczono do tej grupy głównie czołgi, bojowe wozy piechoty i samoloty, które zazwyczaj mają jeden zasadniczy i jeden lub więcej pomocniczych środków ogniowych.

Z racji, że środki ogniowe sklasyfikowane jako uzbrojenie niemobilne (np. ciężki karabin maszynowy) są elementami mobilnego uzbrojenia, ich wskaźniki skuteczności muszą być określone przed określeniem całościowych wskaźników skuteczności uzbrojenia mobilnego.

Celem jednoznacznego rozumienia i klasyfikowania uzbrojenia w metodzie QJM podzielono go na sześć podstawowych rodzajów i scharakteryzowano następująco:

1. **Broń piechoty** - są to środki ogniowe wykorzystywane bezpośrednio lub pośrednio w walce przy wykonywaniu zadań typowych dla piechoty. Zaliczono do nich pistolety, pistolety maszynowe, ciężkie karabiny maszynowe i inne środki ogniowe (poza przeciwpancernymi) oraz opancerzone wozy bojowe (poza BWP, które są klasyfikowane jako broń pancerna).
2. **Broń pancerna** - obejmuje uzbrojenie mobilne, które odgrywa zasadniczą rolę na polu walki. Zaliczono do niej czołgi, bojowe wozy piechoty (BWP), opancerzone wozy rozpoznawcze, samochody pancerne, działa szturmowe i niszczyciele czołgów.
3. **Broń przeciwpancerna** - przeznaczona do zwalczania sił pancernych przeciwnika. Zaliczono do niej granatniki ppanc., ppk i samobieżne wyrzutnie ppk.
4. **Artyleria polowa** - zaliczono do niej wyrzutnie pocisków rakietowych, działa i moździerze, których zadaniem jest wspieranie piechoty i wojsk pancernych ogniem pośrednim.
5. **Broń przeciwlotnicza** - są to środki naziemne, których priorytetowym zadaniem jest zwalczanie środków napadu powietrznego przeciwnika.
6. **Broń wsparcia powietrznego** -to samoloty i śmigłowce, których zadaniem jest wsparcie ogniowe walczących wojsk z powietrza lub zwalczanie celów naziemnych przeciwnika znajdujących się w rejonie bezpośredniej styczności.

Kolejnym krokiem - po dokonaniu powyższej klasyfikacji - jest określenie wskaźników pośrednich do wyznaczania wskaźników teoretycznej i praktycznej skuteczności uzbrojenia.

Metodyka w sposób szczegółowy podaje zasady obliczania wskaźników. Jednakże ze względu na obszerność opisu tych zasad, zostaną one scharakteryzowane tylko w sposób bardzo ogólny.

Czynnik natężenia ognia – RF *(Rate of Fire)*

Czynnik natężenia ognia RF wyznaczany jest w oparciu o parametr szybkostrzelności. Rozumiany jest jako liczba skutecznych strzałów, które w idealnych warunkach można oddać z danego środka ogniowego do celu w określonym czasie. Jako jednostkę czasu wybrano godzinę. Do obliczeń wskaźnika RF przyjęto następujące zasady przelicznikowe:

a) dla załogowo obsługiwanej broni automatycznej:
   RF=4*szybkostrzelność (strzałów/minutę),
b) dla ręcznej broni automatycznej i dla pokładowej broni automatycznej na samolotach i śmigłowcach:
   RF=2*szybkostrzelność (strzałów/minutę),
c) dla broni nieautomatycznej wskaźnik RF określa się na podstawie wykresów, przedstawiających eksperymentalnie określoną zależność czynnika RF od kalibru broni.

Czynnik zdolności rażenia - PTS *(Number of Potencial Targets per Strike)*

Czynnik ten określa liczbę możliwych do zniszczenia celów jednym strzałem i wyznaczany jest celem ustalenia podstawy do porównania względnej teoretycznej skuteczności broni umożliwiającej rażenie celów punktowych a systemami broni mającymi zdolność rażenia celów powierzchniowych. Aby można było dokonać takich porównań, niezbędne jest przyjęcie do obliczeń określonego celu i gęstości celów. Za cel punktowy przyjęto żołnierza, zakładając że na polu walki zajmuje on powierzchnię $1 m^2$.

Czynnik względnej skuteczności obezwładnienia - RIE *(Relative Incapacitating Effect)*

Czynnik ten określa prawdopodobieństwo obezwładnienia określonego celu jednym strzałem. Dla broni o większej sile rażenia niż broń krótka i lekkie karabiny maszynowe, wartość czynnik przyjmuje się równą 1.

Czynnik zasięgu - RN (Range Factor)

Czynnik ten określa się wg następujących zależności empirycznych:

a) korzystając z parametru skutecznego zasięgu (R) wyrażonego w [m]:
$RN=1+(0,001*R)^{0,5}$

b) korzystając z parametru prędkości początkowej pocisku (MV - Muzzle Velocity) wyrażonego w [m/sek.] i kalibru broni wyrażonego w [mm]:
$RN=0,007*MV*0,1*(kaliber)^{0,5}$

Czynnik celności - A *(Accuracy)*

Określa prawdopodobieństwo trafienia w cel z precyzyjnie wycelowanej broni. Uwzględnia cechy jakościowe samej broni, a nie wyszkolenie obsługi. Ustalany jest eksperymentalnie.

Czynnik niezawodności - RL *(Reliability)*

Ustala się go eksperymentalnie, a charakteryzuje on zdolność broni do wykonywania wymaganych funkcji w określonych warunkach eksploatacji i w określonym czasie.

Opisane wyżej sześć czynników stanowi niezbędną podstawę do określenia wskaźnika teoretycznej skuteczności broni TLI *(Theoretical Lethelity Index)*, przede wszystkim dla uzbrojenia niemobilnego. Dodatkowo, dla artylerii samobieżnej, pocisków rakietowych, broni wielolufowej, systemów broni artyleryjskiej wykorzystujących ładunki wieloczłonowe oraz rodzaju podwozia na którym dane uzbrojenie zostało zamontowane, należy uwzględnić wybrane czynniki - stosownie do obliczanego wskaźnika - spośród przedstawionych poniżej.

Czynnik artylerii samobieżnej - SME *(Self-propelled Artillery Factor)*

Czynnik ten uwzględnia stopień opancerzenia artylerii samobieżnej i przyjmuje dwie wartości:

a) 1,05 - dla samobieżnych dział opancerzonych bocznie,

b) 1,10 - dla samobieżnych dział opancerzonych bocznie i od góry.

Czynnik efektywności kierowania pociskiem - GE (*Missile Guidance Effect)*

Określony został eksperymentalnie i przyjmuje wartości:

a) 2,0 - dla pocisków kierowanych przewodowo lub wiązką promieni,

b) 1,5 - dla systemów kierowania radiolokacyjnego.

Czynnik broni wielolufowej - MBE *(Multi-barreled Weapons Effect)*

Wartość ogólną czynnika broni wielolufowej stanowi suma czynników wyznaczonych eksperymentalnie dla poszczególnych luf, przy czym wartości składowe są następujące:

a) 1,00 - dla pierwszej lufy,

b) 0,50 - dla drugiej lufy,

c) 0,33 - dla trzeciej lufy,

d) 0,25 - dla czwartej lufy,

e) 0,20 - dla piątej lufy,

f) 0,19 - dla szóstej lufy,

g) 0,18 - dla siódmej lufy,

h) itd.

do maksymalnej wartości czynnika równej 4,18 dla 24 luf i więcej.

Czynnik ładunku wieloczęściowego w nabojach artyleryjskich - MCE *(Multiple Charge Artillery Weapons Effect)*

Dla artylerii wykorzystującej naboje składane lub zespolone, z ładunkiem wieloczęściowym, należy jej podstawowy wskaźnik praktycznej skuteczności pomnożyć przez czynnik ładunku wieloczęściowego, który wyznaczono eksperymentalnie i wynosi on:

a) 1,05 - dla ładunku trzyczęściowego,
b) 1,09 - dla ładunku czteroczęściowego,
c) 1,12 - dla ładunku pięcioczęściowego,
d) 1,14 - dla ładunku sześcioczęściowego,
e) 1,15 - dla ładunku siedmio- i więcej częściowego.

Czynnik pokładowego uzbrojenia samolotów - AE *(Aircraft Mounted Weapons* Effect)

Uwzględnia on wpływ broni wojsk lądowych dodatkowo montowanej na pokładach samolotów na ich praktyczną skuteczność. Przyjęto, że w przypadku gdy broń ta jest zamontowana na pokładzie samolotu, jej wskaźnik praktycznej skuteczności wynosi 0,75.

Chcąc określić wskaźnik praktycznej skuteczności broni OLI zarówno dla uzbrojenia niemobilnego jak i mobilnego należy wcześniej określić czynnik rozproszenia D_i.

Czynnik rozproszenia - D_i *(Dispersion Factor)*

Jest on rozumiany jako nasycenie siły żywej na km^2 pola walki i służy do zamiany wartości wskaźnika teoretycznej skuteczności broni (TLI) na wskaźnik praktycznej skuteczności broni (OLI) wg reguły:

$$OLI = \frac{TLI}{D_i}.$$

Wartości czynnika rozproszenia w metodzie QJM przyjmuje się następująco:

a) wojny starożytne - 1
b) wojny napoleońskie - 20
c) amerykańska wojna domowa - 25
d) I wojna światowa - 250
e) II wojna światowa - 3000
f) połowa lat 70-tych (broń konwencjonalna) - 4000

Określenie wyjściowej skuteczności uzbrojenia mobilnego Raw-OLI

Wyjściową skuteczność uzbrojenia mobilnego oblicza się wg następującego algorytmu:

- zsumowanie (z zastosowaniem czynnika broni wielolufowej MBE) oddzielnie obliczonych wskaźników praktycznej skuteczności każdego środka ogniowego (W) OLI zamontowanego na danym mobilnym sprzęcie bojowym;
- pomnożenie otrzymanego wyniku przez czynnik manewrowości (MOF) i czynnik promienia działania (RA);
- dodanie do otrzymanej wartości czynnika odporności na zniszczenie (PF).

Niezbędne jest zdefiniowanie trzech kolejnych czynników: manewrowości, promienia działania i odporności na zniszczenie.

Czynnik manewrowości - MOF *(Battlefield Mobility Effect)*

Określa zdolność danego uzbrojenia do zmiany swojego położenia na polu walki. Określa się go w oparciu o takie parametry jak: masa, prędkość i moc silników.

Czynnik promienia działania - RA *(Radius of Action Factor)*

Definiowany jest jako zdolność do pokonania określonej odległości bez potrzeby powtórnego tankowania paliwa.

Czynnik odporności na zniszczenie - PF *(Punishment Factor)*

W metodzie QJM jest on mało precyzyjny, gdyż uwzględnia jedynie masę, nie uwzględniając bardziej szczegółowej charakterystyki pancerza (rodzaju stopu, gabarytów itp.). Dodatkowo uwzględnia czynnik rozproszenia D_i.

Czynniki odporności na zniszczenie PF poszczególnych środków ogniowych przy określaniu ogólnej skuteczności danego środka bojowego podlegają sumowaniu.

Określenie pełnej skuteczności bojowej uzbrojenia mobilnego

Dla środków pancernych, transporterów opancerzonych zaliczonych do broni piechoty, samolotów i śmigłowców - poza wyżej opisanymi czynnikami - wyznacza się dodatkowe, charakterystyczne dla tych środków współczynniki oraz stosuje się specyficzne zasady naliczeń przy wyznaczaniu dla nich wskaźnika pełnej skuteczności bojowej OLI (W_{iy}).

Czynnik szybkostrzelności - RFE *(Rapidity of Fire)*

Przy określaniu czynnika szybkostrzelności brana jest pod uwagę broń podstawowa danego środka bojowego. Odzwierciedla szybkość z jaką z podstawowej broni można oddać strzał i powtórnie ją załadować.

Wartość czynnika szybkostrzelności dla broni pancernej i przeciwpancernej jest wyznaczana według krzywej określonej eksperymentalnie, na podstawie możliwości danej broni podstawowej do utrzymania godzinnego natężenia ognia.

Czynnik kontroli skuteczności ognia - FCE *(Fire Control Effect)*

Odzwierciedla praktyczną skuteczność układów kontroli prowadzenia ognia. Określany jest eksperymentalnie. Stosowany jest w obliczeniach jako współczynnik dla środków pancernych.

Czynnik zaopatrywania w amunicję - ASE *(Ammunition Supply Effect)*

Określa się go w oparciu o ilość amunicji przewożonej przy sprzęcie do broni podstawowej danego mobilnego uzbrojenia i procentowej możliwości utrzymania tą ilością amunicji (teoretycznego) godzinnego natężenia ognia. Czynnik ASE dla czołgów wyznacza się według krzywej określonej eksperymentalnie, natomiast dla wszystkich typów samolotów przyjmuje wartości:

a) 1,0 - dla samolotów działających na wysokości 9000 m,
b) maleje o 0,02 na każde 300 m gdy wysokości działania wynosi poniżej 9000 m,
c) wzrasta o 0,005 na każde 300 m gdy wysokość działania zwiększa się powyżej 9000 m.

Czynnik rodzaju podwozia - kołowego i kołowo-gąsienicowego - WHT *(Wheal/Halfracks Effect)*

Jest to czynnik manewrowości dla pojazdów opancerzonych nie posiadających pełnego podwozia gąsienicowego i przyjmuje wartości:

a) 0,90 - dla pojazdów kołowych,
b) 0,95 - dla pojazdów kołowo-gąsienicowych.

Czynnik możliwości desantowych - AME *(Amphibious Capability Effect)*

Stosowany dla mobilnych systemów uzbrojenia posiadających pełne lub ograniczone zdolności desantowe i przyjmuje wartości:

a) 1,10 - dla broni o pełnych możliwościach desantowych,

b) 1,05 - dla broni o ograniczonych możliwościach desantowych.

Czynnik wpływu wysokości działania - CL *(Ceiling Effect)*

Wykorzystywany jest przy obliczeniach wskaźnika skuteczności bojowej samolotów i przyjmuje wartości:

a) 1,0 - dla samolotów działających na wysokości 9000 m,

b) maleje o 0,02 na każde 300 m gdy wysokości działania wynosi poniżej 9000 m,

c) wzrasta o 0,005 na każde 300 m gdy wysokość działania zwiększa się powyżej 9000 m.

Wzory na określenie wskaźnika skuteczności bojowej OLI dla uzbrojenia niemobilnego i mobilnego:

1. Wartość wskaźnika OLI, oznaczonego dla uzbrojenia niemobilnego przez (W), wyznacza się z zależności:

$$W = \frac{RF * PTS * RIE * RN * A * RL * SME * GE * MCE * MBE * WHT * AE}{D_t}$$

2. Pełną wartość wskaźnika OLI uzbrojenia mobilnego (W_{iy}) wyznacza się z zależności:

$$W_{iy} = \left[\left(W * MOF * RA\right) + PF\right] * RFE * FCE * ASE * AME * CL$$

ETAP III - OKREŚLENIE I KALKULACJA WARUNKÓW ZMIENNYCH - ŚRODOWISKOWYCH I OPERACYJNYCH

W tym etapie dokonuje się określenia i kalkulacji wpływu warunków środowiskowych (*Environmental Variables*) i operacyjnych *(Operational Variables*) na skuteczność uzbrojenia i przebieg działań bojowych. Rozpatruje się przede wszystkim:

a) wpływ warunków terenowych,

b) wpływ warunków atmosferycznych,

c) wpływ pory roku i klimatu,

d) wpływ sytuacji w powietrzu.

Wpływ ten odzwierciedlany jest głównie w charakterystykach mobilności sił M (*Mobility Force Characteristics)* i wrażliwości na zniszczenie V oraz współczynnikach mobilności m (*Mobility)* i wrażliwości na zniszczenie v *(Vulnerability*). Powyższe charakterystyki i współczynniki określa się na podstawie określonych w metodyce zależności.

Dodatkowo, w zależności od potrzeb, uwzględnia się:

a) czynnik zaskoczenia - identyfikator „sur" *(Surprise Factor*),

b) czynnik względnej efektywności bojowej - CEV *(Relative Combat Effectiveness Value).*

ETAP IV - OKREŚLENIE SIŁY BOJOWEJ JEDNOSTEK WALCZĄCYCH STRON

Kalkulacje siły bojowej „S" jednostek walczących stron przeprowadza się poprzez odpowiednie zespolenie wskaźników praktycznej skuteczności bojowej OLI wszystkich typów broni, w podstawowych sześciu rodzajach uzbrojenia składających się na uzbrojenie ocenianej jednostki, z jednoczesnym uwzględnieniem wszystkich zmiennych warunków środowiskowych. Obliczenia dla obu walczących stron przeprowadza się wg poniższej zależności:

$$S=[(W_s+W_{mg}+W_{hw})*r_n]+(W_{gi}*r_n)+[(W_g+W_{gy})*(r_{wg}*h_{wg}*z_{wg}*w_{yg})]+$$
$$+(W_i*r_{wi}*h_{wi})+(W_y*r_{wy}*h_{wy}*z_{yw}*w_{yy})$$

gdzie:

S - siła bojowa jednostki wojskowej;

W - wartość wskaźnika praktycznej skuteczności bojowej OLI poszczególnych rodzajów broni, przy czym indeksy oznaczają:

W_s - lekka broń piechoty;

W_{mg} - ciężka broń piechoty;

W_{hw} - inne ciężkie środki ogniowe piechoty i opancerzone wozy bojowe;

W_{gi} - środki przeciwpancerne;

W_g - artyleria polowa;

W_{gy} - środki przeciwlotnicze;

W_i - środki pancerne

W_y - środki bezpośredniego wsparcia powietrznego;

r - czynniki wpływu warunków terenowych;

h - czynniki wpływu warunków atmosferycznych;

z -czynniki wpływu pory roku i klimatu;

w - wpływ sytuacji w powietrzu.

ETAP V - OKREŚLENIE POTENCJAŁU BOJOWEGO JEDNOSTEK WALCZĄCYCH STRON - P (POWER POTENTIAL)

Kalkulacje potencjału bojowego (P) przeprowadzane są poprzez uwzględnienie do skalkulowanej siły bojowej wszystkich zmiennych operacyjnych mających wpływ na przebieg działań bojowych oraz czynników środowiskowych wpływających na skuteczność wojsk walczących stron w zależności od prowadzonych działań bojowych. Obliczenia potencjału bojowego dla obu walczących stron dokonuje się na podstawie zależności:

$P=S*m*CEV*u_s*r_u*h_u*z_u*v$

gdzie:

P- potencjał bojowy;

S- siła bojowa;

m - czynnik mobilności;

CEV - współczynnik względnej efektywności bojowej;

v- czynnik wrażliwości na zniszczenie;

z_u - czynnik wpływu pory roku i klimatu;

h_u - czynnik wpływu warunków atmosferycznych;

r_u - czynnik wpływu warunków terenowych;

u_s - czynnik wpływu rodzaju prowadzonych działań bojowych na siłę bojową.

ETAP VI - PROGNOZOWANIE WYNIKU DZIAŁAŃ BOJOWYCH

Prognozowanie wyniku prowadzonych działań bojowych dokonuje się w oparciu o wyznaczony stosunek potencjałów bojowych ($P_f : P_e$) obu walczących stron (P_f - potencjał wojsk własnych, P_e - potencjał wojsk przeciwnika)

Ocenia się, że jeżeli stosunek ten jest większy od 1, to teoretycznie wojska własne powinny odnieść zwycięstwo, natomiast jeżeli stosunek jest mniejszy od 1 - potencjalnym zwycięzcą będzie przeciwnik. Zastrzega się przy tym, że przy stosunku mieszczącym się w granicach 0,9÷1,1 nie można jednoznacznie określić wyniku prowadzonych działań.

ETAP VII - KALKULACJA RZECZYWISTEGO WYNIKU BITWY – R (RESULT)

Kalkulację rzeczywistego wyniku bitwy przeprowadza się z reguły na podstawie danych statystycznych uzyskanych po bitwie. Składa się na nią przede wszystkim ocena:

- stopnia wykonania założonych zadań bojowych (MF) określana na podstawie tabeli;
- obszarowej efektywności prowadzonych działań (E_{sp}) określana wg odpowiedniego wzoru;
- efektywności strat osobowych (E_{cas}) określana wg stosownego wzoru.

Po określeniu powyższych ocen dla każdej z walczących stron, wyznacza się rzeczywisty wynik bitwy wg wzoru:

$$R=MF+E_{sp}+E_{cas}$$

Następnie porównuje się otrzymane wartości współczynników dla wojsk własnych (R_f) i nieprzyjaciela (R_e). Jeżeli:

a) $R_f - R_e>0$ - bitwę wygrają wojska własne,

b) $R_f - R_e<0$ - bitwę wygrają wojska przeciwnika,

c) jeżeli różnica $-0,5<R_f - R_e<0,5$ to wynik ocenia się jako nieprzekonywujący.

ETAP VIII - PORÓWNANIE TEORETYCZNEGO I RZECZYWISTEGO WYNIKU BITWY

Na podstawie danych uzyskanych w etapie VI i VII dokonywane jest porównanie teoretycznego i rzeczywistego wyniku bitwy. Jeżeli uzyska się wyniki:

a) $P_f : P_e>1$ to różnica R_f-R_e powinna być dodatnia,

b) $P_f : P_e<1$ to różnica R_f-R_e powinna być ujemna.

Jeżeli z tych porównań wynikną istotne niezgodności, należy ponownie przeanalizować wykorzystywane dane i wprowadzić niezbędne korekty.

ETAP IX - ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

W podejmowanej analizie wyników jakiejkolwiek bitwy należy pamiętać, że nigdy nie będziemy dysponować pełnymi danymi, gdyż praktycznie zawsze dokumenty nie są kompletne i dokładne. Poza tym, w wielu wypadkach nie uniknie się błędów. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości obliczeń wskazane jest, o ile istnieje taka możliwość, przeprowadzenie analizy bitew mających porównywalne charakterystyki.

Celem eliminacji błędów należy ponownie poddać sprawdzeniu dane wejściowe. W przypadku zaistnienia nieprawidłowości może zaistnieć potrzeba zrewidowania wyznaczonych lub uwzględnienia nowych czynników, czyli przejścia do etapu X.

ETAP X - KOREKTA - ZASTOSOWANIE NOWYCH LUB ZWERYFIKOWANYCH CZYNNIKÓW

Kalkulacje takie prowadzi się tylko wtedy, jeżeli stwierdzone zostały jakiekolwiek nieprawidłowości w obliczeniach stosunku potencjałów $P_f : P_e$ i rzeczywistego wyniku bitwy, tj. różnicy $R_f - R_e$. Kolejno, etapami dokonuje się przeliczeń, wprowadzając nowe lub zweryfikowane czynniki.

ETAP XI - ZAPIS WYNIKÓW

Jest to końcowy etap postępowania w metodzie punktowej oceny sił QJM. Dokonywany jest w formie uzależnionej od potrzeb, ale zawsze powinien zawierać stosunek potencjałów bojowych $P_f : P_e$ obu walczących stron.

3.2.3. Uniwersalna metoda oceny wartości bojowej uzbrojenia oraz potencjału bojowego związków taktycznych i operacyjnych sił zbrojnych

„Uniwersalna metodyka oceny ..." opracowana została przez Biuro Studiów i Analiz Wojskowych Służb Informacyjnych i wprowadzona do użytku w Siłach

Zbrojnych RP w 1992 roku[31]. Całość metodyki opracowano pod kątem prowadzenia obliczeń z wykorzystaniem techniki komputerowej. Wykorzystując język programowania „Clipper" utworzono programy gromadzenia, poprawiania i uzupełniania danych taktyczno-technicznych w bazie danych, a następnie program obliczeniowy jej wykorzystywania do ustalania wskaźników wartości bojowej. Bazuje ona na metodzie punktowej oceny bojowych możliwości wojsk opracowanej przez teoretyków amerykańskich na początku lat 70-tych, opisanej wyżej. Zasadnicze różnice „Uniwersalnej metodyki oceny ..." w stosunku do metody punktowej polegają na:

1. ograniczono się w zasadzie do trzech etapów metodyki punktowej, tj. do:
   - etapu I - zebrania danych,
   - etapu II - określenia wzorów na obliczanie wartości bojowej uzbrojenia,
   - etapu III - w ograniczonym zakresie - podania wzorów na obliczanie potencjalnej wartości bojowej związków taktycznych i operacyjnych lecz bez uwzględniania warunków zmiennych - środowiskowych i operacyjnych,
2. przy określaniu wskaźników pośrednich pominięto:
   - czynnik zaopatrywania w amunicję – ASE,
   - czynnik rodzaju podwozia - kołowego i kołowo-gąsienicowego – WHT,
   - czynnik wpływu wysokości działania – CL,
3. wprowadzono dodatkowe wskaźniki pośrednie:
   - wskaźnik podpocisków - SM. Jest to odpowiednik wskaźnika liczby możliwych do obezwładnienia celów punktowych, lecz liczony dla pocisków kasetowych z podpociskami (granatami). Przyjęto, że określa się go z zależności:

$$SM = \frac{n * PTS_{pod}}{4},$$

gdzie:

n - liczba podpocisków,

PTS_{pod} - wskaźnik liczby możliwych do obezwładnienia celów punktowych obliczany dla podpocisku,

   - wskaźnik udźwigu - UD. Wprowadzono go dla samolotów i śmigłowców, a określany jest z zależności:

---

[31] *Uniwersalna metodyka oceny wartości bojowej uzbrojenia oraz potencjału bojowego związków taktycznych i operacyjnych sił zbrojnych, Sygn. Szt. Gen. 1407/92.*

UD=1+0,01*u,

gdzie:

u - udźwig traktowany jako maksymalna masa zabieranego ładunku,

- wskaźnik wyposażenia elektronicznego - ELE. Wprowadzono go dla samolotów i śmigłowców, a określany jest z zależności:

$$ELE = 1 + 0{,}2 * \sum_{i=1}^{6} k_i ,$$

gdzie:

k_i - przyjmują wartość 0 lub 1, uwzględniając następujące układy elektroniczne,

k_1 - celownicze i kierowania ogniem,

k_2 - pilotażowo-nawigacyjne,

k_3 - nawigacyjne,

k_4 - ostrzegania o zagrożeniu samolotów,

k_5 - zakłócające,

k_6 - sterowania samolotem.

Dla niektórych wskaźników pośrednich przyjęto inne nazwy, inne zasady ich wyznaczania, bądź przyjęto inne wartości. Dodatkowo, dla niektórych parametrów przyjęto oznaczać fakt prawdy znakiem „T" - jeżeli dany parametr występuje w rozpatrywanym przypadku, lub fałszu „F" - jeżeli parametr nie występuje.

W efekcie powyższych zmian, wzory na obliczanie wartości bojowej broni przyjęły postać:

- dla wskaźnika wartości bojowej broni niemobilnej W:

$$W = \frac{RF * PTS * RIE * RN * A * RL * SME * GE * MCE * MBE * AE * SM}{D_i},$$

gdzie:

RF - wskaźnik szybkostrzelności;

PTS - wskaźnik liczby możliwych do obezwładnienia celów punktowych;

RIE - wskaźnik obezwładniającego działania broni;

RN - wskaźnik zasięgu;

A - wskaźnik celności broni;

RL - wskaźnik niezawodności broni;

SME - wskaźnik samobieżności;

GE - wskaźnik efektywności układów naprowadzania pocisków kierowanych;

MCE - wskaźnik wieloładunkowości naboju artyleryjskiego;

MBE - wskaźnik wielolufowości broni;

AE - wskaźnik wartości bojowej broni montowanej na samolotach;

SM - wskaźnik podpocisków

- dla wskaźnika wartości bojowej broni mobilnej W_{iy}:

czołgów, BWP, transporterów opancerzonych i samobieżnych armat przeciwlotniczych:

$$W_{iy} = (W * MOF * SME2 * RFE * FCE + PF) + (W_{KM1} + W_{KM2} + W_{ppk}) * SME2$$

,

gdzie:

W - wskaźnik wartości bojowej obliczony jak dla broni niemobilnej;

MOF - wskaźnik manewrowości;

SME2 - wskaźnik prędkości i zasięgu (promienia) działania;

RFE - wskaźnik wzrostu natężenia ognia;

FCE - wskaźnik systemów kierowania ogniem;

PF - wskaźnik odporności na zniszczenie;

W_{KM1} - wskaźnik wartości bojowej pierwszego karabinu maszynowego;

W_{KM2} - wskaźnik wartości bojowej drugiego karabinu maszynowego;

W_{ppk} - wskaźnik wartości bojowej wyrzutni ppk;

samolotów i śmigłowców:

$$W_{iy} = \left(\sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} W * RL * SME2 * UD * + PF \right) * ELE ,$$

gdzie:

W - wskaźnik wartości bojowej obliczony jak dla broni niemobilnej;

RL - wskaźnik niezawodności broni;

UD - wskaźnik udźwigu;

ELE - wskaźnik wyposażenia elektronicznego;

pozostałe oznaczenia - jak w poprzednich wzorach

W trakcie posługiwania się powyższymi wzorami na obliczanie wartości bojowej broni, w przypadku niewystępowania danego wskaźnika dla określonego typu broni, przyjmuje się jego wartość równą 1.

W dalszej części metodyki podano sposób obliczania wartości bojowej jednostki wojskowej jako sumy wartości bojowej całego uzbrojenia znajdującego się w jej wyposażeniu, wg zależności:

$$PWB = \sum_{m=1}^{n} W_m + \sum_{i=0}^{k} W_{iy} ,$$

gdzie:

m,i - odpowiednio, liczba uzbrojenia niemobilnego i mobilnego.

Z kolei na wyższym szczeblu organizacyjnym z obliczonych wartości potencjału bojowego można tworzyć dowolną kombinację składu organizacyjnego w zależności od konkretnej sytuacji bojowej. Wartość potencjałów bojowych jest sumą algebraiczną ich składników, co wyraża wzór:

$$P = \sum_{i=1}^{k} PWB_i ,$$

gdzie:

P - potencjał bojowy związku taktycznego lub operacyjnego;

PWB - potencjał bojowy jednostek wchodzących w skład ugrupowania.

Należy podkreślić, że obliczane tą metodą wartości potencjału bojowego pododdziałów, oddziałów, związków taktycznych i operacyjnych nie odzwierciedlają ich realnej wartości bojowej, bowiem w rzeczywistych warunkach pola walki wartości te, w zależności od szeregu czynników (zaliczanych do grupy: warunków środowiska, operacyjnych i organizacyjnych) będą ulegać znacznym zmianom.

Ponadto należy stwierdzić, że wszystkie występujące tu stałe mają charakter ściśle empiryczny (słabo uzasadniony).

3.3. Prezentacja wyników wybranych kwantytatywnych ujęć potencjału bojowego sił zbrojnych

3.3.1. Operacjonalizacja pojęcia potencjału bojowego

Operacjonalizacja pojęcia *potencjału bojowego SZ* jest niezwykle trudna[32]. Nie tylko ze względu na **różnorodność** systemów organizacyjnych SZ o różnych poziomach hierarchii, nie posiadających zoperacjonalizowanej miary swojej podstawowej cechy systemowej - ***wartości bojowej***, ale także ze względu na **nieokreśloność** czasu, miejsca, celu i *formy* działań. Dlatego, ogólnoteoretyczne ujęcie *potencjału bojowego SZ* zredukować należy do jego podstawowych, możliwie niezależnych /od tej różnorodności przedmiotu i nieokreśloności jego zastosowań/, niezbywalnych atrybutów. Takim atrybutem jest - *wartość bojowa* środków walki zgromadzona w systemie. Dobrze określona *wartość bojowa* środków walki danego systemu organizacyjnego jest podstawą jego możliwości bojowych, bez względu na pozostałe uwarunkowania.

W naukach wojskowych, jako zoperacjonalizowaną **miarę *wartości bojowej*** dowolnego systemu organizacyjnego SZ przyjęło się traktować jego **potencjał rażenia /PR/**. Tak więc PR SZ /lub dowolnego zbioru jego elementów strukturalnych/ obliczany jest według formuły:

$$\mathbf{PR} = \sum_{i=1}^{I} \mathbf{IL}_i * \mathbf{JWJ}_i$$

gdzie $\mathbf{IL}_i$ - oznacza liczbę egzemplarzy i-tego typu sprzętu;

$\mathbf{JWJ}_i$ - oznacza ***jednostkowy wskaźnik jakości*** i-tego typu[33] sprzętu;

$\mathbf{I}$ - oznacza liczbę typów sprzętu.

Przyjmujemy, zatem, że przez pojęcie ***potencjału bojowego SZ*** w postaci ***operacyjnej* rozumieć będziemy agregat określony formułą (1)** zwany ***potencjałem rażenia.***

---

[32] *Wszelka operacjonalizacja pojęć ogólnoteoretycznych implikuje przynajmniej trzy kontrowersyjne aspekty problemu:*

- *redukcjonizmu pojęcia ogólnoteoretycznego do operacyjnego;*
- *różnic pomiędzy przyjętymi miarami operacyjnymi, które - patrząc globalnie - są najczęściej słabo między sobą skorelowane;*
- *każda przyjęta miara ocenowa prowadzi do kontrowersji.*

[33] *W całym zbiorze uzbrojenia, sprzętu i wyposażenia wojskowego wyodrębnione zostały grupy, w każdej grupie - podgrupy, w każdej podgrupie - typy /pojedyncze egzemplarze/. Dlatego często postać formuły (1) uwypukla ten fakt. Z punktu widzenia algebry - jest to bez znaczenia.*

Zastosowana metoda oceny *potencjału rażenia* SZ wywodzi się - zdaniem autora - z ekonometrii. Jest bowiem analogią kosztów /zysku/ przedsiębiorstwa /lub innego podmiotu gospodarczego/ albo użyteczności /cenności/ określonego zbiorowiska niejednorodnych przedmiotów[34]. Pozwala jednak na to, aby SZ - będące systemem złożonym, a opisywanym różnymi miernikami naturalnymi /typowymi miarami taktycznymi i operacyjnymi /w koncepcjach strukturalno - organizacyjnych/ - brygady, dywizje, armie/ - przedstawić w postaci jednego miernika zagregowanego - **potencjału rażenia** SZ.

Pojęcie *potencjału bojowego SZ* zostało zatem **silnie** zredukowane do postaci *potencjału rażenia SZ*. Formuła (1) operacjonalizująca pojęcie *potencjału bojowego SZ* do postaci agregatowej - *potencjału rażenia SZ* jest wyjątkowo elementarna. Faktycznie opisuje zbiorowość, pomija[35] aspekt ludzki, kierowania i zasilania oraz organizacyjny systemu[36]. Nadto, dla elementów opisywanej zbiorowości zakłada zbyt wygórowane żądania co do poprawności określenia ich wartości bojowej, dokonywanej przez *JWJ*.

3.3.2. Realizacja metody pomiaru potencjału bojowego

3.3.2.1. Opracowanie danych źródłowych

Podstawą prowadzenia analiz SZ opartych na metodach ilościowych jest zebranie materiału statystycznego opisującego badany przedmiot. SZ i ich podstawowy atrybut - potencjał bojowy, opisane mogą być jednym *macro*agregatem (wzór 1). Nie jest to jednak miara naturalna SZ, nie występuje jako taka, nie jest więc obserwowalna. Dlatego najpierw należy dokonać **oszacowania** PR dla każdego badanego przedmiotu /SZ określonego państwa/ w każdej badanej chwili / momencie lub okresie czasu na tyle, aby uzyskane w ten sposób dane /traktowane jako obserwacje/ wystarczające były z punktu widzenia statystycznego do zastosowania wybranej metody oceny retrospektywnej i prospektywnej.

---

[34] *W przypadku gdy rozpatrywany zbiór obiektów /tu systemów broni/ nie jest sumowalny /operacja dodania samolotu do czołgu jest bez sensu/ wówczas każdemu obiektowi przypisujemy określoną cechę - cenę, jakość, użyteczność (bojową), itp. Cecha taka może być konstruktem prostym albo złożonym, ale zawsze opisywać powinna badany aspekt /tu wartość bojową sprzętu - jednostkowy wskaźnik jakości/.*

[35] *Patrz R. Kulczycki - Metodyka diagnozowania i prognozowania stanu zagrożenia i pokoju praca n-b „Opcja", AON, 1996. W obliczeniach potencjału wojennego państwa uwzględniającą w dalszym procesie obliczeń czynnik ludzki, kierowania, zasilania i wspomagania.*

Właściwe oszacowanie PR stanowić może podstawę analizy jego wartości, struktury i dynamiki zmian, by na tej podstawie możliwe było dokonanie **diagnozy stanu** i **prognozy zmian /rozwoju/** SZ.

3.3.2.2. Podstawy informacyjne opracowywanych danych

Badania empiryczne PR SZ przeprowadzone zostały na podstawie[37] ***The Military Balance*** /MB/[38]: roczniki 1995/96, 1996/97, 1997/98, 1998/99, 1999/2000. Stąd pozyskano dane ilościowe. Natomiast jako dane jakościowe w postaci ***jednostkowych wskaźników jakości*** */JWJ/* dla każdego typu sprzętu, wykorzystano informacje zawarte w bazach danych systemu MIKRO - OS pozyskiwanych ze Sztabu Generalnego WP[39]. Wskaźniki te opracowane zostały metodą *UW*. W badaniach realizowano oszacowanie PR pochodzącego od "aktywnych" środków walki: rakiet, artylerii, czołgów, transporterów opancerzonych (w tym BWP), środków przeciwpancernych, środków przeciwlotniczych, samolotów, śmigłowców i okrętów.

W prowadzonych badaniach empirycznych dużą uciążliwością była jakość danych źródłowych, którymi dysponowano.

Do najważniejszych zaliczyć można:

1. dotyczące danych **ilościowych**:
   a) nieokreśloność /brak albo niekompletność/ danych w szczególności dotyczących: środków przeciwlotniczych i przeciwpancernych, gdzie poza podaniem /i to nie zawsze/ ogólnej liczby środków, nie precyzowano ilości każdego typu.
   b) niejednoznaczność danych wynikająca z następujących faktów:
      - wiele typów sprzętu jest zeskładowanych, dla jednych państw podawany jest ten fakt, dla innych - nie;

---

[36] */ i wyszkoleniowy/ tak ważny dla systemu organizacyjnego, który się nie realizuje, nie weryfikuje się. /Jeśli już weryfikacja nastąpi, wówczas wszelkie oceny tracą sens./ Niestety, w tym przypadku tylko intuicja lub stosowanie innych metod ocenowych /np. symulacyjnych/ pozwoli uwzględnić te problemy.*

[37] *Powszechnie publikowanych rocznych opracowań* ***Międzynarodowego Instytutu Badań Strategicznych*** *w Londynie - International Institute of Strategic Studies - IISS oraz* ***Międzynarodowego Instytutu Badań nad Pokojem*** *w Sztokholmie - Stockholm International Peace Research Institute - SIPRI.*

[38] *Ale można także na podstawie innych danych.*

[39] *Dane tu zawarte były jednak dalece niewystarczające. Nastąpić zatem musiała ich modyfikacja i uzupełnianie - stosownie do zmian w świecie rzeczywistym. Podstawą tych czynności była analiza literatury.*

- niektóre typy sprzętu są treningowe /ćwiczebne/, ale mogą zostać uzbrojone, stając się bojowymi;
- dla niektórych państw podawane są tylko typy sprzętu, bez podania nawet ogólnej ich ilości albo bez podania ilości każdego z nich;

c) sprzeczność danych polegająca na podawaniu danych nie mających uzasadnienia w swoim kontekście /tak czasowym jak i przedmiotowym/;

2. dotyczące danych **jakościowych**:

a) brak określenia *JWJ*: niektóre typy sprzętu /w szczególności nie ujęte w bazach danych systemu, ale nie tylko te/ nie posiadały określonego *JWJ*. Stąd autor zmuszony był do wypracowania własnych i uzupełnienia treści zbiorów bazo - danowych.

b) niejednoznaczność określenia *JWJ*: niejednokrotnie podanie ilości określonego typu sprzętu było niewystarczające, ponieważ w zależności od oprzyrządowania spełniać on może inne funkcje, a tym samym jego wartość oceniana powinna być innym *JWJ*, czasami mocno różnym. Fakt ten dotyczy złożonych typów sprzętu, np. samolotów, śmigłowców, okrętów, itp.

c) niewłaściwe określenie *JWJ*: niektóre typy sprzętu /złożone systemy broni/ oceniane są zbyt grubo szacowanymi *JWJ*, np. samoloty i okręty; natomiast względnie dobrze oceniane są klasyczne typy sprzętów, tj.: rakiety, czołgi, transportery opancerzone, artyleria, środki przeciwpancerne.

3.3.2.3. Warsztat i narzędzia badawcze

Badania empiryczne i ich udokumentowanie rzeczowe w postaci danych przeprowadzone zostały w następujący sposób:

W systemie wspomagania dowodzenia **MIKRO - OS**, opracowano bazy danych: **MIKRO - OP** /dla Polski/ i **MIKRO - RW** /dla Niemiec, Hiszpanii i Włoch/. Polegało to na określeniu struktury SZ /z wyodrębnieniem rodzajów SZ /RSZ/: W. Ląd. - wojsk lądowych, W. Lot - wojsk lotniczych i MW - marynarki wojennej/ badanych państw, a następnie wyposażeniu jej elementów w odpowiedni sprzęt bojowy. Powstały w ten sposób **autorskie bazy danych o SZ** badanych państw, dla każdego badanego roku /od 1996 do 2000/. Bazy danych są w dyspozycji autora;

W systemie modelowania walki zbrojnej szczebla strategicznego - **MODEL-1** opracowano odpowiednie zgrupowania wojsk /według RSZ i SZ/, uzyskując w ten sposób zbiory zawierające specyfikacje: ilościową, jakościową i potencjałową przedstawioną w sposób zagregowany;

Korzystając z pakietu graficznego opracowywania statystycznego danych **MS EXCEL** uzyskane dane opracowano analitycznie i graficznie /wszystkie przedstawione wyniki analiz statystycznych oraz opracowane rysunki/;

Celem realizacji tych badań było uzyskanie wystarczającego materiału doświadczalnego, aby zasadne było stosowanie metodologii ocenowej PR SZ; analiz w szeregu czasowym <dla ustalonego przedmiotu>, analiz porównawczych <w ustalonym punkcie empirycznym> i zbiorczo: analizę retrospektywną i prospektywną.

3.3.3.Ocena potencjału bojowego SZ Polski

Diagnozę przeprowadzono dla pięciu punktów empirycznych: tj. następujących lat: 1996, 1997, 1998, 1999 i 2000. Ocena dotyczy zarówno całych systemów: SZ jak i ich elementów. Dla SZ przedstawiono strukturę PB w rodzajach sił zbrojnych /RSZ/ tj.: Wojska Lądowe /W.Ląd/, Wojska Lotnicze /W.Lot/ i Marynarka Wojenna /MW/.

3.3.3.1.Ocena stanu i struktury potencjału bojowego SZ Polski

Oszacowanie stanu PB SZ i jego elementów strukturalnych – RSZ dla Polski przedstawiono w tabeli 1. Ich wizualizację na rys.1.

PB SZ Polski w 2000 roku oszacowany został na 9954 jednostek obliczeniowych.

Wykazano, że na PB SZ Polski składa się 74% potencjału zgromadzonego w Wojskach Lądowych, 18% w Wojskach Lotniczych i Obrony Powietrznej oraz 8% w Marynarce Wojennej.

Głównym składnikiem PB SZ Polski jest PB Wojsk Lądowych.

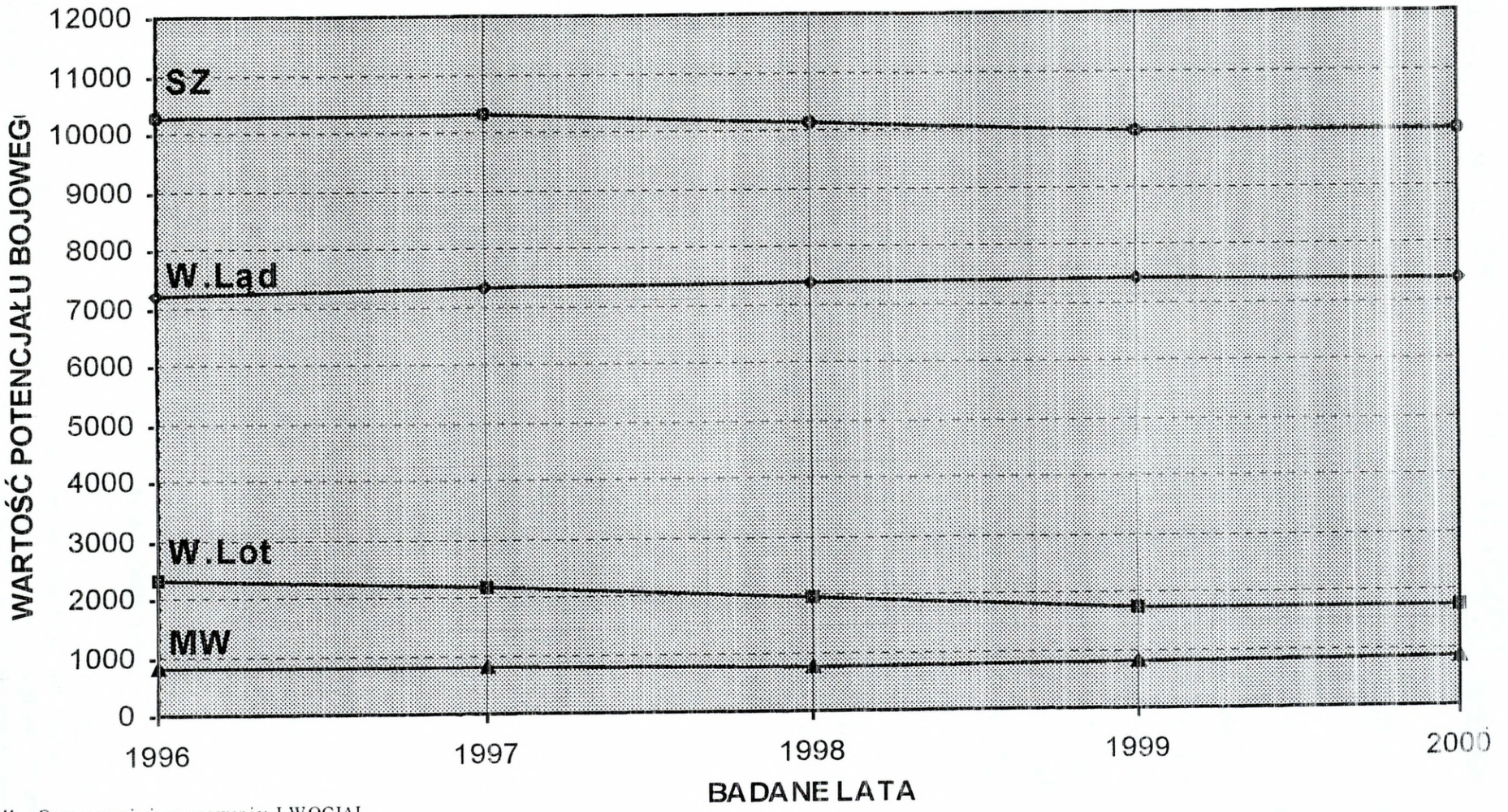
Tabela 1

Potencjał bojowy sił zbrojnych Polski w latach 1996 - 2000

Rodzaje SZ	Wartość potencjału bojowego w umownych jednostkach obliczeniowych (w wartościach bezwzględnych i względnych) w poszczególnych latach				
	1996	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**
Wojska Lądowe	7 187 / 70%	7 334 / 71%	7 385 / 73%	7 425 / 74%	7 373 / 74%
Wojska Lotnicze	2 291 / 22%	2 177 / 21%	1 967 / 19%	1 746 / 18%	1 746 / 18%
Marynarka Wojenna	799 / 8%	792 / 8%	775 / 8%	802 / 8%	835 / 8%
Siły zbrojne	10 276 / 100%	10 303 / 100%	10 125 / 100%	9 973 / 100%	9 954 / 100%

Źródło: J.WOCIAL

POTENCJAŁ BOJOWY SZ I RSZ POLSKI
W LATACH 1996 - 2000



Źródło: Oszacowanie i opracowanie: J.WOCIAL

4. ANALIZA SYSTEMÓW I PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH POD WZGLĘDEM ICH PRZYDATNOŚCI W PRACACH DOTYCZĄCYCH OCEN POTENCJAŁU

4.1. Procedura badania SOP i SZ

Ocena wartości SOP, rzeczywistego systemu organizacyjnego jest - ogólnie mówiąc - niezwykle trudna. Przyczyn takiego stanu rzeczy jest wiele. Najważniejsze z nich, to że SOP jest systemem wielkim i złożonym - co wymaga znacznej redukcji tej złożoności /do jednego lub kilku aspektów ocenowych/ i ograniczenia ich „oglądalności" do określonej perspektywy /np. *macro*/. Ponadto SOP nie realizuje swojego celu /*stricte*/, dla spełnienia, którego został powołany do bytu, nie weryfikuje się[40]. Wszelkie oceny wartości SOP wynikają bardziej z przeświadczenia podmiotu oceniającego, niż własności samego przedmiotu ocenianego.

Z powyższych przyczyn wynika konieczność dokonania istotnych redukcji i ograniczeń aspektu badanego przedmiotu. Autor proponuje przyjąć /zastosować/ - zawsze realizowaną, ale rzadko uświadamianą - procedurę, której ogólną ideę przedstawia rys.2. Uwidocznione zostały w niej trzy główne procesy:

1/. Proces przejścia od **systemu SOP - oryginału** do **modelu** /systemu SOP/ jest procesem **modelowania**. Aby możliwe było kwantytatywne podejście - modelowanie /w interesującym badacza aspekcie/ odwzorować powinno stan i strukturę oryginału w postaci określonych miar /numerycznych, lingwistycznych, itp./.

2/. Proces przejścia od **modelu** /systemu SOP/ **w chwili** czasu t_0 do **modelu** /systemu SOP/ **w chwili** czasu $t_0 + \tau$ jest procesem **prognozowania** zmian /rozwoju/ modelu. Prognozowaniu podlegać mogą tylko zmienne określone w modelu /ogólnie: stan i/lub struktura/. Zastosowanie różnych metod prognozowania daje najczęściej różne wyniki. Niemniej powinny określić:

- zmienne modelu w chwili czasu $t_0 + \tau$;
- i/lub trajektorie zmian zmiennych modelu w okresie czasu τ.

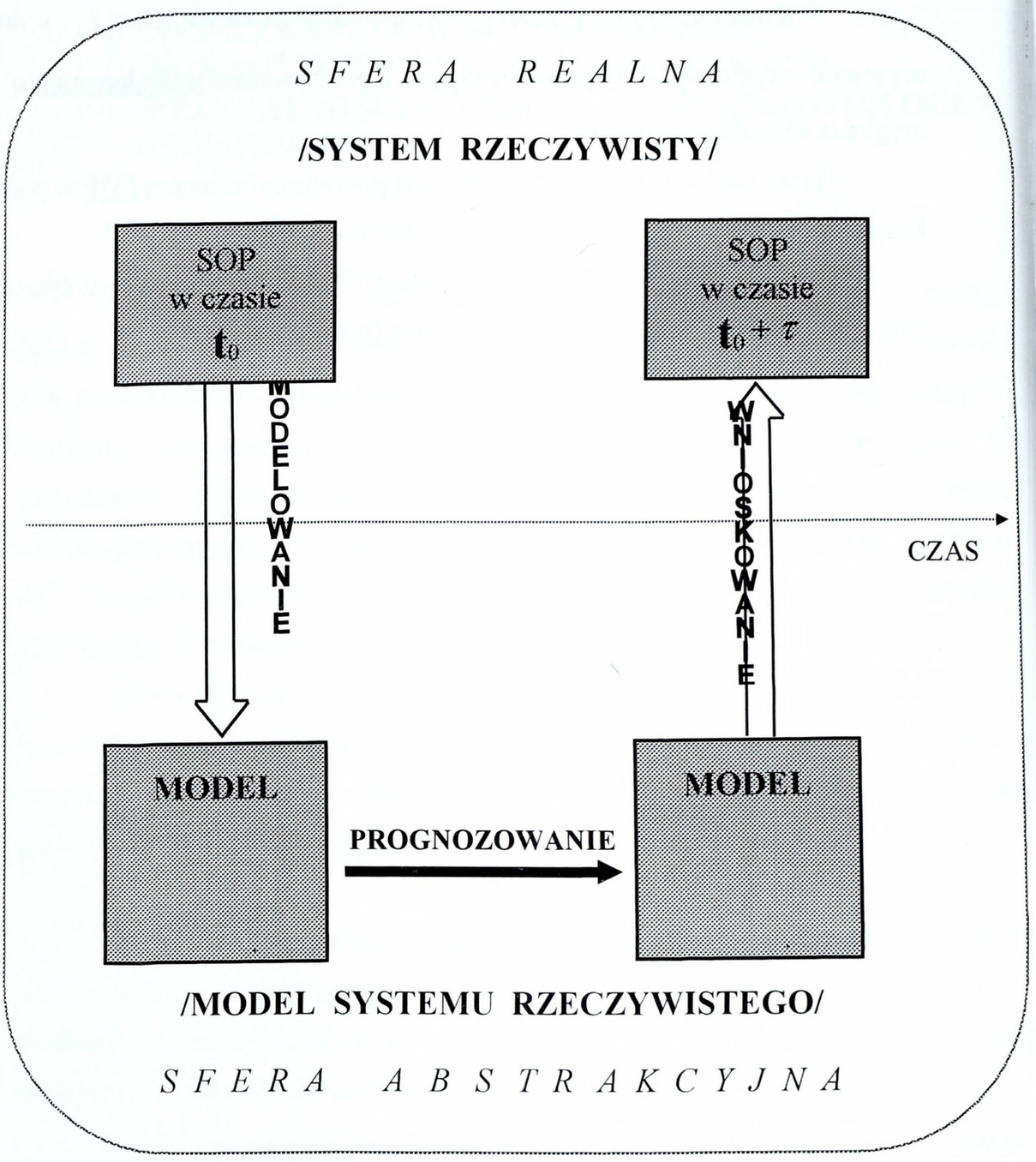
---

[40] K. Knorr - *Military Power and Potential*, Lexington, 1970 s. 22 pisze: *„Nie ma, ani teoretycznego, ani empirycznej aparatury do zmierzenia i porównania, a zwłaszcza przewidywania, siły walki zmobilizowanych SZ różnych państw. (...) Jedynym znanym, precyzyjnym testem miary jest test bitwy."*. Zob. J. Stefanowicz - *Bezpieczeństwo współczenych państw*, PAX, Warszawa, 1970, s.115-117.

3/. Proces przejścia od **modelu** /systemu SOP/ **w chwili** czasu $t_0 + \tau$ do **oryginału - systemu SZ w chwili** czasu $t_0 + \tau$ jest procesem **wnioskowania** o oryginale na podstawie modelu.

Powyższe trzy etapy stanowią łącznie **procedurę** badawczą **SOP** w podejściu **kwantytatywnym.**

Przejęta *ogólna procedura* /rys.3/ badania SOP jest poprawna metodycznie i umożliwi realizację postawionego celu **- ocenę (potencjału) SOP**.



Rys.3. Procedura badawcza SOP

ŹRÓDŁO: Opracowanie własne

4.2. Istota komputerowych modeli ocenowych potencjału

Do badania różnych przedmiotów (obiektów i zjawisk) najkorzystniejszym jest ***podejście systemowe***, pozwalające na rozpatrywanie wszystkich aspektów problemu jako całości.

Wyróżnikami ***podejścia systemowego*** są następujące cechy działania poznawczego i pragmatycznego (praktycznego)[41]:

- traktowanie badanego przedmiotu jako systemu,
- traktowanie danego przedmiotu jako systemu złożonego z wzajemnie powiązanych podsystemów,
- traktowanie przedmiotu jako systemu należącego do większego systemu,
- świadome posługiwanie się **modelem systemu** o określonym poziomie rozdzielności, wyróżniającym określony aspekt działania przedmiotu.

Przyjmijmy zatem następującą definicję systemu: "**Systemem nazywa się każdy złożony obiekt wyróżniony z badanej rzeczywistości, stanowiący całość tworzoną przez zbiór obiektów elementarnych (elementów) i powiązań (relacji) pomiędzy nimi**".[42]

System jest więc określoną całością - ma swój **skład** (kompozycję) czyli zbiór tworzących go elementów oraz **strukturę** czyli zbiór istotnych relacji między tymi elementami.

Jeśli relacje zachodzące pomiędzy elementami systemu pociągają tworzenie nowej własności systemu, to jest to cecha systemowa. **Cechą systemową** zatem nazywamy taką własność, która charakteryzuje system jako całość, lecz której nie mają elementy systemu.

Stosowanie w procesie badawczym podejścia systemowego (wprowadzanie pojęcia systemu dla badanego przedmiotu, dekompozycja na podsystemy, itp.) wymaga przestrzegania następujących reguł posługiwania się pojęciem systemu:

- **ścisłość** - ściśle określić, elementy należące do systemu i elementy jego otoczenia,
- **niezmienność** - określony systemu jest niezmienny podczas badań,
- **zupełność** - podział systemu powinien być zupełny,
- **rozłączność** - podział systemu powinien być rozłączny,

---

[41] *P.Sienkiewicz, "Inżynieria systemów kierowania", PWE 1988, s.57*

W procesie badawczym realizowany jest proces modelowania. **Modelowanie jest odwzorowaniem w określonym języku badanego przedmiotu (oryginału)**.

Między systemem pojęciowym przyjętym jako model danego systemu rzeczywistego, a oryginałem (tj. systemem rzeczywistym) musi zachodzić co najmniej relacja **homomorfizmu**, wyrażającym większe lub mniejsze podobieństwo (strukturalne, funkcjonalne) modelu do oryginału.

Tak więc, **model to umowny (abstrakcyjny) obraz przedmiotu rzeczywistego**. Model może w wielu szczegółach różnić się od tego oryginału, ale powinien zachować z nim pewne wspólne cechy, podobieństwo i analogię, głównie w odniesieniu do charakterystyk podlegających badaniu zgodnie z założonymi celami.

Klasyfikację modeli systemów można przeprowadzić ze względu na różne kryteria. Najczęściej występujące to:

- **przeznaczenia** (badawcze, pragmatyczne, modele jako wzory);
- **przydatności** (zjawiskowe, OCENOWE, decyzyjne);
- **odwzorowania zmian i procesów** (statyczne, dynamiczne);
- stosowanego **stopnia abstrakcji** (opisowe, fizyczne, analogowe, formalne);
- **określoności zmiennych modelu** (deterministyczne, probabilistyczne, strategiczne, rozmyte[43];
- **odwzorowania struktury systemu** (strukturalne, funkcjonalne, rozwojowe);
- **sposób przedstawienia modelu** (opisowe, ikonograficzne, wykreślne, analityczne, fizyczne);
- **technikę postępowania z modelem (eksperymentowania)** (analityczne (normatywne), symulacyjne).

Przy czym najważniejszymi kryteriami klasyfikacji modeli są następujące[44]:

1. Ze względu na **cel poznawczy (rezultat modelowania)** wyróżnia się modele:
   - **desygnujące** (zjawiskowe, wyjaśniające), których celem jest uzyskanie pożądanego wyjaśnienia istoty cech (zjawisk) systemu;

---

[42] *P.Sienkiewicz , " Teoria efektywności systemów kierowania" T.1 – Wstęp do systemologii. Rozprawa habilitacyjna, ASG, 1979, s.82*

[43] *Klasyfikacja podana przez A. Chojnackiego, "Modelowanie matematyczne", W-wa 1986, s.30-31*

[44] *P.Sienkiewicz „Inżynieria systemów kierowania", PWE 1988, s.91*

- **ocenowe**, których celem jest uzyskanie OCEN, czyli wypowiedzi wyrażających aprobatę lub dezaprobatę dla stanu (przeszłego, bieżącego, przyszłego) systemu;
- **decyzyjne**, których celem jest uzyskanie określonych decyzji, niezbędnych do zapewnienia stanu pożądanego ze względu na przyjęte kryterium.

2. Ze względu na **formę przedstawienia modelu** (język modelowania) wyróżnia się modele:

- **opisowe** wyrażone w języku naturalnym.
- **formalne (symboliczne)** wyrażone w języku logiki (głównie logiki matematycznej);
- **matematyczne** wyrażone w języku matematyki. W modelach matematycznych zależności i powiązania przedstawiane są przy pomocy równań i układów równań algebraicznych różniczkowych oraz nierówności, itp.

3. Ze względu przyjmowany **aspekt badawczy** wyróżnia się modele:

- **morfologii** (struktury, budowy) systemu;
- **funkcjonowania** (zachowania się , działania) systemu;
- **rozwoju** (ewolucji, przemian) systemu.

Wyróżnione aspekty wyrażają także postępujący stopień poznania systemów: (1) wiąże się z poznaniem budowy systemu (jego elementów i powiązań między nimi), (2) – z poznaniem praw rozwoju systemu, czyli z określeniem kierunków przemian jego struktur, funkcji, procesów, itp.

W klasie modeli matematycznych klasyfikację modeli systemów można rozszerzyć, jeżeli rozpatrzymy np. charakter stosowanych kategorii matematycznych, to wtedy możemy mówić o modelach :

- **ciągłych i dyskretnych;**
- **liniowych i nieliniowych;**
- **statycznych i dynamicznych;**
- **deterministycznych i probabilistycznych;**

Zauważmy jeszcze, że, jeżeli uzyskany model dotyczy tylko **wybranego aspektu badań**, to można mówić o **modelu cząstkowym (jednoaspektowym)**, jeśli zaś wszystkie, to o **modelu kompleksowym (wieloaspektowym)**.

Jak powiedziano 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. utylitarne, 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 liczność zbioru kryteriów oceny efektywności wyróżnia się oceny:

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

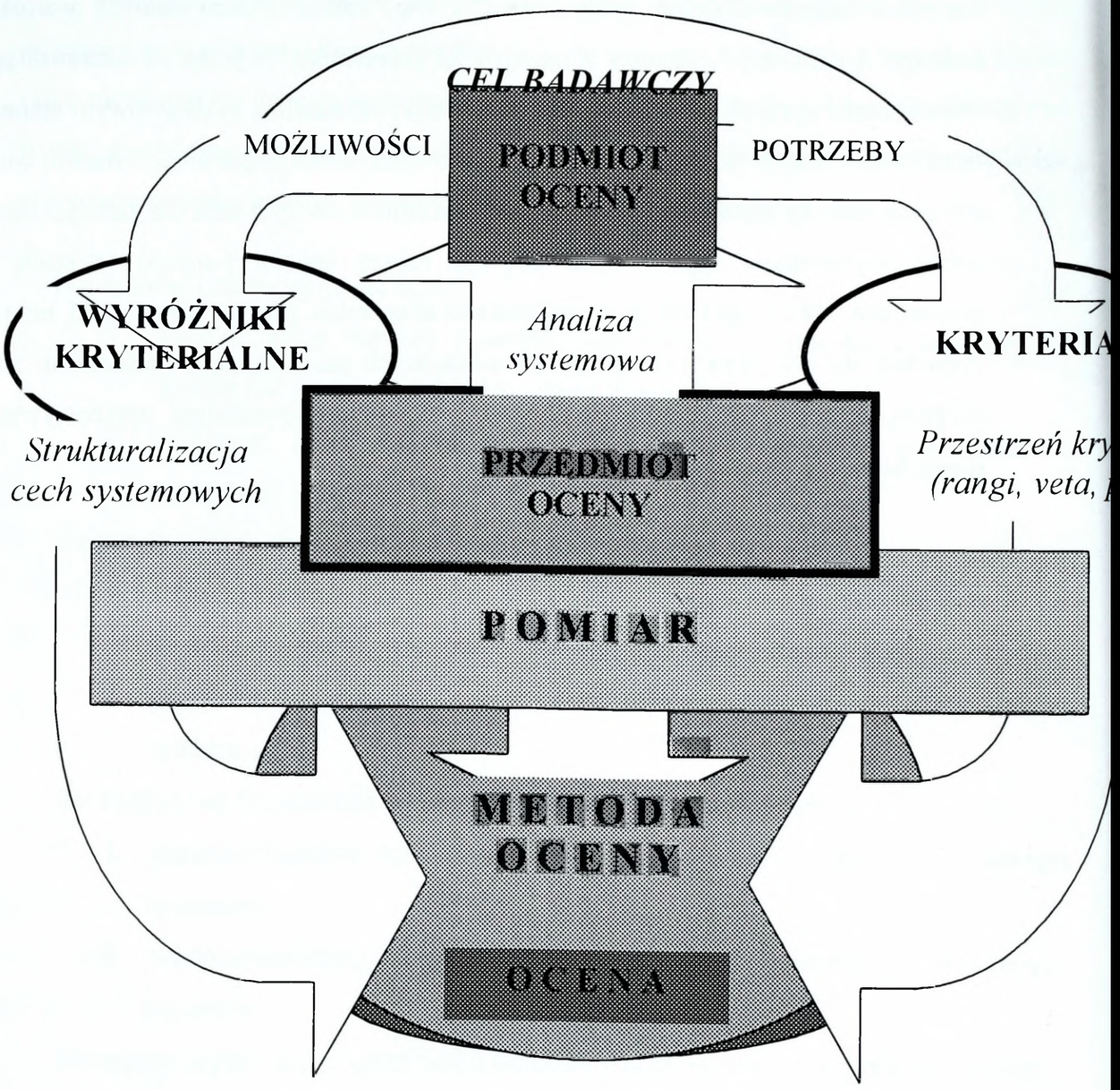
Do najważniejszych czynności realizowanych w procesie oceniania systemów należą:

- 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. 4 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. 4. Koncepcja modelu ocenowego

ŹRÓDŁO: J. Wocial

4.3. Teoretyczne modele walki

4.3.1. Modele kalkulacyjne

4.3.1.1. Istota modelu

Oszacowanie wielkości potencjału obronnego państwa nastręcza wiele trudności, wynika to z samej definicji potencjału, jak i z tego, że obiekt mierzony charakteryzuje się różnorodnymi wielkościami. Dobór wielkości (w sensie cech), ich ranga, normalizacja nie pozostają bez wpływu na wielkość wynikową. W środowiskach zajmujących się

problematyką pomiaru wszelkich kategorii potęgi, w tym także potencjału obronnego państwa opinie na temat zasadności pomiaru są kontrowersyjne. Realiści zwracają uwagę na trudności pomiaru, ograniczone możliwości kwantyfikacji czynników zwłaszcza politycznych podstaw potęgi i przyjmują, że jedynym wiarygodnym testem jest test bitwy. Pomimo zauważalnego sceptycyzmu co do możliwości i sensowności uzyskania wiarygodnego szacunku, wydaje się, że pomiary przeprowadzone z dokładnością do rzędu wielkości lub przedziału wartości mogą już stanowić podstawę do prowadzenia analiz porównawczych wykorzystywanych w pracach planistycznych, podejmowaniu decyzji czy informowania. Oszacowanie (zmierzenie) wartości potencjału gospodarczego – obronnego wymaga odpowiednich narzędzi badawczych – modeli matematycznych. Przystępując do pomiaru należy być świadomym jakim celom ma służyć pomiar. W zależności od celu badań (jaki decydent, do podejmowania jakich decyzji będzie wyniki wykorzystywał) należy zwrócić uwagę na:

* Dopuszczalny błąd pomiaru,
* Metodę pomiaru,
* Sposób weryfikacji wyników,
* Sposób interpretacji wyników.

Szacunki wartości potencjału gospodarczo – obronnego przeprowadza się w celach:

Poznawczo – porównawczych. Uzyskane wyniki służą do oceny własnych możliwości oraz hipotetycznych sojuszników i przeciwników. Wyniki porównań własnych możliwości z możliwościami innych można wykorzystać w pracach dotyczących kształtowania podstaw systemu bezpieczeństwa zwłaszcza gdy jego koncepcja opiera się na równowadze potencjałów.

Planistycznym. Wyniki można traktować jako wskaźniki, kryteria decyzyjne dla organów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo narodowe.

Do pełnego opisu potencjału gospodarczo – obronnego konieczna jest jego parametryzacja. Zamiar ten może być zrealizowany poprzez scharakteryzowanie potencjału takimi wielkościami jak:

- masa – wielkość zasobu,
- gotowość – wielkość zasobu gotowego do użycia,
- mobilność – zdolność uzyskania gotowości.

W literaturze przedmiotu wyróżnia się dwa podejścia do szacowania wielkości potencjału gospodarczo – obronnego:

- syntetyczne, które w ujęciu „agregatowym" umożliwia przybliżony, ogólny pomiar (szacunek),
- analityczne – ilościowe określenie rozmiarów poszczególnych czynników potencjału.

Pierwsze z nich stosuje się do ocen przybliżonych, ale całościowych, na przykład do porównania produktu narodowego brutto określonych państw. W badaniach szczegółowych, np. wielkości produkcji metali można posługiwać się miernikami analitycznymi.

4.3.1.2. Modele funkcjonujące

Model Knorra

Zdaniem autora modelu[45] najdogodniejszym miernikiem syntetycznym potencjału gospodarczo-obronnego jest produkt krajowy brutto (PKB) i udział w nim wydatków militarnych. Możliwości pokrycia szeroko rozumianych wydatków militarnych określa wielkość nadwyżki PKB, która zostaje uzyskana w wyniku modyfikacji w rachunku dochodu narodowego i dokonania koniecznych zmian poszczególnych jego składników. Bazując na tej koncepcji, potencjał gospodarczo obronny szacowany jest w oparciu o poniższy zapis matematyczny.

$$P_{G-O} = PKB + A + K_C - I_b - Z_C +_- I$$

Uruchomienie dodatkowych mocy wytwórczych lub zwiększenie wydajności w wyniku uaktywnienia siły roboczej powiększa dodatkową produkcję o wielkość A.

Zmniejszona produkcja dóbr ze względu na zredukowaną konsumpcję ludności cywilnej oznacza zmniejszenie produkcji środków produkcji i konsumpcji dla sektora cywilnego (K_C) co wynika z konieczności zmiany profilu produkcji w zakładach.

Redukcja krajowych inwestycji (I_b) oznacza zablokowanie takich inwestycji, które nie są istotne dla powiększenia produkcji wojennej.

---

[45] M. Sułek, Pomiar potencjału wojenno-ekonomicznego za pomocą mierników syntetycznych. Materiały i studia nr 11/1992. AON-Warszawa.

Zredukowanie wielkości cywilnych zakupów (Z_c) umożliwia przeznaczenie tych funduszy na zakupy sektora militarnego.

Zmiany w wydajności pracy mogą powiększyć lub zmniejszyć wielkość nadwyżki PKB.

Zalety modelu Knorra wynikają z prostoty obliczeń oraz z jednakowego, pieniężnego miana wszystkich składników.

Do wad należy zaliczyć zastosowanie trudno mierzalnych składników oraz możliwość niedokładnego ich oszacowania i wymaga wiedzy ekspertów.

Zakładając, że dysponuje się danymi „ a priori" można ten model wykorzystać do jako model akademicki dla potrzeb dydaktycznych czy też do badań symulacyjnych, choć do prognozowania jest mało przydatna.

Model Stankiewicza

Punktem wyjścia dla modelu[46] są tezy doktryny obronnej odnoszące się do takich pojęć jak „ produkcja wojenna" i „czas mobilizacji gospodarczej". Konsekwencją ma być zajęcie stanowiska w kwestiach wielkości i struktury produkcji mającej podstawowe znaczenie w przyszłej wojnie oraz czasu niezbędnego na zmobilizowanie gospodarki.

Przyjęcie założeń dotyczących produkcji akceptowalnej przez doktrynę obronną, w przedziale czasu potrzebnego na mobilizację i prowadzenie wojny pozwala wysnuć tezę, że potrzeby wojenne dają się odzwierciedlić w hipotetycznym dochodzie narodowym, który to może być oszacowany dla przyszłych okresów.

Autor modelu proponuje następujące zależności na określenie wartości potencjału:

$$\mathbf{P = D(T - t)}$$

lub

$$P = WT - t)$$

Gdzie:

P – potencjał gospodarczo-obronny;

D – oszacowany „*ex ante*" dochód narodowy (o strukturze akceptowanej przez doktrynę obronną);

W – przewidywana wielkość produkcji wojennej w jednostce czasu;

T – czas prowadzenia wojny;

T – czas potrzebny na mobilizację gospodarki.

Model Stankiewicza ma niezaprzeczalne zalety dla dokonywania szacunków zgrubnych ze względu na czytelność mian składników oraz prostotę obliczeń. Problemy występują przy pomiarze składników wyrażeń, które w zasadzie można jedynie szacować, a szacunki mogą być obarczone dużym błędem. Źródła danych – oceny ekspertów, są trudno dostępne. Metoda może być aplikowana i jako model służyć do badań symulacyjnych, lecz przy analizach porównawczych uzyskane wyniki mogą nie odzwierciedlać rzeczywistości.

Model Ciastonia

S. Ciastoń w pracy „Elementy teorii ekonomiki obrony" z 1974 r. wylicza następujące kategorie czynników „potencjałotwórczych":

1. Czynniki społeczno polityczne:
   - ustrój, sojusze,
   - systemy i metody zarządzania,
   - świadomość polityczna i kulturalna,
   - poziom wykształcenia,
   - poziom zdrowia społeczeństwa.
2. Elementy społeczno-gospodarcze i geograficzne:
   - siły wytwórcze,
   - międzynarodowa współpraca gospodarcza,
   - poziom organizacyjno-techniczny przemysłu,
   - rozwój dróg i mostów,
   - stan łączności,
   - stan energetyki,
   - zasoby i rezerwy materiałowe,
   - poziom nauki,
   - położenie geograficzne,
   - zasoby naturalne.

---

[46] *W. Stankiewicz, Ekonomika obrony. Warszawa 1970.*

3. Elementy militarne:

- sojusze wojskowe,
- liczebność i jakość sił zbrojnych,
- formalizacje zmilitaryzowane i obrony cywilnej,
- budownictwo obronne,
- środki indywidualnej ochrony.

Z przedstawionej grupy czynników nie wszystkie w prosty sposób są mierzalne, a zatem oszacowanie ich wartości może wymagać udziału ekspertów. Dobór cech również może budzić kontrowersje, stąd autor opis modelu podaje bardzo ogólnie jako „jakąś" zależność funkcyjną

$$PGO_m = 1/n\, f(L, P, W, R, S, ...)$$

gdzie:

PGO – potencjał gospodarczo-obronny,
L – ludność,
P – powierzchnia kraju,
S – produkcja stali,
R – produkcja ropy naftowej,
n – współczynnik skali np. 1 – 10, 1 – 1000,
m – rok, dla którego przeprowadzono obliczenia.

Zaletą modelu jest to, że wyspecyfikowana grupa składników w sposób miarodajny odzwierciedla potęgę państwa.

Wadą modelu jest to, że składniki wyrażone są różnymi mianami. Niektóre są trudne do oszacowania.

Przy tak dużym uogólnieniu opisu model nie nadaje się do implementacji.

Model Farrara

Autor modelu proponuje określenie wielkości potencjału gospodarczo obronnego w oparciu o prosty wzór.

$$P = IP*L$$

gdzie:

P – wielkość potencjału;

IP – produkcja przemysłowa;

L – ludność.

W oparciu o powyższe można stwierdzić, że zaproponowana formuła, z uwagi na swą lapidarność, nie da się wykorzystać w efektywny sposób dla wiarygodnej parametryzacji potencjału.

Model R.S. Cline'a

R.S. Cline[47] uznaje potencjał gospodarczo – obronny za jeden z filarów potęgi państwa. Pojęcie potęgi (*power*) syntetyzuje możliwości jednostki politycznej (państwa, sojuszu) na arenie międzynarodowej.

Model który zaproponował R.S. Cline składa się z dwóch charakterystycznych części takich jak;

- • części pierwszej (C+E+M), odpowiadającej w przybliżeniu pojęciu potencjału gospodarczo-obronnego państwa;
  • części drugiej (S+W), wskazującej na możliwości jego uruchomienia, co w sumie daje ocenę roli, jaką państwo może odgrywać na arenie międzynarodowej, w tym również (a może nawet przede wszystkim) w czasie konfliktu zbrojnego.

Formułę Cline'a można zapisać jak niżej

$$\mathbf{Pp = (C + E + M) * (S + W)}$$

gdzie:

Pp - *perceived power* (potencjał ogólny) państwa w stosunkach międzynarodowych;

C – *critical mass* (masa krytyczna) czyli ludność i terytorium łącznie danego państwa;

E – *economik capability* (możliwości gospodarki) potencjał gospodarczy;

M – *militqry capability* (możliwości militarne) potencjał militarny;

[47] *W. Stankiewicz, Ekonomika obrony, Warszawa AON, 1994, s. 70.*

S – *strategic purpose* (strategia państwa;

W – wola urzeczywistnienia strategii państwa.

Terytorium mierzone jest w tysiącach mil kwadratowych, ludność w milionach. Możliwości gospodarki określane przez PKB liczony w miliardach dolarów, udział w handlu światowym oraz PKB na głowę mieszkańca. Wszystkie te wartości bezwzględne przeliczane są na punkty, przy czym przyjęto poziom maksymalny i minimalny punktów. Uzyskanie wyniku powyżej maksimum nie daje nic więcej, poniżej zaś minimum daje zero punktów. Punkty przyznawane są w zasadzie w zależności od tego, do jakiej grupy, obejmujące kraje o zbliżonych wartościach, należy dane państwo.

Model W. Fucksa

Model pomiaru potęgi militarnej wg W. Fucksa[48] (1965rok), fizyka niemieckiego opiera się na koncepcji trzech tzw. czynników potęgotwórczych : ludności , produkcji stali i produkcji energii elektrycznej.

Ogólny wskaźnik potęgi ekonomiczno - obronnej (M) oblicza się wg poniższych wzorów:

$$Ms = L^a \cdot S^b ,$$

przy czym $Ms = L^{\frac{1}{3}} \cdot S$

$$Me = L^a \cdot E^b ,$$

przy czym $Me = L^{\frac{1}{3}} \cdot E$

$$M = \frac{Ms + Me}{2}$$

gdzie:

M - syntetyczny wskaźnik potencjału gospodarczo - obronnego.

Ms - wskaźnik cząstkowy oparty na liczbie ludności i produkcji stali,

[48] *Tamże, s. 71.*

Me - wskaźnik cząstkowy oparty na liczbie ludności i produkcji energii elektrycznej,

L - liczba ludności,

S - produkcja stali,

E - produkcja energii elektrycznej,

a, b - współczynniki przyjmujące wartości 1/3; 1/2; 2/3; 1; 2.

Przeprowadzone obliczenia i ich weryfikacja na podstawie badań potencjału gospod. - obronnego wybranych państw wykazały ,że najlepiej jest stosować współczynniki a= 1/3; b=1.

Do tej prostej konstrukcji Fuks doszedł wykorzystując własności krzywej logistycznej oraz metodę prób i błędów.

Po krytyce, która odnosiła się głównie do potęgotwórczego charakteru stali , Fucks zmodyfikował w 1978 r dowartościowując w nim rolę energii elektrycznej, pozostawiając jednocześnie sporo swobody dla potencjalnych użytkowników jego modelu. Zaleca on po prostu liczenie cząstkowego wskaźnika Me podwojonego lub potrojonego. Ogólny zapis przyjmie wtedy postać:

$$P = \frac{1}{a+b}[a(L^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{E}{n}) + b(L^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{S}{n})]$$

gdzie założono:

a,b - wielokrotności wskaźników cząstkowych np. a = 3, b = 1,
n - wskaźnik znormalizowany, n = 1.

Model Kulczyckiego

R. Kulczycki[49] potencjał militarny , wojenny przedstawił wg poniższej formuły jako:

PW = W* (U * PR) gdzie,

PW - potencjał militarny , wojenny;

PR - wskaźnik wykorzystania potencjału rażenia na określonym kierunku zagrożenia ;

---

[49] *R. Kulczycki, Metodyka prognozowania (diagnozowania) stanu pokoju i zagrożenia militarnego Polski AON, Warszawa 1993, s. 32.*

W - uogólniony wskaźnik wykorzystania potencjału rażenia obliczony wg poniższej formuły:

$$W = W^L * W^Z * W^K * W^W$$

gdzie:

W^L – współczynnik wpływu czynnika ludzkiego na efektywność wykorzystania potencjału rażenia;
W^Z - współczynnik wpływu zasilania na efektywność wykorzystania potencjału rażenia;
W^W - współczynnik wpływu kierowania na efektywność wykorzystania potencjału rażenia;
W^K - współczynnik wpływu kierowania na efektywność wykorzystania potencjału rażenia.

Dalszy rozwój teorii potencjału poszedł w kierunku precyzowania wzajemnych powiązań między jego elementami i poszerzania zestawu wskaźników charakteryzujących potencjał z różnych stron.

Model Sułka

M. Sułek przyjął założenie, że ogromne potrzeby materialne systemu obronnego państwa, w tym głownie sił zbrojnych mogą być zaspokojone przez odpowiednio do tego przygotowaną gospodarkę. Ze względu na dużą liczbę dziedzin mających szczególne znaczenie dla obronności(bezpieczeństwa) państwa autor przyjął, że główną miarą potencjału obronnego jest odpowiednio skorygowany produkt krajowy brutto. W modelu rolę czynnika korygującego pełni stopa wydatków militarnych. Ponadto za czynniki kreatywne potencjału autor przyjmuje ludność i powierzchnię kraju. Zasoby ludzkie są źródłem składnika osobowego sił zbrojnych, a także siły roboczej. Powierzchnia państwa jest postrzegana nie tylko jako teren ale również jako obszar (przestrzeń), na którym mogą być prowadzone działania wojenne. Z uwagi na fakt, że czas i przestrzeń mają szczególne znaczenie dla szeroko rozumianego zaplecza gospodarczego sił zbrojnych czynnik czasu ujęty jest w modelu w produkcie krajowym brutto (ma wymiar dochodu w jednostce czasu). Rozumowanie stanowi logicznie spójną całość. Ujmuje bowiem ludzi (pracowników i żołnierzy), narzędzia pracy i walki, oraz przestrzeń i czas, a więc wszystkie istotne dla pokojowej produkcji i walki czynniki. Model przedstawia się następująco.

$$P = f(w, l, p)$$

gdzie:

P. – wartość potencjału
w = m*D – wielkość wydatków militarnych,
m. – stopa wydatków,
D – produkt krajowy brutto,
L – liczba ludności,
P. – powierzchnia kraju.

Dla potrzeb badawczych autor proponuje model w zależności funkcyjnej

$$P.=w^{\alpha} * l^{\beta} * p^{\gamma}$$

Gdzie α, β, γ - stałe (autor proponuje wartości: $\alpha = 1.5$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 0.25$).

Wartość potencjału oszacowana na podstawie rzeczywistej wartości stopy wydatków stopy wydatków stanowi tylko część potencjalnych (globalnych) możliwości państwa - potencjał wykorzystania (Pw). Przyjmując do obliczeń maksymalną (np. m. = 1 – maksymalny koszt jaki może ponieść społeczeństwo) wartość wydatków można oszacować potencjał globalny (Pg). Różnica między wartością globalną a wykorzystaną potencjału stanowi rezerwę potencjału (Pg).

$$Pg = Pw + Pr$$

Porównanie wskaźników wykorzystania, globalnych i rezerw oraz relacji między nimi daje możliwość wnikliwszej analizy i charakteru potencjału.

Po przekształceniu zależności $P = w^{\alpha} * l^{\beta} * p^{\gamma}$ można wyznaczyć wskaźniki – składowe – udział poszczególnych czynników w wielkości szacowanej. Będą to następujące wskaźniki:

- U_w – udział wydatków militarnych we wskaźniku Pw,
- U_{lw} – udział ludności we wskaźniku $P._w$,
- U_{pw} - udział powierzchni we wskaźniku $P._w$,
- U_d – udział PKB we wskaźniku P_g,
- U_{lg} – udział ludności we wskaźniku P_g,
- U_{pg} – udział powierzchni we wskaźniku P_g.

Wskaźniki gotowości potencjału autor określa następującymi zależnościami:

$$q_p = \frac{P_w}{P_g}$$

$$q_w = \frac{w}{P_g}$$

$$q = \frac{\sqrt{P_w}}{P_g}$$

Wskaźnik mobilności (elastyczności) potencjału:

$$f_1 = \frac{P_w}{l}$$

$$f_p = \frac{P_w}{l}$$

$$f = \frac{P_w}{\sqrt{l * p}}$$

Zaletą modelu M. Sułka jest to, że wszystkie składniki są łatwo mierzalne; jest prosty do obliczeń.

Do wad należy zaliczyć fakt, że dla państw o małym dochodzie narodowym niektóre wskaźniki mogą przyjmować wartości ujemne co budzić może pewne wątpliwości natury interpretacyjnej.

Model jest przydatny do analiz porównawczych; wyniki mogą służyć do wypracowania pochodnych wskaźników ocenowych.

Model bilansowy

Metoda bilansowa jest jednym z bardziej rozpowszechnionych mierników analitycznych potencjału obronnego. Umożliwia ona porównanie potrzeb i możliwości ich zaspokojenia w przewidywanym okresie. Podstawę każdego bilansu stanowi równość sum stron przychodowych i rozchodowych. Główne pozycje aktywów i pasywów mogą być następujące:

Aktywa (strona przychodowa):

- stan zapasów,
- dostawy z produkcji bieżącej,
- dostawy od sojuszników i krajów neutralnych.

Pasywa:

- przewidywane zużycie w okresie mobilizacji i wojny,
- do produkcji cywilnej,

- do produkcji wojennej,
- eksport do sojuszników, krajów neutralnych, potencjalnego przeciwnika.

Analizę nakładów i wyników przeprowadza się tzw. metodą przepływów międzygałęziowych. Schemat takiego bilansu odzwierciedla gałęzie sektora militarnego i cywilnego gospodarki narodowej oraz macierz współczynników technicznych produkcji.

Do zalet modelu należy możliwość wyznaczenia potencjalnych rezerw w gałęziach. Zasadniczą wada modelu jest iż w wyniku nie otrzymuje się jednego wskaźnika potencjału; trudno określić macierz współczynników technicznych produkcji; mogą wystąpić duże różnice w przewidywaniach i kalkulowanych potrzebach (sektora militarnego) i możliwości ich zaspokojenia

4.3.2. Modele taksonomiczne

4.3.2.1. Istota modelu taksonomicznego

Teoria badań potencjałowych bazuje głównie na dwóch klasach metod - analitycznych i heurystycznych, przy czym największe znaczenie praktyczne mają tzw. metody mieszane, z ewentualną przewagą jednej bądź drugiej klasy metod teoretycznych. W efekcie powstały dwie odrębne podklasy metod - metody ilościowo-jakościowe i jakościowo-ilościowe. Podejście analityczne bazuje na zdeterminowanych wzorach i formułach obliczeniowych i posługuje się z reguły tzw. syntetycznym wskaźnikiem jakości. Podejście heurystyczne oparte jest na różnorodnych systemach wartościowania i na rozmaitych technikach eksperckich, posiłkując się zasadniczo różnymi systemami wag, rang oraz współczynników wagowych.

Prezentowana poniżej taksonomiczna metoda wyznaczania potencjału bojowego (TAX) należy w zasadzie do klasy metod analitycznych (statystycznych), jednak ze względu na specyfikę badań potencjałowych wykorzystuje również pewne systemy tzw. rang potencjałowych, pozwalających uwzględnić niektóre aspekty jakościowej oceny zdolności bojowych.

Szeroko wykorzystywane w badaniach stosowanych metody taksonomiczne należą do grupy metod numerycznych, bazujących na statystycznej analizie porównawczej. Generalnie metody taksonomiczne służą do rozwiązywania problemów porównywalności oraz porządkowania danej zbiorowości, ze względu na poziom przyjętego miernika, będącego syntezą wielocechowego kryterium jakości. Pozwalają klasyfikować (porządkować, grupować) obiekty w wielowymiarowej przestrzeni ich charakterystyk.

Głównym celem badania taksonomicznego jest porządkowanie zbioru obiektów ze względu na poziom wielocechowego zjawiska (wskaźnika). Mówiąc inaczej, metody taksonomiczne pozwalają klasyfikować (porządkować, grupować) obiekty w wielowymiarowej przestrzeni ich cech (charakterystyk).

Podstawowymi pojęciami w taksonomii są pojęcia obiektu oraz cechy. Obiektami są jednostki badania podlegające klasyfikacji.

$$Q = \{Q_n;\ n = \overline{1, N}\} \qquad (1)$$

gdzie:

Q_n - n-ty obiekt zbioru Q;

N - liczność zbioru obiektów.

Przedmiotem klasyfikacji nie jest oczywiście jeden obiekt, lecz zbiór obiektów Q. Specyficznym obiektem badania są różnorodne formy struktur organizacyjnych (bojowych), które mogą być także analizowane metodami taksonomicznymi.

Pojęcie obiektu może obejmować dowolne elementy (zbiory) typologiczne, będące przedmiotem badań. Obiektami mogą być zarówno elementy proste (jednorodne) np. systemy broni i uzbrojenia, jak również dowolne elementy struktury bojowej. Przykładowo pod pojęciem obiektu będziemy rozumieć: systemy broni, stanowiska dowodzenia, węzły łączności, składnice i bazy materiałowo-techniczne itp. Do klasy obiektów grupowych (strukturalnych) będziemy przykładowo zaliczać elementy struktury bojowej takie jak: oddziały i pododdziały, związki taktyczne i operacyjno-taktyczne, zgrupowania operacyjne wojsk a także sztaby, służby itd.

Cechami są właściwości obiektów (jednostek) badanego zbioru Q, wyodrębnione specjalnie ze względu na przyjęte kryterium klasyfikacji obiektów. Zbiór cech przyjętych do opisu klasyfikowanych obiektów będziemy oznaczać symbolem X:

$$X = \{X_k;\ k = \overline{1, N}\} \qquad (2)$$

gdzie:

X_k - k-ta cecha opisująca obiekt;

K - liczność zbioru cech.

W zależności od rodzaju i klasy rozpatrywanego obiektu należy zdefiniować odpowiedni zbiór cech diagnostycznych opisujących właściwości tych obiektów z punktu widzenia potrzeb badawczych. Przykładowo analizując złożone systemy broni (nosicieli uzbrojenia) będziemy posługiwać się adekwatnym do tego systemu zbiorem danych taktyczno-technicznych. Przy ocenie możliwości zespołu sił będziemy operować zbiorem cech (parametrów) charakteryzujących szeroko rozumiany potencjał bojowy tego zespołu.

Cechy charakteryzujące badany obiekt nazywane są cechami diagnostycznymi, które dla potrzeb badań potencjałowych będziemy nazywać cechami potencjałowymi.

Metody taksonomii numerycznej ze względu na swoje walory użytkowe znajdują szerokie zastosowanie w badaniach wojskowych, gdzie wykorzystywane są przede wszystkim do ilościowo-jakościowej analizy i oceny różnych systemów wojskowych. Szczególnie interesującym kierunkiem zastosowań metod taksonomicznych jest wykorzystanie ich w badaniach różnorodnych potencjałów bojowych w tym zarówno złożonych systemów broni, jak też potencjałów zgrupowań bojowych czy do wyznaczania tzw. stosunku sił dynamicznie formowanych zgrupowań bojowych, zespołów sił itp.

4.3.2.1.1. Cecha stymulanta i destymulanta

W zbiorze cech diagnostycznych X wybranych do opisu porównywanych obiektów mogą znajdować się wielkości mające różny kierunek wpływu na badane zjawisko (kryterium), w związku z czym wyróżnia się tzw. zmienne stymulanty i zmienne destymulanty.

Zmiennymi stymulantami (S) nazywane będą takie wielkości, których większe wartości świadczą o wyższym poziomie badanego zjawiska, a zmiennymi destymulantami (D) nazywane będą takie cechy diagnostyczne, których spadek wartości świadczy o wyższym poziomie przyjętego kryterium.

Stymulantą (maksymantą) będziemy nazywać funkcję (cechę) monotoniczną rosnącą, o postaci:

$$(x_{i(j)} > x_{k(j)}) \Rightarrow (y_{i(j)} > y_{k(j)}) \qquad (3)$$

Wyrażenie (3) oznacza, że dla dowolnych dwóch wartości cech $x_{i(j)}$ oraz $x_{k(j)}$, które pozostają w relacji większości $x_{i(j)} > x_{k(j)}$, ustala się preferencje wartości $y_{i(j)}$ nad $y_{k(j)}$. Stymulantami są więc te cechy, których wzrost wartości bezwzględnych $x_{(j)}$ powoduje wzrost wartości względnych $y_{(j)}$ danej cechy.

Destymulantą (minimantą) nazywamy funkcję (cechę) monotoniczną malejącą, czyli.

$$(x_{i(j)} < x_{k(j)}) \Rightarrow (y_{i(j)} > y_{k(j)}) \qquad (4)$$

W tym przypadku w relacji mniejszości $x_{i(j)} < x_{k(j)}$ ustala się preferencje wartości $y_{k(j)}$ nad $y_{i(j)}$. Malejące wartości bezwzględne destymulant $x_{(j)}$ powodują zwiększanie się wartości względnych $y_{(j)}$ cechy.

Nierzadko w badaniach porównawczych występują cechy przedziałowe, zwane nominantami. Istotą nominanty jest osiągnięcie ściśle określonej wartości, tzw. wartości nominalnej, która zmienia monotoniczny charakter funkcji, np. z rosnącej na malejącą lub odwrotnie.

4.3.2.1.2. Klasyfikacja cech diagnostycznych

Z wprowadzonych określeń (2) i (3) wynika, że wyodrębnione rodzaje cech diagnostycznych możemy zapisać w kategoriach minimaksowych za pomocą następującego wyrażenia:

$$x_{0(j)} = \begin{cases} x_{max(j)} \Leftrightarrow j \in S \\ x_{nom(j)} \Leftrightarrow j \in N \\ x_{min(j)} \Leftrightarrow j \in D \end{cases} \qquad (5)$$

gdzie:

S - zbiór cech stymulant;
D - zbiór cech destymulant;
N - zbiór cech nominant.

Dla potrzeb komputerowej procedury badań potencjałowych - zwanej też taksonomiczną formułą potencjałową (TAX) wprowadzona została nowa kategoria cech potencjałowych tzw. nullanta, której przypisanie danej cesze formalnie eliminuje jej udział w kształtowaniu globalnego wskaźnika jakości. Wobec tego zbiór cech potencjałowych X dzieli się ostatecznie na 4-klasy:

$$x_{0(j)} = \begin{cases} \mathbf{S}(+)-\mathbf{stymulanta} \\ \mathbf{N}(=) \ -\mathbf{no}\,\min\,\mathbf{anta} \\ \mathbf{D}(-)-\mathbf{destymulanta} \\ \mathbf{Z}(0)-\mathbf{nullanta} \end{cases} \qquad (6)$$

Jak wynika z przyjętego systemu oznaczeń:

- cecha stymulanta S(+) wpływa monotonicznie rosnąco na kształtowanie się globalnego wskaźnika jakości Q;
- cecha nominanta S(=) zachowuje stały poziom wskaźnika Q w nominalnym zakresie zmienności cechy diagnostycznej;
- cecha destymulanta D(-) wpływa monotonicznie malejąco na kształtowanie się globalnego wskaźnika jakości Q;
- cecha nullanta Z(0) eliminuje swój udział w jakimkolwiek kształtowaniu globalnego wskaźnika jakości Q.

Przy konstruowaniu mierników taksonomicznych cechy diagnostyczne są z reguły sumowane, zachodzi więc potrzeba takiego przekształcenia zmiennych destymulant $x_{i(j)}$ na zmienne stymulanty $x_{i(j)}$, aby większe wartości cech przekształconych świadczyły o wyższym poziomie badanego procesu.

Dla potrzeb pracy została wybrana metoda ilorazowa o ogólnej postaci:

$$x_{i(j)} = 1/x_{i(j)} \; ; \quad x_{i(j)} \neq 0 \qquad (7)$$

gdzie

$x_{i(j)}$ - pierwotna cecha destymulanta.

Przekształcenie (8) ze względu na jednoznaczność i prostotę pozwala na nadanie przekształconym zmiennym odpowiedniej interpretacji fizycznej (merytorycznej), np. potencjałowej.

4.3.2.1.3. Zasady normalizacji cech diagnostycznych

Zwykle cechy wykorzystywane do opisu klasyfikowanych obiektów są wyrażane w różnych jednostkach miary, a więc mają różne miana. Ponadto mogą być różnych typów (ilościowe, jakościowe), a ich realizacje wyrażone w różnych skalach (przedziałowej, stosunkowej, nominalnej, rangowej itp.). Widzimy zatem, że nawet jeśli cechy mają identyczne miana, nie zawsze mogą być porównywane ze sobą w sposób

bezpośredni, dlatego wyznaczanie jakichkolwiek miar podobieństwa obiektów na podstawie bezwzględnych wartości cech jest zazwyczaj niemożliwe.

Sprowadzanie cech diagnostycznych do wspólnego układu porównawczego, którego celem jest m.in. eliminacja wpływu jednostek miary na wyniki badań, będziemy nazywać normowaniem. Oznacza ono ujednolicanie (standaryzację) wartości cech z punktu widzenia określonego kryterium.

Problem ten, pomimo że pojawia się w każdej statystycznej analizie porównawczej, nie jest dotąd ostatecznie rozwiązany, czego dowodem jest duża dowolność wyboru formuły ujednolicania (normowania) cech.

Wychodząc z potrzeb analizy porównawczej, normalizację cech będziemy realizować przeliczając bezwzględne wartości cechy na wartości względne[50].

Uniwersalne normowanie z punktu widzenia potrzeb analizy porównawczej powinno spełniać następujące postulaty:

1°. Wartości unormowane są liczbami niemianowanymi, niezależnie od rodzaju cech, których wartości są transformowane. Warunek ten nosi nazwę postulatu addytywności i jest warunkiem koniecznym przekształcenia normalizacyjnego.

2°. Wartości unormowane są liczbami nieujemnymi:

$$y_{i(j)} \geq 0 \qquad (8)$$

3°. Wartości unormowane należą do skończonego, uniwersalnie unormowanego przedziału liczbowego, co oznacza:

3.1°. stałość rozstępu $R(y_{(j)})$:

$$y_{max(j)} - y_{min(j)} = R(y_{(j)}) = const \qquad (9)$$

3.2°. stałość wartości ekstremalnych, tj.:

$$(y_{min(j)} = y_{min(l)}) \wedge (y_{max(j)} = y_{max(l)}) \qquad (10)$$

4°. W przedziale wartości unormowanych zachowana jest jednolita kierunkowo preferencja wartości, tj.

---

[50] *Operacja normowania cech stanowi część szerszego zagadnienia transformacji zmiennej losowej, która polega na przekształceniu danej cechy (zmiennej losowej) na inną cechę zmienną losową o pożądanych*

$y_{min(j)}$ - wartość najmniej korzystna;

$y_{maax(j)}$ - wartość najbardziej korzystna (optymalna).

Często żąda się, aby obszar zmienności $R(y_{(j)})$ był jednostkowy, czyli:

$$R(y_{(j)}) \in \tilde{[}1[1]$$

co implikuje następujące ograniczenia na wartości unormowane:

$$y_{min(j)} = 0 \ \wedge \ y_{max(j)} = 1 \qquad (12)$$

Wartości z przedziału $(y_{min(j)}, y_{max(j)})$ interpretuje się odpowiednio do stosowanej skali psychologicznej, np. najmniej korzystna, umiarkowana, umiarkowanie korzystna itp.

4.3.2.1.4. Metoda wyznaczania wag cech diagnostycznych

Wykorzystanie w sposób bezpośredni unormowanych cech diagnostycznych y_{nk} uwolnionych np. poprzez normalizację od miana, oznacza przyjęcie założenia o przypisaniu im jednakowego znaczenia w opisie badanego obiektu. Takie podejście, zwłaszcza w taksonomicznych badaniach potencjałowych nie zawsze jest uzasadnione, gdyż w zbiorze cech diagnostycznych znajdują się zazwyczaj wielkości o zróżnicowanym znaczeniu z punktu widzenia programu badań.

Celem uwzględnienia niejednakowego wpływu poszczególnych cech diagnostycznych w miarach opisujących klasyfikowane obiekty typu (1) wprowadza się stosowne systemy wag (w_k).

Generalnie wyodrębnia się dwie zasadnicze kategorie współczynników wagowych, dotyczących odpowiednio:

- merytorycznych wartości cech diagnostycznych oraz
- statystycznych właściwości tych cech.

W docelowej aplikacji komputerowej formuły TAX będą nas interesować wyłącznie wagi opisujące merytoryczną rangę danej cechy w strukturze rozpatrywanej populacji cech.

Wszystkie rodzaje współczynników wagowych typu w_k będą generalnie obliczane według jednolitej, wspólnej formuły, opartej na metodzie rangowania, której ogólna postać jest następująca:

Rangi r_k poszczególnych cech diagnostycznych:

$$r_k \in N;\ k= \overline{1,K} \tag{13}$$

będziemy określać zmodyfikowaną metodą rangowania.

Najprostszą metodą normowania jest rangowanie polegające na transformacji pierwotnych wartości cech na wartości skali porządkowej. Wartościom bezwzględnym przyporządkowuje się liczby naturalne (numery, rangi) z początkowego przedziału zbioru liczb N.

Reguła normowania rangowego ma ogólną postać:

$$x_{1(j)} \rightarrow y_{min(j)} = 1,\ldots, x_{0(j)} \rightarrow y_{max(j)} = n \tag{14}$$

Dla cech stymulant (*S*) i destymulant (*D*) mamy odpowiednio:

$$x_{max(j)} \rightarrow y_{min(j)} = 1,\ldots, x_{min(j)} \rightarrow y_{max(j)} = n;\quad j \in S \tag{15}$$

$$x_{min(j)} \rightarrow y_{min(j)} = 1,\ldots, x_{max(j)} \rightarrow y_{max(j)} = n;\quad j \in D \tag{16}$$

Skończony przedział zmienności rang generowany jest każdorazowo liczebnością zbiorowości statystycznej, czyli:

$$y_{i(j)} \in \langle 1, n \rangle$$

Rangowanie (14) odwzorowuje stany cech na wartości dyskretne o stałym, jednostkowym skoku niezależnie od rzeczywistych różnic występujących pomiędzy wartościami bezwzględnymi cech. Zbiór rang odzwierciedla jedynie relacje porządkowe ustalone na zbiorze wartości pierwotnych. Ogólną ideę tej metody wykorzystamy przy budowie formuły służącej do określania tzw. rang diagnostycznych r_k, niezbędnych przy wyznaczaniu współczynników wagowych cech diagnostycznych według wyrażenia (14).

Rangi r_k poszczególnych cech diagnostycznych będziemy generować według ogólnej formuły rangowania:

$$x_{0(i)} \rightarrow r_{min(i)} = 0,\ldots, x_{1(j)} \rightarrow r_{max(j)} = n \tag{18}$$

gdzie:

$r_{min(i)}$ - oznacza minimalmą wartość rangi przypisaną i-tej cesze odgrywającej relatywnie najmniejszą rolę w zbiorze cech;

$r_{max(j)}$ - oznacza maksymalną wartość rangi przypisaną j-tej cesze odgrywającej relatywnie największą rolę w zbiorze cech.

Zgodnie ze wzorem (18) przyporządkowanie randze wartości zerowej oznacza wyeliminowanie danej cechy. Im wyższą rangę r_k przyporządkujemy k-tej cesze, tym większą odgrywać ona będzie rolę w danym systemie klasyfikacyjnym[51]. Dodatkowo przyjmiemy następujące założenia:

- różnym cechom będziemy mogli przyporządkować te same wartości rang;
- liczbowe różnice wartości poszczególnych rang nie muszą być ani stałe, ani tym bardziej jednostkowe;
- skończony przedział zmienności rang nie jest determinowany liczbą cech, a jedynie przyjętym systemem merytorycznych preferencji poszczególnych cech.

Zaproponowana metoda (4) wyznaczania współczynników wagowych w_k cech diagnostycznych ze względu na swoją rachunkową prostotę i psychologiczną interpretację rang diagnostycznych r_k stanowić będzie jeden z elementów decyzyjnego oddziaływania - obok systemu stymulant, podczas generowania syntetycznych wskaźników jakości badanych obiektów.

4.3.2.2. Formalny zapis zagadnienia klasyfikacji

Termin klasyfikacja może być rozpatrywany w wielu kontekstach znaczeniowych. Dla naszych celów przez klasyfikację będziemy rozumieć czynność podziału zbioru obiektów na podzbiory według ustalonego kryterium. Efektem przeprowadzenia procedury klasyfikacyjnej są grupy obiektów podobnych ze względu na przyjęte kryterium.

Zagadnienie klasyfikacji formalnie możemy przedstawić w następujący sposób. Dany jest N-elementowy zbiór Q zawierający obiekty Q_n będące przedmiotem badań:

$$Q = \{Q_1, Q_2, \ldots, Q_n, \ldots, Q_N\} \qquad (19)$$

Podzielić zbiór Q na P podzbiorów (grup typologicznych) ze względu na przyjęte kryterium podziału:

$$Q_1, Q_2, \ldots, Q_p, \ldots, Q_P \qquad (20)$$

---

[51] *Metoda wyznaczania rang potencjałowych nawiązuje do powszechnie stosowanego w pracach różnych komisji ekspertów systemu punktowego. Każdy z ekspertów może wówczas przydzielić każdej cesze pewną liczbę punktów od 0 do P (np. P = 10), kierując się znaczeniem przypisanym tej cesze. Taki sposób rangowania jest prosty i umożliwia nadanie jednakowego znaczenia wielu cechom oraz zmianę wyjściowej listy cech.*

przy czym: $1 \leq p \leq N$,

aby były spełnione następujące warunki:

$$1° \quad Q_1 \cup Q_2 \cup \ldots \cup Q_P = Q; \tag{21}$$

$$2° \quad Q_i \cap Q_j = 0, \quad \text{dla: } i,j = \overline{1,P};\ i \neq j; \tag{22}$$

$$3° \quad Q_p \neq \varnothing, \quad \text{dla: } p = \overline{1,P}; \tag{23}$$

Liczba grup typologicznych P jest zazwyczaj nieznana.

Warunek 1° nosi nazwę warunku adekwatności i oznacza, że suma wyodrębnionych podzbiorów wyczerpuje zbiór podlegający podziałowi.

Warunek 2° nazywa się warunkiem rozłączności grup typologicznych i oznacza, że poszczególne grupy nie zawierają żadnych elementów wspólnych.

Ostatni warunek 3° mówi o tym, że w każdej grupie typologicznej musi znaleźć się przynajmniej jeden element (obiekt).

Powyższe warunki są wystarczające do przeprowadzenia formalnej klasyfikacji każdego zbioru obiektów. W jej wyniku otrzymuje się grupy typologiczne, w szczególności jednoelementowe, gdy P = N lub jedną grupę zawierającą wszystkie elementy zbioru, gdy P = 1, składające się z obiektów jednorodnych ze względu na przyjęte kryterium podziału.

W zagadnieniach praktycznych klasyfikacja powinna odznaczać się - oprócz warunków formalnych - 1°, 2°, 3° dodatkowo następującymi właściwościami:

- obiekty znajdujące się w tej samej grupie typologicznej powinny być do siebie jak najbardziej podobne;
- obiekty znajdujące się w różnych grupach typologicznych powinny być do siebie jak najmniej podobne.

Właściwości te oznaczają, że w wyniku klasyfikacji badanych jednostek (obiektów) uzyskuje się takie grupy typologiczne, które są bardziej jednorodne ze względu na wartości opisujących je cech niż zbiór wyjściowy, niepodzielony.

Oczywistym jest, że poszczególne zbiory typologiczne Q_n otrzymane w wyniku pierwszego podziału mogą podlegać dalszym podziałom ze względu na kolejne (coraz węższe) kryteria klasyfikacyjne. Wszystkie podziały wielopoziomowe muszą spełniać warunki 1°, 2°, 3° będące warunkami koniecznymi poprawnej klasyfikacji obiektów.

4.3.2.2.1. Formuła syntetycznej miary oceny

Do oceny stopnia podobieństwa obiektów wielocechowych stosuje się różnie zdefiniowane miary podobieństwa. Miary te wskazują, w jakim stopniu porównywane jednostki są do siebie podobne ze względu na wartość opisujących je cech diagnostycznych. Ogół miar podobieństwa obiektów wielocechowych można podzielić na dwie zasadnicze kategorie:

- miary odległościowe (geometryczne);
- miary wskaźnikowe (algebraiczne).

Odległości między obiektami są takimi miarami, których mniejsze wartości wskazują na mniejsze różnice wartości cech diagnostycznych w wyróżnionych obiektach, a więc na większe podobieństwo tych jednostek z uwagi na przyjęte cechy.

Mierniki oparte na miarach odległościowych dzielą się na dwie grupy: mierniki wzorcowe i mierniki bezwzorcowe. W pierwszym przypadku korzysta się z pojęcia obiektu wzorcowego, którym jest bądź wyróżniony jeden z obiektów badanych, bądź hipotetyczny obiekt, tworzony specjalnie dla potrzeb badawczych.

Wskaźniki podobieństwa obiektów wielocechowych są natomiast takimi miarami, których większe wartości oznaczają większe podobieństwo porównywanych jednostek ze względu na opisujące je cechy. Bliżej rozpatrzymy rodzinę miar wskaźnikowych, w obrębie której zostanie przedstawiona nowa propozycja miary, opracowana specjalnie dla potrzeb badań taksonomicznych.

Taksonomiczne miary wskaźnikowe zastępują opis badanych obiektów wielocechowych opisem za pomocą jednej, zagregowanej wielkości. W efekcie klasyfikacja obiektów wielocechowych oparta na wskaźnikach syntetycznych sprowadza się do podziału zbioru obiektów według jednej zmiennej (jednego kryterium), co zasadniczo ułatwia postępowanie klasyfikacyjne. Mierniki te są stosowane do liniowego porządkowania obiektów wielocechowych ze względu na poziom zaproponowanego wskaźnika.

Punktem wyjścia do skonstruowania taksonomicznego miernika wskaźnikowego jest macierz [X] zawierająca wartości cech diagnostycznych $[x_1,x_2,...,x_K]$. Z formalnego punktu widzenia wskaźnik syntetyczny (λ) jest funkcją przekształcająca macierz wartości cech [X] w N-wymiarowy wektor (G), mający postać:

$$\lambda: X \rightarrow G \qquad (24)$$

przy czym: $G = <g_1,g_2,...,g_n,...,g_N>$.

Poszczególne składowe $<g_n>$ wektora G będziemy utożsamiać z taksonomicznymi wskaźnikami jakości n-tego obiektu.

Jednym z bardziej popularnych mierników syntetycznych jest wskaźnik konstruowany na podstawie średniej arytmetycznej typu:

$$g_n = \sum_{k=1}^{k} y_{nk} \; ; \quad n = \overline{1, N} \qquad (25)$$

gdzie: y_{nk} - unormowana wartość k-tej cechy w n-tym obiekcie.

Niekiedy do syntetycznego wskaźnika (2) wprowadza się wagi cech diagnostycznych, co daje formułę:

$$g_n = \sum_{k=1}^{k} w_k y_{nk} \; ; \quad n = \overline{1, N} \qquad (26)$$

gdzie: w_k - współczynnik wagowy k-tej cechy diagnostycznej.

Interpretacja taksonomiczna wskaźników (25) i (26) jest następująca: obiekt odznacza się tym wyższym poziomem rozwoju, im większą wartość przyjmuje odpowiedni wskaźnik syntetyczny.

4.3.2.2.2. Schemat procedury badania taksonomicznego

Teoretyczną podstawą funkcjonowania formuły TAX są statystyczne metody i techniki stosowane szeroko w taksonomii numerycznej do relatywizowania obiektów w wielokryterialnej przestrzeni cech diagnostycznych (w tym przypadku potencjałowych).

Metody taksonomiczne służą do rozwiązywania problemów porównywalności oraz porządkowania danej zbiorowości ze względu na poziom przyjętego miernika, będącego syntezą wielocechowego kryterium jakości.

W procedurze badania taksonomicznego wyróżnia się następujące zasadnicze etapy (rys. 4-1):

1 - sformułowanie problemu badawczego;
2 - dobór cech diagnostycznych i skali ich pomiaru;
3 - przygotowanie danych liczbowych (statystycznych);
4 - wybór miary podobieństwa obiektów;
5 - wybór procedury badawczej;
6 - statystyczne opracowanie cech diagnostycznych;
7 - klasyfikacja badanych obiektów;
8 - weryfikacja i interpretacja wyników.

1. Etapem startowym badania taksonomicznego jest zdefiniowanie problemu badawczego, celem ustalenia głównych założeń badawczych, podstawowego zbioru obiektów podlegających badaniom i ogólnych kryteriów klasyfikacyjnych.

2. Drugi etap polega na doborze wskaźników mających opisywać klasyfikowane obiekty, czyli tzw. cech diagnostycznych. Spośród szerokiego zbioru charakterystyk danego obiektu należy wybrać cechy odznaczające się największą diagnostycznością, tj. adekwatnością względem badanego zjawiska (kryterium).

3. Na etapie trzecim należy zgromadzić niezbędne dane statystyczne będące liczbowymi realizacjami cech diagnostycznych dla poszczególnych obiektów. Uzyskuje się w ten sposób precyzyjną, liczbową charakterystykę klasyfikowanych obiektów. Zebrane i odpowiednio zweryfikowane dane utworzą macierz wartości cech diagnostycznych **[X];**

$$X = [x_{nk}]_{NxK}, \qquad (27)$$

której nk-ty element x_{nk} oznacza realizację k-tej cechy w n-tym obiekcie. Każdy obiekt $Q_n \in Q$ będzie więc opisany za pomocą wektora cech:

$$X = [x_{nk};\ k=1,K];\ \ n=1,N. \qquad (28)$$

Wektorowy zapis (28) pozwala interpretować geometrycznie poszczególne obiekty $Q_n \in Q$, jako punkty w K-wymiarowej przestrzeni cech.

4. Na kolejnym, czwartym etapie dokonuje się wyboru miary podobieństwa badanych obiektów, będącej jednostkowym, zagregowanym wskaźnikiem oceny (jakości) obiektu. Do syntetycznej oceny podobieństwa obiektów opisywanych przez wiele cech służą różnie definiowane miary podobieństwa i wskaźniki ocenowe. Ogólnie miarami tymi mogą być odległości taksonomiczne i syntetyczne wskaźniki jakości.

5. Bardzo ważnym etapem badania taksonomicznego jest wybór odpowiedniej metody klasyfikacyjnej, czyli procedury numerycznej adekwatnej do założonych celów badawczych. Ze względu na dużą różnorodność i zróżnicowaną efektywność stosowanych metod, wybór najbardziej właściwej jest zagadnieniem złożonym i odpowiedzialnym.

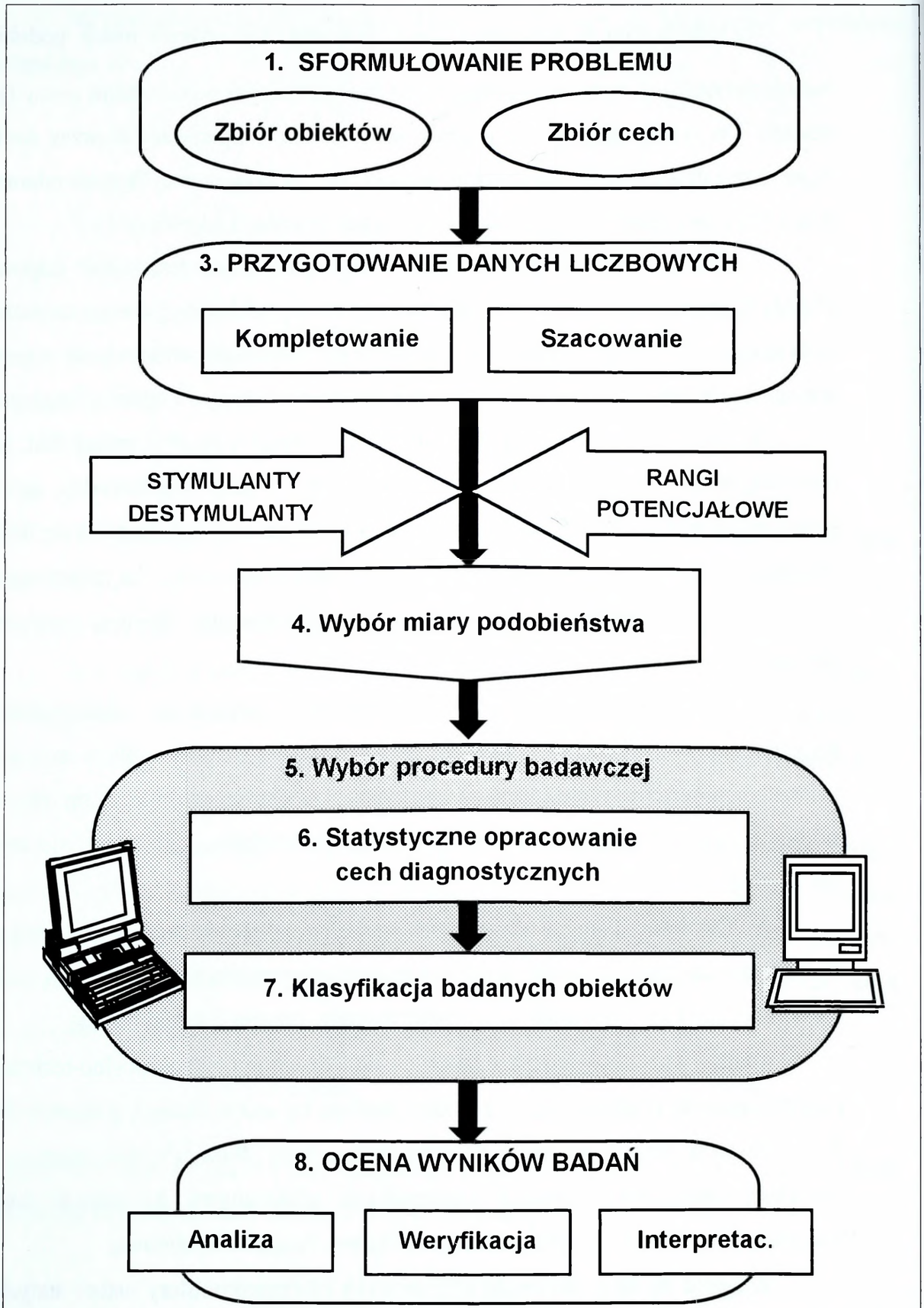
6. Etap szósty jest szczególnie istotny, jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że zbiór cech diagnostycznych opisujących dany obiekt jest z reguły niejednorodny, zarówno w sensie odmienności poszczególnych właściwości, jak też ze względu na skalę liczbową i stosowane jednostki miary. Pierwotne (surowe, źródłowe) cechy diagnostyczne należy więc ujednolicić i wzajemnie zrelatywizować, wykorzystując do tego celu rozmaite metody normowania cech.

7. Efektem zastosowania odpowiedniej procedury numerycznej jest wygenerowanie pewnego zbioru grup typologicznych (w szczególności jednoelementowych). Podstawą tej klasyfikacji - którą przeprowadza się na etapie - siódmym jest wektor miar podobieństwa badanych obiektów, będący np. syntetycznym wskaźnikiem jakości.

8. Ostatnim, ósmym etapem postępowania taksonomicznego jest statystyczna weryfikacja uzyskanych wyników i merytoryczna interpretacja poszczególnych wariantów klasyfikacyjnych oraz ich praktyczne wykorzystanie, zgodnie z celem badań.

Etapy 1 - 4 można zaliczyć do czynności koncepcyjno-technicznych, poprzedzających działanie samej procedury badania taksonomicznego, a ostatnie dwa: 7 i 8 to realizacja zaplanowanego programu badawczego. Pozostałe dwa etapy - 5 i 6 procedury badawczej wymagają dysponowania adekwatnymi do potrzeb metodami badawczymi ściśle związanymi z docelową implementacją komputerową.

Z uwagi na dużą złożoność obliczeniową i liczne procedury natury statystycznej efektywne stosowanie metod taksonomicznych jest absolutnie uwarunkowane komputerowym wspomaganiem praktycznie na wszystkich etapach docelowego systemu informatycznego.



Rys. 2. Schemat metodologiczny formuły TAX

W przypadku badań potencjałowych dodatkowym etapem procedury taksonomicznej TAX jest etap definiowania tzw. wektorów decyzyjnych jako:

D1 - stymulanty/destmulanty;

D2 - rangi potencjałowe.

Na tym etapie wprowadzane są do formuły TAX służbowe preferencje i dodatkowe uwarunkowania np. taktyczno-techniczne stawiane generowanym kategoriom potencjałowym, w zależności np. od celu prowadzonych analiz czy aktualnej sytuacji taktycznej na teatrze morskim.

Za pomocą wektorów decyzyjnych D1 i D2 można dynamicznie definiować adekwatną do aktualnych potrzeb strukturę generowanego potencjału - tak w sensie jakościowym, jak też w sensie ilościowym. Stąd wymóg, aby docelowa implementacja formuły TAX funkcjonowała w trybie interaktywnej procedury komputerowej, w atrakcyjnej technologii WINDOWS, na zasadzie bezpośredniego dialogu użytkownika z komputerem.

4.3.2.3. Perspektywy zastosowania

Metody taksonomiczne znajdują szerokie zastosowanie głównie w naukach ekonomicznych, w teorii organizacji i zarządzania, a także w naukach wojskowych. Na gruncie nauk wojskowych wykorzystywane są głównie do analizy i oceny możliwości bojowych zarówno złożonych systemów broni np. samolotów, czołgów, okrętów jak również do wyznaczania potencjałów bojowych dowolnie kompletowanych zgrupowań bojowych wojsk (sił) np. pod kątem określania tzw. stosunku sił.

O atrakcyjności metod taksonomicznych decydują ich znaczące walory techniczno-użytkowe i wysoka przydatność w badaniach stosowanych. Do zasadniczych zalet metod taksonomicznych należy zaliczyć:

- uniwersalizm i niezależność od podmiotu badań;
- elastyczność w konstruowaniu różnych miar podobieństwa;
- możliwość badania względem przyjętego wzorca;
- możliwość konstruowania syntetycznych (uogólnionych) wskaźników jakości;
- bezpośrednią transformację cech ilościowych we wskaźniki jakościowe;
- niezależność od skali, jednostek miary i występujących wielkości fizycznych;

- możliwość rekurencyjnego stosowania na różnych poziomach proceduralnych.

Szczególnie cenną zaletą metody taksonomicznej jest relatywnie duża jej prostota i wysoka efektywność rachunkowa, co implikuje szeroką podatność na komputeryzację, a tym samym zasadniczo podnosi jej rangę i użyteczność.

Reasumując, dotychczasowe rozważania można sformułować następujące uwagi i wnioski:

Intensywne wykorzystanie metod taksonomicznych w statystycznych badaniach porównawczych wynika z ich dużej uniwersalności, elastyczności i efektywności oraz z wysokiej sprawności obliczeniowej.

Metodologia badań taksonomicznych ściśle koreluje z założeniami teorii potencjału i w pełni odpowiada potrzebom relatywizacji oraz kryteriom typologicznej klasyfikacji grup (obiektów).

Efektywne wykorzystanie metod taksonomicznych wymaga opracowania nowych narzędzi i procedur badawczych adekwatnych do specyficznych potrzeb i uwarunkowań badań potencjałów bojowych.

Zgodnie z założeniami badań taksonomicznych pojęcie obiektu obejmuje bardzo szeroką klasę zbiorów (elementów) typologicznych i może dotyczyć zarówno złożonych systemów broni, jak też różnych elementów struktury organizacyjnej (bojowej); podobnie pojęcie cechy może odnosić się zarówno do danych taktyczno-technicznych, jak również do skwantyfikowanych charakterystyk opisujących dowolne właściwości tych obiektów.

Z uwagi na skalę i zakres badań potencjałowych (w sensie liczności zbioru obiektów i zbioru cech potencjałowych) efektywne posługiwanie się taksonomiczną formułą potencjałową uwarunkowane jest dysponowaniem odpowiednią implementacją komputerową oraz stosowną bazą danych taktyczno-technicznych.

Efektywne funkcjonowanie formuły TAX warunkuje odpowiednia aplikacja komputerowa, stanowiąca o jej praktycznej przydatności do badań rzeczywistych złożonych systemów broni jak też dowolnie agregowanych kategorii zespołowych potencjałów bojowych.

4.3.3. Modele symulacyjne

Wzrost złożoności systemów powoduje, że badanie ich funkcjonowania staje się coraz trudniejsze. Do takich właśnie złożonych systemów należą między innymi systemy wojskowe. Ponadto należy podkreślić, że badanie systemu rzeczywistego jest z reguły kosztowne i czasochłonne a w systemach wojskowych w wielu sytuacjach w ogóle niemożliwe.

Do charakterystycznych właściwości systemów wojskowych należy zaliczyć konieczność uwzględnienia aktywnego oddziaływania przeciwnika. Procesy zachodzące na polu walki mają najczęściej charakter procesów losowych. Odtwarzanie dynamiki funkcjonowania takich systemów oraz badanie ich wielopoziomowej struktury organizacyjnej za pomocą tradycyjnych metod badawczych może się okazać mało efektywne i niewystarczające. Wydaje się, że skuteczną metodą stosowaną do badania tej klasy systemów jest **modelowanie symulacyjne**. Metoda ta staje się tym bardziej atrakcyjna, że w połączeniu z techniką obliczeniową umożliwia przeprowadzenie na modelu wielokrotnych badań z możliwością wprowadzania zmian parametrów modelu.

Przed przystąpieniem do omówienia metody modelowania symulacyjnego wyjaśnienia wymagają takie pojęcia jak "**modelowanie symulacyjne**" oraz "**symulacja**". Proponowane w literaturze definicje wynikają z zastosowania symulacji w określonym celu, wiążą się z doświadczeniem autorów oraz wyrażają z reguły ich poglądy. Dla przykładu można przytoczyć kilka definicji tych pojęć.

"**Modelowaniem symulacyjnym**" nazywamy proces budowy modelu systemu rzeczywistego oraz przeprowadzanie 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 [52]".

"**Symulacja**" jest czynnością lub metodą znajdowania rozwiązań"[53].

"**Symulacja** jest techniką eksperymentalną służącą poznawaniu i zrozumieniu praw rządzących zachowaniem się badanego systemu".

---

[52] *W. Flakiewicz „Decyzje kierownicze - teoria i praktyka"*
[53] *W.Filar „Modelowanie i symulacja komputerowa w procesie dowodzenia"*

"**Symulacja**" to działanie modelu systemu przedmiotowego (rzeczywistego) realizowana w jakimś określonym celu".

Model umożliwiający przeprowadzanie na nim eksperymentów symulacyjnych można określać mianem "**modelu symulacyjnego**".

Modelowanie symulacyjne z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej wiąże się również z takimi terminami jak "**modelowanie cyfrowe**" (modelowanie komputerowe), a model symulacyjny z określeniem "**komputerowy model symulacyjny**".

"**Komputerowy model symulacyjny**" jest logiczno-matematycznym przedstawieniem pojęcia systemu lub działań zaprogramowanym w celu rozwiązania za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej".

"**Symulacja cyfrowa**" jest techniką algorytmiczną służącą do dokonywania eksperymentów na modelach systemów rzeczywistych w określonym celu za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej"[54].

4.3.3.1. Istota modelowania symulacyjnego

Metoda modelowania symulacyjnego należy do jednej z najbardziej efektywnych metod badania obiektów (systemów) rzeczywistych o dużym stopniu złożoności. Jej istota polega na zbudowaniu modelu badanego obiektu (systemu) i przeprowadzaniu na nim eksperymentów ukierunkowanych na uzyskanie informacji o zachowaniu się obiektu pod wpływem czynników zewnętrznych i wewnętrznych. Mówiąc o metodzie modelowania symulacyjnego, z reguły mamy na myśli metodę zorientowaną na zostosowanie techniki komputerowej, dlatego też w literaturze można spotkać tę metodę pod nazwą metody symulacji komputerowej, metody modelowania dynamicznego, statystycznego itp.

Symulacja jako metoda znajduje coraz większe zastosowanie przy podejmowaniu decyzji, szkoleniu oraz w pracach badawczych. Po raz pierwszy pojęcie symulacji systemów znalazło praktyczne zastosowanie na początku lat 50-tych. Stosunkowo najwcześniej symulację komputerową wykorzystano w badaniach o charakterze militarnym. W USA

---

[54] *W.Sadowski „Podstawy ogólnej teorii systemów"*

wprowadzono między innymi symulacyjne modele komputerowe systemów obrony powietrznej[55]

Modelowanie symulacyjne stanowi skojarzenie metody matematycznej i eksperymentalnej. Konstruując model opisujemy 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 eksperyment przeprowadzany jest nie na obiekcie (systemie) rzeczywistym lecz na modelu tego obiektu. Zatem metoda ta pozwala:

- opisać funkcjonowanie obiektu (systemu);
- budować teorie i hipotezy, które mogą objaśnić obserwowane zachowanie się obiektu (systemu);
- wykorzystać zbudowane teorie i hipotezy do przewidywania przyszłego zachowania się obiektu.

Niewątpliwymi zaletami tej metody są przede wszystkim możliwości:

- badania zachowania się modelu systemu zarówno przy zmianie parametrów systemu jak i jego środowiska,
- uzyskania wielu wariantów rozwiązań,
- badania systemów rzeczywistych oraz hipotetycznych.

Należy zaznaczyć, że eksperymenty symulacyjne są powtarzalne i niedestruktywne.

Niewłaściwe zastosowanie tej metody, błędy na różnych etapach tworzenia modelu symulacyjnego mogą w konsekwencji prowadzić do skromnych rezultatów.

Zastosowanie metody modelowania symulacyjnego w badaniu złożonych systemów wojskowych (w tym również procesów walki) może przynieść znaczne korzyści, gdyż umożliwia:

---

[55] *tamże*

- naśladowanie (odwzorowanie) procesów walki, procesów zabezpieczenia, zasilania i obsługi wojsk, przy zmieniających się warunkach;
- badanie skutków podejmowanych decyzji w aspekcie organizacyjnym, technicznym, informacyjnym, ekonomicznym i innych;
- odtwarzanie elementów sytemu i ich powiązań, występujących w strukturze sił zbrojnych, w celu ich przebadania.

Metoda modelowania symulacyjnego zakłada dokonywanie analizy powiązań i zależności wszystkich elementów i czynników wywierających wpływ na funkcjonowanie systemu jako całości. Pozwala ponadto uwzględniać występowanie losowości i nieokreśloności w badanych systemach, dlatego też może stanowić mocne wsparcie dla intuicji i ocen dokonywanych przez ekspertów i specjalistów wojskowych.

W odróżnieniu od ścisłych metod optymalizacyjnych (w sensie takich metod analitycznych jakie są stosowane np. w badaniach operacyjnych), modelowanie symulacyjne pozwala na uzyskanie rozwiązania nie optymalnego lecz zadowalającego lub wystarczającego.

Z przedstawionej istoty modelowania symulacyjnego wynika, że metoda ta obejmuje dwa podstawowe etapy:

1) zbudowanie modelu symulacyjnego badanego obiektu (systemu) (ta czynność nazywana jest również modelowaniem);
2) eksperymentowanie na zbudowanym modelu ukierunkowane na rozwiązanie określonego problemu (zadania).

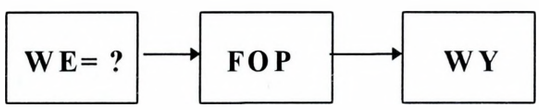
Symulacja cyfrowa jest wygodnym narzędziem do rozwiązywania wielu problemów zarówno na etapie projektowania jak i eksploatacji oraz modernizacji systemów rzeczywistych. Stosując ją należy się jednak upewnić czy do rozwiązania danego zagadnienia nie ma innych efektywniejszych metod.

W praktyce stosowania metody modelowania symulacyjnego można spotkać się najczęściej z następującymi typami modeli symulacyjnych:

A. Model oceny skutków decyzji

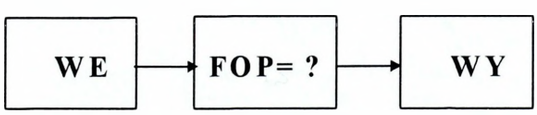
Istotą tego typu modelu jest to, że znany jest stan wejść modelu (WE) oraz formalny opis procesów zachodzących w badanym obiekcie (systemie) (FOP), natomiast nie jest znany stan wyjść modelu (WY). Inaczej mówiąc, chcemy uzyskać informacje o tym, jakie będą skutki podjętej decyzji, przy ustalonym działaniu obiektu (sytemu).

B. Model wspomagania decydenta



W modelu tym znany jest formalny opis procesów (FOP) zachodzących w badanym obiekcie oraz stan wyjść (WY), natomiast poszukiwany jest stan wejść modelu (WE). Model tego typu może być stosowany w procesie podejmowania decyzji, gdyż pozwala uzyskać odpowiedź na pytanie: jakie dane należy wprowadzić, aby osiągnąć pożądane wyniki ?

C. Model identyfikacji (strukturalnej syntezy) obiektu (systemu)



Model ten charakteryzuje się tym, że znany jest stan wejść (WE) oraz stan wyjść (WY) modelu, natomiast nie jest znany formalny opis funkcjonowania obiektu (systemu). Tego typu model stosowany jest przede wszystkim do poznawania procesów zachodzących w badanym obiekcie (systemie) i dokonywania zmian w jego funkcjonowaniu w celu uczynienia go bardziej efektywnym.

W praktyce stosowane są najczęściej modele symulacyjne będące kombinacją przedstawionych wyżej trzech typów modeli.

4.3.3.2. Ogólne wskazówki budowy modelu działań bojowych

W modelowaniu symulacyjnym, które opiera się głównie na analizie systemowej, teorii prawdopodobieństwa i statystyce, dużą rolę odgrywa intuicja. Dlatego też przestrzeganie ścisłych reguł podczas budowy modelu ma ograniczoną użyteczność. Pewne wskazówki dotyczące racjonalnego podejścia powstają drogą usystematyzowania wiedzy opartej na intuicji i doświadczeniu tych, którzy wcześniej zajmowali się budowaniem modeli symulacyjnych. Uzyskane w wyniku takiego postępowania reguły konstruowania modelu stanowią tylko pewną logiczą rekonstrukcję zdarzeń i niewiele mają wspólnego z metodyką modelowania, wypracowaną na podstawie przeprowadzonych badań. W dostępnych materiałach na temat modelowania przedstawiona jest zwykle kolejność zdarzeń i w jaki sposób należy postępować posługując się swoją wiedzą, natomiast brak jest opisów fałszywych dróg, błędów i trudności napotkanych podczas budowy modelu.

Modelowanie symulacyjne jest procesem składającym się z następujących etapów[56]:

1. sformułowanie problemu badawczego,
2. poszukiwanie rozwiązań,
3. budowa modelu,
4. weryfikacja modelu,
5. przeprowadzanie eksperymentów,
6. analiza wyników,
7. dokumentowanie,
8. praktyczne wykorzystanie modelu.

Przystępując do badania symulacyjnego systemu rzeczywistego koniecznym jest sformułowanie problemu badawczego oraz wskazanie celu modelowania. Należy wyraźnie określić granice między systemem badanym, a jego środowiskiem, a także dokonać wyboru parametrów i zmiennych systemu.

---

[56] *W.Sadowski „Podstawy ogólnej teorii systemów"*

Budowany model może mieć różne przeznaczenie i odpowiadające mu cele. Najczęściej cele te wiążą się z:

- oceną funkcjonowania obiektu (systemu);
- porównywaniem funkcjonowania obiektu (systemu), wyrażającym się w przeciwstawieniu innym obiektom (systemom) realizującym określone funkcje;
- prognozą zachowania się obiektu (systemu) przy założonych warunkach i ograniczeniach;
- analizą reagowania obiektu (systemu), polegającą na ujawnieniu tych czynników oddziaływujących na obiekt, które w największym stopniu wywierają wpływ na realizację podstawowych jego funkcji;
- optymalizacją zapewniającą najlepsze funkcjonowanie obiektu (sytemu);
- ujawnieniem powiązań funkcjonalnych wyrażających charakter zależności między wybranymi czynnikami lub elementami obiektu (systemu).

W praktyce w zależności od przeznaczenia i konkretnych warunków mogą występować różne kombinacje wyżej wymienionych celów.

Etap poszukiwania rozwiązań polega na zebraniu niezbędnych danych do modelu, ustaleniu powiązań między elementami oraz opracowaniu alternatywnych rozwiązań dla osiągnięcia postawionych celów.

Budowa modelu symulacyjnego odbywa się w warunkach niepełnych informacji i często w warunkach nieokreśloności. Dlatego też przy formułowaniu celów i wyborze kryteriów dla tego rodzaju modeli przeważa koncepcja suboptymalności, co oznacza, że dokonywany jest wybór celów pośrednich oraz kryteriów związanych z rozwiązywaniem problemów logicznie zgodnych i stanowiących pewne przybliżenie do problemów rozwiązywanych na wyższym poziomie. Cele powinny być tak sformułowane, aby zawierały wskazówki do prawidłowego określenia zadań oraz wskazywały kierunki budowy modelu symulacyjnego.

Wybór elementów i ich powiązań, jako części składowych modelu jest czynnością bardzo istotną. W tym przypadku należy uwzględniać tylko takie elementy i ich powiązania, które mają bezpośredni związek z rozpatrywanym problemem. Przy wyborze elementów napotyka się zazwyczaj na dylemat: z jednej strony dąży się do zbudowania możliwie

prostego modelu aby uczynić go przez to bardziej przejrzystym i zrozumiałym, a z drugiej strony pragniemy uzyskać możliwe dokładny model systemu rzeczywistego. Upraszczanie modelu ma taką granicę, aby model nie stał się trywialnym, ale również nie zawierał tyle szczegółów, które nadmiernie by go skomplikowały oraz utrudniały posługiwanie się nim.

Aby nie włączać do modelu elementów, które niewiele wnoszą w rozwiązanie zadania, należy budować model zorientowany na rozwiązanie problemów, a nie imitować system rzeczywisty ze wszystkimi jego szczegółami. Dlatego też model powinien odwzorowywać tylko te elementy systemu, które odpowiadają przeznaczeniu i celom budowanego modelu. Przy wyborze elementów trzeba polegać na zdrowym rozsądku, intuicji, doświadczeniu oraz zdaniu ekspertów lub na danych z analizy statystycznej.

W trakcie budowy modelu bardzo ważne znaczenie ma ustalenie danych wejściowych i wyjściowych, a także charakterystyk ilościowych i jakościowych poszczególnych elementów modelu oraz ich wzajemnych powiązań.

W rozważaniach dotyczących dynamiki podstawowym pojęciem jest "zdarzenie". Zdarzenie definiuje się jako zmianę stanu zachodzącą w wyróżnionej chwili czasu. Odwzorowanie własności dynamicznych wymaga wprowadzenia w modelu niezależnej, odrębnej rachuby czasu (tzw. symulowanego czasu systemowego). Ponadto opis struktury dynamicznej modelowanego systemu (współdziałanie obiektów w czasie) wymaga wprowadzenia mechanizmu koordynacji (program zarządzający). Zadaniem mechanizmu koordynacji jest cykliczne badanie warunków występowania zdarzeń oraz porządkowanie i koordynacja zdarzeń w skali czasu systemowego.

Duża złożoność modeli symulacyjnych zarówno w zakresie struktury statycznej jak i dynamicznej (różnorodność obiektów, skomplikowany przepływ informacji) wymaga właściwego doboru języka symulacyjnego. Przy wyborze języka symulacyjnego należy zwrócić uwagę na sposób odwzorowania upływu czasu w modelu, sposób definiowania obiektów, realizację współbieżności procesów, określanie warunków zachodzenia zdarzeń itp..

Ważną fazą budowy modelu symulacyjnego jest jego weryfikacja. Ocena zasadności modelu polega na sprawdzeniu zachowania się modelu w porównaniu z systemem rzeczywistym. W odniesieniu do modeli systemów wojskowych ocena adekwatności modelu jest szczególnie trudna i sprowadza się w zasadzie do sprawdzenia realności przyjętych

założeń, ograniczeń i uproszczeń. W ramach weryfikacji modelu symulacyjnego można wyodrębnić:

- weryfikację służącą do stwierdzenia, czy model zachowuje się zgodnie z przyjętymi celami i jego przeznaczeniem,
- ocenę adekwatności polegającą na sprawdzeniu zbieżności zachowania się modelu i systemu rzeczywistego,
- analizę problemową sprowadzającą się do interpretacji i oceny wyników eksperymentów.

Aby ocenić poprawność funkcjonowania zbudowanego modelu symulacyjnego dobrze jest odpowiedzieć na następujące pytania:

- czy model w sposób bezpośredni i zrozumiały dla użytkownika odzwierciedla procesy zgodnie z obowiązującymi zasadami;
- czy reakcje na zmiany podstawowych parametrów modelu są logicznie uzasadnione, a uzyskane wyniki zasługują na uwagę i są do przyjęcia przez użytkownika;
- czy model jest przydatny do analizy procesów ?

Zatem w fazie weryfikacji modelu należy wracać do danych wejściowych i parametrów oraz przyjętych ograniczeń i założeń i na tym tle oceniać uzyskane wyniki z eksperymentów symulacyjnych.

Właściwie zaplanowany scenariusz eksperymentu winien zapewnić otrzymanie maksymalnej ilości informacji, które pozwolą sformułować oceny (hipotezy) dotyczące statycznych i dynamicznych właściwości badanego systemu.

4.3.3.3. Metody modelowania

Cechą charakterystyczną metody modelowania jest odtwarzanie procesu funkcjonowania systemu w czasie, przy czym symulowane są elementarne czynności składające się na ten proces, z zachowaniem ich logicznej struktury i kolejności wystepowania w czasie. Pozwala to uzyskiwać informacje o stanach procesu w określonych momentach czasu i na tej podstawie oceniać zachowanie się badanego systemu.

Podstawowymi metodami, według których tworzy się modele symulacyjne są:

- metoda stałego kroku
- metoda kolejnych zdarzeń (planowanie zdarzeń, przeglądanie zdarzeń, interakcja procesów).

Zasadniczym elementem różniącym te metody jest reprezentacja i traktowanie czasu.

W metodzie stałego kroku czas symulacyjny przybiera stałe wartości. Wartości czasu zdeterminowane są wielkością przyrostu czasu Δt i nie są zależne od chwil występowania zdarzeń. Przetwarzanie zdarzeń ma charakter przetwarzania grupowego. Zdarzenia występujące w kolejnym kwancie czasu Δt są traktowane tak jak gdyby zaszły one w czasie nieco różnym od czasu ich rzeczywistego wystąpienia. Model tworzony metodą stałego kroku wymaga określenia wielkości przyrostu czasu Δt. Przyjęta wielkość przyrostu czasu może mieć istotny wpływ na przebieg symulacji, a przez to na wartość i poprawność wyników. Przyczyną tego jest sposób rozpatrywania zdarzeń. Wszystkie zdarzenia, które miały miejsce w przedziale czasu Δt są traktowane tak jak gdyby wystąpiły jednocześnie na końcu tego przedziału. Wpływ wielkości przyrostu czasu na poprawność wyników można przyjąć za mało istotny, jeżeli parametry modelu wyrażające wartości czasowe są określone z dokładnością do Δt.

W modelu zorganizowanym według metody kolejnych zdarzeń problem wyboru wielkości przyrostu czasu nie istnieje, dzięki czemu całkowicie unika się błędów związanych ze złym wyborem. W metodzie kolejnych zdarzeń upływ czasu symulacyjnego związany jest z czasem występowania zdarzeń. Zdarzenia tworzą kalendarz zdarzeń. Jeżeli zdarzenie wystąpiło w danej chwili to jest obsługiwane, a czas symulacyjny przyjmuje wartość czasu związanego z wystąpieniem kolejnego zdarzenia z kalendarza zdarzeń. Kolejne zdarzenie jest obsługiwane, a czas zostaje przesunięty do chwili wystąpienia (nowego) najbliższego zdarzenia zaznaczonego w kalendarzu. Ta metoda organizacji modelu wymaga prowadzenia kalendarza zdarzeń (wykreślanie zdarzeń obsłużonych, wprowadzanie zdarzeń, które dopiero będą miały miejsce). Przy dużej liczbie zdarzeń metoda ta może okazać się czasochłonna. Ponadto przy obsłudze dużej liczby zdarzeń może okazać się, że przedział czasu pomiędzy kolejnymi zdarzeniami jest rzędu Δt, a wtedy korzystniejszą może okazać się metoda stałego kroku.

4.3.3.4.. Wnioski natury metodologicznej

A. Pomyślna realizacja prac związanych z budową modelu symulacyjnego zależy od uwzględnienia w modelu podstawowych elementów decydujących o przebiegu procesów zachodzących systemie rzeczywistym. Wskazane jest, aby konstruowanie modelu rozpoczynać od modelu prostego, następnie dobudowywać do niego nowe elementy i w ten sposób przechodzić do coraz dokładniejszego odwzorowywania złożonych procesów walki. Technika modelowania polega bowiem na umiejętności analizy problemu, wyodrębnieniu w nim drogą abstrakcji istotnych cech i właściwości dokonywaniu wyboru i włączaniu do modelu odpowiednich elementów oraz modyfikowaniu podstawowych założeń i przyjętych rozwiązań.

B. Z doświadczeń modelowania wynika, że należy budować model zorientowany na rozwiązywanie problemów i uzyskanie odpowiedzi na sformułowane pytania, a nie symulować procesy ze wszystkimi szczegółami.

C. W procesie konstruowania modelu symulacyjnego dokonuje się dekompozycji systemu rzeczywistego wyodrębniając w nim poszczególne elementy. Do modelu włącza się tylko te elementy, które są istotne z punktu widzenia celu i przeznaczenia. W ten sposób dochodzi do uproszczenia modelu i to jest jedną z cech dokonywanej analizy. Inną cechą jest abstrakcja, która polega na tym, że istotne cechy i właściwości systemu modelowanego przenosi się do modelu niekoniecznie w takiej postaci, jak to ma miejsce w oryginale. Fakt ten nie powinien mieć wpływu na użyteczność modelu, pod warunkiem, że model zbudowany jest zgodnie ze ściśle określonymi celami.

D. W procesie budowy modelu symulacyjnego decydującą rolę odgrywają oceny ekspertów oraz inicjatywa i pomysłowość ze strony projektantów. Ocena ekspertów powinna przenikać wszystkie etapy modelowania oraz umożliwić wybór najskuteczniejszego sposobu rozwiązania problemu.

E. W określeniu stopnia adekwatności modelu w porównaniu z sytemem rzeczywistym występują spore trudności. Można to określić tylko częściowo, drogą analizy reakcji modelu na zmiany określonych parametrów oraz drogą oceny wyników eksperymentu symulacyjnego przez zespół ekspertów. Nie ulega wątpliwości, że

stopień ten zależy od tego, na ile poprawnie przeprowadzona została analiza problemu, uproszczenia i synteza procesów zachodzących na polu walki.

F. Sztuka modelowania między innymi polega na stałym doskonaleniu modelu i doprowadzaniu go do stanu pozwalającego zaspokoić stale wzrastające wymagania użytkownika.

G. Powodzenie budowy modelu symulacyjnego zależy nie tylko od możliwości współczesnych komputerów, ale przede wszystkim od ich efektywnego wykorzystania.

Reasumując można stwierdzić, że:

A. Celem modelowania nie jest modelowanie same w sobie, lecz osiągnięcie określonych celów poznawczych (badawczych) i praktycznych.

B. Modelowanie jest formą „walki" ze złożonością rzeczywistości, z jego nieokreślonością;

C. Celem modelowania jest uzyskanie nowych informacji o rzeczywistości.

D. Modelowanie jest:

- tworzeniem modelu, czyli obrazu określonego fragmentu rzeczywistości (w wąskim sensie);
- tworzeniem modelu oraz eksperymentowaniem w celu uzyskania nowych informacji o rzeczywistości (w szerokim sensie).

E. Tworzenie modelu to tyle co odwzorowanie „oryginału w jego „obraz", czyli określona relacja między oryginałem a obrazem;

F. Modelowanie jest procesem interakcyjnym, czyli obejmuje szereg etapów (cykli) z możliwością do powrotu do cykli wcześniejszych;

G. Tworzenie modelu zawsze poprzedza konceptualizacja, czyli czynności myślenia twórczego, dla których istotne znaczenie mają **wiedza, intuicja i wyobraźnia ludzka**.

4.3.4. Modele ekspertowe

Podstawową metodą informatycznego rozwiązywania danego problemu jest zbudowanie dla niego modelu[57]. Analizując reprezentację cech problemu i metod używanych do jego rozwiązania, budowane modele można podzielić na:

- obliczeniowe,
- morfologiczne,
- semantyczne.

Model obliczeniowy powstaje wtedy, gdy interesujące cechy problemu wyraża się w postaci wielkości przyjmujących wartości liczbowe. Związki między tymi wielkościami można z dostateczną dokładnością aproksymować zależnościami matematycznymi. Zależności te posiadają realizacje w postaci efektywnych algorytmów działań na wartościach liczbowych. Typowymi przykładami prostych modeli obliczeniowych są układy równań i nierówności algebraicznych, układy równań różniczkowych i całkowych, zależności statystyczne, algebraiczne i analityczne.

W modelach obliczeniowych dominującym aspektem są wartości obiektów i operacje wykonywane na tych wartościach, zgodnie z regułami wywodzącymi się z zależności o naturze matematycznej.

W modelach morfologicznych interesujemy się przede wszystkim wzajemnymi powiązaniami między obiektami, zwłaszcza zaś sposobem w jaki obiekty proste łączą się ze sobą tworząc obiekty złożone, a także cechami wspólnymi agregacji obiektów złożonych. Podstawowymi operacjami występującymi w modelach morfologicznych są operacje odwzorowujące działania na obiektach: porządkowania zgodnie z zadanymi kryteriami, grupowania obiektów (w tym podział zbioru obiektów na klasy abstrakcji) oraz wyszukiwanie obiektów o określonych cechach morfologicznych. Działania na wartościach, będących własnościami obiektów, są w modelach morfologicznych zazwyczaj bardzo proste, z reguły nie wykraczają poza działania arytmetyczne i porównania. Dziedzinami odgrywającymi rolę wiodącą w modelach morfologicznych są: teoria zbiorów, kombinatoryka, teoria grafów, przetwarzanie tekstów i wyszukiwanie informacji. Typowym przykładem algorytmicznej realizacji modelu morfologicznego są bazy danych.

---

[57] *Turski W.M.: Propedeutyka informatyki. PWN, Warszawa 1988*

Elementami modelu semantycznego są nie tyle wartości liczbowe (jak w modelach obliczeniowych) czy fragmenty strukturalne (jak w modelach morfologicznych), lecz pojęcia. Związki między pojęciami są analogiami związków semantycznych, czyli wnioskowań. W sformalizowanych teoriach można niekiedy zastąpić pojęcia i wnioskowanie liczbami i regułami arytmetycznymi, jednak w wielu przypadkach tak dalece posunięta formalizacja jest niezmiernie trudna a czasem niewykonalna. Przykładem modeli semantycznych są systemy: analizy semantycznej, systemy ekspertowe, rozpoznawania postaci.

4.3.4.1. Istota modelu ekspertowego

System ekspertowy jest systemem informatycznym, wykorzystującym zapisaną wiedzę eksperta do rozwiązywania problemów, które normalnie wymagają ludzkiej inteligencji[58]. System ekspertowy symuluje działanie eksperta w sposobie użytkowania - poprzez analizę odpowiedzi użytkownika na pytania kierowane do niego przez system. Kryteria wyróżniające systemy ekspertowe (SE) na tle klasycznego oprogramowania są następujące:

1. System ekspertowy (SE) jest programem komputerowym, zaprojektowanym do współpracy ze specjalistą (człowiekiem) w ograniczonej, lecz trudnej dziedzinie praktycznej. Zadania dla systemu ekspertowego oprócz typowych obliczeń powinny wymagać wnioskowania. Dziedzina powinna być trudna w tym sensie, że stawiane w niej problemy rozwiązywane są przez wykształconych i doświadczonych specjalistów, nie zaś na drodze zdrowego rozsądku. Przeznaczeniem SE nie jest zastępowanie specjalistów - efektem interakcji z większością poważnych SE jest zwiększenie poziomu i dokładności ekspertyzy oraz standaryzacja raportów, będących efektem działania SE.

2. Wnioskowanie SE modeluje się na podstawie rozumowań specjalistów - ludzi. Kryterium to wyłącza np. programy opierające się na statystyce.

3. System ekspertowy oprócz reprezentacji wiedzy z dziedziny której dotyczy, powinien dysponować przynajmniej częściowa reprezentacją wiedzy o samym sobie. Zwykle programy produkują wyniki, lecz nie przechowują danych o tym, co i dlaczego zrobiły, a więc nie są w stanie później swego zachowania wyjaśnić aktywnie (chodzi o możliwość interakcyjnego dociekania szczegółów zachowania się programu). W czasie

[58] *Mulawka J.J.: Systemy ekspertowe. WNT, Warszawa 1997*

interakcji ze specjalistą możliwe są też modyfikacje systemu, co nie wchodzi w rachubę w zwykłych programach.

4. Interfejs SE budowany jest z wykorzystaniem podzbiorów języka naturalnego i z użyciem grafiki komputerowej. Pozwala to na bezpośrednią współpracę ludzi z systemem, bez pośrednictwa specjalizowanych języków czy konwencji specyfikacji danych.

Moc programu ekspertowego w zakresie rozwiązywania danego problemu tkwi w zakodowanej w nim wiedzy, a nie w formalizmie i schematach wnioskowania, których ten program używa. Można to wyrazić w postaci stwierdzenia: im pełniejsza wiedza, tym szybciej uzyskuje się rozwiązanie. Tak więc problem z posiadaniem pełnej wiedzy tkwi w bazie wiedzy, a nie w sposobie realizacji procesu wnioskowania systemu ekspertowego. Oznacza to, że aby zbudować inteligentny program, należy go wyposażyć w dużą ilość dobrej jakości, specyficznej wiedzy o danym przedmiocie.

O każdym użytecznym programie komputerowym można powiedzieć, że wykorzystuje wiedzę. Zazwyczaj wiedza ta wyrażona jest w postaci algorytmicznej - została użyta jednokrotnie do skonstruowania algorytmu, który odtąd ją reprezentuje. Twórcy algorytmów są w stanie zawczasu przewidzieć, co i w jakiej kolejności powinno być robione z danymi dla osiągnięcia zamierzonej relacji między danymi wejściowymi a wynikami działania programu.

Istnieje jednak pewna asymetria: o ile na przykład obliczenia numeryczne, w których potęga komputerów jest szczególnie widoczna, mogą w zasadzie być wykonane przez człowieka „ręcznie", o tyle istnieje szeroka klasa zadań wykonywanych przez ludzi, które opierają się komputeryzacji. Zwykle o tych zadaniach mówi się, że wymagają inteligencji. Na tle innych zadań wyróżniają się tym, że zarówno w samych ich sformułowaniach, jak i w danych występuje ogromna różnorodność. Dane dotyczą pojęć, wchodzących między sobą w liczne związki znaczeniowe. Związki te muszą być odzwierciedlone w programie, by mógł on adekwatnie interpretować przetwarzane informacje. Tu czysta metoda algorytmiczna osiąga barierę złożoności. Jej środki formalne są zbyt ubogie do reprezentacji znaczeń danych.

Cechą charakterystyczną systemów ekspertowych jest to, że posługują się one wiedza reprezentowaną jawnie. W systemie ekspertowym rozdziela się składnik wiedzy od części algorytmicznej. Odium rozwiązywania problemów spada na wyodrębniony składnik wiedzy; algorytm systemu nie rozwiązuje problemów bezpośrednio, zajmuje się tylko stosowaniem sformalizowanej wiedzy. Bariera złożoności jest pokonywana

dzięki temu, że stosowanie wiedzy daje się wyrazić algorytmicznie, rozmaitość zaś związana z dziedziną problemu znajduje odbicie w treści elementów bazy wiedzy.

Postęp wnoszony przez technologię systemów ekspertowych do automatycznego przetwarzania informacji możemy określić jako stworzenie ponad-algorytmicznych języków programowania - języków kolejnego, wyższego poziomu.

Zapis informacji o wybranej dziedzinie wiedzy w formalnym języku systemu ekspertowego jest podobny do programowania. Język reprezentacji wiedzy pozwala na posługiwanie się pojęciami, które lepiej niż struktury danych i instrukcje języków programowania przystają do zdroworozsądkowych intuicji. Osoby współpracujące przy budowie baz wiedzy (eksperci) najczęściej nie są informatykami. Ponadto, w odróżnieniu od programowania algorytmicznego, w bazie wiedzy najczęściej abstrahuje się od zagadnień sterowania (od konieczności obliczeń). Ważne jest, by wyczerpująco opisać dziedzinę i problem, a mechanizm wnioskujący odpowiedzialny jest za to, by odpowiednie fragmenty wiedzy zostały wyszukane w bazie kiedy trzeba i automatycznie zastosowane tam, gdzie potrzeba. Oznacza to, że w zasadzie opisuje się fakty z dziedziny wiedzy a nie sposoby rozwiązania problemu. Jednak w praktyce wszelkie informacje mające znaczenie dla sterowania - wiedza strategiczna - są niezwykle cenne.

Rozdzielenie w systemach ekspertowych jawnej bazy wiedzy od części algorytmicznej ma szereg zalet. Największą stanowi duża komunikatywność tego medium. Języki reprezentacji wiedzy posługują się zwrotami języka naturalnego, a sama forma zapisu wiedzy opiera się na wariantach notacji logicznej. Bazy wiedzy powinny być zrozumiałe zarówno dla ludzi, jak i dla programów komputerowych. Różnice rozumienia zawartości bazy wiedzy przez ludzi i program komputerowy tworzy następującą iluzję: regule przypisujemy znaczenie ponieważ - jako ludzie - znamy znaczenia występujących w regule terminów. Należy jednak stale pamiętać, że z punktu widzenia programu komputerowego liczy się tylko instancja (wartościowanie) reguły i sama reguła:

„Jeżeli padało i temperatura jest dodatnia , to jest mokro” może wyglądać $F_{31}(a,b) \Rightarrow F_{467}(c)$

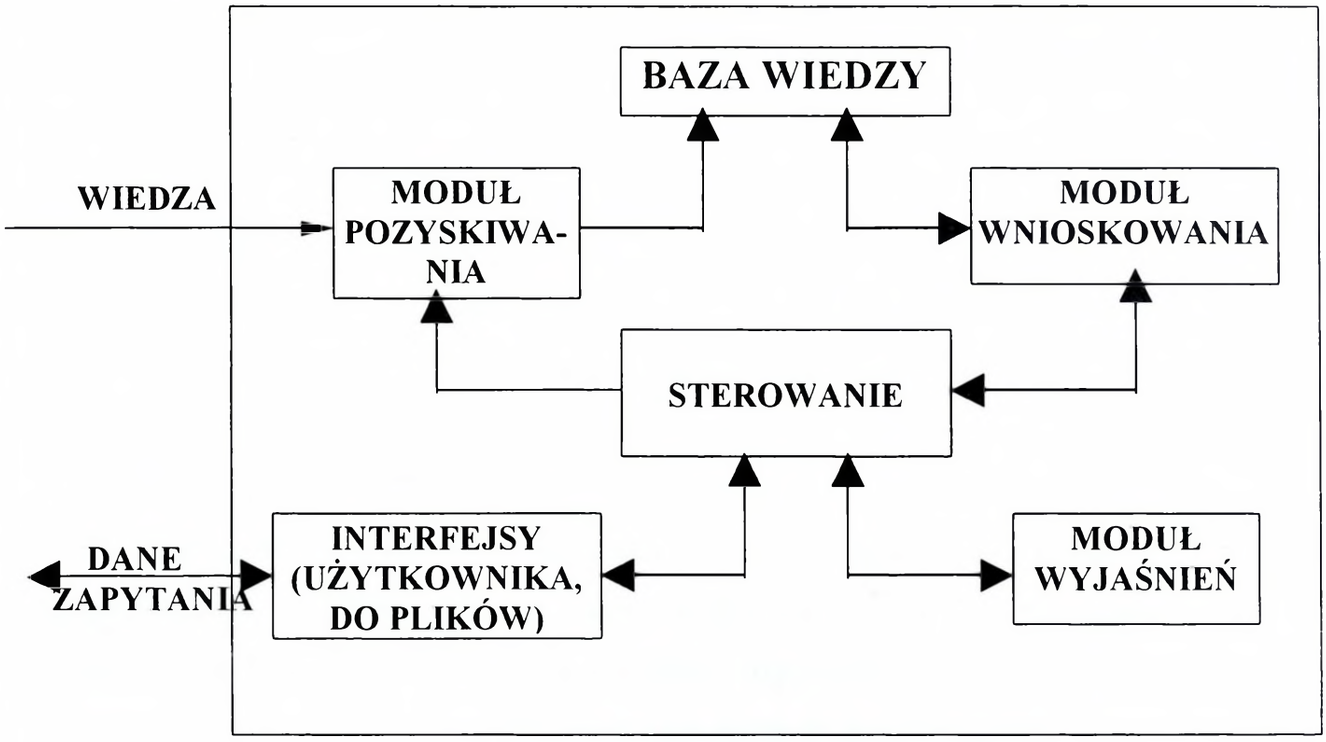
Elementy bazy wiedzy są ze sobą powiązane. Wiedza nie stanowi niczego ponad sam zbiór powiązań. Tylko powiązania między pojęciami stanowią o ich znaczeniu w systemie z bazą wiedzy. Ludzie znając treść (wartościowanie) używanych pojęć, mogą stwierdzić, czy dana reguła ma sens. Punkt widzenia programu jest dokładnie przeciwny. Program musi przyjąć, że dostarczone reguły maja sens i to jedynie one budują sens

używanych pojęć. Im więcej reguł, tym pojęcia stają się wyraźniejsze. Intencją przyświecającą budowie baz wiedzy jest to, by mimo różniącej się interpretacji przez ludzi i programy, wspólne było to, co składa się na ekspertyzę w danej dziedzinie.

Wydzielenie wiedzy w formie osobnego zapisu pozwala abstrahować od sposobu jej użycia i wykorzystywać to praktycznie. W szczególności, ponieważ zapis wiedzy czytelny jest dla komputera, możliwe jest zastosowanie programów wspomagających tworzenie bazy wiedzy. Typowe jest wykorzystanie interakcyjnej grafiki komputerowej do przedstawiania elementów bazy wiedzy w postaci np. grafu.

Inną konsekwencją wyodrębnienia bazy wiedzy, charakterystyczną dla technologii systemów ekspertowych, jest możliwość użycia jej elementów do wyjaśniania użytkownikom procesów wnioskowania i ich wyników. W praktyce sprowadza się to najczęściej do cytowania użytych reguł, niekiedy przekształcanych w wypowiedzi w języku naturalnym. Wyjaśnianie wnioskowania poprzez cytowanie reguł nie zawsze jest jednak wystarczające. Zastosowanie reguł do nauczania, przy braku głębszej wiedzy o dziedzinie zastosowania jest problematyczne.

Typową architekturę SE przedstawiono na rysunku 5:



Rys. 5. Architektura systemu ekspertowego

W dotychczasowym rozwoju badań w zakresie sztucznej inteligencji można wy-

odrębnić dwa podstawowe nurty:

- symboliczny, związany z reprezentacją wiedzy za pomocą symboli,
- konekcjonizm, związany z badaniami w zakresie sieci neuronowych.

Często te dwa podejścia są przeciwstawiane sobie i zależnie od zainteresowań autorów publikacji jedno z nich jest przedstawiane jako lepsze lub gorsze. Autor niniejszego opracowania traktuje oba podejścia jako komplementarne (przynajmniej na obecnym etapie rozwoju obu technologii), jako że każde z nich ma słabe i mocne strony.

Systemy ekspertowe mogą być tworzone z wykorzystaniem różnych narzędzi programowych, ogólnie jednak można podzielić na dwie grupy:

- mniej lub bardziej typowe języki programowania,
- szkieletowe systemy ekspertowe (ang. expert system shells lub skeletal systems).

Opracowanie systemu ekspertowego, przy zastosowaniu pierwszego podejścia, jest zadaniem bardzo pracochłonnym i wymaga zatrudnienia programistów o wysokich kwalifikacjach. Jest to zatem podejście kosztowne, choć elastyczne. Alternatywą jest zastosowanie systemu szkieletowego, zawierającego gotowy podsystem przetwarzania wiedzy. W takim przypadku zadanie twórcy systemu polega głównie na pozyskaniu i sformalizowaniu wiedzy eksperckiej, co samo w jest zadaniem niełatwym.

Przykładem komercyjnej realizacji szkieletowego systemu ekspertowego może być pakiet SPHINX firmy AITECH. Pakiet został uhonorowany nagrodą II stopnia podczas XI Międzynarodowych Targów Oprogramowania SOFTARG '97.

Pakiet SPHINX stanowi nowoczesne środowisko tworzenia, rozwoju i uruchamiania aplikacji, wykorzystujących mechanizmy sztucznej inteligencji. Pozwala na generowanie systemów ekspertowych oraz sieci neuronowych mogących, podczas rozwiązywania złożonych problemów, wzajemnie się uzupełniać. Jako produkt szkieletowy, niezależny dziedzinowo, nadaje się doskonale do wykorzystania w bardzo wielu obszarach zastosowań. W skład pakietu wchodzą:

- szkieletowy system ekspertowy PC-SHELL,
- komputerowy system wspomagania inżynierii wiedzy CAKE,
- symulator sieci neuronowych NEURONIX .

Architektura systemu PC-Shell jest hybrydowa, integrując system ekspertowy i

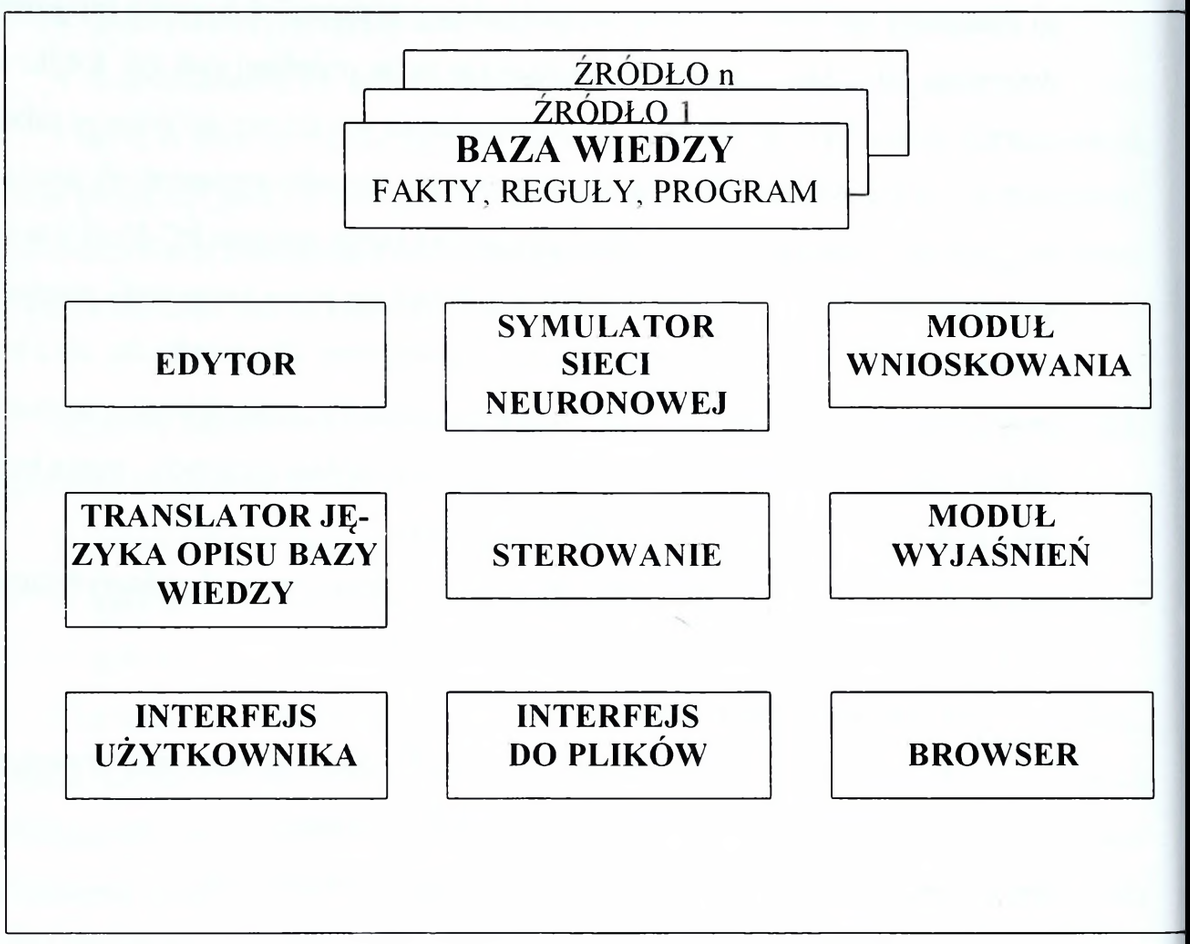
symulator sieci neuronowej. Połączenie to nie jest jedynie mechaniczne, lecz nastąpiła tu integracja zarówno na poziomie architektury systemu jak i języka reprezentacji wiedzy. Symulator sieci neuronowej występuje tu w podobnej roli jak źródło wiedzy w ramach architektury tablicowej. To podobieństwo wyraża się nie tylko w zakresie funkcjonalnym ale również formalnym, dotyczącym sposobu reprezentacji wiedzy. Korzyścią płynącą z takiego rozwiązania i oryginalną cechą systemu PC-Shell jest możliwość tworzenia hybrydowych aplikacji, gdzie odbywa się pełna kooperacja pomiędzy symulatorami sieci neuronowych a systemem ekspertowym. Dla przykładu, obie technologie mogą być wykorzystane do rozwiązania określonych podproblemów w ramach większego problemu, a rozwiązania cząstkowe - dzięki pełnej integracji - mogą być swobodnie przekazywane z jednej technologii do drugiej.

System PC-Shell jest więc systemem hybrydowym charakteryzującym się w zakresie struktury systemu o następującymi cechami:

- architekturą tablicową,
- pełna integracja w ramach systemu PC-Shell systemu ekspertowego oraz symulatora sieci neuronowej (stąd hybrydowość).

System PC-Shell składa się z następujących elementów (rys. 6):

1. modułu sterującego,
2. translatora języka opisu bazy wiedzy,
3. modułu wnioskującego,
4. modułu wyjaśnień,
5. symulatora sieci neuronowych,
6. zewnętrznego edytora bazy wiedzy,
7. interfejsu użytkownika,
8. interfejsu do plików dyskowych.



Rys.6. Architektura systemu PC-Shell

Sterowanie

Podstawowym zadaniem modułu sterującego jest koordynowanie wszelkich procesów realizowanych przez system PC-Shell. Jednym z jego zadań jest komunikacja z użytkownikiem poprzez interfejs użytkownika. Interfejs ten pracuje w trybie tekstowym i opracowany został w taki sposób, by sugerował użytkownikowi określone warianty działania w danym kontekście, uwalniając go tym samym od konieczności ich pamiętania.

Bazy wiedzy

W odróżnieniu od klasycznych programów komputerowych wiedza zawarta w bazie wiedzy opisuje dziedzinę problemową bez podania szczegółowego sposobu rozwiązania danego problemu (algorytmu). Dzięki temu jest dużo bardziej czytelna, nawet dla osób nie będących specjalistami w dziedzinie SE, ujmują bowiem głównie merytoryczną stronę zagadnienia. Baza wiedzy przyjmuje na ogół postać pliku na dysku kom-

putera. Przechowywana w nim wiedza jest zapisana za pomocą określonego języka reprezentacji wiedzy, na który najczęściej składa się opis faktów (wiedza o charakterze faktograficznym), reguł stosowanych w procesie wnioskowania oraz w przypadku niektórych systemów - metareguł, opisujących strategię rozwiązywania danego problemu.

PC-Shell jest systemem regułowym, stąd całość wiedzy o charakterze heurystycznym jest kodowana za pomocą reguł i faktów. Podstawową metodą reprezantacji wiedzy jest trójka (obiekt, atrybut, wartość).

Regułowa reprezentacja wiedzy wykorzystuje formalne zapisy i twierdzenia logiki. Reguły zapisywane są w następującej postaci:

JEŻELI $fakt_1$ *I* $fakt_2$ *I ... I* $fakt_n$ *TO konkluzja.*

Oznacza to, że jeżeli prawdziwe są przesłanki reguły ($fakt_1$, $fakt_2$, ... $fakt_n$) to prawdziwa jest także konkluzja. W związku z tym, iż przesłanki oraz konkluzje traktuje się jako wartości logiczne (prawda, fałsz), to reguły takie nazywa się predykatami, a ich przetwarzanie rachunkiem predykatów. Jedną z możliwych postaci wyrażeń rachunku predykatów są tzw. klauzule Horna. Ich struktura jest zbliżona do generalnej postaci reguł wnioskowania z pewnymi dodatkowymi ograniczeniami wynikającymi z zasad rachunków predykatów - przesłanki muszą być w postaci koniunktywnej oraz dopuszczalna jest tylko jedną konkluzja. Jak już wcześniej wspomniano, w bazie wiedzy systemu, oprócz wiedzy nabywanej przez system, istnieje wiedza (metawiedza) opisująca sposób zachowania się systemu - np. w trakcie procesu wnioskowania. Wiedza taka jest najczęściej zapisywana w postaci reguł. Reguły te mogą być poddawane zmianom w trakcie pracy systemu - mogą być one zmieniane przez sam system.

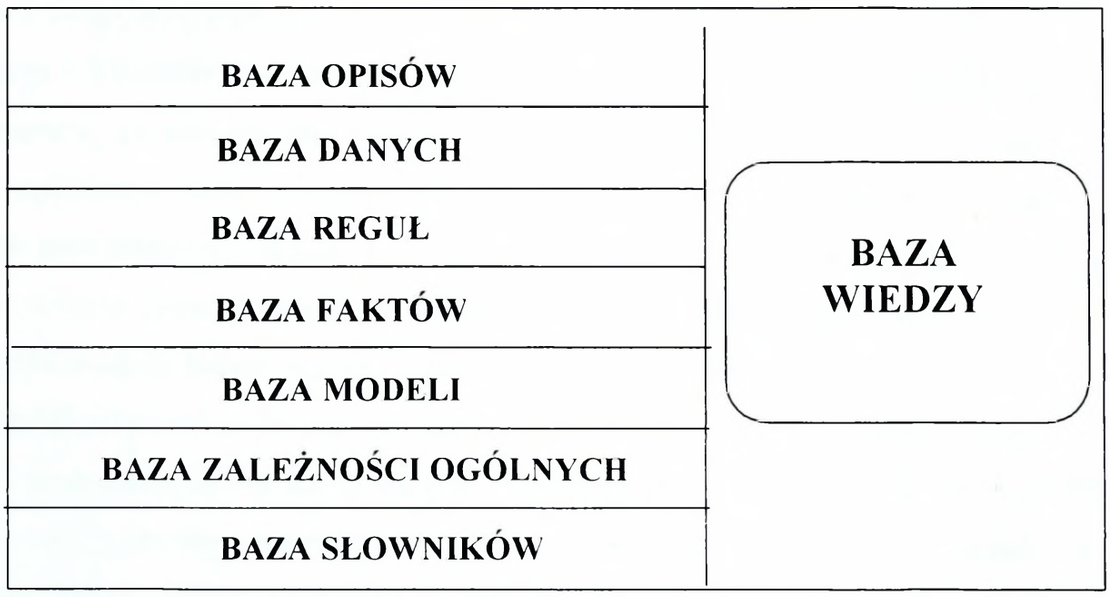
Baza wiedzy systemu ekspertowego jest jego zasadniczą częścią (obok modułu wnioskowania). Struktura bazy wiedzy jest bezpośrednią konsekwencja wyboru metody reprezentacji wiedzy. W bazie wiedzy zapisane są wszystkie informacje, które posiada system i które może wykorzystać. Poprawny wybór struktury bazy wiedzy gwarantuje możliwość bezbłędnej pracy systemu. Błędy na etapie wyboru metody reprezentacji mogą uniemożliwić uzyskanie rozwiązania. W zależności od konkretnych rozwiązań, baza wiedzy może składać się z kilku zasadniczych części. Na ogół baza wiedzy zawiera:

- bazę opisów,
- bazę danych,

- bazę reguł,
- bazę faktów,
- bazę modeli,
- bazę zależności ogólnych,
- bazę słowników.

Baza opisów zawiera ogólne informacje z zakresu rozpatrywanej dziedziny. Są one przechowywane w mało sformalizowanej postaci (całe opisy lub ich fragmenty).

Typowa baza danych może też być częścią bazy wiedzy. Dane mogą być tu przechowywane np. w postaci relacji i przetwarzane zgodnie z przyjętymi dla relacyjnej bazy danych zasadami. Baza danych dołączana jest do systemów ekspertowych najczęściej z powodów komercyjnych, w celu zwiększania ich możliwości i połączenia wszystkich funkcji, które musza wykonywać osoby obsługujące.



Rys. 7. Struktura bazy wiedzy systemu ekspertowego

Zasadniczą częścią bazy wiedzy systemu jest baza reguł. Zawiera opis wiedzy zgodnie z przyjęta metoda reprezentacji (w naszym przypadku w postaci reguł). Moduł wnioskowania operuje właśnie na tej części bazy wiedzy, pozostałe stanowią jedynie uzupełnienie. Baza reguł może mieć największy udział w bazie wiedzy (pod względem zajętości pamięci). Ważna jest, zatem optymalizacja wykorzystania pamięci.

Przed rozpoczęciem procesu wnioskowania (lub w trakcie jego wykonywania) zbierane są przez system fakty opisujące rozpatrywany problem. Trafiają one do wydzielonej części bazy wiedzy, nazwanej baza faktów. Zebrane w systemie fakty stano-

wią punkt wyjściowy do przeprowadzenia procesu wnioskowania, w trakcie, którego mogą zostać ustalone nowe fakty, także zapisywane w tej części bazy wiedzy. Fakty te w procesie wnioskowania stają się przesłankami, na podstawie, których wyciągane są kolejne konkluzje (wnioski).

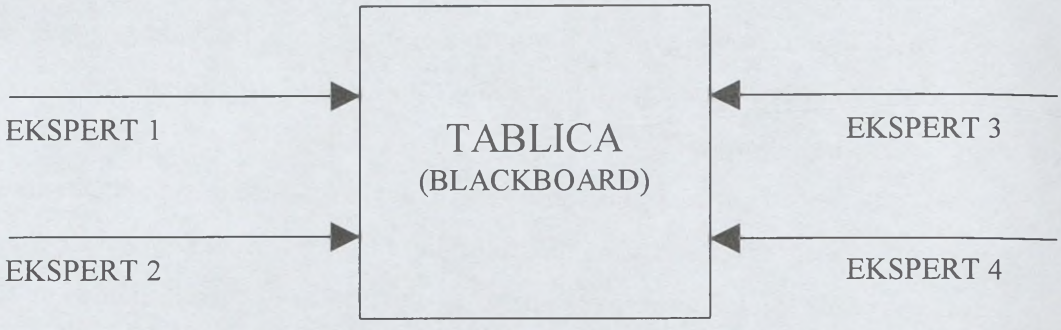
Baza modeli zawiera opis tej części wiedzy, która jest dokładnie zdefiniowana. Mogą być w niej przechowywane modele obliczeniowe zjawisk fizycznych, które opisywane są przez ustalona liczbę parametrów. Wykorzystanie modeli polega na nadaniu wartości części z nich w celu uzyskania wartości pozostałych parametrów. Umiejętne wydzielenie modeli obliczeniowych z analizowanej dziedziny może w znaczny sposób przyspieszyć działanie systemu, a jednocześnie umożliwić uniknięcie przypadkowych błędów. Część bazy wiedzy zawierająca informacje o sposobach posługiwania się wiedza zgromadzoną w systemie (baza zależności ogólnych) to tak zwana metawiedza, czyli wiedza o wiedzy.

Jedynie w dużych systemach w bazie wiedzy wydziela się specjalne miejsce do przechowywania zasad funkcjonowania systemu. Ułatwia to komunikowanie się z otoczeniem, pracę modułu wnioskowania oraz kontrolę stanu wiedzy (jej niesprzeczności, nadmiarowości).

Baza słowników zawiera określenia i sformułowania specjalistyczne z rozpatrywanej dziedziny wiedzy. Posługiwanie się takimi pojęciami w trakcie komunikacji z użytkownikiem może w znaczny sposób ułatwić wzajemne porozumiewanie się. Fachowe zwroty i sformułowania zwiększają wiarygodność rozwiązań prezentowanych przez system - budzą zaufanie.

Wybór struktury bazy wiedzy systemu zależy od decyzji projektowych inżyniera wiedzy. Dokonuje on wyboru, które z wymienionych elementów będą wchodziły w skład bazy wiedzy.

System PC Shell ma architekturę tablicową. Istota systemów tablicowych opiera się na analogii ze sposobem, w jaki może współpracować kilku ekspertów rozwiązujących pewien problem (rys. 8). Każdy z nich włącza się do rozwiązania wspólnego problemu w zakresie jego kompetencji, a tworzone przez nich rozwiązania pośrednie zapisywane są na tablicy.



Rys. 8 Istota modelu tablicowego

W systemach tablicowych wiedza ekspercka nie jest zgromadzona w jednym miejscu (np. pliku), lecz rozproszona w postaci kilku wyodrębnionych fizycznie modułów, zwanych źródłami wiedzy (ang. knowledge sources). Poszczególne źródła wiedzy odpowiadają ekspertom z podanego przykładu. Ponadto zakłada się istnienie wspólnej, tj. dostępnej dla wszystkich źródeł, tablicy komunikacyjnej (ang. blackboard), będącej rodzajem pamięci roboczej. Każde źródło może posiadać własny mechanizm wnioskujący.

W systemie PC-Shell zaimplementowano niektóre elementy przedstawionego modelu tablicowego. W obecnej wersji system umożliwia podzielenie bazy wiedzy na mniejsze fragmenty, wyodrębnione tematycznie (problemowo). Narzędziem umożliwiającym załadowanie i uaktywnienie wybranych źródeł wiedzy są instrukcje getSource i solve. Nie zakłada się formalnie wyodrębnionych mechanizmów wnioskujących przypisanych do źródeł, ponieważ w przypadku komputerów sekwencyjnych nie ma to większego znaczenia. Natomiast dostępne w systemie PC-Shell instrukcje inicjujące mechanizm wnioskujący pozwalają osiągnąć podobny efekt praktyczny. Rolę tablicy pełni tu część obszaru pamięci operacyjnej, w którym umieszczana jest baza wiedzy.

W systemie PC-Shell wymaga się istnienia modułu głównego bazy wiedzy, który jako jedyny może być ładowany bezpośrednio w ramach opcji Plik. Wyłącznie moduł główny bazy wiedzy może zawierać opisy plików, faset oraz program. Źródła wiedzy mogą zawierać tylko reguły i/lub fakty. Moduł główny nie może zawierać reguł i faktów, pełniąc jedynie rolę sterującą oraz funkcję kontrolną.

Podstawową korzyścią z podzielenia bazy wiedzy na odrębne źródła jest możliwość rozwiązywania problemów dla których niezbędne są duże i bardzo duże bazy wiedzy. Zyskuje się przez to na szybkości działania systemu oraz na oszczędności pamięci operacyjnej. Rozwiązanie to ułatwia również proces utrzymywania bazy wiedzy,

stanowiąc udogodnienie dla inżyniera wiedzy.

Moduł pozyskiwania wiedzy

Wiedza znajdująca się w bazie wiedzy może pochodzić z różnych źródeł, najczęściej jednak pochodzi od ekspertów lub innych specjalistów z danej dziedziny. Pozyskaniem wiedzy eksperckiej oraz jej formalizacją, tj. zapisaniem za pomocą określonego języka reprezentacji wiedzy, zajmuje się informatyk - tzw. inżynier wiedzy. Inżynier wiedzy to nowa profesja powstająca na gruncie sztucznej inteligencji. Proces pozyskiwania wiedzy jest na ogół bardzo pracochłonny i realizowany w toku współpracy inżyniera wiedzy i eksperta. W przypadku tradycyjnego podejścia do pozyskiwania wiedzy, stosuje się różne techniki takie jak dialog z ekspertem lub obserwacja eksperta podczas rozwiązywania przez niego konkretnych problemów. Panuje pogląd, że proces pozyskiwania wiedzy stanowi "wąskie gardło" budowy systemów ekspertowych. Dlatego badania naukowe zmierzają do automatyzacji tego procesu za pomocą tzw. algorytmów indukcyjnych, które są w stanie wygenerować reguły dla bazy wiedzy na podstawie zbiorów uczących. Zbiory te, ujęte w postaci tzw. plików uczących, zawierają najczęściej dane z przeszłości opisujące sytuację problemową oraz wynikającą z niej konkluzję człowieka. Na podstawie tych danych system uczy się rozwiązywania podobnych problemów samodzielnie.

W tak zwanych tablicowych systemach ekspertowych wiedza może być rozproszona w kilku plikach, tzw. źródłach wiedzy. Każde ze źródeł wiedzy może przechowywać wtedy wiedzę służącą do rozwiązania innego podproblemu.

Zanim wiedza ekspercka zostanie wprowadzona do bazy wiedzy, musi być wcześniej odpowiednio sformalizowana (skodyfikowana). Do tego celu w systemie PC-Shell wykorzystuje się tzw. język opisu bazy wiedzy. Wyrażony w tym języku opis bazy wiedzy może być utworzony i zapisany w pamięci dyskowej komputera za pomocą dowolnego edytora tekstowego pracującego w kodzie ASCII. Zadaniem translatora języka opisu bazy wiedzy jest czytanie pliku dyskowego zawierającego opis bazy wiedzy, tłumaczenie i wprowadzenie odpowiedniego kodu do bazy systemu PC-Shell, mieszczącej się w całości w pamięci operacyjnej komputera.

Moduł wnioskowania

W odróżnieniu od konwencjonalnych systemów, systemy ekspertowe nie zawierają jawnego opisu sposobu rozwiązania danego problemu (algorytmu). To system eks-

pertowy, a ściślej jego część zwana modułem wnioskującym (ang. inference engine) rozwiązuje problem, wykorzystując wiedzę deklaratywną w bazie wiedzy. Moduł wnioskowania realizowany jest najczęściej w oparciu o zasady logiki formalnej.

Baza wiedzy stanowi tylko podstawę do wnioskowania w systemie ekspertowym. Wnioskowaniem zajmuje się moduł wnioskowania. Zadaniem modułu wnioskowania jest analiza przesłanek i wyciąganie z nich wniosków (konkluzji) lub znalezienie przesłanek potwierdzających postawiona hipotezę. Możemy mieć oczywiście do czynienia z jeszcze innymi strategiami wnioskowania, niemniej jednak dwie wymienione są najczęściej używane, a języki zorientowane na przetwarzanie wiedzy są na ogół wyposażone w stosowne konstrukcje programowe.

Poszukiwanie rozwiązań nie jest problemem samym w sobie. System ekspertowy nie jest po to, by poszukiwał rozwiązań. On ma je podawać (proponować użytkownikowi; najlepiej jeżeli nie będzie to jedno rozwiązanie, lecz kilka, uszeregowanych np. według wiarygodności). Stąd, jeżeli będziemy dysponować pełniejszą wiedzą (szerszą bazą wiedzy), to na ogół będziemy mogli ograniczyć poszukiwania, co uczyni nasz system bardziej efektywnym (a przynajmniej szybszym).

Moduł wyjaśnień

Unikatową cechą systemów ekspertowych jest ich zdolność do automatycznego generowania różnego rodzaju objaśnień w trakcie konsultacji z użytkownikiem, w szczególności zaś wyjaśnień dotyczących sposobu rozwiązania problemu. Wyjaśnienia tworzone są przez tzw. moduł wyjaśniający (ang. explanation facility). Obecnie spotyka się najczęściej trzy rodzaje wyjaśnień:

- Jak? (ang. how) - odpowiadające na pytanie "W jaki sposób system wyprowadził dany zbiór konkluzji"; wyjaśnienia mają w tym przypadku charakter retrospektywny i pokazują logiczny wywód systemu.
- Dlaczego? (ang. why) - ten rodzaj wyjaśnień odpowiada na pytanie "dlaczego system zadał użytkownikowi dane pytanie". Wyjaśnienia te uzasadniają celowość pytania, poprzez pokazanie bieżącego kontekstu wnioskowania oraz tego jak odpowiedź na dane pytanie przyczyni się do rozwiązania problemu.
- Co to jest? (ang. what is) - wyjaśnienia te są tekstami objaśniającymi pojęcia zawarte w bazie wiedzy. Wyjaśnienia są tak ważnym i specyficznym elementem technologii systemów ekspertowych, że można zaryzykować stwierdzenie, że system który jest ich pozbawiony nie jest systemem ekspertowym.

Użytkownicy systemów ekspertowych często są zainteresowani sposobem rozwiązania problemu postawionego systemowi. Zdolność systemu ekspertowego do wyjaśnień, w tym zwłaszcza konkluzji i potwierdzanych hipotez, jest jedną z najważniejszych cech tej klasy systemów, odróżniającą tę technologię od konwencjonalnych programów.

Wyjaśnienia udzielane przez system powinny przekonać użytkownika do poprawności zastosowanego rozumowania. Jednakże mogą one być podstawową do weryfikacji bazy wiedzy, jeśli użytkownik stwierdzi, że wyjaśnienia przedstawione przez system są nieprzekonujące. Wydaje się, że wyjaśnienia można również traktować jako narzędzie uruchomieniowe, ułatwiające lokalizowanie nieprawidłowości w bazie wiedzy, zwłaszcza w początkowych etapach jej tworzenia.

System PC-Shell dostarcza retrospektywnych wyjaśnień (typu jak) rozumowania, które umożliwiło wyprowadzenie danego zbioru konkluzji lub potwierdzenie postawionej hipotezy. W czasie konsultacji system ekspertowy często pyta o obecność określonych symptomów (faktów). W takich sytuacjach użytkownik może mieć wątpliwości, czy zadane mu pytanie ma związek (lub jakiego rodzaju jest to związek) z rozwiązywanym problemem. W tym celu system PC-Shell dostarcza wyjaśnień typu dlaczego (ang. "Why" explanations). W ramach tego typu wyjaśnień system pokazuje użytkownikowi jaka hipoteza jest rozważana oraz w jaki sposób odpowiedź na pytanie systemu dostarczy informacji niezbędnej do potwierdzenia bądź odrzucenia tej hipotezy. PC-Shell dostarcza również wyjaśnień w formie tzw. metafor, będących objaśnieniami do reguł prezentowanych podczas wyjaśnień typu "How". Ponadto dostępne są również wyjaśnienia typu co to jest, będące tekstowymi objaśnieniami pojęć zawartych w bazie wiedzy. Należy podkreślić, że system PC-Shell umożliwia kontrolowanie zakresu oraz głębokości wyjaśnień.

Modele funkcjonujące

Efektem działania systemu ekspertowego (wynikiem otrzymywanym na wyjściu systemu) może być:

- diagnoza - rozumiana jako ocena stanu istniejącego na podstawie posiadanych danych lub rozpoznania zmian stanu (monitoring),
- prognoza - rozumiana jako przewidywanie stanu przyszłego na podstawie istniejących danych,
- plan - rozumiany jako opis pewnego stanu, do którego należy dążyć.

Jest możliwe łączenie typów pracy systemu ekspertowego w jeden system. Łącząc diagnozę, prognozę i planowanie otrzymuje się system sterujący . Tabela[59] 2zawiera zestawienie różnych rodzajów systemów ekspertowych.

Tabela 2

Kategoria	Zadania realizowane przez SE
Interpretacyjne	dedukują opisy sytuacji z obserwacji lub stanu czujników (rozpoznawanie mow obrazów, struktur danych)
Predykcyjne	wnioskują o przyszłości na podstawie danej sytuacji, (prognoza pogody, rozw choroby)
Diagnostyczne	określają wady systemu na podstawie obserwacji (elektronika, medycyna, mech nika)
Kompletowania	konfigurują obiekty w warunkach ograniczeń (konfigurowanie systemów)
Planowania	podejmują działania, aby osiągnąć cel (ruchy robota)
Monitorowania	porównują obserwacje z ograniczeniami (elektrownie, medycyna, ruch uliczny)
Sterowania	sterują zachowaniem systemu; obejmują interpretowanie , predykcję, naprawę monitorowanie zachowania się obiektu
Poprawiania	podają sposób postępowania w przypadku złego funkcjonowania obiektu, które systemy dotyczą
Naprawy	ustalają harmonogram czynności przy dokonywaniu napraw uszkodzonych obie tów
Instruowania	systemy doskonalenia zawodowego

Podstawowe obszary zastosowań systemów ekspertowych przedstawione są w tabeli 3

Tabela 3

Zastosowanie	Obszary zastosowań			
	Bankowość i ubezpieczenia	Przemysł	Handel i usługi	Sektor publiczny i inne
Monitorowanie Sterowanie	obserwacja trendów	nadzorowanie procesów, sterowanie procesami, raportowanie sytuacji szczególnych	obserwacja trendów	monitorowanie urządzeń i systemów
Projektowanie		projektowanie zakładów i produktów	wybór asortymentów, doradztwo	sieci (pocztowe, energetyczne, telekomunikacyjne, transportowe)
Diagnostyka	kredyty, analiza ryzyka, przetwarzanie skarg	wykrywanie uszkodzeń, utrzymanie zdolności produkcyjnej	kredyty, analiza ryzyka	diagnozy (medyczne, techniczne)
Planowanie	analiza ryzyka, planowanie inwestycji	projektowanie funkcji logicznych, planowanie projektu	analiza ryzyka, analiza rynku	planowanie inwestycji, planowanie na wypadek klęski, planowanie dystrybucji

[59] *za Mulawka J.J.: Systemy ekspertowe. WNT, Warszawa 1997*

4.3.4.2. Rokowania badawcze i perspektywa zastosowań

Niezależnie od przyjętego modelu ocenowego potencjału, którego istota tkwi w zastosowaniu podejścia systemowego, należy dokonać:

- wyboru istotnych cech systemu,
- wyboru kryteriów oceny systemu,
- ustalenia rodzaju oceny systemu,
- ustalenia metody oceny systemu,
- określenia sposobu zastosowania ocen.

System ekspertowy może się okazać przydatny w realizacji każdej z powyższych czynności. Może być także narzędziem, za pomocą, którego zaimplementowano przyjętą metodę oceny. Przemawia za tym fakt, że model ekspertowy jako jedyny umożliwia jednoczesne zastosowanie metod werbalnych jak i kwantytatywnych do określani uogólnionej oceny potencjału.

4.4. Realne modele walki

W procesie realizacji ćwiczeń dowódczo – sztabowych (np. przeprowadzanych w AON, choć nie tylko) w klasie CAX, warunkiem koniecznym jest korzystanie z komputerowych systemów wspomagania. W każdym z trzech etapów takich ćwiczeń, tj.: przygotowania, przeprowadzenia i omówienia można i należy stosować odpowiednie środki informatyki, standardowe i specjalizowane informatyczne systemy wspomagania. Jądrem systemu wspomagania jakiejkolwiek klasy mogącym mieć zastosowanie w tych etapach są **symulacyjne modele walki**. W serii eksperymentów symulacyjnych pozwalają one: (1) zespołowi autorskiemu ćwiczenia - opracować stosowną (i zrównoważoną dla stron) sytuację operacyjną (taktyczną), (2) kierownikowi ćwiczenia – uzyskać właściwe wyniki walki w zespołach podgrywających, (3) oceniającemu – obiektywnie ocenić zasadność decyzji podjętych przez ćwiczących.

Aby mieć właściwy pogląd na użyteczność (najważniejszych) realnych modeli symulacyjnych funkcjonujących w różnych armiach świata, a zaprojektowanych i zaimplementowanych przez niejednokrotnie potężne firmy *software*'owe, przedstawiamy poniżej krótką ich charakterystykę. Staraliśmy się, aby opis tych systemów wspomagania dotyczył *koncepcji* oraz *istoty symulacji*. W efekcie wybrane systemy wspomagania ćwiczeń dowódczo - sztabowych przedstawione zostały w następującym układzie:

- Ogólna charakterystyka systemu;
- Koncepcja prowadzenia symulacji, w tym zastosowane rozwiązania matematycznych modeli walki (na ile było to możliwe);
- Model terenu i otoczenia.

4.4.1. MODEL-5

Symulacyjny model walki **MODEL-5** [15] jest system walki zbrojnej wojsk lądowych dwóch przeciwstawnych stron (umownie nazywanych w systemie „**NIEBIESCY**" i „**CZERWONI**") wspieranych uderzeniami lotnictwa i śmigłowców bojowych.. Oznacza to, że system w symulacji bitwy (walki) bierze pod uwagę działania bojowe **związków operacyjnych - ZO, związków taktycznych - ZT, oddziałów** wojsk lądowych oraz uderzenia grup lotnictwa szturmowego i śmigłowców bojowych na korzyść wojsk lądowych

obu stron konfliktu, uwzględniając wpływ warunków terenowych na przebieg działań bojowych. ZO, ZT i oddziały stanowią w systemie obiekty, którymi operator może się posługiwać podczas eksperymentu symulacyjnego.

4.4.1.1. Koncepcja symulacji

W systemie "MODEL-5" odwzorowano przede wszystkim podsystem walki zbrojnej wojsk lądowych dwóch przeciwstawnych stron (umownie nazywanych w systemie "NIEBIESCY" i "CZERWONI") wspieranych uderzeniami lotnictwa i śmigłowców bojowych oraz wpływ warunków terenowych na przebieg działań bojowych. Oznacza to, że system w symulacji bitwy (walki) bierze pod uwagę działania bojowe związków operacyjnych - ZO, związków taktycznych - ZT, oddziałów wojsk lądowych oraz uderzenia grup lotnictwa szturmowego i śmigłowców bojowych na korzyść wojsk lądowych obu stron konfliktu. ZO, ZT i oddziały stanowią w systemie obiekty, którymi operator może się posługiwać podczas eksperymentu symulacyjnego.

Koncepcja symulacji w Modelu-5 została oparta o następujące założenia:

- walka zbrojna jest prowadzona środkami konwencjonalnymi;
- w procesie walki biorą udział jednostki ogólnowojskowe i artylerii wspierane uderzeniami samolotów i śmigłowców;
- możliwości jednostki określa jej potencjał bojowy;
- rodzaje działań bojowych ograniczono do:
- obrony, natarcia, pościgu, boju spotkaniowego, działań opóźniających, marszu, artyleria na stanowiskach ogniowych i rejonu ześrodkowania;
- bezpośredniego udziału w walce nie biorą elementy ugrupowania znajdujące się w marszu i w rejonie ześrodkowania;
- z jednostek tworzone są ugrupowania bojowe stron;
- jedno ugrupowanie prowadzi walkę z jednym ugrupowaniem strony przeciwnej;
- w wyniku walki jednostki wchodzące w skład ugrupowań ponoszą straty oraz może nastąpić przesunięcie linii styczności;
- celem uderzeń samolotów i śmigłowców są wskazane obiekty (jednostki) ugrupowania strony przeciwnej;
- wpływ otoczenia ograniczono do elementów rzeźby i pokrycia terenu oraz warunków meteorologicznych;

- obliczenia są prowadzone w czasie operacyjnym w określonych przez operatora cyklach o czasie trwania 15, 30 lub 60 min i ich wielokrotność;
- po każdym cyklu możliwe jest wprowadzenie decyzji wynikających z przyjętego planu działania wojsk;
- w modelu nie rozpatruje się procesów dowodzenia, zasilania i zabezpieczenia bojowego działań.

Symulacja działań bojowych prowadzona jest w czasie operacyjnym: godzina i data prowadzenia działań. System umożliwia rozgrywanie poszczególnych epizodów ćwiczenia poprzez wprowadzenie mechanizmu "przeskoku operacyjnego", a ZT i oddziały mogą zachować swój stan posiadania wynikający z działań bojowych z fazy poprzedniej.

W trakcie prowadzenia symulacji ćwiczenia system umożliwia odzwierciedlenie jego dynamiki poprzez wprowadzanie decyzji o sposobie użycia wojsk oraz o uderzeniach lotnictwa i śmigłowców (w dowolnych chwilach czasu operacyjnego).

Dialog użytkownika z systemem realizowany jest techniką rozwijanych kolejno menu (propozycji wyboru).

4.4.1.2. Modele matematyczne

Model matematyczny odwzorowuje dwa główne procesy na polu walki: proces wzajemnego oddziaływania (niszczenia) oraz proces ruchu. Do realizacji pierwszego z nich został zastosowany układ równań Lanchestera. Natomiast proces ruchu realizowany jest na podstawie empirycznej formuły.

W takim podejściu model można opisać następującą „trójką”:

$$\mathbf{M=\{ E, O, R \}}$$

Gdzie:

E - zbiór elementów - obiektów uczestniczących w walce,

O - zbiór czynników otoczenia (środowiska walki) wpływających na elementy walki,

R - zbiór relacji zachodzących między elementami wzajemnie oraz otoczeniem:

$$\mathbf{R \subset E \times E \times O}$$

Przy założeniu, że elementy zbioru spełniają następujące warunki:

$$\mathbf{E = E^A \cup E^B}$$

$$\mathbf{E^A \cap E^B = \varnothing}$$

$$\mathbf{E}^{A} \neq \varnothing ; \quad \mathbf{E}^{B} \neq \varnothing$$

gdzie:

$\mathbf{E}^{A}$ - zbiór elementów (obiektów) strony A,

$\mathbf{E}^{B}$ - zbiór elementów (obiektów) strony B,

Każdy element $\mathbf{e} \subseteq \mathbf{E}$ można opisać pewną skończoną liczbą zmiennych, atrybutów, które można podzielić na:

- - identyfikacyjne, które jednoznacznie identyfikują obiekt w systemie. Są stałe nie mają wpływu na przebieg walki;
- - decyzyjne (operacyjne), które odwzorowują sposób prowadzenia działań przez element (wynikają z podejmowanych decyzji). Są zmienne wynikają ze scenariusza walki. Mają wpływ na przebieg walki.
- - stanu określają potencjalne możliwości elementu w systemie (podczas walki). Są zmienne. Wynikają z etatowego wyposażenia elementu w sprzęt bojowy i jego parametrów oraz aktualnego procentu ukompletowania.

Potencjalne możliwości i-tego elementu są określane wielkością potencjału bojowego , który wyraża się następującą zależnością:

$$p_i = \sum_{j=1}^{N} n_j \bullet k_j$$

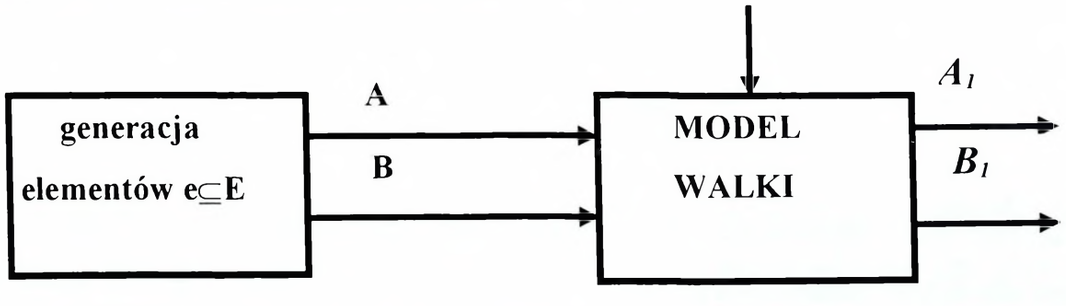
gdzie $\mathbf{p_i}$ to potencjał bojowy elementu;

N - ilość typów sprzętu bojowego elementu;

$\mathbf{n_j}$ - ilość sprzętu bojowego j-tego typu;

$\mathbf{k_j}$ - wskaźnik jakościowy j-tego typu sprzętu.

Jeśli przyjmiemy, że przez **A** oznaczymy podzbiór elementów $\mathbf{E}^{A}$ wyznaczonych do walki ze strony A, a przez **B** analogicznie podzbiór elementów $\mathbf{E}^{B}$ wyznaczonych do walki ze strony B, to system walki można przedstawić w następujący sposób:



Rys. 9. Ogólny model systemu walki

Przez A_t *i* B_t oznaczamy podzbiory elementów stron uczestniczące w walce po czasie t. Stan potencjałów bojowych elementów po tym czasie ulega zmianie (jest pomniejszony przez poniesione straty). Do wyliczenia strat w modelu walki został przyjęty Model Lanchestera, które go klasyczna postać jest następująca:

$$\begin{cases} \dfrac{dm^A}{dt} = -\Lambda^B \cdot m^B \\ \dfrac{dm^B}{dt} = -\Lambda^A \cdot m^A \end{cases}$$

gdzie:

m^A - liczba środków strony A,

m^B - liczba środków strony B,

Λ oznacza strumień skuteczności strzelania strony A i B wyrażony wzorem:

$$\Lambda^A = \lambda^A * \mu^A$$

gdzie:

λ^A - szybkostrzelność środków strony A,

μ^A - prawdopodobieństwo trafienia środków przeciwnika przez środki strony A,

λ^B - szybkostrzelność środków strony B,

μ^B - prawdopodobieństwo trafienia środków przeciwnika przez środki strony B,

przy założeniu, że strony (każda może mieć inne) są wyposażone w jednorodne środki.
Jeżeli w czasie Δt strona A odda $m^A * \Lambda^A * \Delta t$ skutecznych strzałów, a strona B: $m^B * \Lambda^B * \Delta t$, to straty poniesione przez strony wynoszą:

$$\Delta m^A = m^B * \Lambda^B * \Delta t$$
$$\Delta m^B = m^A * \Lambda^A * \Delta t$$

Stąd dzieląc obie strony równań przez Δt i przechodząc do granicy $\Delta t \to 0$ otrzymujemy podaną wyżej postać równań w modelu Lanchestera.

Dla współczesnych warunków, przy dużej różnorodności wyposażenia wojsk symulacja w oparciu o klasyczny model Lanchestera jest wymaga odpowiedniej mocy obliczeniowej komputera, komputerowej mapy terenu, a także śledzenie położenia każdego środka walki, jego widoczności i wielu innych elementów. Dlatego też w proponowanym modelu walki wprowadzamy silne ograniczenia oraz modyfikacje modelu Lanchestera, które pozwolą na jego realizację na komputerze PC.

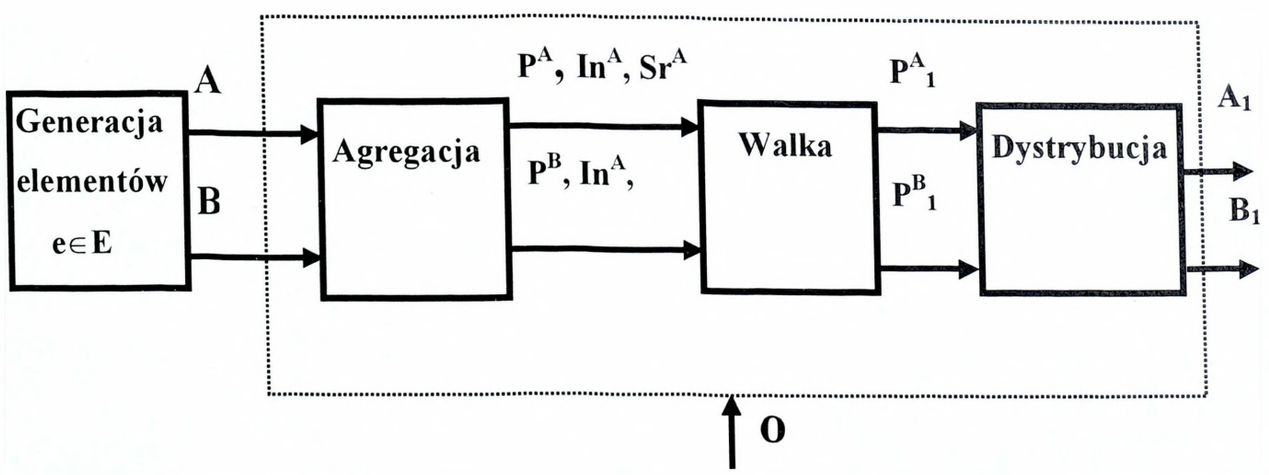
Wprowadzając pojęcie potencjału stron P^A i P^B, intensywność niszczenia potencjału In^A i In^B, oraz prawdopodobieństwo wzajemnego rozpoznania stron Sr^A i Sr^B otrzymujemy nowy układ równań:

$$\begin{cases} \dfrac{dP^A}{dt} = -\Lambda^B \cdot P^B \\ \dfrac{dP^B}{dt} = -\Lambda^A \cdot P^A \end{cases}$$

gdzie: $\Lambda^A = In^A * Sr^A$

$\Lambda^B = In^B * Sr^B$

Model można teraz przedstawić w następujący sposób:



Rys.10. Uszczegółowiony model systemu walki

W module „Agregacja" następuje agregowanie wartości potencjałów, intensywności niszczenia oraz prawdopodobieństwa rozpoznania poszczególnych elementów wchodzących w skład obu stron. Na wyjściu modułu otrzymujemy:

- wartość potencjału strony A:

$$P^A = \sum_{i=1}^{L^A} p_i$$

- wartość intensywności strony A:

$$In^A = \frac{\sum_{i=1}^{L^A} in_i \cdot p_i}{P^A}$$

- wartość prawdopodobieństwa rozpoznania strony A:

$$Sr^A = \frac{\sum_{i=1}^{L^A} sr_i \cdot p_i}{P^A}$$

gdzie:

$\mathbf{p_i}$ - wartość potencjału i-tego elementu;

$\mathbf{in_i}$ - wartość intensywności niszczenia i-tego elementu;

$\mathbf{sr_i}$ - wartość prawdopodobieństwa rozpoznania i-tego elementu;

$\mathbf{L^A}$ - ilość elementów strony A;

Proces ruchu (przemieszczenia) jest odwzorowany jako przesunięcie linii styczności oraz realizowany jest przy pomocy następującej formuły:

$$V = V_{max} \cdot e^{\omega} \cdot \log(\frac{P^A}{P^B}) \cdot \mu_T$$

gdzie:

V_{max} - maksymalne tempo natarcia w optymalnych warunkach

μ_T - współczynnik wpływu rzeźby i pokrycia terenu

P^A, P^B - potencjały stron;

ω - współczynnik efektywności działań, określany formułą uwzględniającą względne straty potencjału obu stron;

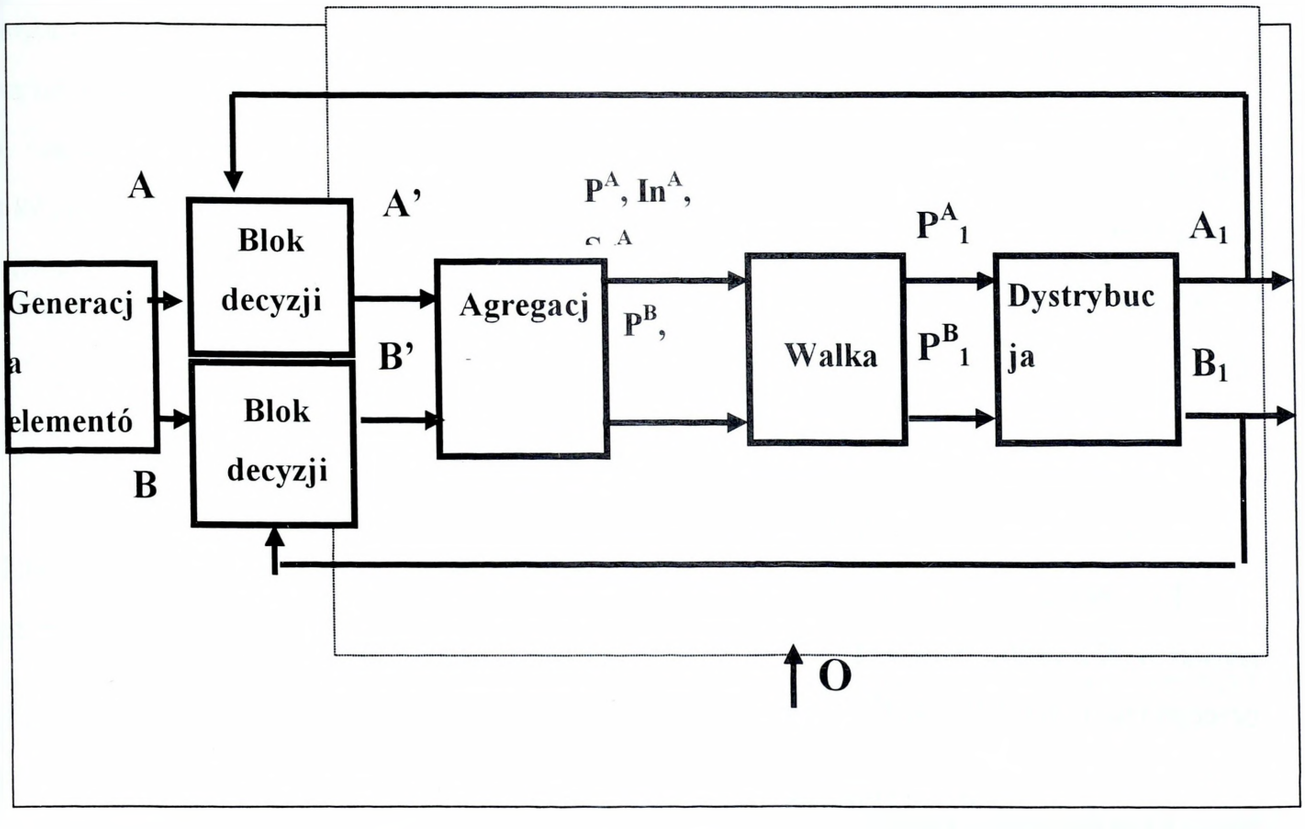
gdzie:

$$\omega = \frac{P^A \cdot C^B - P^B \cdot C^A}{P^A \cdot C^B + P^B \cdot C^A}$$

C^A, C^B - ubytek (strata) potencjału poszczególnej strony.

Sposób agregacji dla obu stron jest taki sam. W module „**walka**" następuje wyliczenie strat obu stron w walce w czasie **Δt**. W module „**dystrybucja"** następuje rozdzielenie strat stron na poszczególne elementy. Zasadą dystrybucji może być losowe lub równomierne rozdzielenie strat na wszystkie elementy strony.

Jeśli przyjmiemy, że będziemy modelować podejmowanie decyzji podczas walki, w wyniku których elementy mogą wchodzić i wychodzić z walki wówczas model przyjmuje następującą postać:



Rys.11. Model systemu walki przyjęty w Model-5

Przedstawiony powyżej opis modelu symulacji działań bojowych stanowi jeden z możliwych przykładów formalnego opisu tego procesu.

Reprezentacja terenu i otoczenia

Teren jako taki nie został odwzorowany w modelu. Wpływ warunków terenowych uwzględniony został określanie elementów rzeźby (równinny, pagórkowaty, górzysty, itp.) i pokrycia (odkryty, zalesiony, lesisto-jeziorny itp.). Warunki meteorologicze takie jak rodzaj pogody i pory dnia zostały również uwzględnione.

4.4.2. CBS

CBS [24] symuluje walkę, wsparcie i zabezpieczenie techniczne stron walczących. Obejmuje to na przykład, przegrupowanie, działania bezpośrednie, działanie artylerii, wojsk inżynieryjnych, zabezpieczenie medyczne, odtwarzanie zapasów, BMR, operacje powietrzne i obronę przeciwlotniczą.

Intencją CBS jest zamiana ręcznych metod dowodzenia używanych w przeszłości.

Nowoczesna technologia komputerowa w połączeniu z wyspecjalizowanym oprogramowaniem daje możliwość szybkiej, elastycznej i interaktywnej kontroli przebiegu symulacji. Duże ekrany, w sposób właściwy pozwalają kierownictwu kontrolować dane o ćwiczących elementach w czasie rzeczywistym. Kombinacja grafiki i systemu menu pozwalają wydawać komendy dla potrzeb symulacji oraz kontrolować skomplikowane informacje graficzne dostarczane przez stację roboczą CBS.

4.4.2.1. Koncepcja symulacji

Koncepcja symulacji oparta jest o zastosowanie szeregu dostępnych modeli cząstkowych, które określają zakres funkcjonalności oraz adekwatności modelu. Poniżej przedstawiono modele cząstkowe, które wchodzą w skład modelu bazowego.

Model ruchu naziemnego

- Tryb ruchu może być po drogach lub na przełaj
  - jednostki poruszają się trybem określonym przez operatora
  - konwoje poruszają się po drogach, chyba że sześciokąt nie posiada dróg

- Najmniejszy „krok" jednostki znajduje się w bazie danych i nie jest sztucznie wymuszany przez granice sześciokąta
- Szybkość maksymalna i odcinki marszu są określane przez operatora w granicach norm
- Faktyczna szybkość poruszania się zależy od wyposażenia jednostki, zdolności bojowej, statusu MOPP, odległości od nieprzyjaciela, typu terenu, wyczerpania marszem, zatłoczeniem ruchu, istnienia drożni, mostów, rzek, pól minowych, dymów, przeszkód terenowych, uciekinierów i jest ograniczona maksymalną prędkością i odległością marszu
- Jednostki i konwoje mogą tarasować drogi same sobie, powodować opóźnienia innym jednostkom i konwojom oraz być opóźniane przez inne jednostki i konwoje
- Poziom opóźnień wymuszany jest przez tryb poruszania się, ilość pojazdów w jednostce lub konwoju odległości między pojazdami, przejezdnością pokonywanego terenu oraz ruchu innych jednostek lub konwojów
- MP może meldować o ruchu wojsk w punktach kontrolnych i redukować zatłoczenie dróg
- Niezdolne jednostki poruszają się wolniej
- Jednostki atakowane przez lotnictwo i artylerię mają opóźnienia ruchu

Model Walki naziemnej

- Reprezentacja jednostek
  - do 20 000 jednostek
  - najmniejszą jednostką jest batalion
  - położenie jednostki określone jest jako punkt
  - nazwa jednostki może być zmieniana
  - jednostka posiada zadanie bojowe i położenie, system wsparcia i zabezpieczenia oraz ponad 80 dodatkowych atrybutów
- Organizacja walki dopuszcza organizowanie doraźnych zadań
- Jednostka automatycznie zmienia stan na podstawie wartości zdolności bojowej
- Jednostki piechoty mogą być na transporterach podczas ataku
  - piechota na transporterach automatycznie „spieszą" się w określonej odległości od nieprzyjaciela

- personel transporterów jest mniej narażony na straty ale nie jest uwzględniany w sile ognia jednostki

- System walki jednostki dowodzony jest przez wyznaczonych dowódców (żołnierzy zawodowych) (tylko wojska własne)
  - straty w ludziach zależą od typu amunicji oraz stanu zniszczeń systemów walki
  - straty w ludziach zmniejszają możliwości dowódców
- Jednostki narażone są na oddziaływanie ognia artylerii zarówno własnej jak i przeciwnika
  - oddziaływanie artylerii zmniejsza zdolność bojową jednostki
  - stopień obezwładniania zależy od typu amunicji, szybkostrzelności i urzutowania jednostki
- Zdolność bojowa jednostki może być określona przez operatora lub automatycznie jako wynik działań
- Efektywność walki jednostki zależy od liczby kierowanych systemów walki oraz (tylko dla wojsk własnych) od kompetencji dowódcy
- Wykrywanie jednostek, konwojów oraz składów jest modelowane w sposób stochastyczny
  - raporty o wykryciu wydawane są wtedy gdy wykrycie nastąpi
  - raporty stają się sukcesywnie coraz bardziej dokładne z upływem czasu
- Jednostka jest w walce gdy wykryje jednostkę przeciwnika, co najmniej jedna jednostka posiada broń o wystarczająco dużym zasięgu aby osiągnąć przeciwnika oraz jej stan nie wyklucza walki
- Jednostka może rozpoznawać teren przeciwnika
  - zdolność rozpoznania zależy od wielkości jednostki, typu, położenia, odległości, terenu, pory doby oraz wyposażenia (itd. noktowizory)
  - jednostki rozpoznawcze mogą wykonywać zasadzki na przeciwnika, prowadzić normalne lub specjalne rekonesanse lub wykonywać wybrane zadania destrukcyjne
  - półautomatyczny system wspomagania operatorów (COAST) wspomaga rozpoznanie
- Jednostki obrony cywilnej mogą eliminować zastoje powodowane przez uciekinierów oraz zbierać informacje od mieszkańców (HUMINT)

- Jednostki walki psychologicznej (PSYOP) mogą obniżać efektywność wojsk przeciwnika
  - ulotki
  - radio
- Jednostki mogą stawiać zasłony dymne
- Cechy działań bezpośrednich
  - progi zaangażowanych sił
  - jednostki przeciwstawne mogą zajmować ten sam sześciokąt
  - jednostki mogą być zniszczone
  - jednostki posiadają indywidualny zasięg broni
  - limit maksymalnych zasięgów dla walki
  - jednostka może unikać walki. Jeśli zostanie wykryta, nakłada się na nią ograniczenia
  - jednostka może być opanowana
  - jednostka może poruszać się „pod ogniem"
  - jednostka może wykonywać zadanie wsparcia ogniem
  - jednostki nie posiadająca zdolności bojowej nie mogą przeciwstawiać się jednostkom taka zdolność posiadającym

Model Artylerii

- Dostępne typy zadań:
  - ogień normalny
  - wsparcie ogniowe
- Artyleria może prowadzić zarówno ogień bezpośredni jak i pośredni
  - minimalny i maksymalny zasięg dla ognia pośredniego
  - maksymalny zasięg dla ognia bezpośredniego
- Grupy i serie ognia mogą być wcześniej zaplanowane
  - określony czas wykonania
  - dostępne raporty stanu
- Szybkostrzelność wybierana przez operatora
  - stała
  - maksymalna

- W przypadku ognia normalnego, jeśli nie jest określone to jest zakładana domyślna broń i amunicja
- Artyleria może prowadzić ogień typu „strzelaj i uciekaj"
- Straty od artylerii liczone są metodą zniszczeń ułamkowych (CAC)
  - powierzchniowe/kołowe ułamkowe współczynniki zniszczenia dla jednostek stacjonarnych
  - liniowe ułamkowe współczynniki zniszczenia dla jednostek w ruchu
- Jednostka artylerii prowadząca ogień jest wykrywalna przez nieprzyjacielski radar wykrywania ognia
  - wykryta jednostka artylerii jest meldowana przeciwnikowi i jest podatna na zniszczenia
  - możliwości radaru zależą od typu, maksymalnego zasięgu
- Radary wykrywające strzelającą artylerię wykrywalne są przez nieprzyjacielskie rozpoznanie radioelektroniczne ELINT
  - wykryte radary wykrywające strzelającą artylerię stają się podatne na zniszczenie
  - zagrożenie ELINT ustawialne (niskie, średnie, wysokie)
  - prawdopodobieństwo wykrycia radaru przez ELINT wzrasta wraz z upływem czasu działania radaru
- Artyleria może stawiać samo likwidujące się pola minowe ASCAM
- Dostępne typy amunicji: HE, DPICM, RAP, FASCAM, PSYOP z ulotkami, Copperhead, chemiczne, nuklearne
- Zasłony dymne stawiane przez artylerię
  - zasłony dla światła widzialnego i podczerwieni
  - koncentracja dymu jest zależna od mechanizmu wytwarzającego, koncentracji obłoku, stabilności powietrza, i szybkości wiatru
  - dymy wpływają na straty od ognia bezpośredniego, wykorzystanie laserów, start i lądowanie samolotów, obserwację ognia artylerii, ruch wojsk
- Amunicja chemiczna
  - wiele kombinacji tej amunicji jest dostępne (GB, VX, HD, GD, HL, AC, T2)

- skażenie chemiczne rozprzestrzenia się wraz z upływem czasu jako funkcja naturalnej zdolności rozprzestrzeniania, szybkości wiatru, roślinności i stabilności powietrza
- natychmiastowe, opóźnione i długotrwałe straty od środków chemicznych zależą od typu związku, koncentracji i statusy MOPP
- dokładne odkażanie wymagane dla skażonej jednostki zależy od zastosowanego środka trującego

- Amunicja nuklearna
  - skażenie radioaktywne o stałym czasie trwania
  - straty bezpośrednie i od napromieniowania
- Amunicja precyzyjna wymaga wcześniejszej instalacji laserowych urządzeń naprowadzających (naziemnych lub powietrznych)
- Czas bombardowania określony jest ilością luf (lub ilością naprowadzaczy laserowych w przypadku amunicji precyzyjnej)
- Szybkostrzelność i czas bombardowania zależą od zniszczeń systemu maskowania

Model Inżynieryjny

- Jednostki wojsk lądowych mogą wykonywać następujące zadania inżynieryjne
  - naprawa i niszczenie mostów stałych
  - montowanie, demontowanie, niszczenie mostów inżynieryjnych
  - stawianie i usuwanie pól minowych
  - wykonywanie rowów przeciwczołgowych, wykopów na drogach i blokad drogowych
  - wykonywanie przejść w polach minowych, rowach przeciwczołgowych i przeszkodach punktowych
  - rozbudowa fortyfikacyjna terenu
  - niszczenie i naprawa pasów startowych
- Działalność inżynieryjna wpływa na straty jednostki i jej ruch
  - pola minowe bez oczyszczonych przejść powodują straty w ludziach i sprzęcie oraz opóźniają ruch
  - rowy przeciwczołgowe, przeszkody punktowe i zniszczone mosty powodują opóźnienia w ruchu

- Czas trwania zadań inżynieryjnych zależy od kombinacji systemu zabezpieczenia działań, personelu i zasilania dostępnego jednostce
- Jednostki mogą wykonywać ww. czynności tylko podczas walki
- Elementy inżynieryjnego zabezpieczenia walki są bardziej podatne na straty od ognia bezpośredniego podczas wykonywania zadań inżynieryjnych
- Możliwość wykonania zadań inżynieryjnych są mniejsze w nocy, w terenie skażonym, w terenie nieprzyjaznym oraz gdy jednostki jest pod ogniem przeciwnika
- Lotnictwo może stawiać narzutowe pola minowe DSCAM, robić wyrwy w drogach oraz niszczyć mosty inżynieryjne
- Artyleria może stawiać narzutowe pola minowe ASCAM
- Meldunki o wykonaniu zadań inżynieryjnych umożliwiają ciągłość działań

Model Lotnictwa taktycznego

- Dostępne typy misji:
  - obrona przeciwpowietrzna (DCA)
  - bezpośrednie wsparcie lotnicze (CAS)
  - lotnicza izolacja pola walki (BAI)
  - izolacja lotnicza rejonu działań bojowych (AI)
  - ofensywne działania lotnicze (OCA)
  - obezwładnianie obrony powietrznej przeciwnika (SEAD)
  - rozpoznanie (RECCE)
  - dyżurowanie bojowe w parach (CAP)
  - powietrzny system wczesnego ostrzegania i naprowadzania (AWACS)
  - tankowanie powietrzne (AIRREF)
- Częstotliwość lotów zależy od:
  - liczby dostępnych samolotów
  - stanu pasów startowych
  - opóźnień wynikających z tankowania i uzbrajania (spadek wydolności MOPP)
  - opóźnień startów i lądowań (spadek wydolności MOPP)
- Operator może spowodować
  - rozwinięcie jednostek lotniczych

- zmianę zadania
- przerwanie wykonywania zadania
- ręczne łączenie w pary CAP i DCA
- automatycznie łączenie w pary CAP i DCA

- Potyczki powietrzne w metodzie automatycznej wykorzystują potencjał bojowy do określenia ilości środków wysyłanych przeciwko napastnikom
- Pakiet misji powietrznych
  - zawiera wiele elementów misji zebranych w skoordynowaną siłę uderzeniową
  - można sprecyzować czas nad celem (TOT), cele pierwszoplanowe i drugoplanowe, ładowana broni, wyloty i przyloty itd.
- Loty orbitalne
  - orbitalne wykrywanie i zwalczanie misji orbitalnych nieprzyjaciela
  - CAS i BAI w odniesieniu orbitalnym
  - misje nieprzewidziane mogą mieć orbity powrotne
- Samoloty latają na wysokościach określonych przez operatora
- Samoloty posiadają laserowo oświetlone cele wybrane przez siebie, przez inne misje TACAIR lub jednostki naziemne
- Operacje lotnicze możliwe do wykonania z baz odległych (poza teatrem działań)
  - TACAIR
  - Przerzut powietrzny
- Samoloty mogą operować z wysuniętych stanowisk
- Samoloty znajdujące się na ziemi są narażone na straty i zniszczenia spowodowane działaniami bojowymi, ogniem artylerii oraz bombardowaniem z powietrza
- Pasy startowe mogą być zamykane aby ograniczyć lub całkowicie uniemożliwić działanie lotnictwa
- Misje lotnicze informują o położeniu środków obrony przeciwlotniczej przeciwnika, które mogą je zaatakować i automatycznie próbują unikać starcia z nimi
- Cechy walki radioelektronicznej
  - ograniczenie możliwości radarów naziemnych i AWACS
  - obniżenie efektywności oddziaływania rakiet przeciwlotniczych (radar i podczerwień)

- Cechy obezwładniania obrony powietrznej przeciwnika (SEAD)
  - zabezpieczenie misji lotniczych od SEAD
  - atakowanie jednostek przeciwlotniczych rakietami antyradiacyjnymi (ARM) i bronią konwencjonalną
  - niszczenie jednostek przeciwlotniczych
  - niszczenie samolotów SEAD
- Meldunki zbiorcze dla bezpośredniego wsparcia lotniczego (CAS)
- Meldunki o trasach lotów

Model Lotnictwa Wojsk Lądowych

- Dostępne rodzaje misji
  - atak
  - blokada
  - psychologiczne (PSYOP)
  - rozpoznanie
  - wsparcie
  - osłona
  - oświetlanie (celów)
  - przerzut powietrzny
- Lotnictwo wojsk lądowych może być dostępne dla każdej jednostki
- Samoloty będące na ziemi są podatne na straty
- Działania mogą być prowadzone z dowolnej naziemnej jednostki walczącej, z punktu wysuniętej strefy uzbrojenia i tankowania (FARRP), lub dowolnego punktu w obszarze działań
- Samolot może latać nisko nad powierzchnią ziemi (zgodnie z profilem)
  - redukcja efektywności działania obrony przeciwlotniczej
  - zmniejszona efektywność misji przez profil ziemi i maskujący wpływ roślinności
- Trasy wylotów i przylotów sprecyzowane przez operatora
  - położenie celów, szybkość przelotów, wysokość, sposób lotu mogą być zmieniane w czasie lotu
  - szybkość przelotu jest automatycznie dopasowywana do osiągnięcia właściwego czasu osiągnięcia celu lub lotniska

- dostępne są meldunki o planowanych trasach lotów
- Meldunki o nieprzyjacielskiej obronie przeciwlotniczej
- Samoloty mogą unikać obrony przeciwlotniczej lub wiązać ją walką
- Obecność lotnictwa osłonowego zwiększa straty
- Modele amunicji kierowanej przewodowo i laserowo.

Model taktycznego przerzutu powietrznego / desant powietrzny

- Cechy operacji typu most powietrzny
  - samoloty i śmigłowce
  - zaopatrzenie
  - przerzucane jednostki
  - operacje jedno lub wielopunktowe
- Wielu operatorów może brać pod uwagę użycie przerzutu powietrznego
- Zaopatrzenie może być pozostawione dla późniejszych operacji lub zabrane
- Przerzut powietrzny jednostek obejmuje możliwość szturmu powietrznego w terenie okupowanym przez wroga (tylko śmigłowce)
  - zasadnicza i zapasowa strefa lądowania (LZ)
  - stopień akceptowalnego ryzyka wybierany przez operatora
  - kalkulacja ryzyka przed lądowaniem
  - zapasowe lądowisko wybierane jest gdy lądowanie na zasadniczym jest zbyt ryzykowne
  - wcześniejsze rozpoznanie planowanej strefy lądowania
- Samoloty i dodatkowe wyposażenie wykonujące przerzut powietrzny narażone są na straty
  - podczas lotu
  - podczas załadunku i wyładunku
- Samoloty muszą być ładowane i rozładowywane w bazach lotniczych (wyłączając zrzuty)
- śmigłowce mogą lądować w dowolnym miejscu teatru działań
- Automatycznie wspomagane planowanie załadunku
- Ładowanie i rozładowanie zależy od stopnia degradacji środków maskowania

Model OPL

- W skład uzbrojenia przeciwlotniczego wchodzą:
  - rakiety naprowadzane radarem
  - działa kierowane radarem
  - rakiety na podczerwień
  - działa z celownikami optycznymi
- Stacje radarowe wykrywające misje powietrzne i stanowiska artylerii przeciwlotniczej
  - AWACS
  - stacje naziemne
- Zakres wykrywalności radarów zależy od typu radaru i wysokości lotu obiektów
- Dla wczesnego ostrzegania można rozlokować jednostki wykrywania lotnictwa przeciwnika
- Stanowiska obrony przeciwlotniczej przeciwnika mogą być obezwładniane
- Tryby działania obrony przeciwlotniczej
  - automatyczny
  - dobierane ręcznie
  - samoobrona
- Wykryte samoloty są klasyfikowane jako swój, obcy, niezidentyfikowany
  - określanie stochastyczne
  - istnieje możliwość niszczenia własnych stanowisk
- Automatyczne uaktywnianie obrony przeciwlotnicze zależy od statusu broni jednostki
  - Wolna
  - Gotowa
  - Zatrzymana
- Zasady użycia broni określają, które jednostki zwalczają określone misje lotnictwa przeciwnika
  - zależne od stanu uzbrojenia ADA i identyfikacji obiektów powietrznych
  - działania samoobronne mają priorytet
  - możliwości sterowania ręcznego
- Metody strzelania środków obrony przeciwlotniczej

- strzał - obserwacja - strzał
- strzał podwójny
- oddziaływanie rakietami HAWK

- Zdolność walki ADA jest wyznaczona przez:
  - działanie radarów kierowania ogniem i amunicji
  - maksymalny i minimalny zasięg i wysokość oddziaływania broni przeciwlotniczej
  - czas prowadzenia ognia i ponownego załadowania (zależy od sprawności MOPP)
- Straty w sprzęcie są stochastyczne i zależą od typu broni i celu
- Broń z celownikami optycznymi dostępna jest dla ADA
  - nie wymagają radarów kierowania ogniem
  - prawdopodobieństwo trafienia jest zależne od pory doby
  - jednostki będące w stanie MOPP 3 i 4 nie mogą używać broni z celownikami optycznymi
- Taktyczne rakiety balistyczne (TBM) mogą być wykrywane i zwalczane przez antyrakiety ATBM SAM
  - tor lotu TBM, zasięg ATBM oraz zasięg broni wyznacza czas walki
  - Naziemny Punkt Uderzenia broni okręgu definiowanego dla stanowisk ADA
  - tworzone są meldunki o rakietach balistycznych oraz działalności ATBM

Modele Logistyczne

4) ***Model Zaopatrzenia***

- Zużycie może być dzienne, osobodzień oraz bieżące
- Dostępne wszystkie klasy zaopatrzenia za wyjątkiem II i IV
- Klasy zaopatrzenia dzielone są na kategorie
- Organiczne zaopatrzenie jednostki podatne jest na starty
- Konwoje wykrywane są przez jednostki naziemne przeciwnika, jego lotnictwo rozpoznawcze, podatne na straty od jednostek naziemnych, artylerii i lotnictwa
- Konwoje własne mogą być tworzone, zmieniane i kasowane
- Konwoje przeciwnika kierowane są przez wysyłanie i odwoływanie rozkazów

- Konwoje przeciwnika mogą być zmieniane
- Konwoje przeciwnika generowane są automatycznie jak tylko zaopatrzenie zostanie zużyte
- Ładowanie i rozładowanie konwojów zależy od stopnia degradacji maskowania
- Zarządzanie zaopatrzeniem jednostek walczących
  - długotrwałe zaopatrzenie (tylko wojska własne)
  - zmienne
  - zaopatrzenie może być międzypoziomowe
- Przesunięcie centrów zaopatrzenia (tylko wojska własne)
  - centra zaopatrzenia mogą kontynuować wydawanie zaopatrzenia podczas przesunięcia do nowej lokalizacji ze zmniejszoną wydajnością
- Mogą być tworzone zestawy zaopatrzeniowe '*ad hoc*'
  - tworzone przez jednostki, konwoje i przerzuty powietrzne
  - istnieje możliwość zaopatrywania jednostek sąsiednich bezpośrednio lub poprzez konwoje
  - zaopatrzenie zależy od start od artylerii i lotnictwa oraz zniszczeń przez siły przeciwnika

b) Model remontowy i usług medycznych

- Limity naprawcze i medyczne mogą być przesuwane pomiędzy naprawami i usługami medycznymi (tylko wojska własne)
- Personel naprawczy i rezerwowe resursy zależą od możliwości lotnictwa (tylko wojska własne)
- zaopatrzenie dla jednostek remontowych i medycznych może być zmieniane (tylko wojska własne)
- Możliwe są straty od chorób i niebojowych uszkodzeń sprzętu (tylko wojska własne)
- Czynności naprawczo medyczne są stochastyczne do występowania zniszczeń oraz poszkodowanych
- Zniszczenie pojazdu pociąga za sobą straty w załodze
- Każdy element wyposażenia ma swoje czynności naprawcze
- Określone procedury ewakuacji i transportu rannych pomiędzy szpitalami
- Straty w ludziach od środków chemicznych nie są śmiertelne

- Czas napraw zależy od degradacji maskowania

c) Model uzupełnienia

- Mechanizm zarządzania personelem
  - związanie składu osobowego z wyposażeniem
  - identyfikacja personelu poprzez CMF
  - generowanie dziennych raportów personalnych

d) Model logistyki wojsk lotniczych

- Limity mogą być przesuwane pomiędzy jednostki
- Jednostki wsparcia dla jednostek naprawczych mogą być zmieniane
- Czas dotarcia do punktów naprawczych i resursy naprawcze zależą od możliwości lotnictwa
- Części lotnicze są składowane i mogą być naprawiane
- Części mogą być wykorzystywane na wielu poziomach

Raporty napraw określają samoloty będące w stanie naprawy i zaopatrzenia.

4.4.2.2. Matematyczny model walki

Model Lanchester'a używany jest do określenia strat walczącej jednostki poniesionych w bezpośredniej walce z jednostką przeciwnika (ogień bezpośredni) i wspierającego ognia artylerii (ogień pośredni)

Straty określane są dla dostępnych systemów walki prowadzących ogień przeciwko każdemu systemowi walki lub wsparcia przeciwnika

- oddzielne współczynniki modelu dla ognia pośredniego i bezpośredniego
- współczynniki dla ognia bezpośredniego akceptują efekt zwielokrotnienia broni na tej samej platformie
- system artylerii jednostek wspierających dodaje się do ognia pośredniego jednostek wspieranych
- współczynniki modelu Lanchester'a zależą od położenia, pory doby, pogody, możliwości jednostek walczących, użytych systemów walki
- poziom strat jest modyfikowany przez następujące czynniki: cechy terenu, obecność rzek i własnych fortyfikacji, różnica wysokości

pomiędzy atakującym i atakowanym, utrudnienia ruchu, dostępność MPS oraz amunicji dla atakujących, status MOPP atakujących

- Straty wyliczone przez model Lanchester'a poprawiane są przez system COBRA
  - system ekspercki analizuje każdą sytuację walki i określa odpowiednie współczynniki równań Lanchester'a
  - dodatkowo bierze się pod uwagę: skuteczność bojową jednostki, wyposażenie jednostek piechoty i pancernych, łączenie jednostek piechoty z czołgami, położenie nieprzyjaciela, możliwości obrony, ukrycia i ochrony, taktyczną mobilność jednostek, przydział celów dla atakujących, odległość walki między jednostkami
- Straty jednostki wyliczane są asynchronicznie, wtedy kiedy zajdzie jakieś zdarzenie w procesie walki

Reprezentacja otoczenia (terenu)

Teren w CBS odwzorowany jest poprzez niżej wymienione warstwy informacyjne:

- Podkłady mapowe dostępne dla:
  - Korei
  - Europy
  - Ameryki Środkowej
  - Azja Południowo-Zachodnia
- Podstawą mapy są sześciokąty o boku 3 km
- Charakterystyka wnętrza sześciokąta:
  - przejezdność
  - roślinność
  - średnie pofałdowanie
  - zabudowa
  - średnie wysokość
  - ufortyfikowanie
- Charakterystyka krawędzi sześciokąta:
  - drogi
  - rzeki
  - mosty
  - przeszkody

- Cele:
  - drogi
  - mosty
  - przeszkody punktowe
  - pasy startowe
  - schrony dla samolotów
- Działania inżynieryjne mogą modyfikować parametry terenu
- Skala mapy zależy od szczebla ćwiczenia

4.4.3. CORA

System komputerowej symulacji pola walki KORA/OA [23] (***KO****RPS* ***RA****HMEN SIMULATIONSMODELL FÜR DIE* ***O****FFIZIERS****A****USBILDUNG*) został pierwotnie opracowany na potrzeby Akademii Dowodzenia w Hamburgu. Firmą realizującą zamówienie jest IABG (*Industrie Anlagen Betriebs Gesellschaft*).

KORA/OA jest modelem do tworzenia scenariuszy wojny lądowej i powietrznej od szczebla brygady do korpusu. Opracowany został jako model do wspierania kierownictwa w trakcie przygotowania i prowadzenia ćwiczeń jedno i dwustronnych. KORA/OA tworzy środowisko, w którym przedstawione są stosunki i zależności między działaniami lądowymi, powietrznymi, rozpoznaniem i logistyką. System składa się z kilku oddzielnych modułów przeznaczonych do realizacji różnych zadań. Zasadniczą rolę odgrywają bazy danych obejmujące między innymi dane geograficzne obszaru działań, dane wyjściowe struktur organizacyjnych wojsk własnych i przeciwnika, możliwości taktyczno-techniczne sprzętu bojowego i inne. Centralnym układem systemu jest moduł kalkulacyjny umożliwiający „porównanie" potencjałów bojowych walczących stron. KORA/OA wspiera ćwiczenia dowódczo-sztabowe i szkieletowe na szczeblu korpusu, dywizji i brygady oraz ćwiczenia seminaryjne. Charakteryzuje się komfortową i łatwą obsługą grafiki, krótkim czasem przygotowania ćwiczeń i minimalnymi potrzebami personalnymi (do obsługiwania).

4..4.3.1. Koncepcja symulacji

Koncepcja symulacji oparta na realizacji następujących modeli cząstkowych:

Model wojsk zmechanizowanych i pancernych

W modelu przedstawione są związki operacyjne i taktyczne od szczebla korpusu względnie grupy armii w dół. Zadania bojowe mogą jednak być stawiane tylko dla jednostek określonych szczebli (z reguły batalion). Zadania te są automatycznie przetwarzane i przekazywane do podporządkowanych pododdziałów. Istnieje również możliwość bezpośredniego stawiania zadań pododdziałom (kompaniom).

Każdy z „ćwiczących" batalionów ma zawsze określone zadanie lub wykonuje określoną czynność, które określają jego zachowanie podczas symulacji. Pododdziały wchodzące w skład symulowanego batalionu realizują jego czynności, tzn. jeżeli batalion naciera, to kompanie realizują to samo.

Rodzaj działań batalionu wynika z:

- aktualnego rozkazu;
- położenia: brak styczności / w styczności z przeciwnikiem;
- celu przemieszczania się - osiągnięty/nieosiągnięty.

Model uwzględnia automatycznie czas potrzebny na planowanie i przygotowanie wojsk, jak również rodzaj prowadzonych działań. Tak więc np. w natarciu uwzględnia dodatkowo czas potrzebny na rekonesanse, a w obronie na rozbudowę inżynieryjną terenu. Uwzględnia się również możliwe straty.

Model artylerii

Moduł artyleryjski realizuje walkę artylerii przeciwko wojskom zmechanizowanym i artylerii. Wyróżnia:

- bezpośrednie wsparcie ogniowe;
- wsparcie ogólne - zwalczanie artylerii przeciwnika i celów w głębi;
- uwzględnia się wyłącznie konwencjonalne środki rażenia;
- pododdziałem obliczeniowym w artylerii lufowej jest dywizjon lub bateria, a w artylerii rakietowej bateria („czerwoni") i pluton („niebiescy");
- walka ogniowa i przemieszczanie się jednostek artylerii przebiega automatycznie, lub na rozkaz;
- użycie artylerii ograniczają możliwości wsparcia logistycznego.

Model lotnictwa wojsk lądowych

Lotnictwo wojsk lądowych realizuje różnorodne zadania uwzględniając zagrożenia ze strony obrony przeciwlotniczej i śmigłowców przeciwnika oraz ustalenia dotyczące podziału przestrzeni powietrznej. Realizuje następujące zadania:

- obronę przeciwpancerną;
- wsparcie jednostek wojsk zmechanizowanych;
- działania w głębi (tylko śmigłowce szturmowe);
- osłona, rozpoznanie;
- transport powietrzny/desanty.

Model wsparcia powietrznego

Realizuje następujące zadania:

- **CAS** (*Close Air Support*) - Bezpośrednie Wsparcie Lotnicze
- **BAI** (*Battlefield Air Interdiction*) - Lotnicza Izolacja Pola Walki
- **TAR** (*Tactical Air Reconnaissance*) - Taktyczne Rozpoznanie Lotnicze
- **CAP** (*Combat Air Patrol*) -
- **SEAD** (*Suppression of Enemy Air Defense*) - Obezwładnianie Środków Przeciwlotniczych Przeciwnika

Ponadto uwzględnia elementy składowe zarządzania przestrzenią powietrzną **(LLTR, TMMR, ROZ, RFZ, SHORADEZ).** Samolotoloty przydzielane są kierownictwu w czterogodzinnych cyklach. Samolotoloty nie wykorzystane w przewidzianym czasie nie są możliwe do ponownego wykorzystania.

Model obrony przeciwlotniczej

Moduł OPL obejmuje obronę przeciwlotniczą wojsk lądowych i rakietową obronę powietrzną. Model pracuje jednocześnie dla strony „niebieskiej" i „czerwonej". Obrona przeciwlotnicza po stronie „niebieskiej" obejmuje pododdziały przeciwlotnicze jednostek bojowych oraz jednostki rakietowe (*Hawk* i *Patriot*). Po stronie „czerwonej" obejmuje jednostki opl, jakie przydzielane są związkom operacyjnym i taktycznym od grupy armii do pułku. Szczeblem obliczeniowym i szczeblem dla którego stawia się zadania jest bateria lub pluton (można to zdefiniować wcześniej).

Moduł OPL pozwala zwalczać samoloty przeciwnika znajdujące się w zasięgu oddziaływania środków przeciwlotniczych w osłanianym przez nie obszarze. Może to być realizowane automatycznie lub w trybie sterowania ręcznego.

Model rozpoznania

Umożliwia symulację użycia sił i środków rozpoznania batalionu, pułku/brygady, dywizji, korpusu/armii. Zbierane, oceniane i przesyłane są wszystkie informacje o przeciwniku w obszarze rozpoznania, a sytuacja rozpoznawcza przedstawiana jest na ekranie. Moduł rozpoznania obejmuje:

- rozpoznanie elektroniczne i radiotechniczne;
- rozpoznanie artyleryjskie:
  - dźwiękowe,
  - optoelektroniczne;
  - radiolokacyjne;
  - radary nadzorowania pola walki;
  - bezpilotowe środki rozpoznawcze.
- rozpoznanie przy pomocy patroli i grup:
  - rozpoznanie przez patrole;
  - techniczne rozpoznanie pola walki;
  - dalekie rozpoznanie.
- rozpoznanie bojowe (ogólnowojskowe);
- taktyczne rozpoznanie powietrzne.

Użytkownik wpływa na możliwości rozpoznania poprzez dyslokację poszczególnych systemów. Może ponadto żądać określonych rezultatów rozpoznania odpowiednio do planu rozpoznania lub też przez stawianie zadań dla poszczególnych środków. Należy przy tym mieć na uwadze, że im większy jest obszar, który ma „pokryć" odpowiedni system/środek rozpoznania, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo wykrycia bądź umiejscowienia celu.

Model wojsk inżynieryjnych

Moduł realizuje następujące zadania:

- ograniczenie swobody manewru przeciwnikowi:
  * szczegółowy model zapór, w którym obiektem symulacji są pojedyncze zapory;

* uproszczony model oddziaływania zapór, w którym uwzględniane są techniczne środki do stawiania min, a ich oddziaływanie przeliczane jest tylko ogólnie;
* ponadto mogą zostać przygotowane do wysadzenia i wysadzone na komendę drogi i mosty.

- zapewnienie swobody ruchu własnych wojsk:
  * uwzględnia działalność pododdziałów drogowo-mostowych (możliwości budowy przepraw itp.);
  * środki do wykonywania przejść w zaporach minowych (uwzględnia przy tym zapory własne ograniczające ruch wojsk).
- ochrona własnych wojsk:
  * możliwości wojsk inżynieryjnych w zakresie rozbudowy fortyfikacyjnej terenu.

Model logistyki

1. Zaopatrywanie

Model wspiera następujące funkcje kierowania logistyką:

- *ocena sytuacji logistycznej* - model stwarza graficzne zobrazowanie sytuacji z siecią zaopatrywania oraz zestawienie sił i środków (możliwości transportowe, przeładunkowe itp.);
- *analizę potrzeb w zależności od wymogów taktycznych* - model dostarcza informacje o zużyciu środków i stanie zapasów. Odpowiednio do ustaleń taktycznych określa potrzeby uzupełnienia środków;
- *przydział środków i planowanie kontyngentów* - model wspiera przydział środków przez odpowiedni system informacyjny (stan, możliwości transportu, zapowiedź dostaw). Kontyngenty ustalane są przez kierownictwo.
- *dyslokacja* - model dostarcza sytuację taktyczną i logistyczną oraz meldunki o ograniczeniach (braki, blokowanie samochodów podczas przeładunków, przekroczenie stanu krytycznego zapasów, braki środków transportu). Poprzez rozkazy do przemieszczenia model otrzymuje dane o nowym rozmieszczeniu obiektów logistycznych. Przemieszczanie obiektów zaopatrywania symulowane jest przez model. Rozmieszczenie sił następuje w trakcie wprowadzania sytuacji i może być zmieniane przez kierownictwo w trakcie ćwiczenia.

- *prowadzenie zaopatrywania* - transport środków masowego zużycia rozpoczyna się od złożenia zapotrzebowań transportowych. Sam transport symulowany jest przez model. Podczas planowania należy uwzględnić zakłócenia na drogach transportu i uderzenia na obiekty zaopatrywania.

2. Zabezpieczenie medyczne

Model sanitarny jest modelem wstępnym i będzie dalej rozwijany. W obecnym stanie symulacja następuje automatycznie bez możliwości ingerencji ze strony użytkownika. Oznacza to, że wstępna dyslokacja oraz przemieszczanie obiektów służb medycznych uzależniona jest od sposobu prowadzenia działań. Tak więc użytkownik może oddziaływać na model w zasadzie pośrednio poprzez działania taktyczne. Przydział rannych do obiektów służb medycznych następuje automatycznie zgodnie z ich kompetencjami i możliwościami przyjęcia rannych.

3. Zabezpieczenie techniczne

W modelu symulowane są zasadnicze procesy remontowe. Dostarcza odpowiedzi na pytania:

- jakie straty pojazdów kołowych i gąsienicowych poniosły walczące wojska?
- jakie jest obciążenie służb i jednostek remontowych?
- jakie są żądania ewakuacyjne wobec batalionu transportowego?
- jakie są potrzeby dodatkowych możliwości remontowych (wyższego szczebla)?
- jaka jest prognoza dostarczania sprzętu po remoncie?
- jaka jest gotowość pod względem technicznym wojsk zmechanizowanych i pancernych oraz jednostek wsparcia?

Model uzupełniania wojsk

Model uwzględnia normalne procedury uzupełniania stanów osobowych na bazie batalionów i kompanii zapasowych. Jednostki te mogą przemieszczać się za walczącymi wojskami. Uzupełnianie osobowe następuje w sposób manualny. Uzupełnienia z batalionów zapasowych pojawiają się w jednostce, która żądała uzupełnień, po trzydziestu godzinach niezależnie od odległości.

Straty osobowe są generowane przez model w zależności od skali strat ogólnych. Braki w stanach osobowych prowadzą automatycznie do redukcji zdolności bojowej.

Model przemieszczania (ruchu) wojsk

Model umożliwia symulowanie przemieszczeń ćwiczących wojsk. Możliwy jest przy tym:

- marsz po drogach;
- transport koleją.

Model nie uwzględnia możliwości wykorzystania dróg wodnych, a transport powietrzny zawarty jest w innym module.

Związki, które posiadają pojazdy kołowe i gąsienicowe, mogą wybrać następujące warianty przemieszczania:

- marsz po drogach dla kolumn kołowych i gąsienicowych;
- marsz po drogach dla kolumn kołowych, transport kolejowy dla pojazdów gąsienicowych;
- transport kolejowy dla pojazdów kołowych i gąsienicowych.

4.4.3.2. Matematyczne modele walki

Określenie strat następuje przy wykorzystaniu równań Lanchestera. Uwzględniono przy tym cały szereg czynników takich jak czas przygotowania, uderzenie w skrzydło, stan wojsk, pora dnia, rodzaj terenu i jego pokrycie. Obsługa modelu następuje z miejsca pracy (pulpitu) KORA/OA.

Reprezentacja terenu i otoczenia

Teren przedstawiony w postaci sieci kwadratów o bokach 125 lub 500 m. Każdy kwadrat opisuje cechy charakterystyczne terenu (ukształtowanie, pokrycie i wysokość) wytwarzane automatycznie przez programy pomocnicze ze standardowych baz danych o terenie. Mosty, drogi i dworce kolejowe są w oddzielnej bazie danych.

4.4.3. SimoF

SIMOF [16] jest symulacyjnym modelem wspomagania ćwiczeń na szczeblu operacyjnym do realizacji połączonych działań lądowo-powietrznych, który zawiera scenariusze działań korpusu na teatrze działań wojennych. Jest przeznaczony do

wspomagania ćwiczeń jedno lub dwustronnych w fazie ich przygotowania, prowadzenia i analizy podczas omówienia.

System składa się z kilku oddzielnych modułów przeznaczonych do realizacji różnych zadań. Zasadniczą rolę odgrywają bazy danych obejmujące między innymi dane geograficzne obszaru działań, dane wyjściowe struktur organizacyjnych wojsk własnych i przeciwnika, możliwości taktyczno-techniczne sprzętu bojowego i inne. Centralnym układem systemu jest moduł symulacyjny umożliwiający symulację działania walczących stron. SimoF wspiera ćwiczenia dowódczo-sztabowe i szkieletowe na szczeblu korpusu, dywizji i brygady oraz ćwiczenia seminaryjne. Charakteryzuje się komfortową i łatwą obsługą grafiki, krótkim czasem przygotowania ćwiczeń i minimalnymi potrzebami personalnymi (do obsługiwania).

Zastosowany do przygotowywania, przeprowadzania i analizy kolejnych faz ćwiczeń może realizować nastepujące zadania:

- Tworzenie i testowanie scenariuszy;
- Instalacja struktur organizacyjnych i zgrupowań oddziałów. Równocześnie dostępne są składy i struktury organizacyjne narodowych i wielonarodowych sił.
- Tworzenie raportów i map dla Kierownictwa ćwiczenia..

Faza prowadzania ćwiczeń jest wspomagana przez:

- Wykonanie symulacji w czasie rzeczywistym (może być przyspieszone lub zwolnione)
- Symulację trendów lub szybką symulację, która pozwala na „Przeskoki operacyjne", podczas której plany operacyjne ćwiczących sztabów zostają realizowane, a Kierownictwo może mieć przez cały czas wpływ na cała sytuację. Zazwyczaj symulacja jednego dnia konfliktu trwa jedną godzinę.
- Seminaryjny typ ćwiczeń z cyklami decyzyjnymi.

Faza po zakończeniu ćwiczenia wspomagana jest przez:

- Natychmiastowy dostęp do wszystkich stanów symulacji w ćwiczeniu, które były przechowywane we wcześniej ustalonych cyklach czasowych (np. co 15 lub 30 min) lub na żądanie Kierownictwa.
- Definiowanie sekwencji stanów symulacji dla potrzeb sesji animacyjnej w celu pokazania rozwoju sytuacji.

- Dostarczanie statystycznych zestawień (np. tablic wyników „Zabójca-Ofiara" i porównań sił).
- Szybka symulacja alternatywnych planów operacji, w celu uzyskania odpowiedzi na pytania „co by było gdyby..."

4.4.4.1. Koncepcja symulacji

Koncepcja symulacji podobnie jak w systemie Kora, oparta na realizacji modeli cząstkowych

W pełni odwzorowane i sterowalne są procesy „ognia" i ruchu. Jeśli konieczne i potrzebne jest użycie przez operatora manualnego sterowania, to bierze on odpowiedzialność w tym czasie za najważniejsze działania takie jak: zadania artylerii i rakiet lub przesunięcie systemów obrony przeciwpowietrznej.

Kolejność realizacji zadań takich jak marsz, atak, obrona, opóźnianie, rozpoznanie i wychodzenie z walki, zabezpieczenie walki, zabezpieczenie obsługi, zabezpieczenie zadań sił powietrznych jest możliwa odsługiwana przez model.

4.4.4.2. Matematyczny model walki

Straty są obliczane z użyciem modelu Lanchestera z wykorzystaniem współczynników i prawdopodobieństwa zniszczenia, wyliczanych dla zmieniających się warunków takich jak czas przygotowania, atak na skrzydło, pora doby i teren.

Reprezentacja terenu

Teren i sytuacja jest zobrazowana w dowolnej skali z wykorzystaniem wewnętrznego modelu reprezentacji terenu lub na zeskanowanych mapach w skali od 1: 100000 do 1 : 1 000 000 . Graficzny edytor terenu zapewnia dostęp do każdego pojedynczego kwadratu z digitalizowanego terenu. Sytuacja wojsk lądowych, sytuacja w powietrzu, struktury organizacyjne, różnorodne raporty i rozkazy mogą być wyświetlane na żądanie operatora.

Położenie i przesunięcia wojsk są podawane z użyciem map we współrzędnych UTM z dokładnością do 100m. Dane o terenie wpływają na efektywność działania wojsk i bazują na siatce kwadratów o boku 500 m. lub 2 km. Dla każdego kwadratu przypisana jest informacja o wysokości (topografii) i pokryciu. Dane te są automatycznie generowane przez system DLMS (Digital Land Mass System – system gromadzenia cyfrowych danych o terenie)

używany przez firmę IABG. Sieć drogowa i kolejowa jest reprezentowana w postaci sieci punktów i odcinków.

4.4.5. ABS2000

ABS 2000 [1] jest symulacyjnym modelem pola walki, który umożliwia szkolenie dowódców i sztabów od szczebla batalionu do szczebla korpusu. Wbudowane modele fizyczne pozwalają na w pełni realną symulację pola walki.

System oferuje symulację wielopoziomową, która umożliwia prowadzenia ćwiczeń wieloszczeblowych.

Ćwiczący (dowódcy oraz sztab) umiejscowieni są w punktach dowodzenia i HQ (naturalne środowisko) skąd wydają rozkazy i otrzymują raporty z poległych poziomów dowodzenia (POC ang. *Point Of Contact*) reprezentujących przeciwnika i sąsiadów.

Symulacja jest realizowana w sieci komputerowej. Poprzez realizację fizycznych modeli stwarza się pełną realizacją pola walki. Modele te wzajemnie uzupełniają się. Na przykład podczas symulacji każde użycie środków ogniowych powoduje redukcje stanu amunicji, każdy ruch pojazdu, powoduje zużycie zapasu paliwa i zwiększa prawdopodobieństwo mechanicznego zatrzymania, każda wymiana ognia wpływa na ubytek wyposażenia. Ubytek te wyliczany jest na podstawie terenu, operacji taktycznej i użytej broni.

POC na poziomie batalionu lub kompanii prowadzi walkę na ekranie komputera, na którym obraz walki jest przedstawiony na tle mapy topograficznej.

Na ekranie widoczna jest współpraca z Modelem Cyfrowym Terenu (DTM), Systemem Informacji Geograficznej (GIS), pełną reprezentacją obiektów, taktycznych znaków reprezentujących jednostki, rozmiary jednostek w przestrzeni oraz działań, jakie wykonują.

5. 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[60] 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[61] rozumiane jako stan systemu obronnego państwa[62]. Pojęcie bezpieczeństwa narodowego dotyczy wielu dziedzin życia państwa. Mówimy o bezpieczeństwie gospodarczym, ekonomicznym,

---

[60] *„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*

[61] *„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*

ekologicznym, 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 chybionym 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;

---

[62] *„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 wchodzą 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.

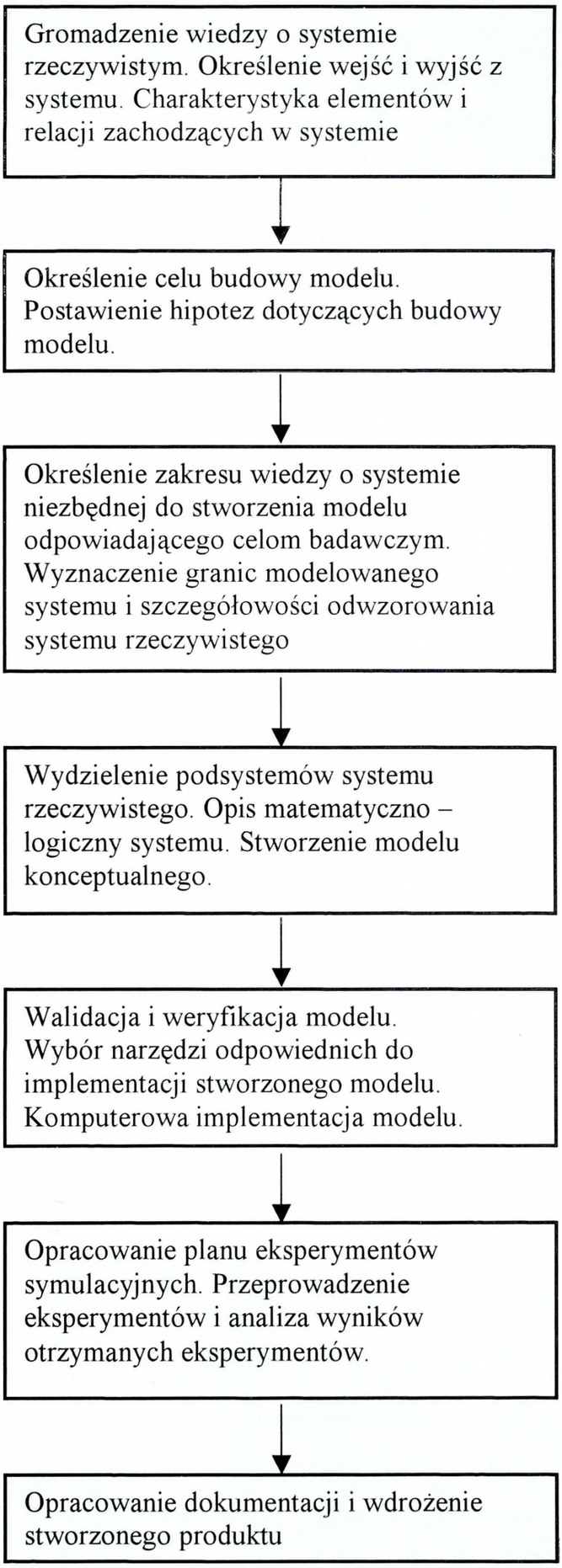
Aby dokonać **implementacji modelu** należy dokonać wyboru odpowiednich narzędzi software'owych i hardware'owych. Istnieje wiele języków programowania, które mogą zostać zastosowane do napisania oprogramowania np. takie języki specjalizowane jak SIMULA czy GPSS lub też inne języki programowania takie 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 11 przedstawia przebieg procesu modelowania i symulacji.



Rys. 11. Przebieg procesu modelowania i symulacji

6. 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 oddziaływania. 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.

6.1. 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 „Metoda, czyli system postępowania jest to sposób wykonywania czynu złożonego, polegającego na określonym doborze i układzie jego działań składowych, a przy tym uplanowionych i nadający się do wielokrotnego stosowania". Przy analizie metody systemowej szczególnie istotne są takie elementy jak

- 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 oceanowych, 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. 12) nazywa się pewną strukturę rzeczywistą określoną następująco:

$$\mathbf{MS} = < \mathbf{SSP, RMS, SPR, KWW} >$$

gdzie:

SSP – systemowa sytuacja problemowa;

RMS - system - realizator metody:

$$RMS = < \mathbf{R}, \xi_R >$$

gdzie: **R** – zbiór realizatorów metody,

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

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

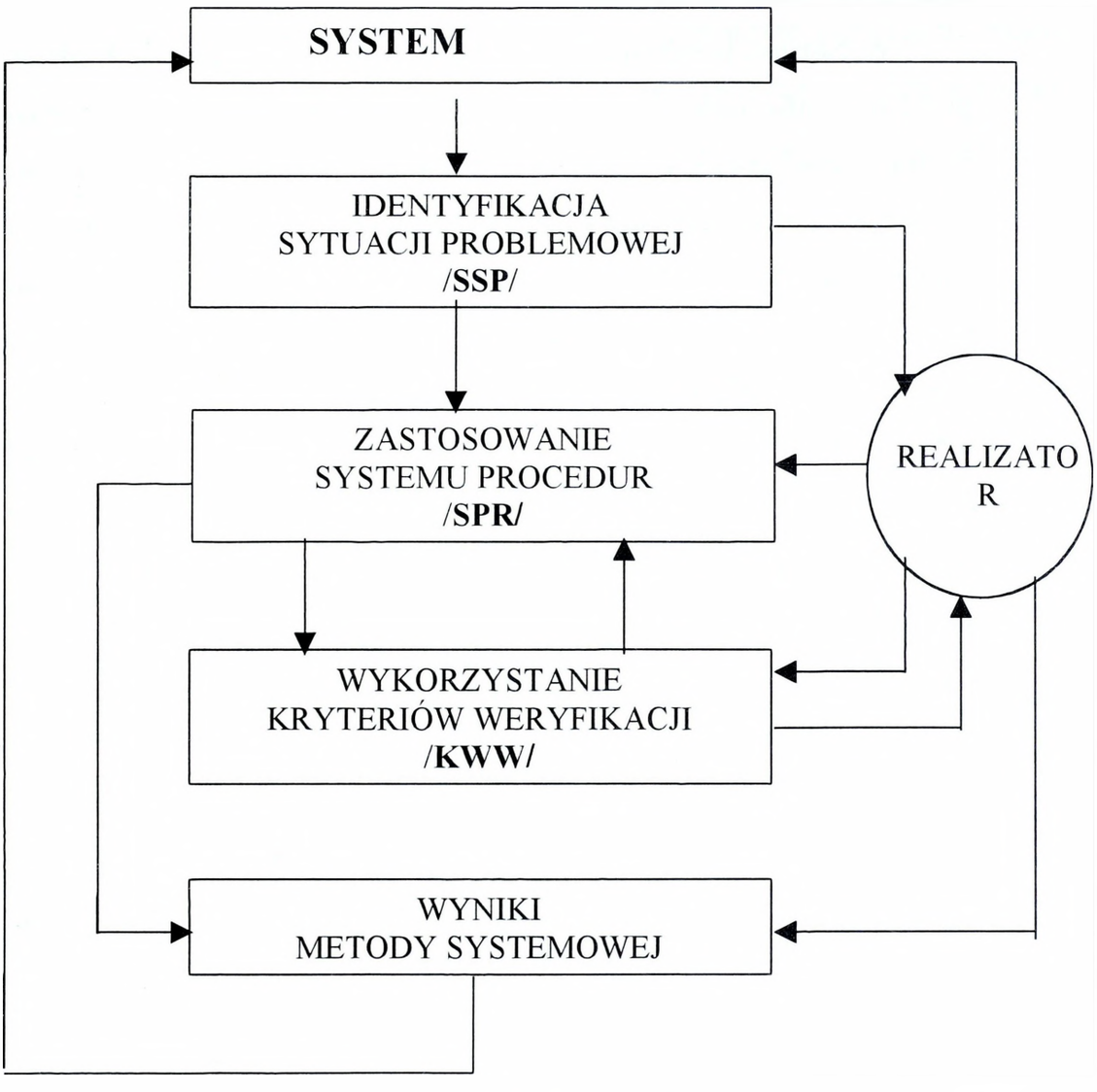
$$SPR = <\mathbf{P}, \xi_P >$$

gdzie: **P** - zbiór procedur,

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

KWW - zbiór kryteriów weryfikacji wyników realizacji metody.

Metoda systemowa[63] obejmuje wyrażanie explicite procedur przedstawiania przedmiotów metody jako systemów i sposobów ich systemowego badania (opis, objaśnianie, przewidywanie, decydowanie, konstruowanie itp.).



Rys. 12. Ogólny schemat metody systemowej

---

[63] *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:

- 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.

6.2. Definicja systemu

Termin system jest zazwyczaj związany z następującymi podstawowymi ideami :

- 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

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

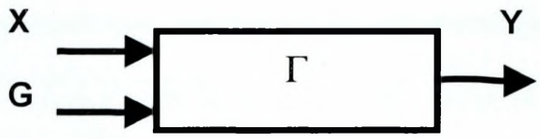
gdzie V_j jest j-tym zbiorem własności systemu.

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, czyli sytuacji, w której występują (rys. 13):

- dane początkowe **X** – wiedza o obiekcie, którego dotyczą określone cele poznawcze lub praktyczne,
- zbiór operatorów Γ przekształcających dane początkowe w dane końcowe,
- warunki ograniczające proces poszukiwania rozwiązań **G**,
- cechy celu problemu **Y**, czyli wymagania stawiane rozwiązaniu.



Rys. 13. Ogólny schemat sytuacji problemowej.

Ze względu na stopień określenia można wyróżnić następujące typy problemów:

- problemy „dobrze" określone, gdy poszukuje się pewnego $\mathbf{Y}^* \in \mathbf{Y}$ zaś dane są: **X, G,** Γ,
- problemy „źle" określone, gdy poszukuje się **X** oraz **G** zaś dane są: **Y,** Γ, lub poszukuje się Γ, 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 .

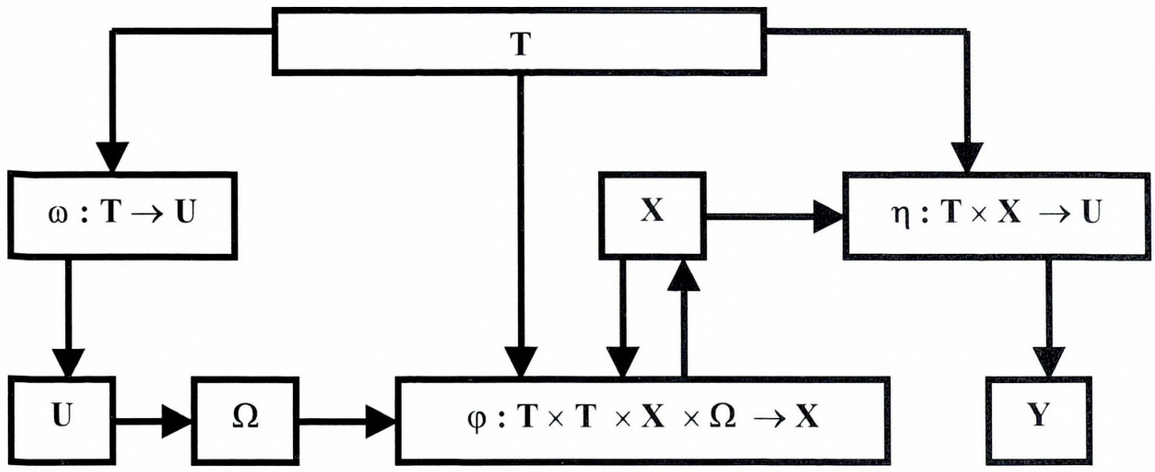
$$\mathbf{S = < M, R >}$$

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 **T** chwil t ($t \in \mathbf{T}$);

- zbiór **X** dopuszczalnych wartości wejść[64] $x(t)$ czyli dla dowolnej chwili $t \in \mathbf{T}$ $x(t) \in \mathbf{X}$;
- zbiór **Y** dopuszczalnych wartości wyjść $y(t)$ czyli dla dowolnej chwili $t \in \mathbf{T}$ $y(t) \in \mathbf{Y}$;
- operator[65] Γ przekształcający zbiór **X** wartości wejść w zbiór **Y** wartości wyjść.

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



Rys. 14. Ogólny schemat systemu dynamicznego.

- dane są: zbiór chwil czasu **T**; zbiór stanów systemu **X**; zbiór chwilowych wartości sygnałów wejściowych **U**; zbiór ich dopuszczalnych wartości: $\Omega = \{\omega : \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{U}\}$; zbiór chwilowych wartości wielkości wyjściowych **Y** i zbiór ich dopuszczalnych wartości $\Theta = \{\eta : \mathbf{T} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}\}$;
- zbiór **T** jest pewnym uporządkowanym podzbiorem zbioru liczb rzeczywistych $\mathbf{T} \subset \boldsymbol{R}$;

---

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

[65] *Wejścia i wyjścia mogą być opisane zależnościami funkcyjnymi – zbiorem funkcji wejścia* $\boldsymbol{F}_x$ *oraz zbiorem funkcji wyjścia* $\boldsymbol{F}_y$ *zaś* Γ *jako relacja wejściowo-wyjściowa przyporządkowuje każdej funkcji wejścia funkcje wyjścia. W przypadku równości stanów początkowych* Γ *jest funkcją przyporządkowującą każdej dopuszczalnej funkcji wejścia jedną i tylko jedną funkcję wyjścia.*

- zbiór sygnałów wejściowych spełnia warunki:
  - zbiór $\Omega \neq \varnothing$,
  - sygnały wejściowe w przedziale czasu (t_1, t_3) mają własność:

  jeśli $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \in \mathbf{\Omega}$ 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: $\mathbf{\Phi} = \{\varphi : \mathbf{T} \times \mathbf{T} \times \mathbf{X} \times \mathbf{\Omega} \rightarrow \mathbf{X}\}$, której wartościami są stany sytemu: $x(t) = \varphi[t; t_0, x(t_0), \omega] \in \mathbf{X}$;
- dane jest przekształcenie wyjściowe: $\mathbf{\Theta} = \{\eta : \mathbf{T} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}\}$ określające wartości wielkości wyjściowych systemu $y(t) = \eta[t; x(t)] \in \mathbf{Y}$.

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

6.3. 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 uwzględniania 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.

6.3.1. 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.

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 . 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 :

- *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" .
- „Model oznacza uproszczone odwzorowanie, często połączone z pewną schematyzacją lub stylizacją"
- „Model jest rezultatem modelowania, tzn. obrazem danego przedmiotu badań, wyrażającym cel badań i wiedzę przedmiotu, przedstawionym w przyjętym języku (kodzie)" .

W analizie systemowej modelowanie jako narzędzie badawcze definiowane jest następująco :

- „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 :

- 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[66] ograniczona do czynności wyodrębnienia systemu z otoczenia i specyfikacji cech systemowych, lub pełna, poszerzona o opisy: struktury, funkcji i rozwoju systemu.

6.3.2. 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

---

[66] *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[67] 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 :

$$\mathbf{S} = < \mathbf{M}, \mathbf{R} >$$

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

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

Dla każdego systemu określone jest jego otoczenie systemowe

$$\underline{\mathbf{S}} = < \underline{\mathbf{M}}, \underline{\mathbf{R}} >$$

takie że: $\mathbf{M} \cap \underline{\mathbf{M}} = \varnothing$, 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 $\mathbf{C}_i$ cech[68]:

$$\mathbf{C}_i = \{c_k : k \in N_i; c_k \in R\}$$

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[69].

Graf **G** = <**W**, **U**> definiowany jako para: wierzchołków **W** oraz gałęzi **U** jest modelem struktury, gdy istnieje odwzorowanie wzajemnie jednoznaczne zbioru

---

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

[67] *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.*

[68] *Cechę można opisać zależnością funkcyjną $f_i : m_i \rightarrow R$.*

[69] *Grafem [10] nazywamy trójkę uporządkowaną $G = <W, U, P>$ przy czym: W – zbiór wierzchołków; U – zbiór gałęzi ; $P \subset W \times U \times W$ – relacja trójczłonowa spełniająca warunki:*

a) dla każdej gałęzi u istnieje taka para wierzchołków $x, y \in W$, że $<x, u, y> \in P$,

b) jeżeli dla gałęzi u istnieją $<x, u, y> \in P$ i $<v, u, z> \in P$, to albo $x = v$ i $y = z$ lub $x = z$ i $y = v$.

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

elementów w zbiór wierzchołków. Taki model przedstawia „jakościowe własności" struktury systemu. Model struktury ujmujący własności ilościowe opisuje sieć definiowana jako trójka uporządkowana:

$$\mathbf{S} = <\mathbf{G}, \{\xi_i\}, \{\psi_j\}>$$

gdzie: **G** oznacza dowolny graf,

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

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

Specjalny typ sieci stanowią sieci parametryczne, w których funkcje ξ_i, ψ_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 ξ_i lub ψ_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.

6.3.3. 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 niezbędnymi przy opisie (matematycznym) są zdarzenia, procesy, związki przyczynowo-skutkowe i porządkujący te elementy czas.[70] Czas (istnienia systemu) rozpatruje się jako zbiór momentów (chwil) **T**, w których

---

[70] *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,[71] który daje się reprezentować za pomocą liczb rzeczywistych nazywa się ciągłym $\mathbf{T} \in R$. Czas przedstawiany za pomocą liczb naturalnych nazywa sie dyskretnym $\mathbf{T} = \{t_n : n \in N\}$.

W każdej chwili system znajduje się w konkretnym stanie. Niech dowolny element m_i systemu opisuje N_i – elementowy wektor $\mathbf{C}_i$ cech:

$$\mathbf{C}_i = < c_1, ..., c_k, ..., c_N >$$

będących wielkościami, czyli cechami mierzalnymi. Dla każdej cechy okreslony jest zbiór jej wartości $\mathbf{Z}_i \subset R$. 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:

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

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

$$\omega(t) = < z_1, ..., z_k, ..., z_N >$$

Stanem wewnętrznym elementu[72] systemu nazywa się wektor wartości poszczególnych cech elementu w danej chwili[73], któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu:

$$\eta_i : \omega_i(t) \rightarrow \boldsymbol{S}_i = \{ s_1, s_2, ..., s_K \}$$

gdzie K jest liczbą wyróżnionych stanów elementu m_i.

Stany są numerowane kolejnymi liczbami naturalnymi. Uwzględniając zbiór wejść $\mathbf{X}_i$ elementu m_i jako „drogi" oddziaływania otoczenia (innego elementu) na i-ty element oraz zbiór wyjść $\mathbf{Y}_i$ elementu m_i jako „drogi" oddziaływania i-tego elementu na otoczenie (inny element) stanem elementu nazywa się wektor określający stan wewnętrzny elementu $\mathbf{Z}_i$, stan wejść $\mathbf{X}_i$ i wyjść $\mathbf{Y}_i$ w danej chwili, któremu przyporządkowany jest numer stanu:

---

[71] *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:*

$$1^\circ\ d_t(t_i, t_j) = 0 \Leftrightarrow |, t_i = , t_j,$$

$$2^\circ\ d_t(t_i, t_j) = d_t(t_j, t_i),$$

$$3^\circ\ d_t(t_i, t_j) + d_t(t_j, t_k) \geq d_t(t_i, t_k).$$

[72] *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.*

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

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:

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

dla każdej wyróżnionej chwili przypisuje numer stanu systemu.

Funkcja zmiany stanów:

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

określa ile czasu system pozostanie w wyróżnionym stanie. Jeżeli system w chwili $t' \in \mathbf{T}$ znajdował się w stanie $s(t') \in \boldsymbol{S}$, 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:

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

zdarzeniem elementarnym nazywa się każdy element zbioru **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:

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

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

---

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

Funkcjonowanie dowolnego elementu systemu określa zbiór realizowanych w nim procesów. Proces[74] $\underline{P}_h$ o numerze h realizowany w i-tym elemencie m_i systemu składa się z K_h procesów elementarnych:

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

Przyjmując, że „czasem własnym" każdego elementu jest **T**, opis procesu elementarnego $\mathbf{P}_{i,k}$ stanowi zbiór:

$$\mathbf{P}_{i,k} = \{ \mathbf{X}_{i,k}, \mathbf{Y}_{i,k}, \mathbf{Z}_{i,k}, \mathbf{T}, \varphi_{i,k}, \psi_{i,k}, \tau_{i,k} \},$$

gdzie (pomijając indeksy):

X – zbiór wejść,

Y – zbiór wyjść,

Z – zbiór wartości cech elementu,

T - zbiór chwil,

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

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

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

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

$\tau : \mathbf{X} \times \mathbf{Y} \times \mathbf{Z} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{T}$ – 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 **T**. Prowadzi to do utworzenia historii stanów. Historia stanów składa się z szeregu

chronologicznie 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 :

- 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.

6.4. 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

---

[74] *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-skutkowym.*

rzeczywistych . System hipotetyczny może być nawet lepiej określony właśnie dlatego, 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, (chociaż podobnych) przypadków symulacji dla kilku różnych, (chociaż 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 ogniowo miedzy 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 **X** – takich, których wartości są ustalone niezależnie od zachowania się obiektu rzeczywistego;
- zmiennych stanu **Z** – takich, których wartości opisują zmieniające się w czasie wybrane cechy obiektu ($\mathbf{X} \cap \mathbf{Z} = \varnothing$);

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

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

- funkcja stanów - φ;
- funkcja zmiany stanów - τ;
- funkcji wyjściowej - ψ.

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[75], 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:

---

[75] *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*

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

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[76], 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 $F(...)$ 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[77] 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

---

statyczne nawet do opisu związku między wartościami chwilowymi wielkości wejściowych i wyjściowych wyrażając je równaniem wektorowym.

[76] *Na przykład model koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze nad regionem przemysłowym.*

[77] *Zmienna niezależna l może być skalarem. Tak się dzieje, gdy modeluje się systemy jednorodne w przekroju, a zmienne wzdłuż tylko jednej osi przestrzennej.*

rozwiązań analitycznych, a kiedy stosować symulację? – pozostaje nadal zagadnieniem 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).

7. METODA ANALITYCZNA OCENY PRZEDMIOTU

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

- **określenie wymiarów /cech/ i ich znaczenia /wag, hierarchii/;**
- **określenie wartości wymiarów /cech/;**
- **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 "określania miary względnej" jest ideowo i praktycznie uciążliwa dla eksperta oceniającego.

7.1. 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*[78]. Wtedy badany przedmiot ***x*** opisujemy:

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

w którym x_n to kolejne wymiary predyktywne.

---

[78] *J. Kozielecki – 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[79].

7.1.1. 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 przyjmiemy 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 przyjmiemy 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.

---

[79] K. Cholewicka – Goździk – *Kompleksowa ocena jakości. Metoda, przykłady,* PWE, 1984r, s. 116

II. Należy sporządzić tabelę zróżnicowania cech według schematu pokazanego w tablicy 4 /przykład dla skalowania pięciowartościowego i siedmiu cech predyktywnych/.

Tabela 4.

Ustalanie hierarchii cech.

NUMER CECHY	1	2	3	4	5	6	7	Σ	%
1		1 / 5	1 / 5	1 / 4	5 / 2	1 / 4	7 / 2	1 / 18	**26,4**
2	1 / 5		2 / 3	2 / 2	5 / 4	6 / 2	7 / 4	2 / 5	**7,3**
3	1 / 5	2 / 3		4 / 2	5 / 5	6 / 3	7 / 4	3 / 0	**0,3**
4	1 / 4	2 / 2	4 / 2		5 / 4	6 / 1	7 / 4	4 / 2	**2,9**
5	5 / 2	5 / 4	5 / 5	5 / 4		5 / 4	5 / 2	5 / 21	**30,8**
6	1 / 4	6 / 2	6 / 3	6 / 1	5 / 4		7 / 2	6 / 6	**8,8**
7	7 / 2	7 / 4	7 / 4	7 / 4	5 / 2	7 / 2		7 / 16	**23,5**
Σ	-	-	-	-	-	-	-	- / 68	**100,0**

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 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.

7.1.2. Metoda Churchmana - Ackoffa

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

Założenia metody:

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

1. Każdemu obiektowi /O_n/ w pewnym zbiorze obiektów Ω 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 Ω 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 $\Omega = (O_1, ..., O_n, ..., O_N)$ będzie zbiorem obiektów do zwartościowania, wówczas:

P.1. Uporządkować obiekty O_n (n = 1,...,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: $O_2, ..., O_n, ..., O_N$.

P.1. Jeśli ekspert preferuje O_1, to należy badać dalej, co jest ważniejsze: O_2 czy zespół pozostałych obiektów $O_3, ..., O_n, ..., O_N$., itd.

P.2. Jeśli ekspert preferuje zespół $O_2, ..., O_n, ..., O_N$ pozostałych elementów, to należy badać dalej, co jest ważniejsze: O_1 czy zespół obiektów $O_2, ..., O_n, ..., O_{N-1}$, 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.

7.1.3. Metoda określania miary względnej

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

Niech $\Omega = (O_1, ..., O_n, ..., O_N)$ będzie zbiorem wyłączających się i dopełniających obiektów. Zakładamy, że ekspert potrafi dokonać takiego oszacowania, które prowadzi do uzyskania zbioru takich prawdopodobieństw $(p_1, ..., p_n, ..., p_N)$, że alternatywy $p_1O_1, ..., p_nO_n, ..., p_NO_N$ są pod względem preferencji jednakowe. Wtedy

przy założeniu, że ekspert próbuje zmaksymalizować wartość oczekiwaną, należy wnioskować, że

$$p_1O_1 = \ldots = p_nO_n = \ldots = p_NO_N$$

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

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

Z tego, że $p_1O_1 = p_2O_2$ wynika, że $W_2 = (p_1 / p_2)*W_1$

podobnie z tego, że $p_1O_1 = p_3O_3$ wynika, że $W_3 = (p_1 / p_3)*W_1$,

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

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

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

Tak więc ustalona została wartość W_1 obiektu O_1, a stąd łatwo otrzymać pozostałe wartości względne W_2, ..., W_n, ..., 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[80] dla kreacji preferencji grupowej /zintegrowanej/ wyróżnia się kilka reguł. Najważniejsze to:

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

7.2. Określanie wartości wymiarów

Zależne 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.

7.3. Agregacja /integracja/ wymiarów

Dokonując integracji wartości wymiarów i ich wag[81], ekspert określa globalną użyteczność obiektu /procesu/ x. W fazie tej stosuje się różnorodne reguły[82]. Najczęściej stosowane to [83]:

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

7.3.1. 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"/.

---

[80] *M. Misztal – Elementy systemu wartości współczesnego społeczeństwa polskiego, PWN, 1990, s. 38 i 247.*

[81] M. Łukasik – Goszczyńska – *Decyzje wielowymiarowe i strategie ich podejmowania,* PAN, 1977.

[82] 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).

[83] B. Roy – *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, WNT, 1990, s. 246 i dalsze.

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

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

gdzie: x_i - oznacza wartość i-tego wymiaru

ω_i- oznacza wagę i-tego wymiaru

7.3.2. 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/.

7.3.3.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:

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

gdzie $\overline{a}_i$ - 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.

7.3.3. 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:

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

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

7.4. 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).

8. 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-szybkozmienne; 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 technolologicznego 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.15. Każdy z etapów pozwoli zrealizować określony cel:

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

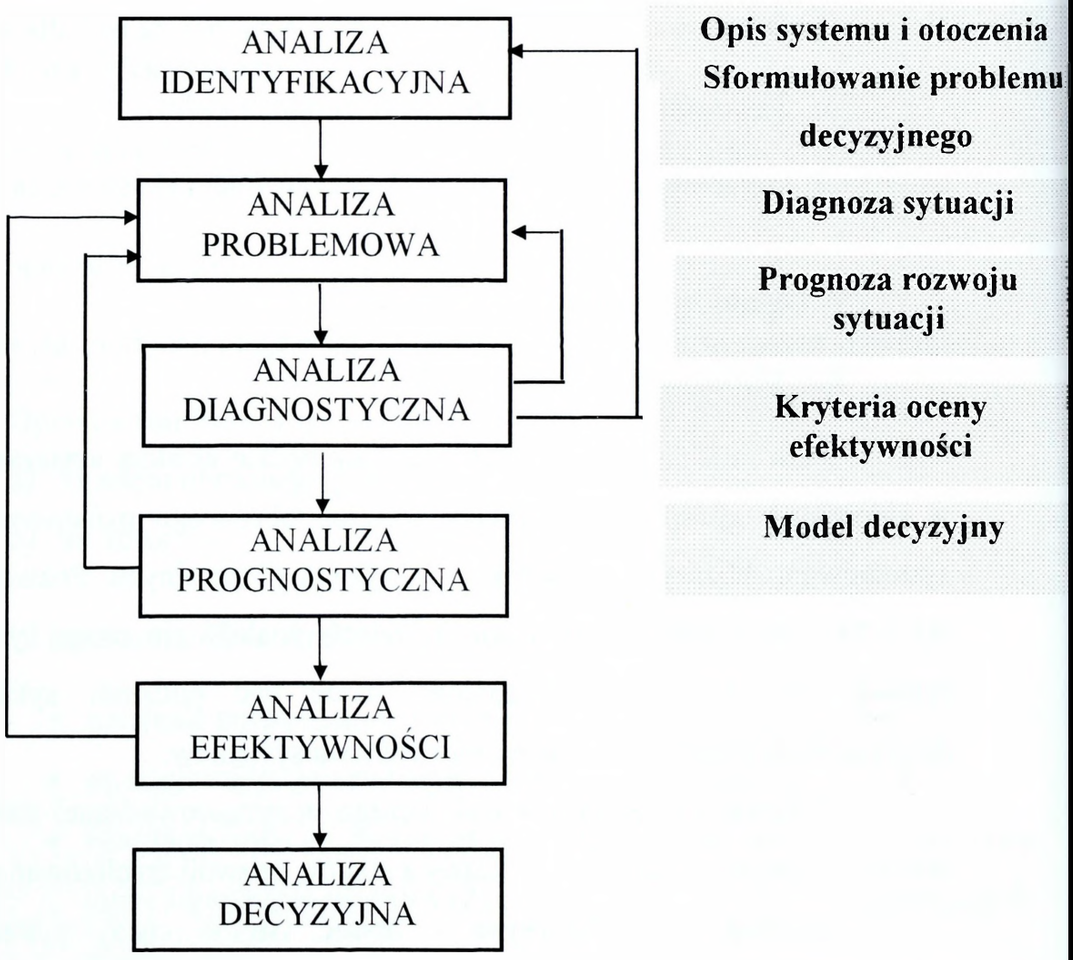
Analiza problemowa - sformułować problem decyzyjny /rozwojowy, korekcyjny/ i/lub poznawczy /identyfikacyjny, ocenowy/;

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. 15. 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** /koncepcje 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**.

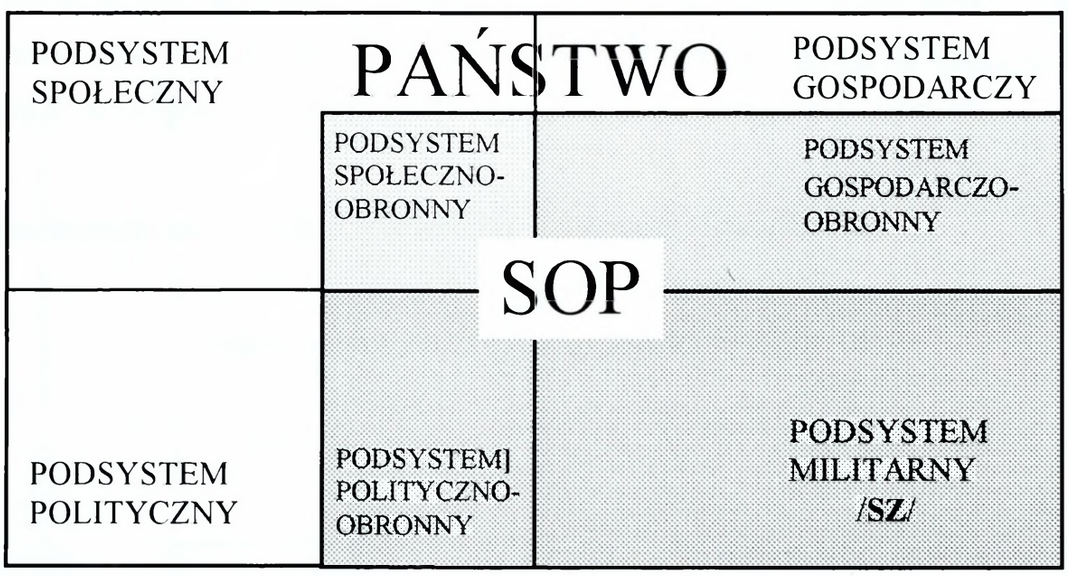
Analiza obecnego /diagnoza/ i przewidywanego /prognoza/ stanu państwa, systemu obronnego i systemu sił zbrojnych w aspekcie bezpieczeństwa polityczno - militarnego tego państwa[84] i jego obronności, powinna stać się przedmiotem studiów, ćwiczeń, treningów i szkoleń w różnych środowiskach. Przesłanki takiego stanowiska są dwojakie:

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

---

[84] */Choć obecnie postrzega się raczej bezpieczeństwo zbiorowe /regionalne, globalne/, a nie indywidualnego państwa.*

Pojęcie bezpieczeństwa systemu wiąże się z relacjami[85] /przewaga, równowaga/ w których pozostają względem siebie **potencjały**[86] 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/**. Umiejscowienie SOP w systemie państwowym przedstawia rys.16. (Problem dokładnie zostanie omówiony w rozdziale10 opracowania.) Podobnie przyjęta zostanie dekompozycja systemu sił zbrojnych.



Rys.16. Umiejscowienie systemu obronnego państwa w systemie państwowym

---

[85] *Relacje te oceniane są zarówno **statycznie** /ujecie porównawcze/ jak i **dynamicznie** /ujęcie w zmiennej czasowej/.*

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

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/. Pomiędzy 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 agregacji/[87]. 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 świadomegoo 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/ miernika1);
5) wskaźnik określający **wrażliwość** /odporność/ miernika 1) na oddziaływanie zewnętrzne.

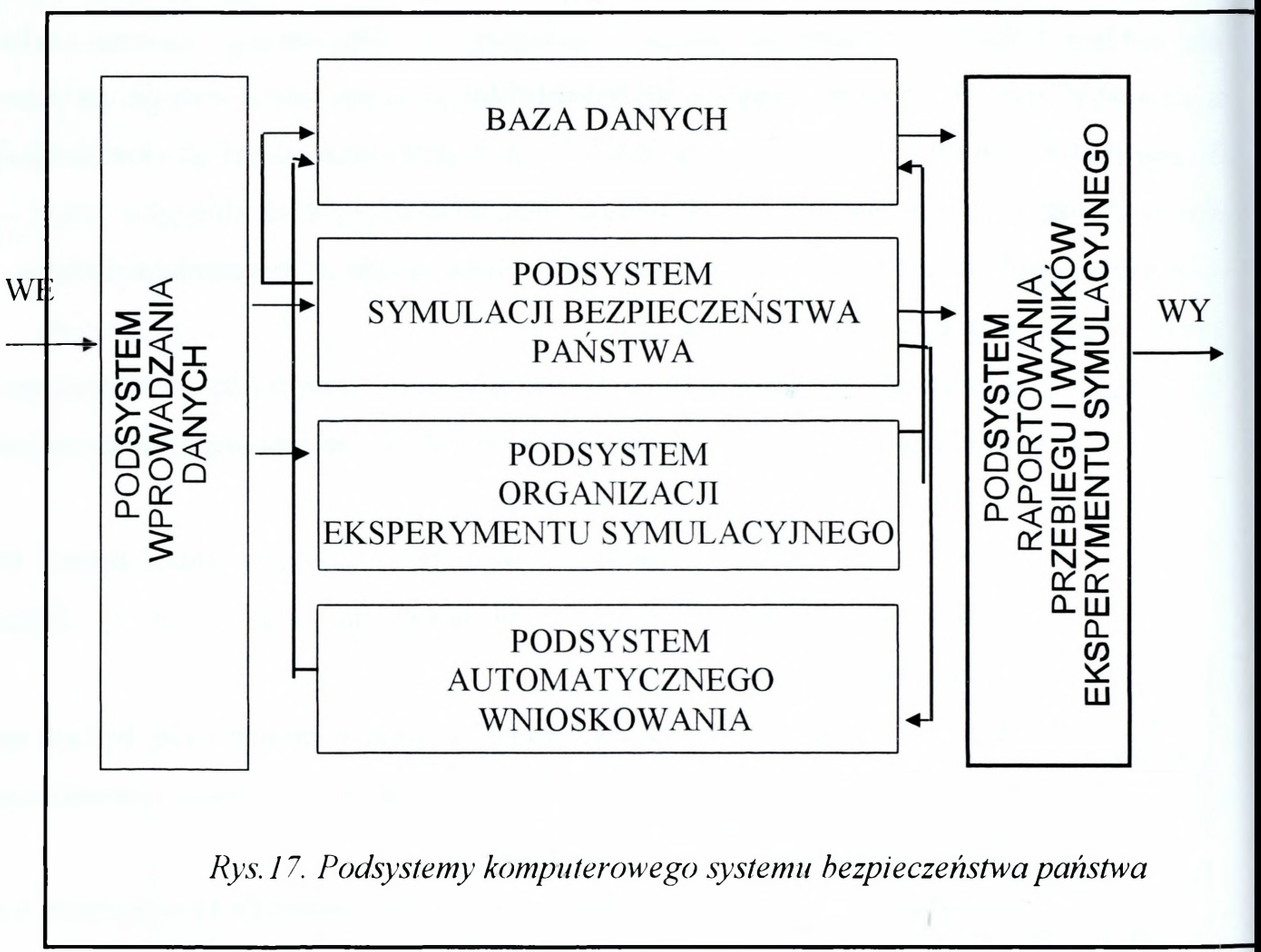
Powyższe klasy mierników i wskaźników - po ich konkretyzacji stanowić będą **zmienne modelu** symulacyjnego /szczególnie 1) i 3)/ oraz **zmienne zmian modelu** /szczególnie 2) i 4)/. Ze zbioru tak określonych zmiennych ustalony zostanie pewien podzbiór - **zmienne decyzyjne**. W ten sposób umożliwienie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

---

[87] *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.*

VI. OPRACOWANIE SYSTEMU KOMPUTEROWEGO

W projektowanym systemie komputerowym wyróżnia się następujące główne podsystemy /rys.17/:



Rys.17. 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 zmiany[88] 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 ystemowych.

- 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**:

---

[88] *Realizacja zmian zależna jest od **formy** systemu komputerowego: w system 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.*

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:

- **Automatyzacją opracowywania scenariusza** /optymistycznego i pesymistycznego/ rozwoju stanów systemów i sytuacji systemowej dla obu stron;
- **Przyjaznym** /ze wspomaganiem/ sposobem **określania** 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 **określaniem związków** dla serii eksperymentów;

9. SYSTEMOWE UJĘCIE BADANYCH PRZEDMIOTÓW

System organizacyjny państwa rozpatrujemy w czterech głównych dziedzinach (podsystemach): politycznej, społecznej, gospodarczej i militarnej (rys.18).

S	**G**
P	**M**

Rys. 18. Elementarna dekompozycja systemu państwowego

Możemy więc zapisać:

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

Gdzie: $\boldsymbol{P}$ - 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

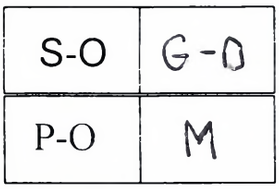
Siła (potęga) $\mathbf{S_P}$ państwa jest zatem funkcją sił $\boldsymbol{S_d}$ dziedzinowych państwa, tj.:

$$\mathbf{S_P = f_P\ (}\boldsymbol{S_p}\mathbf{(P),}\ \boldsymbol{S_s}\mathbf{(S),}\ \boldsymbol{S_g}\mathbf{(G),}\ \boldsymbol{S_m}\mathbf{(M))}$$

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.19).



Rys. 19. 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

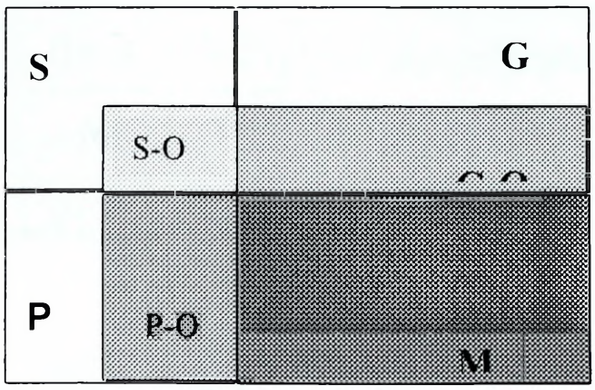
Siła (potęga) $\mathbf{S_{SOP}}$ systemu obronnego państwa jest zatem funkcją sił S_{d-o} dziedzinowych podsystemów obronnych, tj.:

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

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.20.



Rys. 20. 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 $\mathbf{Z_d}$. (nie wnikając czy pozytywnie czy negatywnie oceniany) Wówczas globalny strumień $\mathbf{Z}$ będzie następujący:

$$\mathbf{Z = f^{\alpha}\ (Z_p, Z_s, Z_g, Z_m)}$$

Każdą $\mathbf{Z_d}$ rozpatrywać należy jako

$$\mathbf{Z_{d.}} = \zeta^{z}_{d}\ (\beta, \beta^{o})$$

tzn. oddziaływanie zewnętrzne przenoszone jest na podsystem dziedzinowy, a skutek zależy od odporności β podsystemu i β^{o} podsystemu – obronnego w funkcji $\zeta^{z}_{d.}$ Wobec tego zapisać można:

$$\mathbf{Z = f^{\alpha}\ (}\zeta^{z}_{p}\ (\beta, \beta^{o}), \zeta^{z}_{s}\ (\beta, \beta^{o}), \zeta^{z}_{g}\ (\beta, \beta^{o}), \zeta^{z}_{m}\ (\beta, \beta^{o})\mathbf{)}$$

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:

$$\mathbf{S} = \mathbf{f}^{s} (\mathbf{S_p}, \mathbf{S_s}, \mathbf{S_g}, \mathbf{S_m})$$

I definiuje siłę państwa, jego oddziaływanie na otoczenie zewnętrzne.

$$\mathbf{S_d}. = \zeta^{s}_{d} (\beta, \beta^{o})$$

Tzn. siła dziedzinowa jest funkcją ζ^{s}_{d} siły podsystemu obronnego tej dziedziny - β^{o} i podsystemu pozaobronnego - β. W związku z powyższym, mamy:

$$\mathbf{S} = \mathbf{f}^{s} (\zeta^{s}_{p} (\beta, \beta^{o}), \zeta^{s}_{s} (\beta, \beta^{o}), \zeta^{s}_{g} (\beta, \beta^{o}), \zeta^{s}_{m} (\beta, \beta^{o}))$$

Przyjęliśmy, 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 S_d d-tego podsystemu dziedzinowego jest funkcją potencjału $\mathbf{P_d}$ podsystemu i strategii $\mathbf{S_d}$ jego użycia. Tak więc siłę oddziaływania S_d d-tego podsystemu dziedzinowego można zapisać następująco:

$$S_d = \$_d (\mathbf{P_d}, \mathbf{S_d}, \mathbf{Z_d})$$

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:

$$S_d = \$_d (\mathbf{P}(\mathbf{P_d}, \mathbf{Z_d}), \mathbf{S}(\mathbf{S_d}, \mathbf{Z_d}))$$

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:

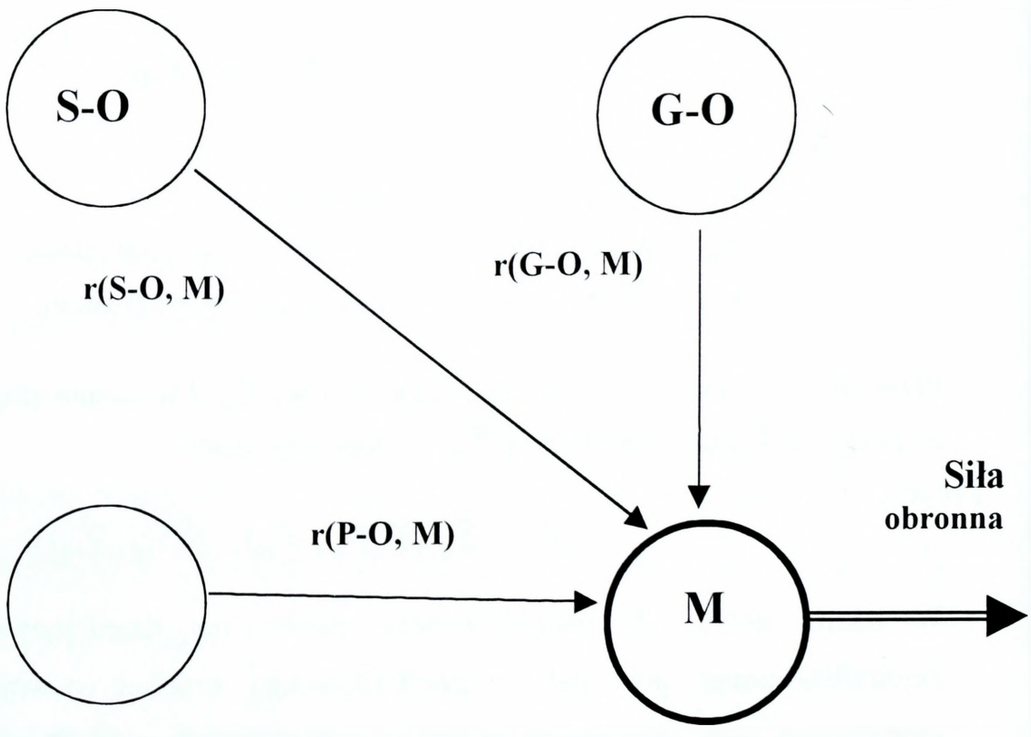
$$\mathbf{S_{d\cdot}} = \zeta^{s}_{d}\,(\beta, \beta^{o})$$

Wobec tego mamy:

$$\boldsymbol{S_d} = \boldsymbol{\$_d}\,\{[\zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{P}(\mathbf{P_d}, {}^{p}\mathbf{Z_d})), \zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{S}(\mathbf{S_d}, {}^{p}\mathbf{Z_d}))], [\zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{P}(\mathbf{P_d}, {}^{o}\mathbf{Z_d})), \zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{S}(\mathbf{S_d}, {}^{o}\mathbf{Z_d}))]\}$$

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

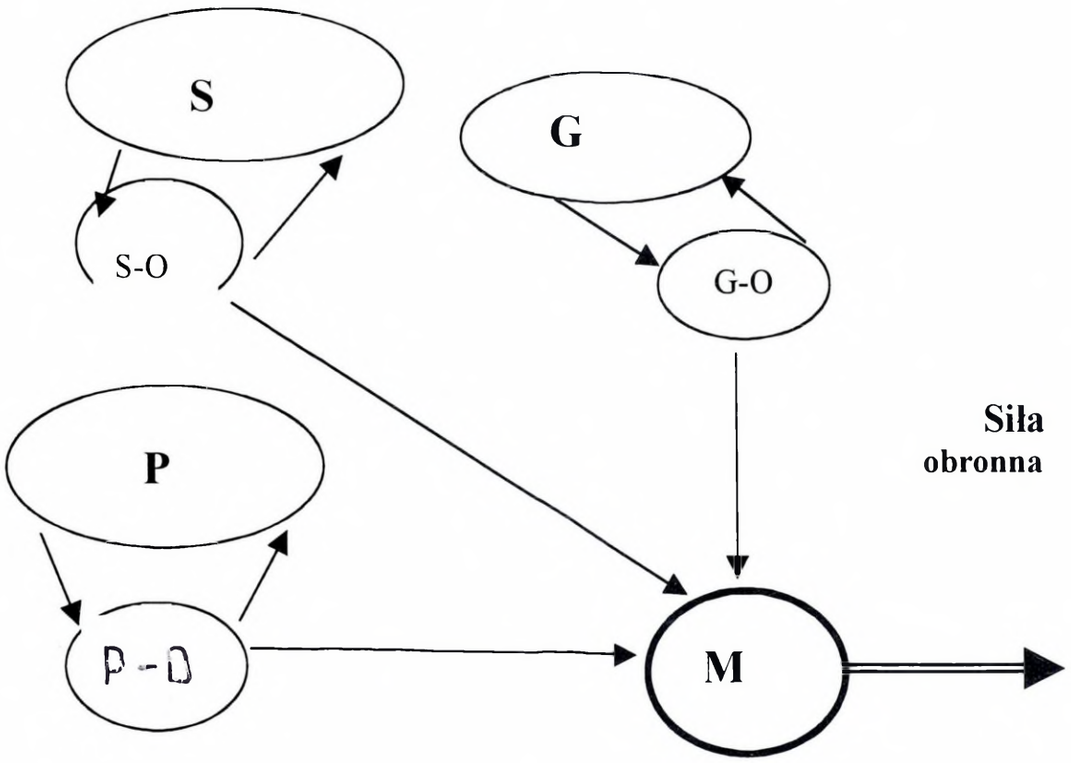
Po logicznej dekompozycji systemu państwowego i SOP otrzymujemy formalny model identyfikacyjny, w którym określone zostały elementy i relacje między nimi. Najprostszy model identyfikacyjny SOP przedstawiony został na rys. 21.



Rys. 21. 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.22



Rys. 22. 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.

10. 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 - gospodarczych[89], 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 naukowa zajmującą się zasadami i procedurami klasyfikacji /tzn. porządkowania, grupowania, dyskryminacji, delimitacji, podziału/[90] 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.

Omówimy po krotce każdy ze wskazanych etapów:

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

---

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

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

- 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 ogol 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 nieznanej /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 "ścisłość" 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 stosowana 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.

10.1. 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.

10.1.1. 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*"[91] . 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.

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/.

---

[91] *J. Antoszkiewicz – Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie problemów, PWE, 1990r.*

10.1.2. 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/.

10.2. 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 jednoczesne 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 mar 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: $\forall\ k \in K,\ 0 \le w_k \le 1$
- suma wszystkich wag wynosiła 1: $\sum_{k=1}^{K} w_k = 1$
- 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:

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

- wektor **C** cech diagnostycznych opisujących każdy obiekt O_n :

$$\mathbf{C} = (C_1, ..., C_m, ..., C_M)\ m = 1, ..., M;$$

- zbiór **E** ekspertów oceniających znaczenie cech jest w postaci:

$$\mathbf{E} = (E_1, ..., E_l, ..., E_L)\ l = 1, ..., L;$$

Po ocenie ważności cech przez L ekspertów mamy:

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

Obliczamy:

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

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

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

2. Wagi ukazujące statystyczne właściwości cech diagnostycznych

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

- liczbę cech reprezentowana przez dana cechę diagnostyczna;
- poziom jej skorelowania z tymi cechami;
- poziom zmienności poszczególnych cech diagnostycznych[92].

10.3. Porównywalność cech diagnostycznych - procedury unifikacji zmiennych

Cechy diagnostyczne mogą być różnego rodzaju - ilościowe, jakościowe, a ich realizacje /zmienne diagnostyczne/ mogą być wyrażone w różnych skalach[93] - 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.

10.3.1. Cechy ilościowe

W przypadku cech ilościowych mamy do czynienia z różnymi wartościami w różnych jednostkach miary /mianowane lub niemianowane/. Jeśli nawet mają jednakowe miana, to nie zawsze mogą być bezpośrednio porównywalne[94].

---

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

[93] *Ackoff – rozdział 6*

[94] *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.*

Przedstawimy trzy sposoby uwalniania się od mian, których wybór zależny jest od wielu czynników Są to: standaryzacja, normalizacja i unitaryzacja.

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

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

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

Zestandaryzowane cechy Z_1 , ..., Z_m , ..., 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,...,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 $$z_{nm} = \frac{x_{nm} - \min\limits_n\left(x_{nm}\right)}{\max\limits_n\left(x_{nm}\right) - \min\limits_n\left(x_{nm}\right)}$$

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

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

10.3.2. 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.

10.4. 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 **wskaźniki** podobieństwa obiektów

1. Odległości między obiektami opisanymi cechami ilościowymi

Niech $d_{ij} = d(O_i, O_j)$ (i, j = 1, ..., 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:

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

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:

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

gdzie:

p = 1, 2, ..., ∞

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:

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

Jest znanych wiele[95] innych definicji odległości między obiektami.

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:

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

---

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

We wzorze tym wielkości β i χ są parametrami przyjmującymi wartości: β = {0, 1}, χ = {0.5, 1, 2}. Najbardziej uzasadnione są te miary, w których β = 1 i χ = 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 potrzeba 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 zróżnicowanie 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.

10.5. 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 klasy[96] :

- 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 liniowe[97], 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

---

[96] *T. Grabiński i inni – op. cit. s.49.*

[97] *Metody porządkowania liniowego znajdują obecnie szerokie zastosowanie w wielowymiarowej analizie porównawczej.*

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

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 *quassi*optymalnego 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,...,N; s < t).
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) Jeśli przy wszystkich możliwych przestawieniach par obiektów nie uzyskuje się poprawy wartości funkcji Q, to aktualne uporządkowanie uważa się za *quassi*optymalne.

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, d_{ij} , to odległość między tymi obiektami w jednowymiarowej przestrzeni określonej przez szukaną zmienną syntetyczną[98].

[98] *Dokładniej patrz E. Nowak – op. cit. s.55*

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

10.6. 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:

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

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

$$\mathbf{C} = (C_1, ..., C_m, ..., C_M);$$

Fakt ten można zapisać następująco:

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

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:

$$C_2 = \{ C_1 , ..., C_{M2} \}$$

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

$$C_1 = \{ C_1, ..., C_{M1} \}, M_1 \leq M_2 , C_1 \subset C_2.$$

- 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/.

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

Przypomnijmy, że dążymy, aby wyspecyfikowane cechy diagnostyczne:

- ujmowały konieczne i istotne właściwości obiektów;
- 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 zmienna syntetyczna /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 realizacje /wartość/ - x_{nm} , a więc znany jest wektor $\mathbf{X_n}$ określający wartości obiektu O_n /dla ustalonych charakterystyk/: $\mathbf{X_n} = (x_{n1}, ..., x_{nm}, ..., x_{nM})$ i w konsekwencji powstaje macierz **X** zwana ***macierzą obserwacji*** w postaci:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \cdots \\ X_n \\ \cdots \\ X_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1M} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nM} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{N1} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix}$$

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"- $\mathbf{W_n}$ 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 $\Re$ na wszystkie elementy O_n zbioru Ω; tzn. dla dowolnych $n_1, n_2 \in N$ określić takie R , że $O_{n1}\ \Re\ O_{n2}$

4.2. Realizacja procedury taksonomicznej:

A. Ponieważ zmienne macierzy **X** zwykle nie są jednorodne i wyrażone są w różnych jednostkach miary, to aby uniezależnić się od tego przeprowadzamy ich "unifikację" /p. 3.3/, tworząc macierz **Z**.

B. 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.

C. 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*** $\mathbf{d_{ij}}$ elementów O_i, O_j zbioru obiektów Ω w tej przestrzeni.

Najczęściej wykorzystywaną miarą jest metryka euklidesowa:

$$d_{n_1 n_2} \overset{ozn}{=} d\left(O_{n_1}, O_{n_1}\right) = \left[\frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\left(z_{n1m} - z_{n2m}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

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 diagonali.

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

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

A. 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 najmniejsza, wyznaczamy najpierw wektor $[d_1, ..., d_n, ..., d_N]^T$, którego składowe są najmniejszymi wielkościami w poszczególnych wierszach macierzy **D**, czyli:

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

B. 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/.

A. Określenie stymulant i destymulant

B. Konstrukcja wzorca rozwoju /obiektu wzorcowego/

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

$$z_{0m} = \begin{cases} \max\limits_{n} z_{nm} & \text{jeśeśm jest stymulantą} \\ \min\limits_{n} z_{nm} & \text{jeśeśm jest destymulantą} \end{cases}$$

C. 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:

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

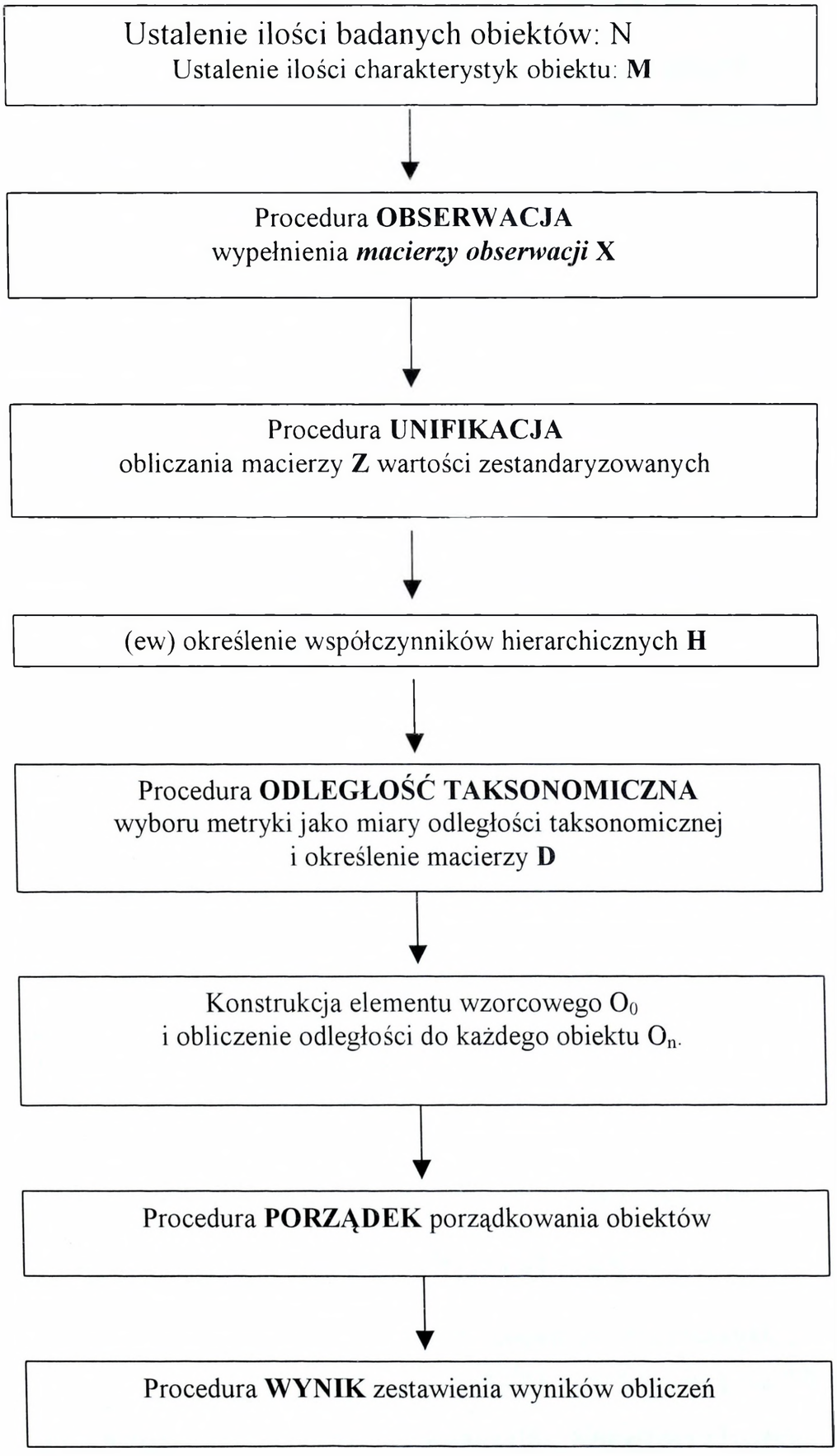
$$d_0 = \bar{d}_0 + 2S_0$$

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

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

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

ALGORYTM PROCEDURY TAKSONOMICZNEJ



11. OGÓLNA KONCEPCJA MODELU MATEMATYCZNEGO POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA I POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Ogólną koncepcję realizowanych modeli matematycznych badanych przedmiotów: systemu obronnego państwa i systemu sił zbrojnych stanowią:

- **Czteroelementowa dekompozycja przedmiotów** (zaproponowana w sprawozdaniu z realizacji czwartego etapu);
- **Wielowymiarowe wartościowanie cech przedmiotów** w wielokryterialnej przestrzeni ocenowej ich opisu.

11.1. Czteroelementowa dekompozycja przedmiotów

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

$$\mathbf{P = (P, S, G, M)}$$

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 militarne.

$$SOP = (\text{P-O, S-O, G-O, M})$$

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 $S_{d\text{-}o}$ dziedzinowych podsystemów obronnych, tj.:

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

Ustalamy, że miernikiem wartości każdego podsystemu jest:

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

System sił zbrojnych rozpatrujemy także w czterech głównych dziedzinach (podsystemach): polityczno - militarnym, społeczno - militarnym, gospodarczo - militarnym i technicznym.

$$SZ = (\text{P-M, S-M, G-M, T})$$

gdzie:

SZ- system sił zbrojnych danego systemu obronnego państwa
P-M – podsystem polityczno - militarny, obejmuje stan i rozwój podsystemu dowodzenia;
S-M – podsystem społeczno - militarny obejmuje stan i rozwój świadomości obronnej żołnierzy (morale) i wyszkolenie bojowe;

G-M – podsystem gospodarczo – militarny obejmuje stan i rozwój logistyki wojskowej;
T – podsystem uzbrojenia, sprzętu bojowego i wyposażenia wojskowego.

Siła (potęga) S_{SZ} systemu sił zbrojnych państwa jest zatem funkcją sił S_{d-o} dziedzinowych podsystemów militarnych, tj.:

$$S_{SZ} = f_{SZ}\,(S_{p-m}(P\text{-}M), S_{s-m}(S\text{-}M), S_{g-m}(G\text{-}M), S_t(T))$$

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, a system SZ jest podsystemem SOP. Określić, więc należy relacje między tymi systemami.

Powyższe ustalenia formalne formułują 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.

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:

$$Z = f^{\alpha}\,(Z_p, Z_s, Z_g, Z_m)$$

Każdą Z_d rozpatrywać należy jako

$$Z_{d.} = \zeta^{z}{}_{d}\,(\beta, \beta^{o})$$

tzn. oddziaływanie zewnętrzne przenoszone jest na podsystem dziedzinowy, a skutek zależy od odporności β podsystemu i β^{o} podsystemu – obronnego w funkcji $\zeta^{z}{}_{d.}$

Wobec tego zapisać można:

$$Z = f^{\alpha}\,(\zeta^{z}{}_{p}\,(\beta, \beta^{o}), \zeta^{z}{}_{s}\,(\beta, \beta^{o}), \zeta^{z}{}_{g}\,(\beta, \beta^{o}), \zeta^{z}{}_{m}\,(\beta, \beta^{o}))$$

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:

$$\mathbf{S} = \mathbf{f^s}\ (\mathbf{S_p}, \mathbf{S_s}, \mathbf{S_g}, \mathbf{S_m})$$

I definiuje siłę państwa, jego oddziaływanie na otoczenie zewnętrzne.

$$\mathbf{S_d}. = \zeta^s{}_d\ (\beta, \beta^o)$$

Tzn. siła dziedzinowa jest funkcją $\zeta^s{}_d$ siły podsystemu obronnego tej dziedziny - β^o i podsystemu pozaobronnego - β. W związku z powyższym, mamy:

$$\mathbf{S} = \mathbf{f^s}\ (\zeta^s{}_p\ (\beta, \beta^o), \zeta^s{}_s\ (\beta, \beta^o), \zeta^s{}_g\ (\beta, \beta^o), \zeta^s{}_m\ (\beta, \beta^o))$$

Przyjęliśmy, 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 S_d d-tego podsystemu dziedzinowego jest funkcją potencjału $\mathbf{P_d}$ podsystemu i strategii $\mathbf{S_d}$ jego użycia. Tak, więc siłę oddziaływania S_d d-tego podsystemu dziedzinowego można zapisać następująco:

$$S_d = \$_d\ (\mathbf{P_d}, \mathbf{S_d}, \mathbf{Z_d})$$

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:

$$S_d = \$_d\ (\mathbf{P}(\mathbf{P_d}, \mathbf{Z_d}), \mathbf{S}(\mathbf{S_d}, \mathbf{Z_d}))$$

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:

$$\mathbf{S_{d\cdot}} = \zeta^{s}_{d}\,(\beta, \beta^{o})$$

Wobec tego mamy:

$$S_d = \$_d\,\{[\zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{P}(\mathbf{P_d}, {}^{p}\mathbf{Z_d})), \zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{S}(\mathbf{S_d}, {}^{p}\mathbf{Z_d}))], [\zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{P}(\mathbf{P_d}, {}^{o}\mathbf{Z_d})), \zeta^{s}_{d}\,(\mathbf{S}(\mathbf{S_d}, {}^{o}\mathbf{Z_d}))]\}$$

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

Analogicznie przedstawiamy formalne związki pomiędzy systemem SZ a SOP. Po logicznej dekompozycji systemu państwowego, SOP i SZ otrzymujemy formalny model identyfikacyjny, w którym określone zostały elementy i relacje między nimi.

11.2. Wielokryterialna przestrzeń ocenowa

Model ocenowy tworzą (patrz sprawozdania z poprzednich etapów):

- określony **system wartości**, czyli klasa systemów i odpowiadających jej **kryteriów oceny**,
- **zbiór dopuszczalnych wskaźników oceny** i **skala ocen** wraz z **regułą oceniania**.

Należy przy tym zauważyć (po treściach zawartych w poprzednich sprawozdaniach i kolejnych konstatacjach dokonywanych w niniejszym), że każdy model ocenowy systemu:

1. przeznaczony jest dla określonej klasy systemów;
2. jest zrelatywizowany do przyjętego systemu wartości;
3. powinien umożliwiać wybór konkretnego wskaźnika /wskaźników/ oceny w zależności od warunków i potrzeb;
4. powinien zawierać elastyczną skalę ocen, tj. dostosowaną do warunków oceniania;

5. powinien ograniczać wpływ czynników subiektywnych /emocjonalnych/ na ocenę systemu.

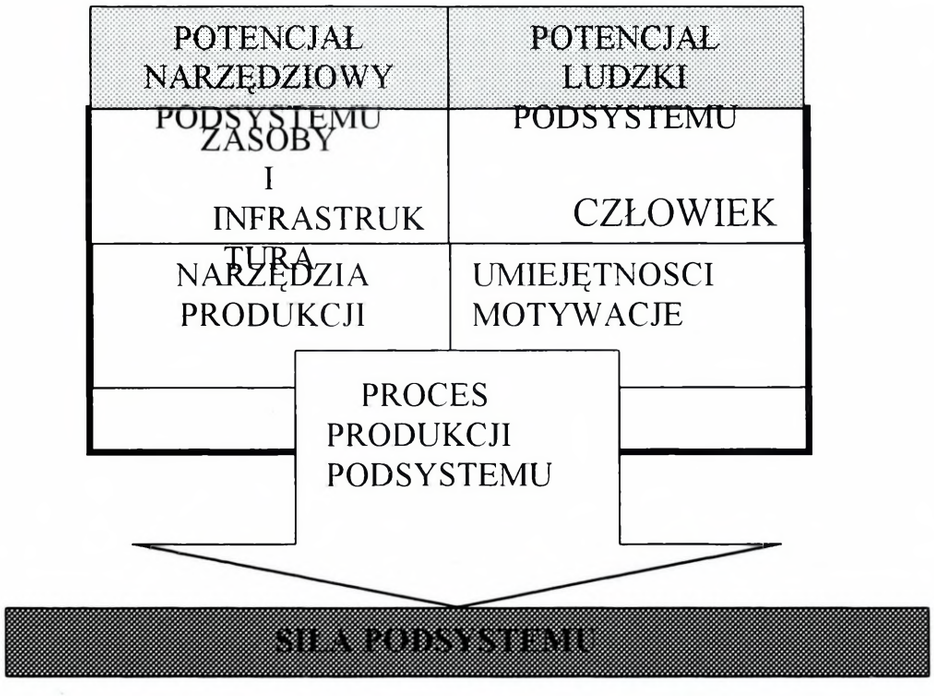
Przyjmijmy, że dla opisu wyróżnionych w rozdziale pierwszym podsystemów skoncentrujemy się na dwóch aspektach:

- **ludzkim;**
- **narzędziowym.**

Dla opisu **statycznej wartości podsystemu – potencjału**, wyróżniamy, więc (rys. 1.):

- **Potencjał ludzki** podsystemu, w którym rozpatruje się zarówno aspekt ilościowy (stan osobowy), jak i jakościowy (możliwości twórcze, umiejętności, motywacje, itp.);
- **Potencjał narzędziowy** podsystemu, w którym rozpatruje się zarówno aspekt ilościowy (zasoby, infrastruktura), jak i jakościowy (możliwości wytwórcze, narzędzia produkcji, itp.).

Dla opisu **dynamicznej wartości podsystemu – siły** wprowadzone zostało pojęcie, „**funkcji produkcji**" podsystemu, określające wydolność tworzenia produktu podsystemu (rys.24.).



Rys. 24. Idea opisu statyczno – dynamicznego podsystemu

12. STATYCZNY MODEL MATEMATYCZNY

12.1. Formalne związki pomiędzy systemami SOP i SZ

Przyjmijmy, że dla opisania podsystemów dziedzinowych rozpatrywanych przedmiotów, dziedzinowo – obronnych i dziedzinowo – militarnych (rozdział 13) posługiwać będziemy się pojęciem **potencjału** /narzędziowego i ludzkiego/– dla określenia statycznej wartości podsystemu.

Niech zatem dany będzie funkcjonał P określający wartość podsystemu dziedzinowego (d), dziedzinowo – obronnego (d-o) i dziedzinowo – militarnego (d-m), tzn., że:

P_d: $d \rightarrow R$; $d \in \{p, s, g, m\}$

$P_{d\text{-}o}$: $d\text{-}o \rightarrow R$; $d\text{-}o \in \{p\text{-}o, s\text{-}o, g\text{-}o, m\}$

$P_{d\text{-}m}$: $d\text{-}m \rightarrow R$; $d\text{-}m \in \{p\text{-}m, s\text{-}m, g\text{-}m, t\}$

gdzie

R – zbiór liczb rzeczywistych.

Jest to jednak miernik mocno niewystarczający, choć znaczący. Dla opisu dynamicznej wartości powyższych podsystemów proponujemy posługiwać się pojęciem **siły** podsystemu na ustalonym jego potencjale. Tak, więc wynikiem „funkcji produkcji" odpowiedniego podsystemu jest siła tego podsystemu.

Niech, zatem dana będzie „funkcja produkcji" f_d – d-tego podsystemu dziedzinowego, $f_{d\text{-}o}$ – d-o-tego podsystemu dziedzinowo-obronnego i $f_{d\text{-}m}$ – d-m-tego podsystemu dziedzinowo-militarnego będzie następująca:

$$S_d = f_d(P_d)$$
$$S_{d\text{-}o} = f_{d\text{-}o}(P_{d\text{-}o})$$
$$S_{d\text{-}m} = f_{d\text{-}m}(P_{d\text{-}m})$$

Przy przyjęciu takich pojęć pojawiają się kolejne, ważne problemy, których ocena nie jest obojętna:

- Dla pojęcia **potencjału** – problem **wystarczalności** posiadanego takiego potencjału;
- Dla pojęcia **siły** – problem **efektywności** produkcji tej siły (efektywność dotyczyć może produkcji przy różnych kryteriach: np. czasu, kosztów (nakładów), itp.).

Jeżeli związek pomiędzy SOP i systemem państwa (S) oraz pomiędzy SZ a SOP przyjmiemy w najprostszej postaci (opracowanie 4 etapu – tzn. oddziaływanie tylko pomiędzy podsystemami dziedzinowymi a dziedzinowo-obronnymi i dziedzinowo-obronnymi a dziedzinowo-militarnymi) to otrzymujemy następujace związki:

$$\mathbf{SOP = A * S}$$

Gdzie macierz **A** jest macierzą przepływów wartości tworzonych przez S do SOP

$$\begin{bmatrix} p-o \\ s-o \\ g-o \\ m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{p-o,p} & a_{p-o,s} & a_{p-o,g} & a_{p-o,m} \\ a_{s-o,p} & a_{s-o,s} & a_{s-o,g} & a_{s-o,m} \\ a_{g-o,p} & a_{g-o,s} & a_{g-o,g} & a_{g-o,m} \\ a_{m,p} & a_{m,s} & a_{m,s} & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p \\ s \\ g \\ m \end{bmatrix}$$

Gdzie współczynniki a_{ij} macierzy A opisują związki podsystemów dziedzinowo – obronnych SOP z podsystemami dziedzinowymi państwa. Określenie elementów a_{ij} macierzy A nie jest zagadnieniem łatwym, nawet przy dokonanych już uproszczeniach rzeczywistości dotyczącej ich liniowości. Jeżeli zbiór tych relacji ograniczymy tylko do „swoich", tzn. podsystemy dziedzinowo – obronne zawarte są w „swoich" podsystemach dziedzinowych, wówczas macierz A przyjmie postać:

$$\begin{bmatrix} p-o \\ s-o \\ g-o \\ m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{p-o,p} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{s-o,s} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{g-o,g} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p \\ s \\ g \\ m \end{bmatrix}$$

W postaci powyższej wyeliminowane zostały związki podsystemów dziedzinowo – obronnych z nieprzynależnymi im podsystemami dziedzinowymi.

Zgodnie z powyższymi linearnymi związkami w języku potencjałów możemy zapisać:

$$\mathbf{P(SOP) = A*P(S)}$$

gdzie

P(SOP) będzie postaci:

$$P(SOP) = f_{SOP}\begin{bmatrix} P_{p-o}(p-o) \\ P_{s-o}(s-o) \\ P_{g-o}(g-o) \\ P_m(m) \end{bmatrix}$$

Zaś **P(P)** będzie postaci:

$$P(P) = f_P\begin{bmatrix} P_p(p) \\ P_s(s) \\ P_g(g) \\ P_m(m) \end{bmatrix}$$

Podobnie określamy związki pomiędzy **P(SZ)** a P**(SOP),** tj.

$$P(SZ) = f_{SZ}\begin{bmatrix} P_{p-m}(p-m) \\ P_{s-m}(s-m) \\ P_{g-m}(g-m) \\ P_t(t) \end{bmatrix}$$

Metodykę konstrukcji funkcji f_P, f_{SOP}, f_{SZ} przedstawimy po głębszej analizie problemu.

Powyższe problemy stanowią kryteria ocenowe wartości analizowanych podsystemów w aspekcie statycznym i dynamicznym.

Powyższe aspekty analizy określonego podsystemu są wystarczające dla określenia „stanu rzeczy", w określonej jednostce czasu. Jeżeli jednak interesuje nas nie analiza „punktowa", ale analiza prognostyczna (retrospektywna) – to niezbędne jest ujecie powyższych miar (potencjału i siły) w aspekcie czasowym, tj. ujęcie związków rozwojowych. Prognozowanie i programowanie rozwoju potencjału i siły podsystemów jest niezbędnym elementem procesu podejmowania decyzji. Z jednej strony jest to bardzo odpowiedzialny proces, z drugiej – bardzo trudny. Przyjmijmy, że w racjonalnym działaniu tak decydentów, jak i samych systemów (celowo

zorientowanych) dla maksymalizacji realizowanych celów przyjmowana jest odpowiednia **strategia** rozwoju (działania) podsystemu.

12.2. Koncepcja mierników oceny podsystemów SOP i SZ

Dążenie do ilościowego ujmowania licznych i różnorodnych zjawisk jest w modelowaniu SOP i SZ koniecznością. Pomimo opracowania – przez licznych badaczy – wielu norm, kryteriów i miar ocenowych, to nie udało się jeszcze znaleźć syntetycznego wskaźnika siły, efektywności systemu państwowego, SOP, SZ. Po prostu nie umiemy tego robić, aby ująć wszystkie czynniki przynależne dziedzinie gospodarczej, społecznej, politycznej i militarnej.

Należy, zatem zaproponować koncepcję konstrukcji takiego miernika. Najwcześniej stosowane były ilościowe mierniki efektywności podsystemu gospodarczego w postaci produktu krajowego brutto /PNB/. Miernik ten jest powszechnie stosowany jako kryterium wyników gospodarczych państwa i wykorzystywany do klasyfikacji zbioru państw. Pomimo tego, że uważa się, iż PNB jest nie tylko miernikiem wyników działalności gospodarczej, a dokładnie działań rynku, nie określa on bowiem poziomu dobrobytu człowieka, a nawet tylko samego dobrobytu ekonomicznego. Dlatego poszukuje się syntetycznego miernika dobrobytu społeczeństwa /efektywności podsystemu społecznego/, w wyniku czego pojawił się globalny wskaźnik dobrobytu narodowego /GNW – *Gross National Welfare*/ oraz wskaźnik dobrobytu ekonomicznego /MEW – *Measure of Economic Welfare*/. Nadal jednak do oceny efektywności podsystemu społecznego stosuje się mierniki określane mianem wskaźników socjalnych.

Największe trudności pojawiają się wtedy, kiedy próbuje się zmierzyć efektywność podsystemu politycznego. Osiągnięcie pewnych celów w życiu państw np. wolności czy sprawiedliwości, jest powszechnie pożądane, ale takie dane jak stopień osiągnięcia tych celów, kompromisy i koszty z tym związane są po prostu nieuchwytne. Tylko kilka elementów życia ludzkiego, jak długość (przeciętne trwanie życia) da się łatwo mierzyć, chociaż na warunki życia jednostki wpływa ogromna liczba czynników. Efektywność podsystemu militarnego państwa jest również trudna do pomiaru. Wynika to z jego natury: system ten po prostu nie realizuje się, nie spełnia, egzystuje w sferze potencjalnej. Nie przejawia się swoim produktem /jak gospodarczy – PNB, społeczny – kumulujący stosunek aspiracji do realiów, a przejawiający się, /choć jest to także

kontrowersyjne/ w poglądach społeczeństwa. W naukach wojskowych dla oceny efektywności systemu militarnego stosuje różne metody badawcze, w tym także modele symulacyjne działań bojowych /bitwy, walki, operacji, kampanii, wojny/.

Problem oceny efektywności poszczególnych podsystemów dziedzinowo – obronnych i dziedzinowo – militarnych jest jeszcze bardziej skomplikowany.

Propozycja klas mierników

Dla pomiaru każdego z wyróżnionych podsystemów dziedzinowych państwa, dziedzinowo – obronnych SOP i dziedzinowo – militarnych SZ proponujemy zastosować następujące klasy mierników /zgodnie z koncepcją metody opisu modelowego – tj. dla każdej wyróżnionej warstwy opisu/:

1. Miernik określający **wartość** wymiaru w wartościach bezwzględnych /na jego podstawie może być konstruowany wskaźnik będący odniesieniem tego miernika do stanu rzeczy /powierzchni, liczby ludności, majątku narodowego, itp./
2. Miernik określający **zmianę** miernika (1), tj. tempo jego zmian w określonej jednostce czasu, a będący miarą tendencji jego rozwoju /możliwe jest tu pozyskiwanie odpowiednich danych uszczegóławiających ten miernik/.
3. Wskaźnik określający „**poziom inwestycji**" w dany wymiar, będący miarą racjonalnego działania mającego na celu wzrost miernika (1) w dłuższym okresie czasu.
4. Wskaźnik określający „**wolne moce**" w danym wymiarze będący miarą swobody działania mającego na celu wzrost miernika (1) w krótkim okresie czasu.
5. Wskaźnik określający **wrażliwość** /lub odporność/ miernika (1) na oddziaływanie zewnętrzne /ujmujący współzależność danego miernika od celowych działań otoczenia/.

Powyższe klasy mierników i wskaźników – po ich konkretyzacji – stanowić będą zmienne modeli symulacyjnych SOP i SZ /szczególnie (1) i (3)/ oraz zmienne zmian modeli /szczególnie (2) i (4)/. W ten sposób uzewnętrznienie możliwości zmian zmiennych modeli odpowiadać będzie podejmowaniu decyzji /zmienne decyzyjne/.

Zaproponowane klasy mierników i wskaźników są niezbędne do badań prognostycznego rozwoju systemów: SOP i SZ. Dla prowadzenia racjonalnych analiz prognostycznych, niezbędne jest dysponowanie następującymi danymi:

a) Statystycznymi z przeszłości;
b) Bieżącymi z monitoringu;
c) Analitycznymi /diagnostycznymi i prognostycznymi/ będącymi przetworzeniem i uogólnieniem (a) i (b).

13. OPIS TEORETYCZNY DYNAMICZNEGO MODELU MATEMATYCZNEGO

Sformułowanie hipotezy o zależności pewnych zmiennych opisujących określone wielkości badanego przedmiotu /obiektu i/lub procesu/ polega na ujęciu /znanych i/lub domniemanych/ związków w postaci równania. Przy czym należy odróżnić zmienne, które traktowane będą jako niezależne od tych, które traktować będziemy jako zależne[99]. W języku ekonometrycznym zmienne zależne nazywa się zmiennymi objaśnianymi, natomiast niezależne - objaśniającymi.

Na przykład z pewnych powodów /może to być wynikiem własnych obserwacji, innych badań, intuicji lub ustalonych praw danej teorii/ badacz uważa, że wielkości /zmienne/ $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \ldots, \mathbf{X}_k, \ldots, \mathbf{X}_K$ w sposób istotny wpływają na wielkość /zmienną/ $\mathbf{y}$. Wówczas związek /na razie jeszcze nieznany/ między tymi zmiennymi można zapisać następująco (1):

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \ldots, \mathbf{X}_k, \ldots, \mathbf{X}_K) \qquad (1)$$

a więc sformułować hipotezę o wystąpieniu zależności między zmiennymi.

Powyższy związek jest jednorównaniowym modelem ekonometrycznym. W szczególności K może być równe 1, wówczas równanie (1) przyjmie postać (2):

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}) \qquad (2)$$

czyli postawiona zostanie hipoteza o zależności zmiennej objaśnianej $\mathbf{y}$ od jednej zmiennej objaśniającej $\mathbf{x}$.

Obserwując zachowanie się ustalonej zmiennej $\mathbf{y}$ /np. oszacowanego PR SZ określonego państwa/ w kolejnych chwilach /momentach/ czasu $\mathbf{t}$ zauważyć można powolne i systematyczne jej zmiany. Zmiany te wyrażają prawidłowości zmian badanej zmiennej i określane są pojęciem TRENDU lub TENDENCJI ROZWOJOWEJ. W ekonometrii trendem nazywa się funkcję /krzywą/, obrazująca proces zmiany badanej

---

[99] *Z. Czerwiński - Matematyka na usługach ekonomii, PWN 1984, ss.420.*

zmiennej w czasie[100]. Jeżeli w równaniu (2) za zmienną objaśniającą x przyjęty zostanie czas - t , wówczas otrzymamy równanie (3):

$$y = f(t) \tag{3}$$

Oczywiście należy zdać sobie sprawę, że sam upływ czasu nie jest i nie może być przyczyną zmiany badanej wielkości y . Jeżeli uległa ona zmianom w obserwowanym okresie czasu, to dlatego, że zmianie uległy inne zmienne od których y jest zależne.

Posługiwanie się funkcją trendu dla opisu przeszłości i przewidywania przyszłości jest celowe i dlatego rozpowszechnione oraz szeroko stosowane. Za pomocą zbudowanego, oszacowanego i zweryfikowanego /na podstawie danych statystycznych z przeszłości/ modelu tendencji rozwojowej wnioskuje się o przyszłym kształtowaniu się wartości badanej zmiennej[101].

13.1. Metoda prognozowania oparta na modelu tendencji rozwojowej

Oznaczmy przez Y prognozowaną zmienną. Przyjmujemy, że dysponujemy wartościami tej zmiennej dla chwil czasu $t_1, t_2, \ldots, t_n, \ldots, t_N$. Ogólnie przyjmujemy, że wartość zmiennej w chwili t_n jest losowa i oznaczamy ją jako $Y(t_n)$. Faktycznie, zatem dysponujemy realizacjami zmiennych losowych $Y(t_n)$, n=1,N. Na tej podstawie możemy konstruować model zależności zmiennej od czasu[102]. Szczególnym przypadkiem takiego modelu jest postać (4):

---

[100] *Z. Czerwiński - Op. cit. ss.448.*

[101] *Indukcja polegała początkowo na oczekiwaniu, że zdarzenia które są wedle naszej wiedzy podobne, będą miały podobne do siebie następstwa. Im większa będzie klasa wzajemnie podobnych zdarzeń, które będą miały wzajemnie podobne następstwa, tym silniejsze będzie przypuszczenie o podobnym następstwie w kolejnym przypadku. Przypuszczenie to jednak niepomiernie wzrasta, jeżeli można skorelować zmiany w zdarzeniu poprzedzającym ze zmianami w następstwie. Do tego celu użyto pomiaru. Pomiar wymyślono dla jakiejś zmieniającej się cechy podobnych zdarzeń poprzedzających i dla jakiejś zmieniającej się cechy podobnych następstw, między zaś tymi dwiema zmiennymi ustala się stały współczynnik zależności lub inną prostą korelację. Kiedy się to osiągnie, to nie można już wątpić w istnienie związku przyczynowego. Patrz W. V. Quine - Success and Limits of Mathematization ZN 1987 T.XXII z. 1 (89) ss. 97-100.*

[102] *Z. Pawłowski - Ekonometria, PWN, Warszawa 1984.*

$$X(t) = h(t) + \varsigma_t \qquad (4)$$

gdzie:

$h(t)$ - deterministyczna funkcja nazywana trendem, reprezentująca ogólną tendencję zmiany wartości zmiennej;

ς_t - składnik losowy, określający możliwe odstępstwa od ogólnego trendu, wynikające z różnych uwarunkowań ubocznych i/lub przypadkowych.

W badaniach trendów istotną rolę odgrywają trendy wielomianowe, tj. trendy postaci (5):

$$h(t) = \sum_{i=0}^{I} a_i * t^i \qquad (5)$$

Duża popularność tej klasy funkcji trendu wynika stąd, że każda funkcja ciągła i ograniczona może być w skończonym przedziale aproksymowana wielomianem skończonego stopnia.

Szczególnym przypadkiem trendu wielomianowego jest wielomian pierwszego stopnia, nazywany trendem liniowym o postaci (6):

$$h(t) = a_0 + a_1 t \qquad (6)$$

Trend liniowy jest szeroko wykorzystywany w praktyce ze względu na łatwość estymowania jego parametrów oraz możliwość sprowadzenia niektórych trendów w innej postaci do trendu liniowego.

Wobec powyższego zmiany wartości rozpatrywanej zmiennej będziemy opisywać zależnością (7):

$$Y(t) = a_0 + a_1 t + \varsigma_t \qquad (7)$$

Zanim możliwe będzie wykorzystanie powyższego modelu do prognozowania przyszłych wartości $Y(t)$ należy dokonać estymacji parametrów modelu: a_0, a_1 na podstawie zarejestrowanych wartości zmiennych losowych $Y(t_n)$, n = 1, N. O zmiennych t_n zakładamy, że przyjmują kolejne wartości całkowite oraz $t_n - t_{n-1} = 1$, n = 1, N. O zmiennych losowych ς_{t_n}, n = 1, N zakładamy, że są łącznie niezależne, $E\varsigma_{t_n} = 0$, $D^2\varsigma_t = \sigma^2$, n = 1, N. Przy takich założeniach model (11) staje się

liniowym modelem opisowym[103] lub inaczej liniowym modelem Gaussa - Markowa[104]. Do estymacji parametrów tego modelu można wykorzystać metodę najmniejszych kwadratów. Zgodnie z nią należy rozwiązać zadanie (8):

$$\min_{\hat{a}_0(y),\hat{a}_1(y)} \sum_{n=1}^{N} \left(y_n - \hat{a}_0(y_n) - \hat{a}_1(y_n)t_n\right)^2 \qquad (8)$$

gdzie: y_n, n = 1, N są zarejestrowanymi realizacjami zmiennych $Y(t_n)$.

Ponieważ zgodnie z przyjętymi założeniami $t_{n_1} \neq t_{n_2}$, $n_1, n_2 = 1, N$, to istnieje jednoznaczne rozwiązanie powyższego zadania, a poszukiwane estymatory mają postać:

$$\hat{a}_1(Y) = \frac{\overline{t*Y} - \bar{t}*\bar{Y}}{\overline{t^2} - \bar{t}^2}$$

$$\hat{a}_0(Y) = \bar{Y} - \hat{a}_1(Y)*\bar{t}$$

gdzie:

$$Y = \left(Y(t_1), \ldots, Y(t_N)\right)$$

$$t = (t_1, \ldots, t_N)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} Y(t_n),$$

$$\bar{t} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} t_n$$

$$\overline{t*Y} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} t_n * Y(t_n), \qquad \overline{t^2} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} t_n^2$$

Dowodzi się, że estymatory $\hat{a}_0, \hat{a}_1$ są estymatorami zgodnymi i nieobciążonymi parametrów a_0, a_1, modelu (8).

---

[103] *Z. Pawłowski - Statystyka matematyczna, PWN, Warszawa 1981, ss.267.*

[104] *J. Greń - Statystyka matematyczna. Modele i zadania, PWN, Warszawa 1984, ss.207.*

Dysponując modelem (11) zmienności zmiennej Y w czasie, możemy określić metodę prognozy wartości zmiennej w chwili $t_m > t_N$. Prognozę tę oznaczamy jako $\hat{Y}(t_m)$.

Zadanie wyznaczenia najlepszej prognozy można sformułować następująco: wyznaczyć $\hat{Y}(t_m)$ takie, że:

$$E\left\{\left[Y(t_m) - \hat{Y}(t_m)\right]^2\right\} = \min E\left\{\left[Y(t_m) - g(t_m)\right]^2\right\}$$

gdzie

$g: \Re^1 \rightarrow \Re$ funkcja mierzalna w przestrzeni $(\Re^1, \Re)$.

Uwzględniając fakt, że $Y(t_m) = a_0 + a_1 t_m + \varsigma_m$ oraz przyjęte założenia otrzymujemy następujące rozwiązanie /9/:

$$\hat{Y}(t_m) = a_0 + a_1 t_m \tag{9}$$

Ponieważ jednak dokładne wartości parametrów a_0, a_1 nie są znane, posługujemy się następującą postacią $\hat{Y}(t_m)$:

$$\hat{Y}(t_m) = \hat{a}_0(Y) + \hat{a}_1(Y) t_m$$

W celu określenia dokładności wyznaczonej prognozy uzupełnimy założenia modelu (9) o założenie, że zmienne losowe ς_{t_n} , n = 1, N maja rozkład $N(0, \sigma)$. W takim przypadku błąd standardowy prognozy określony jest zależnością[105]:

$$D\left[\hat{Y}(t_m)\right] = S * \left[1 + \frac{1}{N} + \frac{(t_m - \bar{t})^2}{\sum_{n=1}^{N} (t_n - \bar{t})^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

gdzie:

$$S = \left[\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N} \left[Y(t_n) - \hat{Y}(t_n)\right]^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

---

[105] *J. Greń - Op. cit., ss.223.*

gdzie

$$\hat{Y}(t_n) = \hat{a}_0(Y) + \hat{a}_1(Y)t_n .$$

Przyjmując współczynnik ufności $1 - \alpha$, można zbudować przedział ufności dla wartości $Y(t_m)$ według wzoru[106]:

$$P\left\{\hat{Y}(t_m) - t_\alpha D\left[\hat{Y}(t_m)\right] < Y(t_m) < \hat{Y}(t_m) + t_\alpha D\left[\hat{Y}(t_m)\right]\right\} = 1 - \alpha$$

gdzie

t_α jest wartością odczytaną z tablicy t - Studenta dla N-2 stopnia swobody i współczynnika ufności $1 - \alpha$.

13.2. Realizacja metody tendencji rozwojowej

Algorytm metody tendencji rozwojowej przedstawia rys.25. Obejmuje on cztery główne etapy postępowania:

OBSERWACJA polega na zebraniu danych empirycznych /zrealizowane w rozdziale 2;

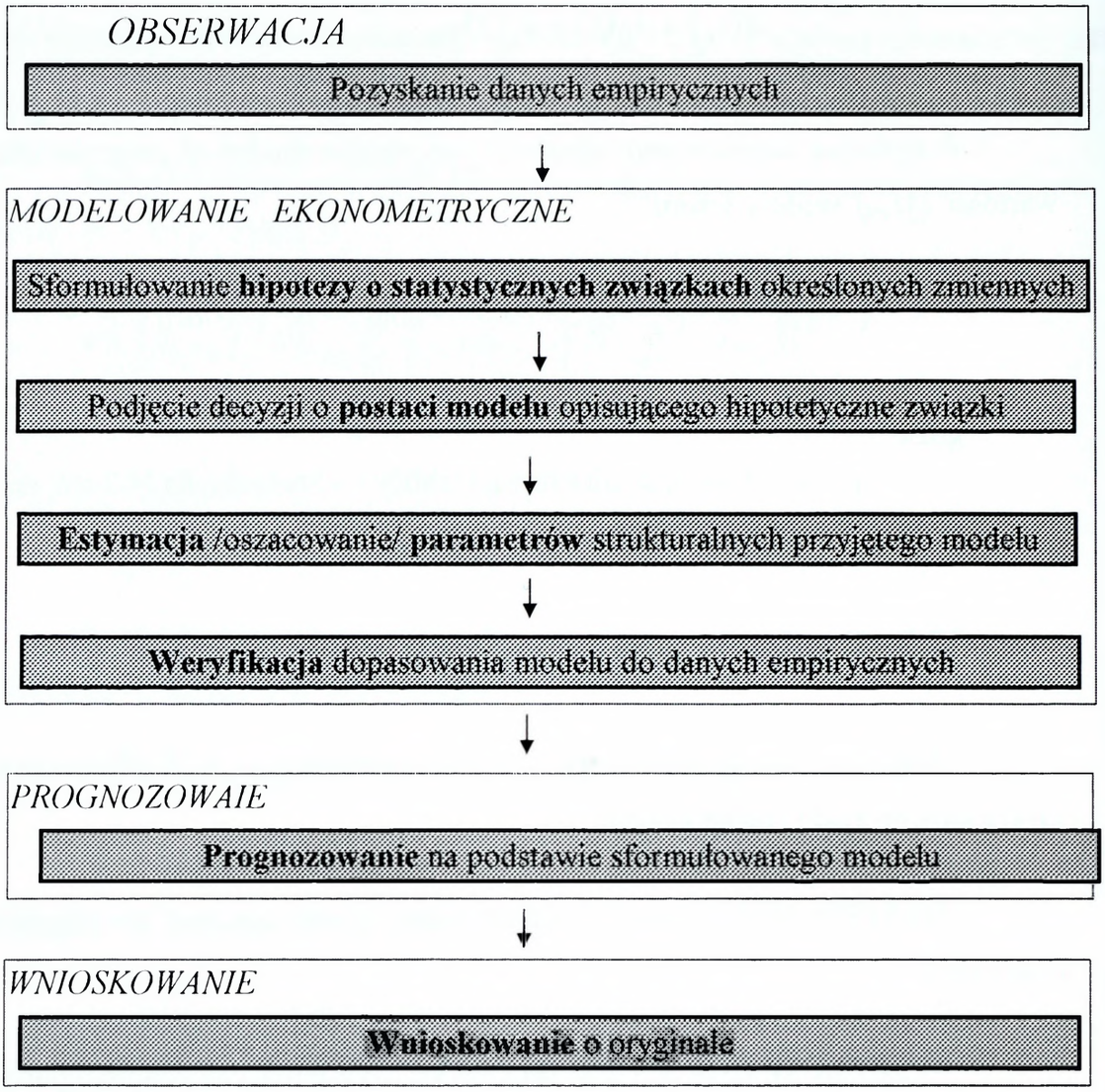
MODELOWANIE EKONOMETRYCZNE polega na wyborze postaci modelu /funkcji aproksymującej dane empiryczne/, oszacowaniu jego parametrów i obliczeniu błędów dopasowania;

PROGNOZOWANIE polega na arytmetycznym obliczeniu wartości funkcji aproksymującej dla następnych punktów;

WNIOSKOWANIE polega na przyjęciu /z obliczonym prawdopodobieństwie/ prognozowanych wartości jako oceny przyszłego stanu oryginału.

---

[106] *J. Greń - Op. cit., ss.223.*



Rys.25. Algorytm metody tendencji rozwojowej

ŹRÓDŁO: Opracowanie własne

W punktach 3.2.1. - 3.2.3. szczegółowo opisane zostały ważniejsze etapy.

13.2.1. Podjęcie decyzji o postaci modelu opisującego hipotetyczne związki

Metoda trendu określona ogólnie (7) polega na wyborze postaci analitycznej modelu /funkcji/ f tendencji rozwojowej najlepiej dopasowanej do danych

empirycznych. Może to być funkcja liniowa, która jest najczęściej stosowana lub dowolna inna /z klasy ciągłych i różniczkowalnych/. Funkcję liniową przyjmujemy do aproksymacji, jeżeli dla badanej zmiennej bezwzględne przyrosty wartości przypadające na badaną chwilę czasu są w przybliżeniu stałe. Jej postać jest następująca:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \varsigma_t$$

Z innych typów funkcji stosowane są najczęściej: wykładnicza i logistyczna. Jeżeli zmienna charakteryzuje się tym, że jej okresowy /międzywęzłowy/ przyrost jest proporcjonalny do już osiągniętego poziomu, to stosowany jest trend wykładniczy. Postać funkcji wykładniczej jest następująca:

$$y_t = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 t) + \varsigma_t$$

Jeżeli zmienna posiada tendencję szybkiego wzrostu na początku, natomiast po przekroczeniu pewnego poziomu prędkość wzrostu zaczyna słabnąć i następuje stabilizacja, to stosowany jest trend logistyczny. Jego postać jest następująca:

$$y_t = \frac{1}{\alpha_0 - \alpha_1 t^{-1}} + \varsigma_t$$

Popularną klasą funkcji stosowaną w trendach są wielomiany algebraiczne. Wybór dotyczy jedynie stopnia wielomianu[107]. Zalecane są następujące metody jego wyboru:

- przez analizę danych empirycznych /dla wielomianu i - tego stopnia powinny być stałe i - te przyrosty badanej zmiennej y_t /;
- przez badanie wariancji składnika losowego po oszacowaniu parametrów modelu.

Wśród wielomianów dość często wykorzystywany jest wielomian drugiego stopnia /funkcja kwadratowa/ postaci:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \varsigma_t .$$

---

[107] *M. Krzysztofiak, D. Urbanek - Metody statystyczne, PWN, Warszawa 1981, ss. 81.*

13.2.2. Estymacja /oszacowanie/ parametrów przyjętego modelu

Zakładając, że nasza hipoteza co do postaci modelu jest słuszna, tzn. model jest w przybliżeniu zgodny z rzeczywiście występującym związkiem między zmienną objaśnianą a zmiennymi objaśniającymi, mamy określić liczbowo parametry tego związku /nie znając wszystkich możliwych realizacji zmiennych tworzących model, ale tylko niektóre z nich/. Najczęściej stosowane są dwie metody estymacji: metoda najmniejszych kwadratów i podwójna metoda najmniejszych kwadratów. Metody te są bardzo interesujące tak z teoretycznego punktu widzenia jak i ich numerycznej realizacji[108]. Jednak wykracza to poza granice naszych zainteresowań. Tym bardziej, że obecnie obliczenia te realizuje się w dość powszechnie znanych pakietach software'owych.

13.2.3. Weryfikacja dopasowania modelu do danych empirycznych

Modele różnią się dokładnością dopasowania do danych empirycznych /wyników obserwacji/. Powstaje problem:, kiedy dokładność jest na tyle wystarczająca, aby można było posłużyć się modelem do przewidywania i czy można ocenić błąd, jaki popełnimy opierając prognozę na określonym modelu.

Oczywistym jest, że błąd prognozy obliczyć można dopiero po porównaniu wartości prognozowanej z rzeczywistą, jaką zmienna przewidywana przyjęła - a więc post factum. Można natomiast oszacować prawdopodobieństwo popełnienia błędu o określonej wielkości oraz tzw. średni błąd predykcji /pierwiastek z oczekiwanej wartości kwadratu odchylenia prognozy dokonanej na podstawie modelu od rzeczywistej wartości wielkości prognozowanej. Natomiast, jeżeli chodzi o ocenę dopasowania funkcji trendu do wyników obserwacji to stosowane są różne miary. Najbardziej oczywistą jest obliczenie odchyleń wartości zaobserwowanych od teoretycznych. I dlatego najczęściej stosowany jest współczynnik zgodności /zbieżności/ modelu z wynikami obserwacji. Określony jest wzorem /14/:

$$\Phi^2 = \frac{S^2_{\min}}{\Sigma\left(y_n - \hat{y}\right)^2} \qquad (14)$$

---

[108] *M. Dryja, J i M. Jankowscy, Przegląd metod i algorytmów numerycznych, cz.2, WN-T, 1982, ss.141 i dalsze.*

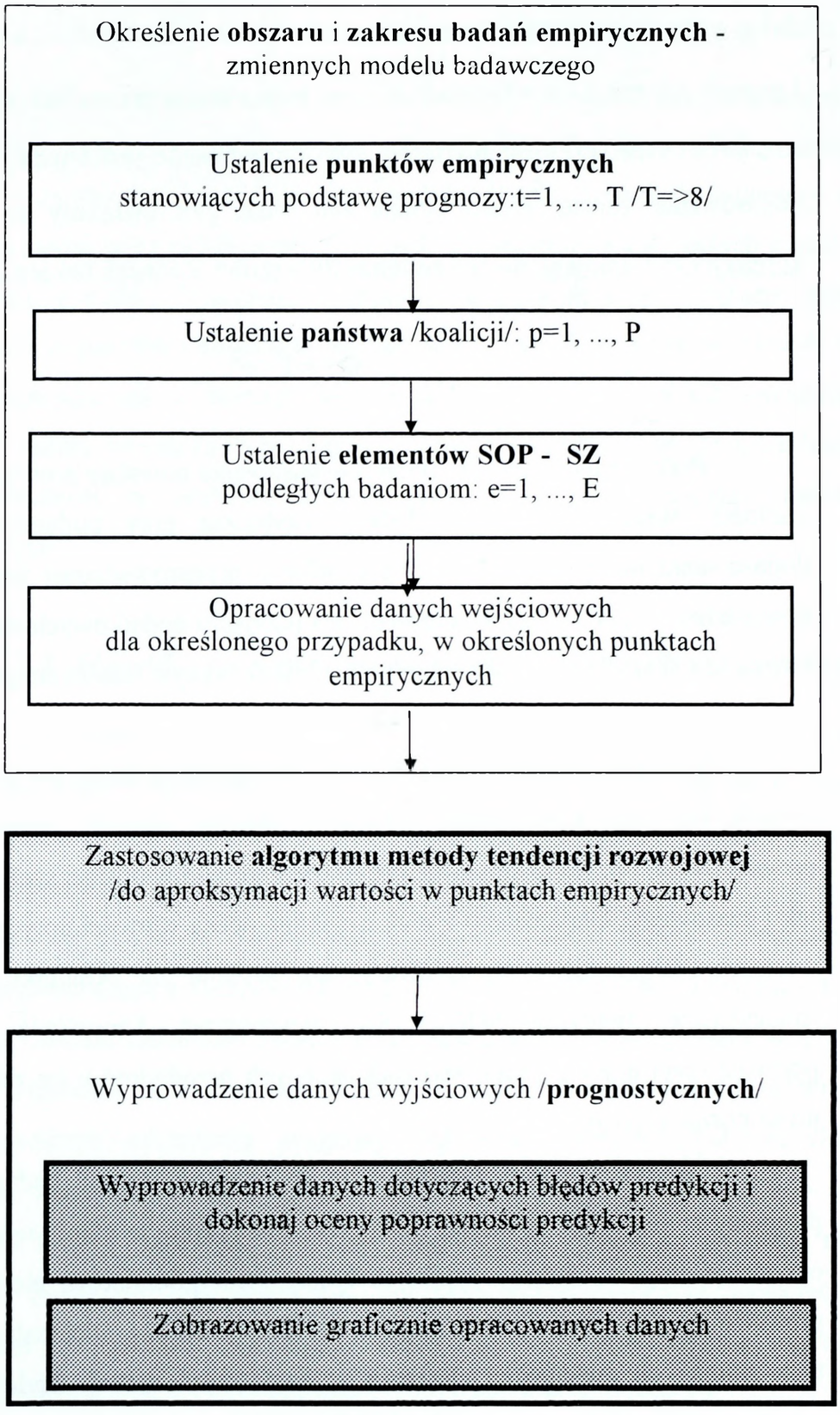
i posiada istotne dwie własności: (1) jest wielkością niemianowalną i (2) unormowaną /$0 \leq \Phi^2 \leq 1$/. Im Φ^2 jest bliższe 0, tym dopasowanie jest lepsze, im bliższe 1, tym dopasowanie gorsze. Współczynnik ten ściśle jest związany ze współczynnikiem korelacji / r / liniowej /dwóch zmiennych/ z próby. Związek ten jest następujący:

$$\Phi^2 = 1 - r^2$$

Przy już określonych miarach dopasowania powstaje problem ich krytycznych wartości. Wiedza, o których byłaby użyteczna przy podejmowaniu decyzji o dopasowaniu modelu /i pewności prawidłowo przeprowadzonej weryfikacji/. Należy powiedzieć, że jest to sprawa umowna. Po przyjęciu dodatkowych założeń i konwencji można je wskazać posługując się odpowiednio dobranym testem statystycznym.

Na rys.26 przedstawiono schemat postępowania badawczego z zastosowaniem metody tendencji rozwojowej, realizacja, którego pozwoli przeprowadzić analizę prognostyczną i uzyskać stosowne prognozy; zarówno w postaci szeregu rozdzielczego, jak i czasowego. Dla każdego z nich uzyskana ocena wartości dotyczyć może: ogólnej wartości SOP i SZ i jej struktury /ze względu na składniki /organizacyjne i funkcjonalne/ tworzące SOP i SZ/ wewnętrznej. Umożliwia przeprowadzenie porównawczej analizy prognostycznej badanych przedmiotów /w zbiorze określonym przez postać szeregu/.

W przedstawionym, uogólnionym /ze względu na cel badawczy/ algorytmie prognozy zmian stanu /rozwoju/ SOP i SZ, zaznaczono te etapy, w których właściwe określenie zmiennych /ciąg jednostek czasu, zbiór podmiotów, elementy SOP i SZ, prowadzi do osiągnięcia zakładanego celu. Przedstawiona opcjonalność definiowania tych zmiennych uwidacznia elastyczność zastosowań metody badawczej dotyczącej prognozy zmian stanu /rozwoju/ SOP i SZ.



Rys. 26. Schemat postępowania badawczego z zastosowaniem metody tendencji rozwojowej

ŹRÓDŁO: Opracowanie własne

14. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH METOD EKONOMETRII PRZESTRZENNEJ

14.1. Modele ekonometryczne

Modele ekonometryczne wyjaśniające mechanizm kształtowania się i rozwoju zjawisk ekonomicznych uwarunkowanych przestrzennie (terytorialnie) określa się mianem przestrzennych modeli ekonometrycznych.

Z budową modeli przestrzennych wiąże się wiele istotnych problemów zarówno natury ekonomicznej, jak i formalnostatystycznej, z których do najważniejszych należą:

- właściwe określenie postaci matematycznej modelu (typu zależności między zmiennymi uwzględnionymi w modelu),
- właściwy dobór zestawu zmiennych objaśniających,
- badanie współzależności przestrzennych oraz przestrzenno-czasowych,
- dokonanie odpowiedniej klasyfikacji przestrzennej,
- posiadanie odpowiedniej bazy informacji statystycznych,
- zastosowanie właściwej (najlepszej) metody estymacji parametrów modelu,
- określenie wartości predyktywnej modelu.

Z punktu widzenia budowy i estymacji parametrów modele przestrzenne dzielimy na:

- przestrzenne modele statyczne,
- przestrzenne modele dynamiczne.

Modele ekonometryczne budowane i estymowane na podstawie danych przekrojowych, a więc dotyczące analizowanych obiektów gospodarczych[109] w wybranym momencie, są określane mianem statycznych modeli przestrzennych, a modele oparte na danych przekrojowo-czasowych, a więc opisujące mechanizmy rozwoju zjawisk zarówno w czasie jak i w przestrzeni, nazywamy przestrzennymi modelami dynamicznymi. Modele statyczne i dynamiczne mogą dotyczyć zagadnień makro- lub mikroekonomicznych.

Jak wiadomo, istotnym etapem budowy modelu ekonometrycznego jest właściwa jego specyfikacja. Polega ona na podaniu dokładnego opisu zależności między zmiennymi, które winny znaleźć się w modelu, oraz na nadaniu tym zależnościom ściśle określonej postaci matematycznej. Od wyjściowej, bowiem struktury modelu, liczby zmiennych, charakteru zależności występujących między zmiennymi, dostępności danych statystycznych zależą

[109] *Obiektami mogą być np. kraje, województwa, miasta, regiony*

możliwości szacowania parametrów, przyjęcie określonych metod estymacji oraz weryfikacja i praktyczna przydatność modelu.

W literaturze przedmiotu można spotkać pogląd o wyższości modeli przyczynowo-opisowych nad innymi typami modeli ekonometrycznych. Pogląd ten przeważa również w przypadku ilościowych badań zagadnień przestrzennych. Niemniej jednak, jak wskazują dotychczasowe badania, w tego rodzaju analizach wykorzystywane są, niejednokrotnie z dobrym skutkiem, inne typy modeli ekonometrycznych, a także metody z zakresu programowania matematycznego czy badań operacyjnych.

Określenie postaci analitycznej modelu jest możliwe dwoma metodami postępowania: dedukcyjną i empiryczną. Metoda dedukcyjna polega na wykorzystaniu wyników wnikliwej analizy merytorycznej badanych zjawisk, teorii wzrostu gospodarczego oraz procedur matematyczno-statystycznych. Należy przy tym uwzględnić także specyfikę warunków społeczno-gospodarczych badanych regionów (obiektów). Stosowanie tej metody może jednak doprowadzić do ustalenia takiej postaci analitycznej modelu, która z różnych przyczyn (np. brak odpowiednich danych) nie może być zastosowana w praktyce. Metoda empiryczna polega natomiast na budowie i szacowaniu modeli o różnych typach zależności i wyborze tego spośród nich, który spełnia określone warunki[110].

Następnym, ważnym problemem jest dokonanie odpowiedniej klasyfikacji przestrzennej. Ważną rolę odgrywają tu procedury grupowania i porządkowania obiektów, którym poświęcono wiele miejsca w literaturze z zakresu taksonomii numerycznej, a także w pracy].

Z budową modeli przestrzennych wiąże się ponadto wiele innych problemów, które wymagają szerszej analizy. Do takich zagadnień należy między innymi problem doboru zmiennych objaśniających. O ile w podejściu klasycznym określone zmienne endogeniczne są wyjaśniane za pomocą lokalnych zmiennych objaśniających (należących do tego samego układu czy regionu gospodarczego co zmienna endogeniczna), o tyle w przypadku modeli przestrzennych istnieje konieczność uwzględniania przestrzennych efektów oddziaływania określonych zmiennych. W badaniach dotyczących regionalnej gospodarki Stanów Zjednoczonych Ameryki Płn. wykazano, że badanie poziomu dochodu jako funkcji zmiennych mierzonych lokalnie w poszczególnych stanach, bez uwzględnienia przestrzennych niedoborów i nadwyżek, prowadziło do negatywnych wyników. Podobnie wyjaśnianie działalności przemysłowej poszczególnych stanów za pomocą zmiennych

---

[110] *Warunkiem podstawowym jest założony cel badań, np. wartość informacyjno-opisowa modelu lub wartość prognostyczna.*

objaśniających pochodzących z tych samych stanów dawało wyniki sprzeczne ze znanymi powiązaniami i zależnościami obserwowanymi w tablicach *input-output*).

Równie istotnym problemem w modelowaniu zagadnień przestrzennych jest analiza zależności przestrzennych oraz przestrzenno-czasowych. Metody wykrywania tzw. autokorelacji przestrzennej oraz estymacji modeli ekonometrycznych w przypadku istnienia silnej autokorelacji zostaną dokładnie omówione w dalszych częściach pracy.

Typowym przykładem modelu uwzględniającego powiązania przestrzenne (regionalne) miedzy zmiennymi jest model opracowany przez L.Fi. Klaassena, J.H.P. Paelincka i S. Wagenaara , dotyczący zagadnień z dziedziny lokalizacji gałęziowej. Model ten może być stosowany w przypadku jednego wybranego regionu lub też większej liczby regionów należących do określonego systemu regionalnego. Model ów, zwany "międzyregionalnym modelem przyciągania", został opracowany zarówno w wersji statycznej jak i dynamicznej. Autorzy omawiają problematykę estymacji oraz weryfikacji modelu, podkreślając, iż estymacja jego parametrów za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów nie dała zadowalających rezultatów. Lepsza, w sensie uzyskanych wyników estymacji oraz wartości predyktywnej modelu, okazała się w tym przypadku metoda największej wiarygodności.

Innym przykładem stosowania na szeroką skalę metod ekonometrycznych w badaniach przestrzenno-czasowych może być praca Zeliasia[111] poświęcona analizie rozwoju społeczno-gospodarczego 110 krajów prowadzonej za pomocą procedur z zakresu modelowania ekonometrycznego, taksonomii numerycznej oraz wielowymiarowej analizy porównawczej. W wyniku przeprowadzonych badań empirycznych dokonano porządkowania oraz grupowania krajów pod względem osiągniętego poziomu rozwoju, zbudowano różne typy modeli ekonometrycznych, które następnie wykorzystano do budowy prognoz rozwoju społeczno-gospodarczego analizowanych krajów.

14.2. Modele trendu powierzchniowego

W analizowaniu zjawisk i procesów gospodarczych o charakterze przestrzennym oprócz przyczynowo-opisowych modeli ekonometrycznych (jedno- i wielorównaniowych) istotne znaczenie mają modele typu bardziej ogólnego, jak np. modele procesów dyfuzji przestrzennej, modele trendu powierzchniowego, modele grawitacji zwane także modelami

---

[111] *Grabiński T (red), Globalne prognozy rozwoju społeczno – gospodarczego, PWN, 1983*

ciążenia oraz inne metody i procedury badawcze. Obecnie ograniczymy się do podania najważniejszych uwag na temat możliwości i zakresu stosowania tego typu modeli w analizie zjawisk społeczno-ekonomicznych posiadających wymiar przestrzenny.

Koncepcja trendu powierzchniowego powstała i rozwinęła się początkowo w geologii. Za twórcę tej metody uważa się F. Granta. Późniejsze badania wykazały, że analiza trendu powierzchniowego umożliwia wyjaśnianie przestrzennych zmian zjawisk społeczno-ekonomicznych. Metoda ta pozwala bowiem na łączenie wymiarów przestrzeni geograficznej i aspektów społeczno-ekonomicznych analizowanych zagadnień.

Jak wynika z dotychczasowych badań, modele trendów powierzchniowych znajdują zastosowanie w analizowaniu takich zagadnień, jak:

- badanie struktury przestrzennej różnych zjawisk społeczno-gospodarczych, np. przemysłu, rolnictwa, handlu i usług,
- modelowanie przestrzennych układów społeczno-ekonomicznych,
- badanie aglomeracji miejskich i osadniczych,
- prowadzenie analizy porównawczej struktur przestrzennych.

Metoda trendu powierzchniowego polega na szacowaniu takiego modelu, w którym zmienne niezależne stanowią współrzędne położenia geograficznego lub odległości od pewnego punktu orientacyjnego. Oczywiście, jeżeli badane zjawisko Y ulegało zmianom w przestrzeni, to dlatego, że wraz z odległością zmianie ulegały również inne wielkości, od których Y zależy.

Model trendu powierzchniowego ma więc postać równania regresji wielorakiej w przestrzeni trójwymiarowej. Jeżeli operujemy mapą rozkładu zmiennej Y, tzw. zmiennej reakcji dla zbioru punktów o określonej lokalizacji przestrzennej, to analiza trendu powierzchniowego polega na tym, że do empirycznej powierzchni rozkładu analizowanej cechy dopasowuje się metodami statystycznymi powierzchnię teoretyczną.

Model trendu powierzchniowego jest więc aproksymowanym równaniem regresji zmiennej Y ze względu na dwie zmienne niezależne U i V, będącymi współrzędnymi położenia geograficznego w układzie dwuwymiarowym. Ogólną postać modelu trendu powierzchniowego można zapisać następująco:

$$Y_{ij} = f(U_i, V_j) + \xi_{ij}$$

gdzie :

Y_{ij} - obserwowana wartość zmiennej zależnej o lokalizacji geograficznej (U_i, V_j)

U_i, V_j współrzędne położenia geograficznego,

$f(U_i, V_j)$ funkcja trendu o dowolnej postaci matematycznej,

ξ_{ij} składnik losowy.

Drugim typowym rodzajem trendu powierzchniowego jest relacja, która określonej wartości zmiennej zależnej Y przyporządkowuje nie dwie współrzędne jej lokalizacji, lecz jedną zmienną objaśniającą D, która jest odległością od pewnego punktu orientacyjnego. W ten sposób pierwotny układ trójwymiarowy, w którym obiektem modelowania jest pewna płaszczyzna, został zastąpiony układem dwuwymiarowym.

Model przybiera wówczas matematyczną postać linii prostej lub krzywej zgodnie z relacją:

$$Y = f(D) + \xi$$

gdzie :

Y - empiryczna wartość zmiennej badanej,

f(D) - funkcja trendu ze względu na odległość D,

ξ - zmienna losowa.

Oszacowane metodą najmniejszych kwadratów parametry trendu powierzchniowego odzwierciedlają siłę i kierunek regionalnych tendencji w rozwoju przestrzennej struktury zjawiska. Trend może przyjąć postać jednej z wielu typowych zależności funkcyjnych, z tym jednak, że najczęściej przyjmuje się funkcje pierwszego, drugiego lub trzeciego stopnia. W praktyce badawczej zwykle dobiera się najprostsze zależności funkcyjne.

Estymacja i analiza trendu powierzchniowego polega z jednej strony na wyrównaniu przestrzennego rozkładu rozpatrywanej wielkości Y najlepiej dopasowaną do rzeczywistości teoretyczną powierzchnią trendu oraz, z drugiej strony, na analizie przestrzennego rozkładu reszt.

Analiza wielkości resztowych oraz ich opracowanie kartograficzne dają podstawę właściwej interpretacji i wnioskowania dotyczącego prawidłowości kształtujących rozmieszczenie modelowanego zjawiska w przestrzeni[112].

Podobnie jak na rozwój zjawisk i procesów w czasie wpływa zespół czynników regularnych i przypadkowych, tak i na przestrzenny rozwój zjawisk wpływa zespół

---

[112] *Bardziej szczegółowe rozważania na ten temat można znaleźć w pracy A. Szromnika, Wykorzystanie modeli trendów powierzchniowych w analizie .przestrzennego rozkładu sprzedaży detalicznej w miastach, „HW", 1979 nr. 6.*

czynników głównych i przypadkowych. Czynniki główne to te, które determinują ogólne prawidłowości rozwoju i rozmieszczenia zjawisk w przestrzeni, określane jako tzw. czynniki regionalne. Czynniki przypadkowe zakłócają natomiast ogólny obraz rozpatrywanego zjawiska w przestrzeni. Wywołują w mniejszym lub większym stopniu taki jego rozwój, który nie jest zgodny z żadną znaną ogólną prawidłowością kształtowania się struktur przestrzennych.

Ważnym przykładem są czynniki określane nazwą "lokalne", powodujące występowanie lokalnych odchyleń i różnic w stosunku do nakreślonego przez "czynnik regionalny" ogólnego obrazu rzeczywistości.

Przydatność modeli trendów powierzchniowych w analizie zjawisk społeczno - ekonomicznych mających wymiar przestrzenny lub dynamiczno - przestrzenny jest duża, czego potwierdzeniem jest bogata literatura zarówno krajowa jak i anglosaska[113]

14.3. Modele dyfuzji przestrzennej

Studia w zakresie teorii dyfuzji przeniosły się ostatnio na grunt badań społeczno--ekonomicznych. Zaproponowane przez T. Hagerstranda modele procesów dyfuzji wywołały ożywioną dyskusję w wielu krajach i stały się podstawą dalszych badań nad dyfuzją przestrzenną różnych zjawisk. Zakres tematyczny prowadzonych badań dotyczył różnorodnych zagadnień (organizacja systemów miejskich, przemieszczanie się upraw, rozprzestrzenianie się ras itp.). Ostatnio badania koncentrują się coraz częściej na przestrzennej dyfuzji innowacji (np. upowszechnianie innowacji rolniczych, motoryzacyjnych, dyfuzja komputeryzacji).

W badaniach dyfuzji zaproponowano wiele modeli ilościowych. Niektóre z nich mają zastosowanie ograniczone tylko do specyficznych procesów, inne natomiast, mimo iż budowane były w ramach jednej dyscypliny, są przenoszone i stosowane w innych dziedzinach badawczych, często w zagadnieniach medycznych, społecznych, gospodarczych, socjologicznych itp.

W zależności od rodzaju funkcji zastosowanych przy konstrukcji modelu będziemy mieć do czynienia z modelem deterministycznym. - opartym na rachunku różniczkowym lub całkowym, bądź z modelem probabilistycznym – wykorzystującym teorię procesów stochastycznych.

---

[113] *np. prace P. Haggetta, P.O. Mallera, T. Czyża, Z. Chojnickiego, oraz A. Szromnika.*

Można przyjąć, że proces upowszechniania innowacji ulega rozwojowi w czasie pod wpływem oddziaływania ' określonego źródła informacyjnego, działającego jednakowo na każdą osobę wchodzącą w skład badanej populacji. Zakładając, że przyrost liczby zwolenników innowacji jest proporcjonalny do upływu czasu, zależność tę można wyrazić w postaci funkcji liniowej. W rzeczywistości jednak rzadko w tego typu badaniach mamy do czynienia z zależnością liniową, częściej natomiast występują zależności innego typu. Na przykład M. Tabin procesy dyfuzji innowacji opisuje za pomocą funkcji typu:

$$y_t = n\,(1 - e^{-\varphi t})$$

gdzie :

y_t - liczba zwolenników danej innowacji w okresie t,

n - całkowita liczebność populacji,

φ - współczynnik proporcjonalności, wyrażający skuteczność działania źródła informacji lub podatności osób należących do populacji na oddziaływanie źródła,

t - zmienna czasowa.

Interpretacja wyników na podstawie krzywej tego typu pozwala odpowiedzieć na wiele istotnych pytań, jak np. kiedy szybkość dyfuzji analizowanego zjawiska jest największa, po upływie jakiego czasu dana populacja zostanie objęta dyfuzją omawianego typu? Z modelu tego wynika, iż liczba osób objętych dyfuzją zbliża się w czasie asymptotycznie do liczebności populacji, a proces przebiega najszybciej w fazie początkowej. Tego typu model odpowiada sytuacji, gdy pewne innowacje początkowo przyjmowane są szybko, a następnie zainteresowanie nimi maleje, tzn. liczba zwolenników w dalszym ciągu wzrasta, lecz tempo wzrostu jest znacznie słabsze.

Innego typu modele dyfuzji zostały opracowane m.in. przez M.S. Bartletta i dotyczyły zagadnień epidemiologicznych. Przyjmuje się w nich, iż innowacja określonego rodzaju rozpowszechnia się za pośrednictwem kontaktów między osobami wchodzącymi w skład danej populacji, a nie jak poprzednio na skutek stałego źródła informacji. Zaproponowany przez M.S. Bartletta model dyfuzji po odpowiednim przekształceniu przyjmuje postać:

$$y = \frac{ne^{n\alpha t}}{n - 1 + e^{n\alpha t}}$$

przy czym : (1.4)

$$\alpha = \frac{\psi\beta}{n}$$

gdzie ψ i β są wartościami parametrów informującymi o liczbie nawiązanych kontaktów odpowiednio przez zwolenników i osób nie będących zwolennikami danej innowacji, przy czym $0 <= \psi <= 1$. Dla uproszczenia przyjmuje się, że oszacowane wartości parametrów ψ i β są jednakowe dla wszystkich osób w danej populacji, a wówczas α = *constans*.

Proces dyfuzji opisany za pomocą powyższego równania będzie przebiegać najwolniej w początkowej i końcowej fazie, najszybciej natomiast wtedy, gdy liczby zwolenników i osób nie będących zwolennikami są równe lub zbliżone do siebie. Ponadto procesy dyfuzji określonych zjawisk mogą być opisywane za pomocą znanej krzywej logistycznej, której odpowiednie parametry określają stany zaawansowania procesu dyfuzji innowacji oraz szybkości jej przebiegu.

Oprócz .deterministycznych modeli dyfuzji w niektórych rodzajach zagadnień pewne procesy są opisywane za pomocą modeli stochastycznych. Dotyczy to zwłaszcza zagadnień społeczno-ekonomicznych, gdzie określone zmienne mają charakter losowy.

Wymienione wyżej typy modeli dyfuzji są oparte na bardzo prostych założeniach, że rozprzestrzenianie się danej innowacji nie napotyka istotnych przeszkód. W rzeczywistości jednak występują różnego rodzaju bariery, które w istotny sposób wpływają na przebieg procesu dyfuzji. Zjawiska takie winny być uwzględniane w modelu poprzez wprowadzenie na przykład dodatkowych zmiennych lub określonych współczynników (np. dystansy proporcjonalności). W efekcie konstruowany model będzie bardziej złożony, a jego estymacja oraz interpretacja uzyskanych wyników mogą być trudniejsze.

14.4. Modele grawitacji i ciążenia

Stosunkowo liczną grupę modeli znajdujących zastosowanie w badaniach przestrzennych stanowią modele grawitacji (ciążenia). Modele te mogą być wykorzystane do badania migracji ludności, przepływów pieniężnych, towarowych, przestrzennej zmienności dochodów, popytu i podaży rynkowej oraz innych zjawisk i procesów mających wymiar przestrzenny.

W modelach grawitacji najważniejszymi problemami są: określenie jednostek przestrzennych[114], ustalenie mas tych jednostek (wielkości charakteryzujących poszczególne jednostki przestrzenne, np.. liczby ludności, wielkości produkcji, dochodu narodowego, obrotów handlu zagranicznego) oraz zdefiniowanie pojęcia odległości między jednostkami. Najogólniej biorąc model ciążenia można zapisać w postaci:

$$Y_{ij} = k \frac{\omega_i (P_i)^{\alpha} \omega_j (P_j)^{\beta}}{d_{ij}^{\gamma}}$$

gdzie :

Y_{ij} - wielkość oddziaływania między i-tą oraz j-tą jednostką przestrzenną,

P_i, P_j - masy i-tej oraz j-tej jednostki (regionu),

d_{ij} - odległość między tymi jednostkami,

k - wielkość stała (tzw. stała ciążenia),

ω_i, ω_j - wagi nadane odpowiednim masom,

α, β, γ - parametry (wykładniki potęgowe mas i odległości),

n - liczba jednostek przestrzennych.

W modelach ciążenia przyjmuje się więc, że wzajemne oddziaływanie między jednostkami przestrzennymi zmienia się wprost proporcjonalnie do funkcji masy tych jednostek, a odwrotnie proporcjonalnie do funkcji odległości między nimi.

W modelach grawitacji analizowane są wzajemne oddziaływania między poszczególnymi parami jednostek przestrzennych, a w modelach potencjału - oddziaływanie na i-tą jednostkę przestrzenną wszystkich pozostałych jednostek.

Przyjmuje się, że całkowity potencjał i-tej jednostki przestrzennej stanowi sumę potencjałów cząstkowych wytworzonych przez pozostałe jednostki. Jest on więc funkcją masy tych jednostek oraz odległości między i-tą jednostką przestrzenną a pozostałymi jednostkami uwzględnionymi w badaniu.

---

[114] *Określenie jednostki przestrzennej jest zasadniczo uwarunkowane zakresem prowadzonej analizy oraz dostępnością informacji statystycznych. Jednostką przestrzenną może być region gospodarczy, województwo, miasto, kraj itp.*

14.5. Metody grafowe

W badaniach przestrzenno-ekonomicznych mogą ponadto znaleźć zastosowanie innego typu procedury badawcze, jak np. metody i techniki grafowe, metody symulacyjne oraz szeroko rozumiane procedury optymalizacyjne z zakresu teorii programowania matematycznego oraz badań operacyjnych.

Metody z zakresu teorii grafów znajdują szerokie zastosowanie w zagadnieniach ekonomiczno-geograficznych, zwłaszcza tam, gdzie istotną rolę odgrywa badanie struktury. W zasadzie pierwsze zastosowania teorii grafów w tego typu badaniach pojawiły się dopiero w latach sześćdziesiątych, ale można już znaleźć sporą liczbę prac, w których korzysta się z elementów tej teorii. Stosunkowo dużo prac dotyczy analizy układów transportowych, osadniczych, a także teorii równowagi oraz zagadnień regionalizacji.

Na gruncie teorii grafów została opracowana metoda umożliwiająca delimitację tzw. regionów węzłowych oraz ich hierarchizację. Relację przyporządkowania przedstawia się tu za pomocą tzw. grafu skierowanego.

Z regionalizacją związany jest graf zwany taksonomicznym. W takim grafie (drzewie) wierzchołki odpowiadają jednostkom taksonomicznym, a krawędzie określają przyporządkowanie lub hierarchizację.

Techniki grafowe bywają ponadto stosowane w badaniach dotyczących optymalnego podziału obszaru pomiędzy konkurujące ośrodki. Na podstawie tzw. grafów wielokątnych (foremnych) tworzy się mozaikę, która jest podstawą podziału obszaru na jednostki regularne.

W literaturze przedmiotu znane są także inne przykłady zastosowania teorii grafów w badaniach przestrzennych, np. w badaniach struktury morfologicznej osiedli, w analizach równowagi strukturalnej określonych układów społeczno--gospodarczych. Istnieją ponadto możliwości wykorzystania teorii grafów w badaniach systemowych i szeroko rozumianej analizie struktur przestrzennych. .

14.6. Metody optymalizacyjne

Odrębną grupę metod ekonometrii przestrzennej stanowią modele optymalizacyjne, wchodzące w zakres teorii programowania matematycznego i badań operacyjnych. Nie będziemy w tym miejscu poświęcać wiele uwagi tym modelom, niemniej jednak warto

podkreślić, iż optymalizacja przestrzenna to wspólne pole badań matematyki, ekonomii, geografii, planowania gospodarczego i przestrzennego, a w niektórych zagadnieniach także innych dyscyplin, jak np. nauk rolniczych.

Modele optymalizacyjne można podzielić na dwie grupy, a mianowicie modele statyczne, czyli takie, które pozwalają znaleźć optymalny stan jakiegoś zjawiska lub optymalne miejsce w przestrzeni bez uwzględnienia czynnika czasu, oraz modele dynamiczne służące w zasadzie do optymalizacji sterowania systemów dynamicznych (procesów).

Najczęściej rozwiązywanymi problemami optymalizacji przestrzennej są zagadnienia transportowe, ale także wśród analizowanych problemów są zagadnienia społeczno – gospodarcze, ekologiczne dotyczące zanieczyszczenia środowiska naturalnego oraz jego ochrony, lokalizacyjne, urbanistyczne i inne.

Zastosowanie modeli optymalizacyjnych w badaniach przestrzennych może w efekcie prowadzić do opracowania modeli optymalnych poszczególnych elementów systemu społeczno-ekonomicznego w ujęciu np. regionalnym bądź krajowym, jak też do opracowania optymalnego modelu całego analizowanego systemu.

14.7. Metody symulacyjne

Na zakończenie rozważań dotyczących możliwości wykorzystania metod ilościowych (matematycznych) w badaniach przestrzennych należy wspomnieć o istnieniu obszarów zastosowań metod symulacyjnych w tego typu badaniach. Rozpowszechnienie technik symulacyjnych, związane przede wszystkim z szybkim rozwojem elektronicznej techniki obliczeniowej, pozwala im wniknąć również w tę dziedzinę zastosowań. W zasadzie techniki symulacyjne odgrywają istotną rolę w analizach dyfuzji przestrzennej różnych zjawisk. Przykładem tego są klasyczna praca T. Hagerstranda oraz późniejsze publikacje dotyczące modelowania procesów dyfuzji.

Stosunkowo długą tradycję ma symulacja zagadnień transportowych w ujęciu przestrzennym, mimo to niewiele jest prac poświęconych temu zagadnieniu, choć problemy transportowe mają z natury charakter przestrzenny i są uwzględniane w większości symulacyjnych modeli regionalnych.

Spośród opracowań literatury krajowej warto wymienić prace T. Zipsera[115] dotyczącą symulacyjnych modeli wzrostu miast.

Metody i techniki symulacyjne w badaniach przestrzennych nie mają charakteru dominującego, niemniej jednak odgrywają ważną rolę.

[115] Zipser T. *Modele symulacyjne wzrostu miast oparte na modelu procesu wyboru celów*, „Przegląd Geograficzny" 1972, t.XLIV, z. 3.

15. PODSTAWY INFORMACYJNE EKONOMETRII PRZESTRZENNEJ

15.1. Wybór jednostki badawczej

Wybór jednostki badawczej (obiektu badań) zależy od celu oraz charakteru podejmowanych analiz i tylko z pozoru nie stwarza wielu problemów. Podstawowym warunkiem, jaki musi być w tym przypadku spełniony, jest konieczność zapewnienia porównywalności jednostek badawczych z punktu widzenia tych własności (cech), które stanowić będą przedmiot rozważań.

Spotykane w praktyce jednostki badawcze można podzielić na trzy grupy:

- naturalne,
- pseudonaturalne,
- sztuczne.

Jednostkami naturalnymi są obiekty stanowiące wyodrębnioną od otoczenia całość, np. gospodarstwo domowe, przedsiębiorstwo, jednostka morfologiczna.

Jednostkami pseudonaturalnymi są agregaty jednostek naturalnych wyodrębnione dla celów administracyjnych, planistycznych, wojskowych, sądowniczych, kościelnych lub statystycznych. Są to najczęściej wsie, gminy, dzielnice, miasta, województwa, makroregiony, rejony spisowe, kraje, grupy krajów. Charakterystyczną cechą tych jednostek jest ich nieregularność oraz zróżnicowanie w kształcie i wielkości. Dla zachowania warunku porównywalności tych obiektów niezbędna jest relatywizacja cech poprzez odniesienie ich wartości do powierzchni jednostki.

Jednostkami sztucznymi są regularne w sensie kształtu, wielkości i położenia w przestrzeni figury geometryczne wypełniające w całości obszar, którego dotyczy badanie. Na ogół są to sieci trójkątów równobocznych, kwadratów lub sześciokątów foremnych. Opis własności tych obiektów jest możliwy za pomocą bezpośrednich pomiarów cech, bez ich relatywizowania.

Z uwagi na dostępność danych w badaniach ekonomicznych dominują dwa pierwsze typy obiektów, przy czym koszt uzyskania informacji dla jednostek pseudonaturalnych jest o wiele mniejszy niż dla jednostek naturalnych.

Należy ponadto podkreślić, że jednostki przestrzenne są w badaniach ujmowane punktowo. Oznacza to, że danej jednostce przyporządkowuje się określone wartości cechy bez względu na jej zróżnicowanie i lokalizację wewnątrz jednostki.

15.2. Określenie cech obiektów

Podobnie jak określenie jednostek badania, tak i wybór opisujących je cech. (zmiennych) zależy przede wszystkim od celu i zakresu analizy. Niemniej jednak zawsze występują tu dwie przeciwstawne tendencje. Z jednej strony dąży się do maksymalizowania zasobu informacji o badanych obiektach w celu możliwie szczegółowej i pełnej ich charakterystyki, z drugiej zaś zbyt duża liczba cech utrudnia interpretację wyników oraz zwiększa koszty badań.

Badania przestrzenne są zazwyczaj prowadzone na podstawie tzw. informacji wtórnych charakteryzujących się określonym stopniem agregacji. Rzadko korzysta się natomiast z materiałów źródłowych obejmujących wyniki bezpośrednich pomiarów, które stanowią podstawę otrzymywania informacji wtórnych. Warto jednak nadmienić o metodach pomiaru wielkości ekonomicznych.

Przez pomiar rozumie się czynność przedstawienia cech obiektów za pomocą symboli (liczb). Warunkiem poprawności pomiaru jest jego jednoznaczność, tzn. uzyskiwanie przez różne osoby takiego samego wyniku pomiaru.

Wyróżnia się następujące sposoby pomiaru:

- dychotomia: podział obiektów na dwie klasy w zależności od faktu posiadania lub nieposiadania danej cechy, np. podział ludzi według płci,
- numerowanie: przypisanie obiektom numerów będących synonimem ich nazwy, np. podział gospodarki narodowej na działy lub gałęzie,
- porządkowanie: numerowanie według stopnia nasilenia danej cechy, np. stopnie wojskowe, układ pierwiastków Mendelejewa, bonitacja gleb,
- pomiar właściwy: określenie miary liczbowej dla stopnia natężenia danej cechy w obiekcie za pomocą odpowiednich jednostek miar, np. cena towaru, temperatura w C, F, K, długość,
- zliczanie: ustalanie liczebności zbioru obiektów charakteryzujących się jakąś cechą lub określonym jej natężeniem.

Wyróżnionym sposobom pomiaru odpowiadają cztery różne skale pomiarowe:

- skala nominalna: służy do zliczania obiektów zdychotomizowanych lub ponumerowanych i pozwala jedynie na stwierdzenie ich identyczności lub różności,
- skala porządkowa: służy do zliczania obiektów uporządkowanych (porangowanych) umożliwiając ich porównywanie,
- skala interwałowa (przedziałowa): pozwala określić miarę różnicy między obiektami i przedstawić pomiar cechy za pomocą liczb rzeczywistych, przy czym charakteryzuje ją brak naturalnego punktu zerowego (jeśli nawet on istnieje, to ma umowny charakter, np. 0 w skali Celsjusza lub Fahrenheita),
- skala ilorazowa (stosunkowa): ma ona podobny charakter jak skala interwałowa, z tym że występuje w niej zero bezwzględne, w związku z czym dowolną wartość w tej skali można przedstawić jako wielokrotność innej.

Zmienne, ze względu na różne sposoby i skale pomiarowe, są dzielone na:

- zmienne skokowe (jakościowe), przyjmujące tylko przeliczalną liczbę wartości rzeczywistych; są to zmienne dwuwariantowe (binarne, dychotomiczne) lub wielowariantowe (dyskretne) i są mierzone w skalach słabszych (nominalnej lub porządkowej),
- zmienne ciągłe (ilościowe), przyjmujące nieprzeliczalną liczbę wartości rzeczywistych i mierzone w skalach silnych (przedziałowej lub ilorazowej).

Każda ze skal pomiarowych dopuszcza wykorzystywanie innych operacji i, co się z tym wiąże, innych metod analizy. Podstawowe własności poszczególnych sposobów i skal pomiarowych przedstawiono w tabeli. 4. Należy zauważyć, że skale uporządkowane są według ich "mocy", co oznacza, że wszystkie operacje i metody możliwe do zrealizowania na słabszej skali (np. nominalnej) są także wykonalne na skalach slniejszych (porządkowej, interwałowej, ilorazowej), ale nie odwrotnie.

Tabela 4. **Charakterystyka skal pomiarowych**

Skale	**Dopuszczalne operacje i relacje**	**Miary statystyczne**				**Rodzaje zmiennych**	
		położenia	zmienności	korelacji	testy istotności	ciągłe	skokowe
nominalna	relacje: równości, symetryczności, przechodniości ($A=B$, $A\neq B$. $A=B\rightarrow B=A$ $A=B\wedge B=C\rightarrow A=C$	modalna	entropia	współczynnik asocjacji	chi – kwadrat	-	płeć, stan cywilny
porządkowa	dodatkowo: większości ($A>B$, $A\geq B$. $A<B$, $A\leq B$)	mediana	percentyle	współczynnik korelacji rangowej	testy serii	jasność, zadowolenie, kwalifikacje	stopnie wojskowe
interwałowa	dodatkowo: równości różnic $B=A+(x_A-x_B)$	średnia arytmetyczna	odchylenie standardowe odchylenie średnie	współczynnik korelacji liniowej	test t test F	ciężar właściwy, stopnie Celsjusz, wynik finansowy	serie numerów, ceny towarów
ilorazowa	dodatkowo: równości ilorazów $B=A(x_A/x_B)$	średnia: geometryczna, harmoniczna	współczynnik zmienności	-	-	waga, wysokość, stopnie Kelvina	liczba dni, liczba dzieci

15.3. Transformacja skal pomiarowych

W większości ilościowych metod badania zjawisk społeczno-ekonomicznych przyjmuje się założenie o jednakowej skali pomiaru dla wszystkich cech uwzględnionych w analizie. Jest to często sprzeczne z charakterem dostępnych danych empirycznych, które mogą być wyrażone w różnych skalach. W tej sytuacji powstaje problem wyboru skali do stosowania w badaniach oraz sposobów transformacji skal pomiarowych.

W praktyce dąży się do wyboru skali możliwie najsilniejszej, która daje najlepsze wyniki w zakresie akceptowanych metod i mierników statystycznych. Należy bowiem pamiętać, że dla danego typu skali pomiarowej błędem jest wykorzystywanie parametrów wymagających skal mocniejszych. Jak z tego wynika, o wyborze skali decydują cechy pomierzone za pomocą skal najsłabszych. Chcąc przejść na skalę o wyższej mocy, można albo zrezygnować w badaniach z cech "słabszych" albo próbować dokonać transformacji tych cech na skale silniejsze.

Problem transformacji skal pomiarowych można rozpatrywać w dwóch aspektach: przejścia ze skali silniejszej na słabszą (redukcja skali) oraz przejścia ze skali słabszej na silniejsze (akceleracja skali).

Redukcja skal pomiarowych jest zabiegiem stosunkowo prostym i jest zawsze wykonalna. Wiąże się ona ze stratami w· zasobie informacji tkwiącym w danych wyjściowych, stąd też nie jest chętnie stosowana. Redukcja skal pozwala ujednolicić charakter wszystkich cech, co warunkuje implementację różnych metod analizy.

Wiele przykładów redukcji skali pomiarowej można spotkać w badaniach ankietowych, gdzie z reguły zmienne ciągłe (wiek, dochody) zamieniane są na zmienne skokowe. Na przykład zmienną "wiek" wyrażoną w latach (skala ilorazowa) można transformować na skalę porządkową (grupy wiekowe; klasy: młody, średni, stary) względnie na skalę nominalną (pełnoletni, niepełnoletni).

Klasycznym przykładem redukcji skali pomiarowej, jest konstrukcja statystycznego szeregu rozdzielczego sprowadzająca się do przejścia z pomiarów w skali ilorazowej lub przedziałowej na skalę porządkową. Zagadnienie to jest omawiane w każdym podręczniku statystyki opisowej. Istnieją specjalne metody i algorytmy pozwalające w sposób poprawny konstruować szeregi rozdzielcze, ustalać liczbę klas lub długości przedziałów klasowych.

Problem wzmocnienia skal pomiarowych, w odróżnieniu od ich redukcji, jest dość dyskusyjny. Teoretycznie biorąc operacja taka nie jest możliwa, gdyż bez dodatkowych źródeł informacji nie można zwiększyć zasobu informacji tkwiącego w dostępnych danych. Niemniej jednak w literaturze proponowane są aproksymacyjne metody wzmacniania skal pomiaru oparte na wykorzystaniu dodatkowych informacji w postaci zmiennych referencyjnych oraz procedurach interpolacyjno - -regresyjnych.

Transformacja skali nominalnej na porządkową polega na wprowadzeniu porządku do zbioru wariantów cechy nominalnej. W tym celu należy dysponować informacjami o dodatkowej zmiennej referencyjnej (co najmniej porządkowej) i jej rozkładzie między poszczególne warianty cechy nominalnej.

Podstawową metodą przekształcenia skali porządkowej na przedziałową jest odwzorowanie na osi liczbowej punktów reprezentujących pomiary na skali porządkowej proporcjonalnie do ich częstości. W celu dokładniejszej lokalizacji wyników pomiarów korzysta się z oczekiwanych wartości statystyk porządkowych przy założeniu równomiernego lub normalnego rozkładu zmiennej.

Zmiana skali nominalnej na przedziałową sprowadza się do łącznego wykorzystania obydwóch omówionych powyżej procedur. Jeżeli dysponujemy zmienną preferencyjną o charakterze przedziałowym możemy pominąć etap przejścia przez skalę porządkową i zastosować współczynniki regresji między zmienną preferencyjną a cechą nominalną ujętą w postaci zbioru zmiennych zerojedynkowych identyfikujących poszczególne jej warianty.

15.4. Kryteria diagnostyczności cech

Problem doboru cech diagnostycznych występuje w wielu metodach stosowanych w badaniach przestrzennych, np. w taksonomii, w wielowymiarowej analizie porównawczej, w modelowaniu ekonometrycznym itd.[116] Z uwagi na specyfikę tych metod oraz różny zakres merytoryczny badań, kryteria i procedury doboru zmiennych diagnostycznych nie zawsze są jednakowe, jakkolwiek można tu sformułować wiele ogólnych wskazówek.

Kryteria doboru zmiennych diagnostycznych można podzielić na trzy grupy: merytoryczne, formalne oraz statystyczne. Pierwsze dwie grupy zawierają kryteria

[116] Przegląd metod doboru zmiennych diagnostycznych można znaleźć w monografii Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A., *Metody doboru zmiennych w modelach ekonometrycznych*, PWN 1982 oraz Nowak E., *Problemy doboru zmiennych do modelu ekonometrycznego*, PWN 1984..

obligatoryjne. Ich ocena, dokonywana przez prowadzącego badanie (lub metodą ekspertów), ma charakter subiektywny i trudno ją zalgorytmizować. Kryteria statystyczne opierają się natomiast na obiektywnych miernikach i stanowią najczęściej podstawę konstruowania numerycznych procedur eliminacji zmiennych o małym stopniu diagnostyczności. Z uwagi na zróżnicowane wskazania tych kryteriów nie traktuje się ich jako obligatoryjne, a wynikający z nich zestaw zmiennych diagnostycznych zwykle jest kompromisem próbującym ustalić jak największą liczbę zmiennych spełniających równocześnie jak największą liczbę kryteriów diagnostyczności.

Kryteria merytoryczne żądają, aby zmienne diagnostyczne:

1) ujmowały najbardziej istotne, a nie marginalne własności analizowanych zjawisk,
2) były jasno, jednoznacznie i ściśle zdefiniowane,
3) były logicznie ze sobą powiązane,
4) umożliwiały wzajemną kontrolę poprzez znajomość5) związków statystycznych i merytorycznych między poszczególnymi zmiennymi,
6) charakteryzowały się zgodnością proporcji między liczbą zmiennych reprezentujących dany aspekt badanych zjawisk a ich znaczeniem merytorycznym.

Kryteria formalne sprowadzają się do następujących własności zmiennych diagnostycznych:

1) mierzalność w sensie możliwości liczbowego wyrażenia poziomu cechy,
2) istnienie wiarygodnych i łatwo dostępnych informacji statystycznych,
3) kompletność danych dla wszystkich obiektów (jednostek badania),
4) ciągłość sprowadzająca się do konieczności eliminowania zmiennych specyficznych, uniemożliwiających wzajemną porównywalność obiektów zarówno w przestrzeni jak i w czasie.

Do kryteriów statystycznych najczęściej zalicza się:

1) wysoką zdolność dyskryminacji obiektów, co jest związane z dużą zmiennością cech,
2) brak wzajemnego skorelowania w celu wyeliminowania zjawiska powtarzania się informacji niesionych przez poszczególne zmienne,
3) reprezentatywność zmiennych diagnostycznych względem zmiennych wyeliminowanych z badań,
4) wysokie skorelowanie z czynnikami głównymi wyodrębnionymi w całym zbiorze analizowanych zmiennych.

Powyższy przegląd kryteriów nie jest ani kompletny, ani precyzyjny. Niekiedy te same własności są formułowane w postaci różnych kryteriów lub jedno kryterium zawiera w sobie kilka innych. Ponadto nie wymieniono tu kryteriów dyskusyjnych, np. konieczności relatywizacji zmiennych czy też znajomości rozkładu statystycznego, jak również kryteriów, które zawsze można łatwo spełniać, np. warunku sumowalności zmiennych.

15.5. Wymiarowość zmiennych

Większość zmiennych i stałych występujących w badaniach ma właściwe sobie jednostki miary. Ich konkretne realizacje składają się zawsze z dwóch części: liczby i wymiaru. Tak więc mamy 3 mln zł, 250 zł/kg, 60 km/godz., 5 lat itd. Aspekt wymiarowości zmiennych nie zawsze jest w pełni dostrzegany w naukach ekonomicznych, co w wielu przypadkach może prowadzić do istotnych zniekształceń analizy. Ignorowanie problemu wymiarowości nie zawsze jest zamierzone, lecz często wynika z faktu braku tak oczywistego zestawu wymiarów podstawowych jaki jest możliwy do przyjęcia w naukach przyrodniczo - technicznych.

Przez wymiar rozumie się zbiór addytywnych wielkości. Wymiar oznacza dużą literą ujętą w nawiasy kwadratowe. Przykładem wymiaru jest czas [T], który reprezentują addytywne wielkości jak: sekunda, minuta, godzina, rok. Zapis [1] oznacza wielkość nie mającą żadnego wymiaru (bezwymiarową).

Wyróżnia się wymiary pierwotne (podstawowe), których nie można wyrazić za pomocą innych wymiarów, np. długość, masa, czas, temperatura, światłość, natężenie prądu, oraz wymiary pochodne (drugorzędne), które są definiowane za pomocą wymiarów pierwotnych, np. prędkość [długość/czas], powierzchnia [długość * długość].

Każdy wymiar pierwotny powinien mieć ustaloną podstawową standardową jednostkę miary. Jest ona wybierana arbitralnie spośród elementów zbioru addytywnych wielkości tworzących wymiar i zazwyczaj jest odniesiona do pewnego niezmiennego w swojej naturze zjawiska naturalnego (np. długość fali, okres promieniowania). Dzięki powszechnemu stosowaniu jednolitych jednostek miary zapewniona jest jednoznaczność pomiaru, niezależnie od podmiotu, miejsca i czasu jego wykonania. Przez pomiar rozumie się porównanie danej wielkości z przyjętą powszechnie wzorcową jednostką miary.

15.6. Struktury danych wyjściowych

Przedmiotem rozważań w badaniach społeczno-ekonomicznych są struktury gospodarcze rozpatrywane w czterech aspektach:

- rodzajowym,
- typologicznym,
- przestrzennym,
- czasowym.

Każdy z tych aspektów, a zwłaszcza elementy struktury rodzajowej, może stanowić podstawę tworzenia zagregowanych (złożonych) struktur wyższego rzędu. W zależności od liczby elementów składowych struktur (zarówno prostych jak i złożonych) można mówić o strukturach jednowymiarowych, zawierających po jednym elemencie, jak i wielowymiarowych z co najmniej dwoma elementami. Zasadnicze znaczenie mają struktury wielowymiarowe, jako że struktury jednowymiarowe stanowią ich szczególny przypadek. W tabeli2 jest podany wykaz możliwych, wielowymiarowych struktur ekonomicznych wraz z nazwami i symbolami ich elementów składowych. Dla przykładu w tabeli 6 przytoczono struktury szczególnie często spotykane w analizie konsumpcji w podziale na struktury proste i złożone. Większość z nich to struktury wielowymiarowe, z wyjątkiem [Z5] i [T3], które stanowią przykłady struktur jednowymiarowych. Zakresy badań empirycznych są określane przez wyszczególnienie poszczególnych aspektów struktur. W tabeli 7 przedstawiono sposoby definiowania problemów badawczych na przykładzie analizy konsumpcji. Jak można zauważyć, w każdym problemie niezbędne jest ustalenie zakresów czasowego, przestrzennego i merytorycznego analizy.

Tabela 5. **Elementy wielowymiarowych struktur ekonomicznych**

Struktury	Symbole	Elementy składowe	Nazwy elementów
Proste:			
rodzajowe	[Y]	$[y_1, ..., y_m]$	cechy (zmienne)
typologiczne	[W]	$[w_1, ..., w_l]$	typy (warstwy)
przestrzenne	[Z]	$[z_1, ..., z_n]$	obiekty (jednostki)
czasowe	[T]	$[t_1, ..., t_k]$	okresy (momenty)
Złożone:			
rodzajowe	{Y}	$\{Y_1, ..., Y_M\}$	grupy cech
typologiczne	{W}	$\{W_1, ..., W_L\}$	grupy typów
przestrzenne	{Z}	$\{Z_1, ..., Z_N\}$	grupy obiektów
czasowe	{T}	$\{T_1, ..., T_K\}$	grupy okresów

Tabela 6 **Przykłady struktur w analizie konsumpcji**

Struktury	**Proste**	**Złożone**
Rodzajowe	spożycie wybranych artykułów [Y_1] wyposażenie w wybrane dobra [Y_2] determinanty ekonomiczne konsumpcji [Y_3] determinanty społeczne konsumpcji [Y_4]	$\{Y_5\} = Y_1 \cup Y_2$ $\{Y_6\} = Y_3 \cup Y_4$ $\{Y_7\} = Y_2 \cup Y_3 \cup Y_4$ $\{Y_8\} = Y_1 \cup Y_2 \cup Y_3 \cup Y_4$
Typologiczne	grupy społeczno-zawodowe [W_1] grupy dochodowe [W_2] grupy obszarowe gospodarstw rolnych [W_3] grupy biologiczne rodzin [W_4]	grupy według dochodów zagregowanych na mniejszą liczbę klas { W_5} grupy dochodowe w ramach grup społeczno-zawodowych {W_6}
Przestrzenne	gospodarstwa domowe [Z_1] gminy [Z_2] miasta [Z_3] miasto/wieś [Z_4] Polska [Z_5]	województwa jako agregaty gmin i miast $\{Z_6\} = Z_2 \cup Z_3$ makroregiony jako agregaty województw {Z_7}
Czasowe	lata 1980-l998 [T_1] lata 1993,1995,1997 [T_2] rok 1998 [T_3] miesiące roku 1998 [T_4]	kolejne okresy pięcioletnie w latach 1990-1995 {T_5}

Tabela 7. **Definiowanie problemów badawczych na przykładzie analizy konsumpcji**

Struktury				Problemy badawcze
Y	W	Z	T	
$[Y_1]$	-	$\{Z_7\}$	$[T_3]$	analiza spożycia wybranych artykułów według makroregionów w roku 1988
$[Y_2]$	$[W_1]$	$\{Z_7\}$	$[T_2]$	analiza wyposażenia wybranych dóbr w grupach społeczno – zawodowych według makroregionów w latach 1983, 1985, 1987
$\{Y_8\}$	-	$[Z_5]$	$[T_1]$	analiza konsumpcji i jej determinant w Polsce w latach 1970 – 1988
$[Y_1]$	$\{W_6\}$	$[Z_5]$	$[T_3]$	analiza spożycia wybranych artykułów według grup społeczno – zawodowych i grup dochodowych w Polsce w roku 1988

Typologiczny aspekt struktur może być natomiast w pewnych sytuacjach pomijany, co oznacza prowadzenie badań w zbiorowościach nie ograniczonych żadnymi kryteriami.

Zdefiniowanie problemu badań wymusza określony układ danych wejściowych stanowiących podstawę analiz empirycznych. W ogólnym przypadku dane te można ująć w postaci macierzy 4-wymiarowej:

$$\mathbf{X} = [x_{ijqp}]$$

gdzie i = 1, ..., n; j =1, ..., m; q =1, ..., k; p = 1, ..., l są kolejnymi numerami elementów poszczególnych aspektów struktur prostych, a n, m, k, l - liczbami tych elementów.

Dla struktur złożonych, w zależności od sposobu ich zdefiniowania, macierz ta przybiera postać macierzy blokowej względnie macierzy, której elementy stanowią agregat odpowiednich składowych macierzy wyjściowej.

W szczególnych przypadkach rozpatrywana macierz sprowadza się do macierzy trój-, dwu-, lub jednowymiarowych. Jest tak w sytuacji, gdy nie jest uwzględniony typologiczny aspekt struktur lub jeden (lub dwa) z pozostałych aspektów ma charakter jednowymiarowy.

Do często spotykanych struktur danych w badaniach empirycznych należą następujące typy zbiorów:

- zbiór **X(n)** typu obiekty:

$$X = [x_i] \qquad (1)$$

- zbiór **X(k)** typu okresy:

$$X = [x_q], \qquad (2)$$

- zbiór **X(n, m)** typu obiekty × cechy:

$$X = [x_{ij}], \qquad (3)$$

- zbiór **X(n, k)** typu obiekty × okresy:

$$X = [x_{iq}], \qquad (4)$$

- zbiór **X(m, k)** typu cechy × okresy:

$$X = [x_{jq}], \qquad (5)$$

- zbiór **X(n, m, k)** typu obiekty × cechy × okresy:

$$X = [x_{ijq}]. \qquad (6)$$

W badaniach przestrzennych najczęściej korzysta się z danych ujętych w postaci macierzy (5) lub (6) oraz niekiedy ze zbiorów (4). Pozostałe struktury spotyka się sporadycznie lub też stanowią one podstawę ekonometrycznych analiz szeregów czasowych (zbiory (2) i (5)). Marginalne znaczenie mają też inne możliwe typy struktur danych, w których uwzględniony jest typologiczny aspekt struktur gospodarczych.

Odrębny problem stanowi redukcja wymiarów macierzy danych (przy za chowaniu liczby jej elementów) poprzez utworzenie zbiorów "mieszanych" stanowiących iloczyn kartezjański dwóch lub więcej zbiorów elementów składowych struktury: cech, typów, obiektów i okresów.

Przykładem takiego zbioru może być zbiór "obiektookresów":

$$\mathbf{ZT = Z \times T},$$

gdzie obiekty z poszczególnych okresów są z definicji traktowane jako różne obiekty.
W tym przypadku macierz redukuje się do macierzy trójwymiarowej:

$$\mathbf{X = [x_{rjp}] \quad (r=1, ..., s)}$$

przy czym **s = nk** jest liczbą "obiektookresów". Interesującą zaletą analizy "obiektookresów" jest możliwość jednoczesnej obserwacji zmian przestrzenno-dynamicznych ,zachodzących w strukturach stanowiących przedmiot rozważań.

Innymi przykładami zbiorów "mieszanych", generujących inną postać macierzy danych i umożliwiających realizację niekonwencjonalnych schematów badań, są zbiory:

- "typookresów $WT = W \times T$,
- "typoobiektów" $WZ = W \times Z$,
- "typookresoobiektów" $WTZ = W \times T \times Z$.

Mniejsze znaczenie mają natomiast zbiory powstające z połączenia zbioru cech Y z pozostałymi zbiorami W, Z, T. Ich przydatność ograniczona jest do sytuacji, w której zbiór cech jest jednorodny z punktu widzenia stosowanej jednostki miary, np. zbiór obejmujący wyłącznie wskaźniki wyposażenia w dobra trwałego użytku.

16. KONCEPCJA MATEMATYCZNEGO MODELU POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA

Z rozważań ogólnoteoretycznych przedstawionych w punkcie 1 oraz ze względu na badany przedmiot – system obronny państwa wyrażany miarą ilościową w postaci potencjału obronnego państwa, zasadne jest dokonać opisu jego rozkładu w określonych jednostkach terytorialnych. Model opisu zrealizować można w różnych poziomach dokładności /szczegółowości/ - zależne jest to od możliwości zespołów realizujących i możliwości pozyskania danych o wymaganym stopniu szczegółowości. Z czterodziedzinowego ujęcia systemu obronnego[117] jedynym wiarogodnie dającym się opisać podsystemem jest podsystem gospodarczo – obronny, mniej – społeczno – obronny, natomiast podsystem polityczno – obronny nie poddaje się wiarogodnemu pomiarowi, nadto nie zasadne jest rozpatrywanie go w rozkładzie przestrzennym.

Ocena obiektów złożonych – w tym obiektów infrastruktury obronnej państwa – jest problemem złożonym i względnym. Złożoność problemu wynika zarówno z aspektu przedmiotowego /obiekt/, jak i podmiotowego /oceniający/.

Przedmiotowy aspekt złożoności procesu oceny zawiera się w tzw. wyróżnikach kryterialnych, tj. w przyjęciu takich kategorii /pojęć i własności/ opisu cech przedmiotu /użyteczności/, które są reprezentatywne i wystarczające dla określenia wyspecyfikowanej przestrzeni kryterialnej podmiotu.

Podmiotowy aspekt złożoności procesu oceny zawiera się w tzw. przestrzeni kryterialnej, tj. w przyjęciu takich wymiarów /pojęć i własności/ opisu potrzeb /wartości/ podmiotu, które są reprezentatywne i wystarczające dla określenia celu jaki podmiot stawia przed obiektem[118].

Względność oceny zawiera się w pewnej swobodzie określania tak przestrzeni kryterialnej, jak i wyróżników kryterialnych. I jakkolwiek badacz dąży do obiektywizacji /i uniwersalizacji/, to osiągnięty wynik jest zawsze względny.

---

[117] *przedstawionego w opracowaniu 4.*

[118] *Powyższe rozważania zawarte zostały w opracowaniu 3.*

W przedstawianej koncepcji modelu przestrzeń kryterialna i wyróżniki kryterialne określone zostały /po analizie potrzeb podmiotu i analizie cech przedmiotów/ przez zespół autorski po konsultacjach z ekspertami.

1. Założenia koncepcji

1. Opis potencjału obronnego państwa jest sumą potencjałów i – obiektów (i=1, ..., I) potencjałotwórczych.
2. Model ocenowy i – tego obiektu realizowany będzie według trzech klas (Z = 1, 2, 3) szczegółowości:
   1. uproszczonej
   2. skróconej
   3. szczegółowej

4. Ocena obiektu odniesiona może być do dwóch układów przestrzennych:
   - w granicach jednostek administracyjnych - na poziomie gmina, województwo, kraj
   - w granicach jednostek wojskowych – na poziomie okręgu wojskowego, kraju

Realizacja oceny w odniesieniu do układów przestrzennych typu: układ jednostek fizyczno – geograficznych oraz dowolnego /z dopuszczalnych/ układów mieszanych oraz rozwiniecie detalizacji układu jednostek administracyjnych /o rejony, powiaty, gminy/ i układu jednostek wojskowych /w dwóch wariantach: administracyjnym i operacyjnym/ dokonywana może być w przypadku posiadania wystarczająco dobrze zorganizowanych baz danych.

5. Organizacja plików bazy danych

Opisywane obiekty infrastruktury systemu obronnego państwa zorganizowane być mogą w j – plików (j = 1, ..., 16) skojarzonych zbiorów plików (ze względu na „typ" infrastruktury) Są to:

- transport samochodowy
- transport kolejowy

- transport wodny śródlądowy
- transport powietrzny
- transport morski
- transport rurociągowy
- transport przesyłowy energii elektrycznej, gazu i wody
- radiokomunikacji
- telekomunikacji i poczty
- informatyki
- bazy magazynowo – składowej
- bazy techniczno – remontowej i budowlanej
- bazy medyczno – sanitarnej i ratowniczej
- bazy administracyjno – komunalnej
- bazy usługowo – rzemieślniczej
- zespołu obiektów specjalnych

Ze względu na rozległość informacyjną przedstawionych „typów" infrastruktury, właśnie organizacja wg „typów" – gromadząca specjalistyczne dane /pochodzące od ekspertów, specjalistów dziedzinowych/ ułatwi ich wprowadzanie i modyfikację.

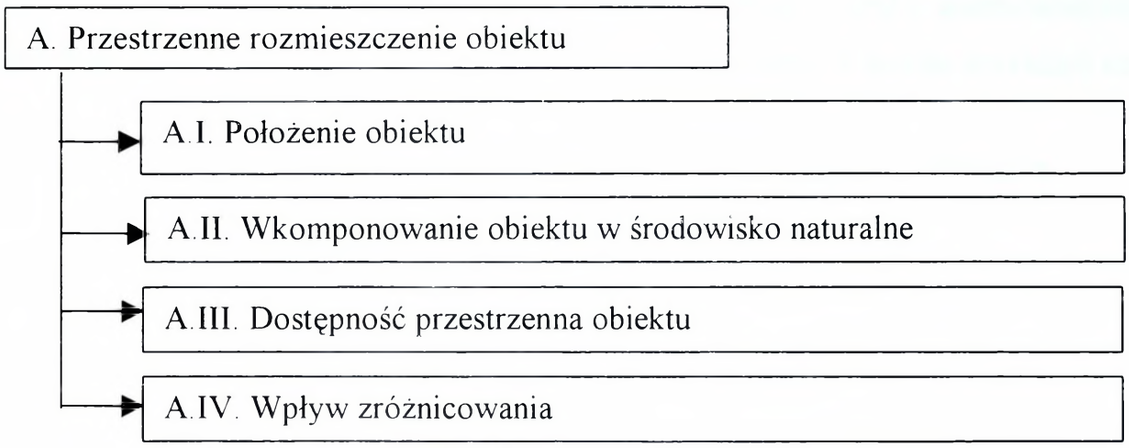
6. Procedura obliczania oceny i – tego obiektu j – tej infrastruktury systemu obronnego państwa

5.1. Dane wejściowe

Danymi wejściowymi procedury obliczeniowej są dane o **czterech warstwach** (X = 1, ..., 4) ocenowych obiektu:

1. **Przestrzenne rozmieszczenie obiektów**;
2. **Ilościowy stan obiektów**;
3. **Jakościowy stan obiektów**;
4. **Wojskowe znaczenie obiektów**.

5.2. Każdy z czterech wymienionych aspektów rozpatrywany jest w czterech **aspektach warstwy** (Y = 1, ..., 4). Np. warstwa A w aspektach (rys. 27.)



Rys. 27. Aspekty warstwy A

5. 3. Każdy z czterech aspektów warstwy każdej z czterech warstw rozpatrywany jest w trzech **poziomach szczegółowości** modelu opisu obiektów (Z = 1, ..., 3)

5.4. Wynikiem opisu każdej z czterech warstw (X) każdego z czterech aspektów (Y) w każdym z trzech poziomów (Z) jest wskaźnik (Wxyz) określający rozpatrywany atrybut obiektu.

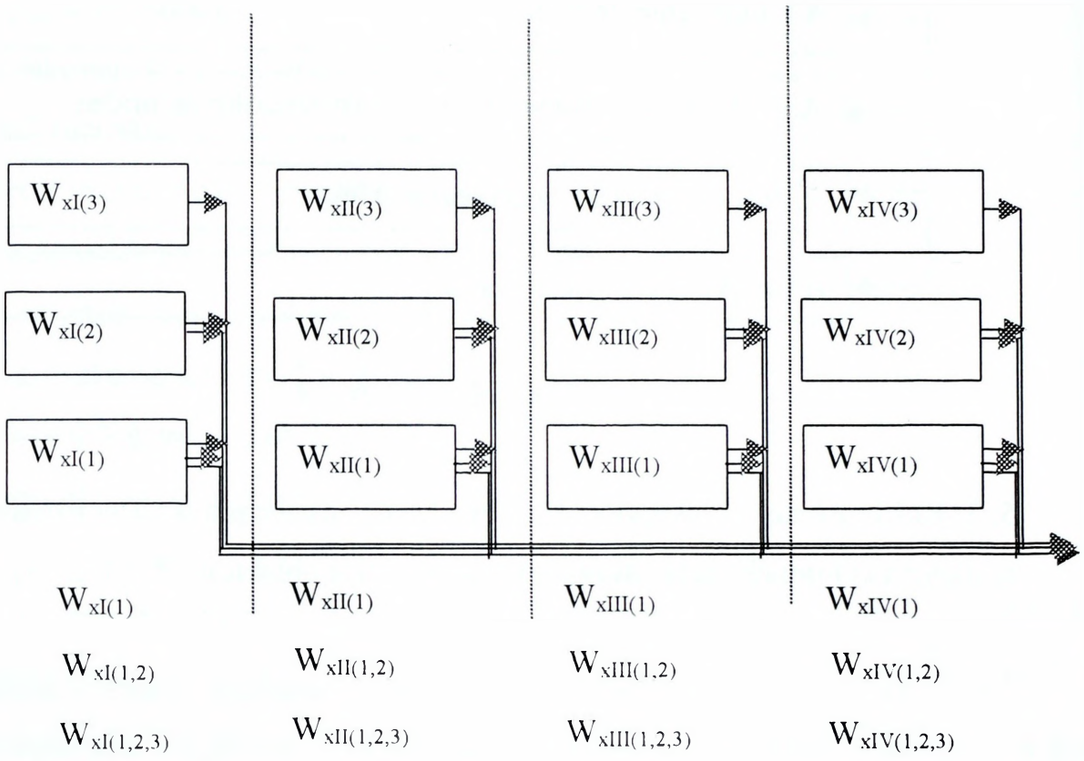
Klasę modelu determinuje poziom wskaźnika, który brany jest pod uwagę przy obliczaniu agregatu. I tak :

1. Model uproszczony sięga tylko do pierwszego (1) poziomu opisu;
2. Model skrócony sięga do drugiego (2) poziomu opisu;
3. Model szczegółowy sięga do trzeciego (3) (ostatniego) poziomu opisu;

x		A				B				C				D			
y		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
z	1																
	2																
	3																

Rys. 28. Idea tworzenia wskaźnika zagregowanego w modelu różnych poziomów szczegółowości.

Agregację wskaźników /dla każdej klasy modelu/ zrealizować można metodą średniej ważonej ze stałymi wagami. Koncepcja przewiduje, że po dokonaniu takiego opisu, zebraniu doświadczenia w kreacji agregatu podjęta zostanie próba uzmiennienia wag. Może to nastąpić na podstawie zebranego materiału statystycznego albo pogłębionych badań teoretycznych.



Rys. 29. Idea tworzenia agregatów według wyróżnionych klas modeli

6. Dane wejściowe procedury obliczeniowej

6.1. Przynależne opisowi i – tego obiektu j – tego typu infrastruktury obiektu. Dane te powinny być uwzględnione w strukturze opisu j – tego typu infrastruktury.

A. PRZESTRZENNE ROZMIESZCZENIE OBIEKTÓW

I: Położenie obiektu Przynależne opisowi każdej k – tej (k = 1, ..., K) jednostce przestrzennej do której odniesiona została ocena i – tego obiektu, j – tego typu infrastruktury. Jeśli układem odniesienia jest podział administracyjny kraju, wówczas K=16, jeśli układem odniesienia jest podział wojskowy, to K =2.

1. Współrzędne geograficzne obiektu

dane uzyskane: bezpośrednio

dane wymagane: współrzędne x_i, y_i

2. Odległość miedzy środkiem geometrycznym kraju a i – tym obiektem

dane uzyskane: obliczenie odległości euklidesowej

dane wymagane: współrzędne x_i, y_i

3. Odległość miedzy środkiem geograficznym (centroidem) obszaru a i – tym obiektem

dane uzyskane: obliczenie odległości euklidesowej

dane wymagane: współrzędne x_i, y_i

II: Wkomponowanie obiektu w środowisko naturalne

1. liczba rozpoznanych elementów i – tego obiektu: J_i^r

maksymalna liczba elementów i – tego obiektu: J_i^c

dane uzyskane: obliczenie stosunku

dane wymagane: J_i^r, J_i^c

2. wysokość obiektu nad powierzchnią ziemi: h_i^z

całkowita wysokość obiektu: J_i^{ca}

dane uzyskane: obliczenie stosunku

dane wymagane: J_i^r, J_i^{ca}

3. powierzchnia obiektu możliwa do zamaskowania: p_i^{ca}

całkowita powierzchnia obiektu: p_i^z

dane uzyskane: obliczenie stosunku

dane wymagane: p_i^z, p_i^{ca}

III: Dostępność przestrzenna obiektu

1. Długość dróg kolejowych w rejonie 10 km wokół i – tego obiektu

dane uzyskane: obliczenie

$$\sum_{m=1}^{5}\sum_{n=1}^{N}\alpha_{m_n} d_{m_n}$$

dane wymagane: długość d_m w km podana przez n (n<=5) odcinków o zróżnicowanej jakości α_{mn}

2. Długość dróg samochodowych w rejonie 10 km wokół i – tego obiektu dla każdej m – tej klasy drogi:

m=1: autostrada;

2: droga krajowa;

3: droga regionalna;

4: droga lokalna;

5: droga gruntowa.

dane uzyskane: obliczenie

$$\sum_{m=1}^{5}\sum_{n=1}^{N}\beta_{m_n}d_{m_n}$$

dane wymagane: długość d_m w km podana przez n (n<=5) odcinków o zróżnicowanej jakości β_{mn}

3. liczba dróg dochodzących bezpośrednio do obiektu: l_i^d

wymagana liczba dróg dochodzących bezpośrednio do obiektu: l_i^{dmax}

dane uzyskane: obliczenie stosunku

dane wymagane: l_i^d, l_i^{dmax}

IV. Wpływ zróżnicowania pory roku, miesiąca i dnia na użyteczność obiektu

1. Możliwości wykorzystania obiektu w l – tej (l=1, ...,4) porze roku: w_i^l

Możliwości wykorzystania obiektu w najkorzystniejszych warunkach: w_i^{lmax}

dane uzyskane: obliczenie stosunku

dane wymagane: w_i^l, w_i^{lmax}

2. Dla każdej pory roku l (l=1, ..., 4) podaj maksymalną zmianę możliwości Δw_{lq} (q=1, ..., 3) wykorzystania obiektu w q- tym miesiącu

dane uzyskane:

$$\frac{\frac{1}{4}\sum_{l=1}^{4}\left(\frac{1}{3}\sum_{q=1}^{3}\left|\Delta w_{lq}\right|\right)}{w_l^{\max}}$$

dane wymagane: $\forall$ l=1, ..., 4: Δw_{lq} (q=1, ..., 3)

3 Dla każdej pory dnia r (r=1, ..., 4 = dzień, wieczór, noc, poranek) podaj maksymalną zmianę możliwości Δw_{lqr} (q=1, ..., 3,) wykorzystania obiektu w r- tej porze dnia

dane uzyskane:

$$\frac{\frac{1}{4}\sum_{l=1}^{4}\left(\frac{1}{3}\sum_{q=1}^{3}\left(\frac{1}{4}\sum_{r=1}^{4}\left|\Delta w_{lqr}\right|\right)\right)}{w_l^{\max}}$$

dane wymagane: $\forall$ l=1, ..., 4; $\forall$ r=1, ..., 4: Δw_{lq} (q=1, ..., 3)

B: ILOŚCIOWY STAN OBIEKTU

I. Ilość obiektów

1. Dla każdego k – tego obszaru (k=1, ..., K) określ liczbę obiektów j – tego typu (j = 1, ..., 16) infrastruktury obronnej.
2. Dla każdego k – tego obszaru (k=1, ..., K) określ liczbę obiektów infrastruktury wojskowej i transportowej obronnej
3. Dla każdego k – tego obszaru (k=1, ..., K) określ liczbę obiektów infrastruktury wojskowej specjalnego znaczenia.

II. Powierzchnia obiektów

1. Łączna powierzchnia wszystkich i = 1, ..., I obiektów j – tego typu na obszarze; P_i – powierzchnia i – tego obiektu
2. Łączna powierzchnia wszystkich i = 1, ..., I obiektów wojskowych na obszarze; P_i^w
3. Łączna powierzchnia wszystkich i = 1, ..., I obiektów wojskowych specjalnego przeznaczenia na obszarze; P_i^{ws}

III. Przestrzenny rozmiar obiektu

1. długość linii okalającej zarys i – tego obiektu: d_i^o;

   P_i^o – powierzchnia i – tego obiektu

   dane uzyskane: obliczenie stosunku

   dane wymagane: P_i^o, d_i^o

2. rozciągłość i – tego obiektu w kierunku głównej osi /długości/ w metrach: l_i^d;
rozciągłość i – tego obiektu w kierunku prostopadłym do głównej osi /szerokość/ w metrach: l_i^{sz};
dane uzyskane: obliczenie stosunku
dane wymagane: l_i^d, l_i^{sz}

3. rozciągłość i – tego obiektu w kierunku pionowym /wysokość/ w metrach: l_i^h;
v_j^{max} – maksymalna kubatura obiektu j – tego typu
dane uzyskane: obliczenie stosunku
dane wymagane: l_i^h, v_j^{max}

IV. Odporność obiektu na zniszczenia

1. liczba elementów czułych i – tego obiektu na zniszczenie konwencjonalnymi środkami: l_i^{cz};
całkowita liczba elementów czułych i – tego obiektu: $l_i^{cz\ max}$;
dane uzyskane: obliczenie stosunku
dane wymagane: l_i^{cz}, $l_i^{cz\ max}$

2. liczba osób obsługujących i – ty obiekt: L_i;
całkowita liczba osób obsługujących i – ty obiekt: L_i^{ca};
dane uzyskane: obliczenie stosunku
dane wymagane: L_i, L_i^{ca}

3. liczba jednostek usługowych zapewniających funkcjonowanie i – tego obiektu: k_i;
normatywna liczba jednostek usługowych zapewniających funkcjonowanie i – tego obiektu: k_i^{norm};
dane uzyskane: obliczenie stosunku
dane wymagane: k_i, k_i^{norm}

C: OCENA STANU TECHNICZNEGO OBIEKTU

I. Wartość techniczno – użytkowa obiektu

1. wskaźnik wartości techniczno – użytkowej p – tej ($p <= 5$) funkcji realizowanej przez i – ty obiekt: q_i^p;

sumaryczna wartość wszystkich wskaźników q_i^p funkcji realizowanych przez i – ty obiekt w zbiorze wszystkich i-tych obiektów j – tego typu: Q^{max};

dane uzyskane: obliczenie stosunku

dane wymagane: q_i^p, Q^{max}

2. wskaźnik wartości techniczno – użytkowej głównej funkcji realizowanej przez i – ty obiekt: $q_i^{p\ max}$;

maksymalna wielkość wskaźnika wartości q_i^{max} : $q_i^{max} = max_p\ q_i^p$;

dane uzyskane: $q^{max} = max_i\ q_i^{p\ max}$

dane wymagane: q_i^p, $q_i^{p\ max}$

3. procentowy udział p – tego składnika w należytym funkcjonowaniu i – tego obiektu

II. Stan eksploatacyjny obiektu

1. stopień zużycia i – tego obiektu u_i;

maksymalnie dopuszczalny stopień zużycia i – tego obiektu: u_i^{max};

dane uzyskane: stosunek

dane wymagane: u_i, u_i^{max}

2. stopień ukompletowania i – tego obiektu u_i^k;

dane uzyskane: bezpośrednio

dane wymagane: u_i^k

3. stan utrzymania i – tego obiektu u_i^u;

dane uzyskane: bezpośrednio

dane wymagane: u_i^u

III. Stopień zaawansowania techniczno – technologicznego obiektu

1. stopień automatyzacji i – tego obiektu (% zautomatyzowanych procesów technologicznych w zbiorze wszystkich procesów technologicznych realizowanych przez i-ty obiekt): A_i;

2. stopień zastosowania wysoko zaawansowanych technologii i materiałów i – tym obiekcie (%zastosowania wysoko zaawansowanych technologii i materiałów zbiorze wszystkich procesów technologicznych realizowanych przez i-ty obiekt): l_i^z;
3. koszt zużywanej energii w jednostce czasu przez i – ty obiekt: e_i;
maksymalny koszt zużywanej energii w jednostce czasu przez i – ty obiekt: e_i^{max};

IV. Samowystarczalność i niezawodność obiektu

1. liczba faktycznych dni w których i-ty obiekt może działać bez uzupełniania zapasów: t_i^s;
normatywna liczba dni w których i-ty obiekt może działać bez uzupełniania zapasów: $t_i^{s\,max}$;
dane uzyskane: stosunek
dane wymagane: t_i^s, $t_i^{s\,max}$

2. wielkość aktualnych zapasów i – tego obiektu: z_i;
maksymalna wielkość aktualnych zapasów i – tego obiektu wymagana na czas działania obiektu: z_i^{max};
dane uzyskane: stosunek
dane wymagane: z_i, z_i^{max}

3. faktyczna wielkość powierzchni placów i składów /kubatura zbiorników/ przeznaczonych do funkcjonowania i – tego obiektu: m_i;
minimalna wielkość powierzchni placów i składów /kubatura zbiorników/ przeznaczonych do należytego funkcjonowania i – tego obiektu: m_i^{min};
dane uzyskane: stosunek
dane wymagane: m_i, m_i^{min}

D. WOJSKOWE ZNACZENIE OBIEKTU

I. Użyteczność obronna obiektu

1. rola i – tego obiektu w działaniach obronnych: $c_i \in \langle 0, 1 \rangle$;

   dane uzyskane: bezpośrednio

   dane wymagane: c_i ,

2. wielkość charakteryzująca dostosowania i – tego obiektu do zasadniczego parametru techniczno – obronnego: w_i^p;

   ω_i – waga i – tego obiektu;

   dane uzyskane: bezpośrednio

   dane wymagane: w_i^p , ω_i

3. przydatność i – tego obiektu w działaniach obronnych;

II. Odporność obiektu na oddziaływanie przeciwnika

1. prawdopodobieństwo zniszczenia i – tego obiektu (%): p_i^z;

   dane uzyskane: bezpośrednio

   dane wymagane: p_i^z

2. prawdopodobieństwo obezwładnienia i – tego obiektu (%): p_i^o;

   dane uzyskane: bezpośrednio

   dane wymagane: p_i^o

3. prawdopodobieństwo uszkodzenia i – tego obiektu (%): p_i^u;

   dane uzyskane: bezpośrednio

   dane wymagane: p_i^u

III. Zagrożenie dla środowiska jakie obiekt może wywołać

1. powierzchnia bezpośredniego oddziaływania zniszczonego i – tego obiektu na otoczenia: P_i^P;

   dane uzyskane: bezpośrednio

   dane wymagane: P_i^P

2. powierzchnia oddziaływania uszkodzonego i – tego obiektu na otoczenie: P_i^D;

Maksymalna powierzchnia oddziaływania uszkodzonego obiektu j – tego typu: $P^{D\,max}$

dane uzyskane: $P^{D\,max} = max_{\,i}\, P^D$

dane wymagane: P_i^D, $P^{D\,max}$

3. czas oddziaływania zniszczonego /uszkodzonego/ i – tego obiektu na otoczenie (w dobach): T_i;

maksymalny czas oddziaływania: T^{max};

dane uzyskane: $T^{max} = max_{\,i}\, T_i$

dane wymagane: T_i, T^{max}

IV: Czas naprawy obiektu

1. czas potrzebny na odtworzenie pełnej zdolności techniczno – obronnej i – tego obiektu (liczony w dobach): t_i^p;

czas dopuszczalnego wyłączenia i – tego obiektu: $t_i^{P\,max}$;

dane uzyskane: stosunek

dane wymagane: t_i^p, $t_i^{P\,max}$

2. czas potrzebny na odtworzenie ograniczonej zdolności techniczno – obronnej i – tego obiektu: t_i^o

dane uzyskane: bezpośrednio

dane wymagane: t_i^o,

3. czas adaptacji zniszczonego /uszkodzonego/ i – tego obiektu na inne cele /w dobach/: t_i^a;

niezbędny czas adaptacji zniszczonego i – tego obiektu: $t_i^{a\,min}$

dane uzyskane: stosunek

dane wymagane: t_i^a, $t_i^{a\,min}$

Przedstawiona koncepcja konstrukcji modelu zorientowanego na rozkład przestrzenny wymaga oparcia się o systemy zobrazowania informacji geograficzno – przestrzennej. W systemach tych należy opisać /zaprojektować i wprowadzić dane/ specyficzne /ogólnie niedostępne/ warstwy informacyjne zorientowane na wydobycie aspektu obronnego badanych obiektów. Dodatkowa, niezmiernie istotna sprawa dotyczy pozyskania wiarogodnych danych.

Znaczna ich ilość w przedstawionym modelu wymaga ocen eksperckich /uogólnionych od reprezentatywnego zespołu ekspertów/ dla dość licznego zbioru obiektów. Nie wydaje się to być realizowalne.

W przypadku braku możliwości realizacyjnych, jedynym modelem akceptowalnym może być model (uproszczony) w którym rejony terytorialne opisać można agregatami (albo wartościami bezpośrednimi), które uzyskać można z ogólnie dostępnych źródeł statystycznych. W tym przypadku mogą to być województwa. Dla innych obszarów, istotnych z wojskowego punktu widzenia, jak obszary operacyjne, rejony logistyczne, itp. dane ich dotyczące także nie będą dostępne. Nawet dla modeli uproszczonego typu. Chociaż takiego typu rejony są najbardziej interesujące w badaniu rozkładów potencjału bojowego sił zbrojnych.

17. KONCEPCJA MATEMATYCZNEGO MODELU POTENCJAŁU BOJOWEGO SIŁ ZBROJNYCH

Potencjał bojowy sił zbrojnych jako miara ilościowa sił zbrojnych ze statycznego punktu widzenia nie poddaje się racjonalnym /uzasadnionym/ badaniom. Po pierwsze dlatego, że siły zbrojne charakteryzują się dużą ruchliwością. To, że ich dyslokacja w czasie pokoju jest znana, to nie oznacza to wcale, że w okresie mobilizacji i wojny nie będą działać na innych obszarach. Po drugie ich rozwój następuje w kierunku coraz większej manewrowości i możliwości efektywnych działań bojowych w dowolnych obszarach (wojska powietrzno - desantowe, manewrowe, kawaleria powietrzna, itp.). A siły powietrzne, które ze swej natury są poza przywiązaniem terytorialnym w czasie nieistotnym z punktu widzenia modelu statycznego działają na obszarach, będącymi poza możliwościami modelowymi. Nadto w walce, potencjał sił zbrojnych jest dynamicznie i celowo ześrodkowywany w obszary, gdzie prowadzić będą działania bojowe.

Zasadne staje się zatem badanie rozkładu przestrzennego potencjału bojowego sił zbrojnych jedynie w modelach dynamicznych klasy Forestera, a więc w modelach walki. W klasie tych modeli możliwe jest, po utworzeniu zgrupowań wojsk, odpowiednie ich ugrupowanie bojowe w ściśle określonym obszarze. Obszar taki, ze względu na warunki środowiskowe: geograficzne, topograficzne, klimatyczne i czasowe istotnie wpływa na wynik walki. Zmienne te, na równi ze zmiennymi operacyjnymi, w modelach są uwzględniane w postaci licznych wskaźników charakteryzujących uwarunkowania walki.

Odwzorowanie przestrzeni w modelu

Baza danych o terenie

W realnych systemach walki zbrojnej reprezentacja terenu (model terenu) jest zróżnicowany. Wyróżnić można dwa podejścia:

a) analiza terenu prowadzona jest w oparciu o podział terenu na elementarne jednostki (kwadraty, sześciokąty o boku 3 km, 2 km, 500m.) dla których zostały określone następujące atrybuty: przejezdność, roślinność, zabudowa, wysokość, ufortyfikowanie, drogi, rzeki, mosty, przeszkody itp.

b) teren jest odwzorowany poprzez numeryczny model wysokości oraz mapy wektorowe (zawierające tematyczne warstwy).

W każdym wymienionych z wyżej podejść, oferuje się mapy rastrowe w różnych skalach jako podkłady mapowe do przedstawiania sytuacji operacyjno-taktycznej wojsk. Obecnie wymaga się bowiem, aby w modelach walki sytuacja operacyjna (i proces niszczenia) wzbogacany był zobrazowaniem terenu. Wyświetlane mapy bazują najczęściej na rzeczywistych mapach w warstwach rastrowych, wektorowych i symboli graficznych. Podkładem dla wszystkich informacji wyświetlanych na ekranie jest mapa topograficzna . Ekran jest zatem wirtualnym oknem tej mapy.

Operator może dokonywać selekcji warstw, które mają być wyświetlane. Teren może być zorganizowany w trzech warstwach:

- Format rastrowy
- Mapa wysokościowa
- Obiekty terenowe

Format rastrowy

Format rastrowy jest tylko podkładem mapowym i nie jest wymagany do symulacji.

Mapa wysokościowa

Format wysokościowy jest używany przede wszystkim przez model ruchu i model rozpoznania. Jest on stosowany do obliczeń linii widoczności z zadanego punktu.

System wówczas zawiera (*Digital Heights Map*) czyli dane o wysokościach mapowanego obszaru. Odstęp między punktami może wysokości tylko 50 metrów. DHM jest używany do obliczeń takich jak linia widoczności lub zdolności przepustowej.

Obiekty terenowe

Niezbędne do symulacji dane niedostępne są w standardowych mapach topograficznych, dlatego pamiętane i wyświetlane są jako dodatkowe dane topograficzne. Ten typ danych nazywa się obiektami terenowymi.

Obiekty terenowe (np. ruch, najlepiej jest realizowany po drogach, jednostki położone w lesie są trudniej wykrywalne itp.) Pełny opis oddziaływania każdego typu obiektu reprezentuje specyfikacja modelu.

Dodatkowo system powinien umożliwiać digitalizację taktycznych obiektów terenowych na mapie i definiowanie ustawień atrybutów i ich wartości dla każdego obiektu.

W każdym systemie obiekty terenowe pamiętane są w jednym z trzech formatów: punkt, linia, polylinia i region. Reprezentacja geometryczna obiektów typu punkt odbywa się poprzez współrzędne. Obiektów typu polylinia - poprzez listę współrzędnych. Natomiast

reprezentacja regionu poprzez listę współrzędnych oraz wypełnienie - jako listę obszarów wewnątrz regionu.

Obiekty terenu definiowane są przez:

- Klasę (np. las);
- Geometrię (współrzędne);
- Typ (np. sad);
- Atrybuty (wysokość, szerokość).

Z praktycznego punktu widzenia w systemie takim powinna być zdefiniowana kompletna lista wszystkich obiektów terenowych takich jak: kierunek (oś); most; obszar zabudowany, pojedynczy budynek , roślinność, rodzaj pokrycia gleby, rzeki, obszary wodne, porty, przeprawy, tunele, linie drzew, drogi – a więc wszystkie obiektu ogólnego przeznaczenia. Zdefiniowane powinny też być wszystkie terenowe obiekty taktyczne to: pozycje piechoty, pola minowe, zapory przeciwpancerne, przeszkody, mosty, pasy przez pola minowe, pozycje pojazdów.

Baza danych o środowisku

Baza danych środowiska dotyczy głównie modelu pogody (temperatura, widoczność itp.) i pory dnia. Parametry środowiska wpływają głównie na modele ruchu. Model pogody kreuje rzeczywistą sekwencję zdarzeń i zapewnia całość logicznego opisu. Dane powinny być edytowane specjalnym edytorem środowiska (otoczenia), który powinien umożliwić planowanie pełnego scenariusza na wiele dni.

Koncepcja modelu walki

Poniżej przedstawiamy autorską konceptualizację matematycznego modelu walki w podejściu analitycznym. Podejście analityczne oznacza w tym przypadku przyjęcie następujących założeń:

- modelowany oryginał traktujemy jako zbiór środków walki;
- walkę rozpatrujemy jako wzajemne oddziaływanie środków walki jednej strony na środki walki drugiej strony;

- skutek oddziaływania środków walki na siebie jest sumą algebraiczną oddziaływania poszczególnych środków;
- środki walki strony skumulowane są w jednym punkcie przestrzeni.
- rozpoznanie środków walki przeciwnika jest pełne;
- oddziaływanie określonych środków walki na środki walki przeciwnika jest skuteczne zgodnie z normami taktycznymi, ale „ślepe" z punktu widzenia sensu oddziaływania.

1. Założenia modelu:

1. Rozpatrywane są dwie strony w walce: A, B;
2. W walce oddziaływać rażąco może J typów środków walki każdej ze stron.
3. Każdy j – ty typ (j = 1, ..., J) środka walki jest opisany wskaźnikami:
   - *JWJ* - określającym jego potencjał bojowy[119];
   - *r* – czasów regeneracji niezbędnego do przygotowania się do oddania następnej salwy ogniowej;
   - *a* – maksymalnej liczby salw jakie środek walki może wykonać bez zasilania zewnętrznego;
   - *z* – skuteczny zasięg ognia środka walki.
4. Określona jest macierz dopuszczalnych oddziaływań środków walki na siebie:

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1J} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{J1} & d_{J2} & \cdots & d_{JJ} \end{bmatrix}$$

5. Każda ze stron posiada określoną liczbę j – tego środka walki:

   - strona A – Il^{A}_{j};
   - strona B – IL^{B}_{j};

[119] *Prezentowana koncepcja modelu oparta została o pojęcie potencjału. Bardziej elementarny model można przedstawić na zbiorze środków walki. W formułach prezentowanych dalej ten fakt zostanie uwidoczniony.*

6. Określona jest macierz prawdopodobieństw (norm taktycznych) zniszczenia jednego typu środka walki przez drugi środek walki jedną salwą, postaci:

$$p = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1J} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{J1} & p_{J2} & \cdots & p_{JJ} \end{bmatrix}$$

2. Koncepcja analitycznego modelu matematycznego:

1. Potencjał bojowy strony w chwili początkowej t_0 określamy według formuły:

$$P^X(t_0) = \sum_{j=1}^{J^X} IL_j^A(t_0) \cdot JWJ_j^X$$

gdzie X = {A, B}

2. Potencjał bojowy strony w następnej chwili czasu t_1 określamy według formuły:

$$P^X(t_1) = \sum_{j=1}^{J^X} \left(IL_j^X(t_0) - IL_j^X(t_1)\right) \cdot JWJ_j^X$$

W każdej następnej n – tej chwili czasu formuła obliczeniowa jest identyczna. Jej postać ogólna jest następująca:

$$P^X(t_n) = \sum_{j=1}^{J^X} \left(IL_j^X(t_{n-1}) - IL_n^X(t_1)\right) \cdot JWJ_j^X$$

3. Z formuły przedstawionej powyżej wynika, że istotą modelu jest problem określania strat środków walki w okresie czasu $\Delta t = t_1 - t_0$ ($\Delta t = t_n - t_{n-1}$). Proponujemy, aby straty obliczać według formuły (przy założeniu, że nie uwzględniamy procesów dostaw amunicji oraz procesów dostaw i naprawy środków walki):

$$IL_j^A(t_n) = \sum_{j=1}^{J^B} p_{j^A j^B} \cdot IL_j^B(t_{n-1}) \cdot \frac{\Delta t}{r_{j^B}} \cdot \delta_{j^B} \cdot d(z)$$

gdzie:

$$\delta_{j^B} = \begin{cases} 1 \; dla \; a_{j^B} \neq 0 \\ 0 \; dla \; a_{j^B} = 0 \end{cases}$$

i uwzględnia możliwości ogniowe środka walki (posiadanie amunicji do rażenia)

$$d(z) = \begin{cases} 0 & dla \; d > 0 \\ -\frac{2}{z} \cdot d + 2 & dla \; \frac{z}{2} \leq d \leq z \\ \frac{2}{z} \cdot d & dla \; 0 \leq d \leq \frac{z}{2} \end{cases}$$

Wprowadzona zmienna d(z) określa (jeżeli znane są współrzędne (x_j, y_j) dyslokacji środków walki, a odległość pomiędzy środkami walki traktujemy jako odległość Euklidesa na płaszczyźnie płaskiej) efektywność rażenia środka walki w funkcji jego teoretycznego zasięgu i faktycznej odległości. Maksymalną efektywność (=1) określono w tym przypadku dla odległości będącej połową teoretycznego zasięgu. (jeżeli chcemy najbardziej efektywną odległość określić inaczej, wówczas we wzorach stała 2 musi ulec zmianie). Odległość efektywna jest aproksymowana rozkładem trójkątnym.

Iloraz $\frac{\Delta t}{r_{j^B}}$ określa liczbę salw rażących jednego środka walki na drugi w badanym okresie czasu Δt. (problem „częściowych" salw można rozpatrywać w bardziej szczegółowym modelu)

Prawdopodobieństwo $p_{j^A j^B}$ zniszczenia j^B – tego środka walki przez j^A – ty środek walki uwzględnia macierz dopuszczalnych oddziaływań (d_{jj}), aby niepotrzebnie nie inicjalizować procesów obliczeniowych.

3. Synteza modelu matematycznego

Dla każdej strony obliczamy stan potencjału strony w czasie t_n według (2.2) [będący sumą algebraiczną potencjału wszystkich środków walki strony], natomiast straty ilościowe każdego środka walki w okresie czasu Δt obliczamy według (2.3). We wzorach (2.3) można uwzględnić inne zmienne będące zagregowanymi wielkościami innych zmiennych cząstkowych, które w modelu chcemy uwzględniać (lub uzewnętrzniać, jeżeli uczynimy je decyzyjnymi).

Złożenie powyższych obliczeń dla n = 1, ..., N oraz dla każdej ze stron określi stan potencjału (w tym dokładnie każdego j – tego typu środka walki) strony w n –tej chwili czasu walki zbrojnej.

Z powyżej przedstawionej (dość prostej logicznie, ale złożonej implementacyjnie i bardzo uciążliwej dla użytkownika) koncepcji analitycznego modelu walki dwóch antagonistycznych stron wynikają (przynajmniej) dwa zasadnicze spostrzeżenia:

- dużego redukcjonizmu modelu w stosunku do oryginału[120] – rzeczywistych procesów walki (choć procesy zabezpieczenia (logistycznego i bojowego) można /i uwzględnia się/ wprowadzając stosowne równania bilansowe oraz procesy wsparcia bojowego – przez inicjalizację innych modeli rażenia(oddziaływania));
- dużych wymagań stawianych użytkownikowi, a polegających na specyfikacji wszystkich zmiennych modelu. W szczególności w przypadku uwzględnienia licznych poziomów dowodzenia. Automatyzm działania podległych jednostek – chociaż realizowany – nie spełnia oczekiwań.

Niemniej analityczne podejście do modelowaniu walki zbrojnej, które zapewne pobudziło Lanchestera[121] do uogólnień i w efekcie do ujęcia tego problemu w postaci Modelu Lanchestera[122], jest stosowane obecnie prawie przez wszystkie zespoły analityczno –

---

[120] *Należy jednak pamiętać, że nie ma uniwersalnych modeli. Opracowany (jakikolwiek) model nie odwzorowuje wszystkiego o oryginale, nie wypełnia wszystkich celów i wszystkich podmiotów badawczych. Model oryginału opracowywany jest w ściśle określonym celu, spełnienia określone kryteria (będące wyznacznikiem jego konceptualizacji).*

[121] *Lanchester F. W., Aircraft in Warfare: The Dawn of The Fourth Arm, London 1916.*

[122] *Okazało się jednak, że do podobnego modelu doszedł Rosjanin M. Osipow w opracowaniu Vlianije czislennosti srażajuszczichsia storon na ich potieri, „Vojennyj Sbornik" 1915, nr. 6 – 10. Sami Rosjanie* przypomnieli sobie o Osipowie dość późno. Patrz R. M. Jusupov, W. P. Iwanov, *Matematiczeskoje modelirowvanije v vojennom djele*, „Vojenno – Istoriczeskoj Żurnał" 1988, nr 9. Osipowa zauważyli także

projektowe symulacyjnych modeli walki. Różnorodność ujęcia (a faktycznie uwzględnienia w modelu coraz innych (istotniejszych) zmiennych) procesów walki jest niczym innym jak zmodyfikowanym modelem Lanchestera.

Synteza aspektów operacyjnych modelu

Symulacyjne modele walki, które są stosowane w systemach wspomagania ćwiczeń obejmują praktycznie wszystkie procesy związane z prowadzeniem działań bojowych. Najważniejsze z nich to:

- oddziaływanie:
  - ogniem bezpośrednim,
  - ogniem pośrednim,
  - lotnictwem sił powietrznych,
  - lotnictwem wojsk lądowych,
  - opl,
  - inżynieryjną rozbudową terenu,
  - bronią chemiczną,
  - bronią jądrową.
- proces ruchu:
  - przemieszczania na polu walki (natarcie piechoty, na pojazdach itp.),
  - przegrupowania (marsze na kołach, przewozy w tym również koleją itp.),
  - przerzuty i desanty,
- rozpoznania,
- logistyczne:
  - zaopatrzenie,
  - zabezpieczenie techniczne,
  - zabezpieczenie medyczne,
  - ✓ uzupełnienie kadrowe.

Tak więc w ćwiczeniach wspieranych tymi systemami mogą ćwiczyć wszystkie komórki sztabów, a jakość ich pracy ma wyraźny wpływ na symulowane działania wojsk. Wszystkie wyżej wymienione procesy mają swoje odwzorowanie w cząstkowych modelach funkcjonalnych. Każdy z nich realizuje specyficzną naturę poszczególnych elementów pola

---

Amerykanie i przetłumaczyli jego pracę. Zobacz: M. Osipov, The Influence of the Numerical Strenght of Engaged Forces in Their Casualties, „Naval Research Logistics" 1995, vol. 42, pp. 435 – 490.

walki. Realizacja jednego z nich wpływa na zachowanie się pozostałych. W systemach tych najczęściej wyróżnia się następujące modele cząstkowe:

- piechoty,
- wojsk zmechanizowanych i pancernych,
- artylerii,
- lotnictwa sił powietrznych,
- lotnictwa sił lądowych,
- obrony przeciwlotniczej,
- rozpoznania,
- wojsk inżynieryjnych,
- zaopatrzenia,
- zabezpieczenia technicznego,
- zabezpieczenia medycznego,
- uzupełnień kadrowych,
- ruchu.

Procesy wzajemnego niszczenia oparte są na różnych modyfikacjach klasycznego modelu Lanchestera. Przy czym w jednych modelach wzajemne oddziaływanie systemów broni rozpatrywane jest w ujęciu ilościowym, w innych - w ujęciu jakościowym (potencjałowym).

18. KOMPLEKSOWY SYMULACYJNY MODEL POTENCJAŁU OBRONNEGO PAŃSTWA

18.1. Pojęcie potencjału obronnego państwa

18.1.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału obronnego państwa

Polityka obronna (obronności, obrony narodowej), jako część polityki bezpieczeństwa państwa to zespół działań dyplomatycznych, ekonomicznych, militarnych, informacyjno – propagandowych i innych prowadzonych przez państwo w celu przeciwstawienia się zagrożeniom wojennym i ich skutkom.

Tak rozumiana polityka obronna zajmuje się czterema głównymi problemami, jakimi są:

- Ocena warunków bezpieczeństwa państwa, w tym sprecyzowanie możliwych zagrożeń i ich skutków;
- Określanie programu (zestawu celów i zadań) przeciwstawienia się potencjalnym zagrożeniom wojennym, w tym reagowania kryzysowego i zapobiegania wybuchowi konfliktu wojennego oraz koncepcji prowadzenia działań wojennych;
- Ustalenie sił i środków niezbędnych do realizacji powyższego programu, czyli składu i struktury **systemu obronnego państwa** (**SOP**), w tym zwłaszcza jego sił **zbrojnych** (**SZ**).
- Koordynacja przygotowań obronnych w czasie pokoju, czyli przygotowanie SOP do realizacji zadań w czasie kryzysu i wojny.

Systemem obronnym państwa nazywamy całość sił i środków, jakie państwo wydziela do realizacji zadań obronnych. Są to środki zarówno militarne (siły zbrojne), jak i pozamilitarne (cywilne).

W skład systemu obronnego RP wchodzą trzy podstawowe elementy:[123][124]

- Siły zbrojne;
- Pozamilitarne ogniwa obronne;
- Organa kierowania obronnością.

Tak sformułowana definicja enumeryczna, stała się podstawą rozpatrywania systemu obronnego państwa (SOP) przez wielu autorów. W literaturze przedmiotu można jednak spotkać różne określenia poszczególnych podsystemów SOP:

- siły zbrojne - podsystem wojskowy, **podsystem militarny**, układ militarny;
- niemilitarne ogniwa obronne - układ pozamilitarny, **podsystem pozamilitarny**, podsystem niemilitarny;
- system kierowania obronnością - system kierowania obroną narodową, **podsystem kierowania obroną narodową** (obronności).

W pracach różnych autorów zidentyfikowano zarówno klasyczne (przedmiotowe) podejście do terminu system obronny państwa (odwzorowujące obraz systemu reprezentującego obiektywną, rzeczywistość), jak i podejście podmiotowe, przedstawiające SOP jako pewną, konstrukcję myślową, (niekoniecznie będącą w zgodzie z faktycznym obrazem systemu rzeczywistego). Klasyczne podejście obrazują przedstawione definicje:

System obronny państwa to zbiór wzajemnie powiązanych elementów - ludzi, organizacji, urządzeń - działających na rzecz bezpieczeństwa państwa.[125]

---

[123] *W dokumencie stanowiącym element doktryny obronnej RP, pn.: "Polityka bezpieczeństwa i strategia obronna Rzeczypospolitej Polskiej", przyjętym w dniu 2 listopada 1992 r. przez Komitet Obrony Kraju zapisano m. in.*

"...Dla przeciwdziałania zagrożeniom wojennym, a także w celu realizacji zewnętrznych i wewnętrznych zadań obronnych, utrzymuje się w czasie pokoju i rozwija na czas zagrożenia i wojny system obronny Rzeczypospolitej Polskiej. Jego głównymi elementami są:

- ***siły zbrojne;***
- ***niemilitarne ogniwa obronne;***
- ***system kierowania obronnością."***

[124]

[125] *Zob.: Słownik terminów z zakresu bezpieczeństwa narodowego pod kier B. Balcerowicza, AON, Warszawa 1996 , s. 76.*

System obronny państwa jest to skoordynowany wewnętrznie zbiór elementów organizacyjnych, ludzkich i materialnych wzajemnie powiązanych i działających na rzecz obrony państwa.[126]

System obronny państwa jest to skoordynowany wewnętrznie zbiór elementów organizacyjnych, ludzkich i materiałowych wzajemnie powiązanych i działających na rzecz obrony państwa; jest to zestaw różnorodnych zadań i przedsięwzięć obronnych, realizowanych przez odpowiednie ogniwa przygotowujące państwo do działania w okresie wzrostu zagrożenia jego bezpieczeństwa i w czasie wojny[127].

Zespół badawczy programu "KAPPA" przyjął, że istotą, systemu obronnego państwa jest tworzenie i utrzymanie **potencjału obronnego** efektywnie zintegrowanego z przygotowaną administracją, gospodarka narodowa i całym społeczeństwem, zapewniającego zachowanie (w kontekście możliwości i zagrożeń militarnych) suwerenności, niepodległości i integralności terytorialnej państwa, bezpieczeństwa i swobody działania instytucji państwowych oraz pokojowych warunków życia i rozwoju społeczeństwa[128].

Podejście podmiotowe do systemu obronnego państwa reprezentuje prof. **K. Nożko**, autor cytowanej poniżej definicji:

System Obronny RP stanowią elementy potencjału obronnego własnego i ewentualnie sojuszniczego, połączone celem politycznym, zapewniającym historycznie uwarunkowaną suwerenność i niepodległość narodu polskiego, jego prawa do integralności terytorialnej i nienaruszalności granic państwa.[129]

Interesujący z uwagi na użytą terminologię jest dokonany przez tego samego autora podział SOP na sześć elementów:

- potencjał gospodarczy i naukowo - techniczny;
- potencjał obronny (bojowy) sił zbrojnych i obrony terytorialnej;
- potencjał rezerw osobowych i materiałowych;

---

[126] *Zob.: S. Koziej, F. Wołkowicz, Podstawowe założenia obronności RP, Warszawa 1996, s.16.*
[127] *Zob.: Zespół pod kierownictwem A. Włodarskiego, Kierowanie systemem obronnym państwa, w tym kierowanie układem pozamilitamym i dowodzenie siłami zbrojnymi. W: Przygotowanie i prowadzenie wojny obronnej przez Polskę po 2000 roku "Kappa". AON, Warszawa 1996, s. 6.*
[128] *Tamże, s.13.*
[129] *Zob.: K. Nożko, Sztuka tworzenia przewagi w systemie obronnym RP, Warszawa 1994, s.17.*

- potencjał obronny resortów cywilnych (z wyszczególnieniem MSW);
- ewentualny potencjał sojuszniczy (możliwy do wykorzystania w ramach pomocy w sytuacji kryzysowej);
- stopień i zakres przygotowania obronnego społeczeństwa oraz jego postawę i wolę obrony ojczyzny w razie niebezpieczeństwa.

Prezentowany przez prof. K. Nożko model systemu obronnego państwa jest charakterystyczny dla systemu pojęciowego, odbiegającego od modelu rzeczywistego. Autor pomija bowiem elementy typowe dla systemu działania, tzn. podsystemy: kierowania i roboczy, skupiając się na elementach abstrakcyjnych (potencjał, stopień i zakres przygotowania), nie poddających się kierowaniu.

Po prezentacji wielu różnych określeń naszego przedmiotu badań – SOP, i analizie ich treści, przyjmijmy następujące:

Przez pojęcie ***system obronny państwa*** /w postaci *ogólnoteoretycznejej*/ rozumieć będziemy taki system organizacyjny państwa którego celem jest zapobieganie, przygotowanie i prowadzenie wojny.

Pojęcie ***potencjału obronnego państwa*** jest najszerszym co do zakresu pojęciem ***potencjału*** w naukach wojskowych.

Przez ***potencjał obronny (wojenny) państwa*** najczęściej rozumie się **możliwości /zdolności/ państwa do prowadzenia działań obronnych /wojennych** /.

Jednocześnie określa się listę czynników, które indywidualnie, w aspekcie rzeczowym go określają. Są to takie czynniki jak:

- ilościowy i jakościowy stan SZ,
- stan przeszkolonych rezerw osobowych,
- stan zapasów materiałowych,

- a także infrastruktura wojskowa[130].

Nazywany też bywa **potencjałem wojskowym**[131] określającym zdolność SZ do zapobiegania i przeciwdziałania zagrożeniom militarnym.

Znane są także inne definicje tego pojęcia, np. **potencjał wojenny /obronny/ państwa**[132] *to całokształt możliwości materialnych i moralnych państwa, które mogą być spożytkowane w celu zapewnienia bezpieczeństwa państwa /prowadzenia wojny/. Wielkość tych możliwości w danym okresie czasu zależy od ilości i jakości środków walki, zdolności produkcyjnych przemysłu zbrojeniowego*, ilości i jakości wyszkolonych rezerw oraz stopnia przygotowania kadr i zdolności organizatorskich, umiejętności wyższych dowódców w zakresie kierowania przygotowaniem i wykorzystaniem SZ w skali strategicznej, operacyjnej i taktycznej[133]. Jest to więc całokształt możliwości materialnych i duchowych[134], które mogą być wykorzystane w celu zapewnienia bezpieczeństwa państwa[135].

Przez pojęcie *potencjału obronnego państwa* w postaci *ogólnoteoretycznejej* rozumieć będziemy taką cechę systemową[136] systemu obronnego państwa, która wyraża zdolność państwa do zapobiegania, przygotowania i prowadzenia wojny.

---

[130] *Leksykon wiedzy wojskowej*, Wyd. MON, Warszawa 1979, ss. 324.
[131] *Mała encyklopedia wojskowa,* t.2, Warszawa, 1970, ss.761. W. Łepkowski, R. Wróblewski - *Słownik terminów wojskowych,* AON, 1996.
[132] Porównaj liczne definicje przytoczone w *Słowniku terminów z zakresu bezpieczeństwa narodowego,* AON , 1996.
[133] *Leksykon wiedzy wojskowej*, Wyd. MON, Warszawa 1979, ss. 325.
[134] Autor uważa za mało wystarczające zastosowane określenie *duchowych.* Powinno być *niematerialnych* /np. aspekt organizatorski, itp./.
[135] W. Łepkowski, R. Wróblewski - *Słownik terminów wojskowych,* AON, 1996, ss. 59.
[136] Przy czym pod pojęciem *cecha systemowa* rozumiemy ***taką własność, która charakteryzuje system jako całość, lecz której nie mają elementy systemu.***

18.1.2. Operacjonalizacja pojęcia potencjału obronnego państwa

Modele ocen cząstkowych SOP dotyczą przede wszystkim jednego jego podsystemu, tj. podsystemu gospodarczo – obronnego. Dla pozostałych podsystemów w naukach wojskowych nie podejmowano problemu ich modelowania. Głównie dlatego, że istnieją duże problemy ich identyfikacji, operacjonalizacji i pomiaru.

Jedynie podsystem gospodarczo – obronny poddawany był modelowaniu ocenowemu w postaci potencjału gospodarczo – obronnego.

18.2. Statyczny model potencjału obronnego państwa

Z wielu cząstkowych modeli (niestety tylko potencjału gospodarczo – obronnego[137]) na uwagę zasługuje model zaproponowany przez dr hab. Mirosława Sułka, który przyjął założenie, że ogromne potrzeby materialne systemu obronnego państwa, w tym głównie sił zbrojnych mogą być zaspokojone przez odpowiednio do tego celu przygotowaną gospodarkę. Ze względu na duża liczbę dziedzin mających szczególne znaczenie dla obronności (bezpieczeństwa) państwa autor przyjął, że główną, miara potencjału gospodarczo-obronnego jest odpowiednio skorygowany produkt krajowy brutto. W modelu rolę czynnika korygującego pełni stopa wydatków militarnych. Ponadto za czynniki kreatywne potencjału autor przyjmuje ludność i powierzchnię kraju. Zasoby ludzkie są źródłem składnika osobowego sił zbrojnych, a także siły roboczej. Powierzchnia państwa jest postrzegana nie tylko jako teren ale również jako obszar (przestrzeń), na którym mogą być prowadzone działania wojenne. Z uwagi na fakt, że czas i przestrzeń mają szczególne znaczenie dla szeroko rozumianego zaplecza gospodarczego sił zbrojnych czynnik czasu ujęty jest w modelu w produkcie krajowym brutto (ma wymiar dochodu w jednostce czasu). Rozumowanie stanowi logicznie spójną całość. Ujmuje bowiem ludzi (pracowników i żołnierzy), narzędzia pracy i walki, oraz przestrzeń i czas, a więc wszystkie istotne dla pokojowej produkcji i walki czynniki. Model można zatem przedstawić jako zależność

---

[137] W pracy M. Sułek, *Podstawy potęgomanii i potęgometrii* autor przedstawia zmodyfikowany (co do wartości wykładników) model jako odwzorowujący potęgę (moc, siłę) państwa.

$$P = f(w, L, p)$$

gdzie:

P - wartość potęgi państwa (potencjału gospodarczo-obronnego),

$w = m \cdot D$ - wielkość wydatków militarnych,

m - stopa wydatków,

D - produkt krajowy brutto,

L - liczba ludności,

p - powierzchnia kraju.

Uzasadnienie merytoryczne (zmiennych egzogenicznych modelu):

1. Produkt krajowy brutto (**D**) reprezentuje czynnik **ekonomiczny**, przy czym jego wielkość podana jest w jednostkach bezwzględnych. Rola czynnika ekonomicznego nie jest przez nikogo kwestionowana.
2. Wydatki wojskowe jako całość (**w=mD**) reprezentują czynnik **militarny**, stopa wydatków (m) w modelu pełni rolę czynnika korygującego (możliwości gospodarki w dziedzinie obronności).
3. Stopa wydatków (**m**) reprezentuje czynnik **moralny** oraz czynnik **strategiczny** (uznanie roli czynnika militarnego).
4. Czynnik **demograficzny** reprezentowany jest przez ludność (**L**), która jest ciągle podstawą tworzenia produktu krajowego brutto oraz sił zbrojnych. Przy dużych różnicach ilościowych trudno go skompensować jakością.
5. Czynnik **geograficzny** reprezentowany przez powierzchnię (**p**) bywa elementem kontrowersyjnym, niemniej trudno podważać rolę powierzchni nie tylko ekonomiczną, ale i militarną (w wymiarze taktycznym i strategicznym)

Dla potrzeb badawczych autor proponuje model w postaci zależności funkcyjnej

$$P = w^{\alpha} * L^{\beta} * p^{\delta}$$

gdzie α, β, δ - stałe (autor proponuje wartości: $\alpha = 0.652$, $\beta = 0.217$, $\delta = 0.109$).

Wartość potencjału oszacowana na podstawie rzeczywistej wartości stopy wydatków stanowi tylko część całkowitych (globalnych) możliwości państwa – nazwana **mocą** (potęgą) **koordynacyjną** państwa (P_d). Przyjmując do obliczeń maksymalną (np. m = 1 - maksymalny koszt jaki może ponieść społeczeństwo) wartość wydatków można oszacować potencjał globalny (P_r) – moc globalną (roboczą) państwa. Różnica między wartością globalną a wykorzystaną potencjału stanowi rezerwę potencjału (P_k) i odpowiada mocy **dyspozycyjnej** państwa.

$$P_d = P_k + P_r$$

Porównanie wskaźników mocy dyspozycyjnej, koordynacyjnej i roboczej oraz relacji między nimi umożliwia prowadzenie bardziej szczegółowych analiz wielkości i charakteru potęgi pństwa.

Po przekształceniu (zlogarytmowaniu) zależności $P = w^{\alpha} * L^{\beta} * p^{\delta}$ można wyznaczyć wskaźniki składowe określające udział poszczególnych czynników w kształtowaniu wielkości wynikowej (zmiennej endogenicznej modelu). Będą to następujące wskaźniki:

- V_W - udział wydatków militarnych we wskaźniku P_k,
- U_{Lk} - udział ludności we wskaźniku P_k,
- U_{pk} - udział powierzchni we wskaźniku P_k,
- V_D - udział PKB we wskaźniku P_d,
- U_{Ld} - udział ludności we wskaźniku P_d,
- U_{pd} - udział powierzchni we wskaźniku P_d.

Wskaźnik Uw wskazuje na stopień militaryzacji potęgi państwa, czyli potencjał obronny państwa. Im wskaźnik jest większy, tym potencjał ma charakter bardziej czynny.

Ogólnie ujmując: państwo o wysokim wskaźniku jest potęgą gospodarczo – militarną, zaś państwo o niskim wskaźniku jest potęgą demograficzno – przestrzenną.

Wielkościami pochodnymi z P_g i P_d, określającymi szczególne aspekty potęgi państwa mogą być następujace:

- **wskaźnik gotowości q** (wskaźnik militaryzacji mocy dyspozycyjnej) – stosunek mocy koordynacyjnej do mocy dyspozycyjnej, świadczy on o gotowości państwa do użycia w obronie swoich interesów środków militarny. Określany jest wzorem:

$$q = \frac{P_k}{P_d};$$

- **wskaźniki mobilności f** (elastyczności) – określa wielkość wydatków wojskowych przypadającą na jednostkę elementów czasoprzestrzennych i demograficznych. Określany jest wzorem:

$$f = \frac{w^{0,652}}{L^{0,217} * p^{0,109}}$$

- **wskaźniki żywotności ż**– charakteryzuje ekonomiczno – militarne i demograficzne nasycenie czynnika czasoprzestrzennego. Im wskaźnik jest większy, tym trudniej przeciwnikowi „przeniknąć" przez potęgę państwa. Określany jest wzorem:

$$\dot{z} = \frac{w^{0,652} * L^{0,217}}{p^{0,109}}$$

18.2.1. Uproszczenia modelu ocenowego SOP w stosunku do systemu SOP

Omawiany model oceny systemu obronnego państwa w postaci *potencjału obronnego* państwa wywodzi się z ekonometrii. Jest bowiem jednorównaniowym modelem ekonometrycznym ze zmienną endogeniczną (P) – jako wskaźnikiem potęgi państwa. Zmiennymi egzogenicznymi w modelu są; produkt krajowy brutto (D), stopa wydatków wojskowych (m) (albo zbiorczo: wydatki wojskowe w = mD), ludność (L) i powierzchnia państwa (p).

Pojęcie *potencjału obronnego państwa* zostało z jednej strony rozszerzone do pojęcia potęgi państwa, z drugiej – zredukowane przez przyjęcie tylko trzech zmiennych egzogenicznych. Formuła operacjonalizująca pojęcie *potęgi* do postaci agregatowej jest wyjątkowo elementarna. Faktycznie pomija aspekt społeczny – ogólnie mówiąc, albo ludzki (wiedzę, umiejętności i wolę obrony), polityczny (kierowania) i mobilizacyjny (gospodarki i ludzi) oraz organizacyjny systemu państwowego.

Natomiast cenną wartością modelu jest możliwość pozyskania wiarogodnych i pełnych danych, jako realizacji zmiennych modelu, a więc zweryfikowanych.

18.2.2. Użyteczność modelu potencjału obronnego państwa

W tabeli 1 zebrano podstawowe dane faktograficzne (D – dochód narodowy, W – wydatki wojskowe, L – ludność, p – powierzchnia państwa) dla wszystkich państw Unii Europejskiej, natomiast w tabeli 2 wskaźniki określające parametry potęgi państwa – obliczone w modelu Sułka. Autor używa terminu: potęga, moc państwa – co może być utożsamiane z pojęciem potencjału obronnego państwa, chociaż dotyczy systemu państwowego (bezpieczeństwa) jako całości. System obronny państwa jest podsystemem systemu państwowego wyodrębnionym konceptualnie do analiz i ocen dotyczących obronności państwa, a więc realizuje się – z polityczno – wojskowego punktu widzenia – w wojnie.

Tabela 1. Podstawowe dane faktograficzne dla państw NATO (1998)

Lp.	Państwa	p	L	D	w
1.	USA	9363,50	273,10	8500,00	270,20
2.	KANADA	9976,10	29,20	604,00	6,30
3.	BELGIA	30,50	10,10	250,00	2,80
4.	CZECHY	78,90	10,50	55,00	1,10
5.	DANIA	43,10	5,30	174,00	2,70
6.	FRANCJA	551,50	59,20	1400,00	31,30
7.	NIEMCY	357,00	82,10	2100,00	26,50
8.	GRECJA	132,00	10,60	121,00	4,00
9.	WĘGRY	93,00	10,00	48,00	0,70
10.	ISLANDIA	103,00	0,28	8,30	0,00
11.	WŁOCHY	301,30	57,90	1200,00	17,80
12.	LUKSEMBURG	2,60	0,42	16,00	0,11
13.	HOLANDIA	40,80	15,70	372,00	7,10
14.	NORWEGIA	323,90	4,40	146,00	3,40
15.	**POLSKA**	**312,70**	**38,85**	**159,00**	**3,40**
16.	PORTUGALIA	92,40	9,90	105,00	1,60
17.	HISZPANIA	506,00	39,20	553,00	5,90
18.	TURCJA	779,50	65,20	188,00	7,80
19.	W. BRYTANIA	244,10	58,80	1300,00	37,40
X	**NATO**	**23331,90**	**780,75**	**17299,30**	**430,11**

Źródło: The Military Balance 1999/ 2000

Tabela 2. Potęga i jej parametry dla państw NATO (1998)

Lp	Państwa	POTĘGA		f	m	ż
		P_d	P_k			
1.	USA	3338,49	352,39	0,1056	4,2062	17,8788
2.	KANADA	369,07	18,84	0,0510	0,5852	0,9362
3.	BELGIA	87,74	4,69	0,0535	0,8162	1,5395
4.	CZECHY	36,57	2,85	0,0780	0,3968	0,6869
5.	DANIA	62,54	4,14	0,0661	0,8829	1,2126
6.	FRANCJA	542,87	45,55	0,0839	1,9574	5,8180
7.	NIEMCY	724,00	41,84	0,0578	1,7152	6,1580
8.	GRECJA	64,81	7,02	0,1083	0,8688	1,4285
9.	WĘGRY	33,71	2,14	0,0635	0,2934	0,4885
10.	ISLANDIA	5,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
11.	WŁOCHY	457,44	29,38	0,0642	1,4540	4,5691
12.	LUKSEMBURG	5,60	0,22	0,0389	0,2579	0,1597
13.	HOLANDIA	129,14	9,77	0,0757	1,3181	2,9175
14.	NORWEGIA	66,75	5,75	0,0862	0,8576	0,8738
15.	**POLSKA**	**112,77**	**9,19**	**0,0815**	**0,5366**	**1,4125**
16.	PORTUGALIA	55,99	3,66	0,0654	0,5044	0,8367
17.	HISZPANIA	268,38	13,90	0,0518	0,7279	1,8262
18.	TURCJA	155,47	19,52	0,1256	0,7460	2,2275
19.	W. BRYTANIA	472,60	46,74	0,0989	2,4061	7,7869
X	**NATO**	**7361,68**	**662,03**	**0,0899**	**4,1050**	**24,9416**

Źródło: Obliczenia J. Wocial

Tabela 3. Wskaźniki V_D i V_W oraz $V_m=V_D-V_W$ dla państw NATO w 1998

Lp	Państwa	V_d	V_w	V_d-V_w
1.	USA	0,7271	0,6225	0,1046
2.	KANADA	0,7063	0,4087	0,2976
3.	BELGIA	0,8046	0,4343	0,3703
4.	CZECHY	0,7259	0,0593	0,6667
5.	DANIA	0,8133	0,4561	0,3572
6.	FRANCJA	0,7501	0,5879	0,1622
7.	NIEMCY	0,7574	0,5722	0,1852
8.	GRECJA	0,7496	0,4639	0,2857
9.	WĘGRY	0,7175	-0,3055	1,0230
10.	ISLANDIA	0,8577	0,0000	0,8577
11.	WŁOCHY	0,7547	0,5554	0,1993
12.	LUKSEMBURG	1,0488	0,9448	0,1040
13.	HOLANDIA	0,7939	0,5606	0,2333
14.	NORWEGIA	0,7735	0,4561	0,3174
15.	**POLSKA**	**0,6994**	**0,3597**	**0,3397**
16.	PORTUGALIA	0,7538	0,2362	0,5176
17.	HISZPANIA	0,7363	0,4397	0,2966
18.	TURCJA	0,6765	0,4507	0,2258
19.	W. BRYTANIA	0,7591	0,6142	0,1449
X	**NATO**	**0,7146**	**0,6087**	**0,1059**

Źródło: Opracowanie J. Wocial

18.3. Statyczno – dynamiczny model potencjału obronnego państwa

W tabelach 4 i 5 oraz na rys.1 - 3 przedstawione zostały wyniki badań empirycznych wartości potęgi ($\mathbf{P_d}$ i $\mathbf{P_k}$) wybranych państw NATO (Polski, Niemiec, Hiszpanii i Włoch) w szeregu czasowym tj. w roku 1994, 1995, 1996, 1997, 1998.

Tabela 4. P_d - potęga dyspozycyjna państwa (z wykorzystaniem kategorii dochodu narodowego) dla państw NATO

Lp.	Państwa	1994	1995	1996	1997	1998
1.	USA	2855,83	2973,65	3085,86	3227,19	3338,49
2.	KANADA	343,99	353,75	366,08	373,95	369,07
3.	BELGIA	83,49	84,47	85,88	85,67	87,74
4.	CZECHY	27,66	29,15	30,61	32,05	36,57
5.	DANIA	55,54	62,05	62,32	61,38	62,54
6.	FRANCJA	522,64	574,86	541,24	542,28	542,87
7.	NIEMCY	662,67	722,54	722,10	722,08	724,00
8.	GRECJA	55,46	56,91	64,14	64,48	64,81
9.	WĘGRY	30,70	31,59	32,19	32,84	33,71
10.	ISLANDIA	4,09	4,46	4,57	4,63	5,00
11.	WŁOCHY	411,29	424,81	432,22	432,22	457,44
12.	LUKSEMBURG	4,23	6,00	5,34	5,59	5,60
13.	HOLANDIA	119,77	124,14	125,17	126,33	129,14
14.	NORWEGIA	59,46	62,29	65,75	68,86	66,75
15.	**POLSKA**	**79,47**	**83,32**	**88,07**	**101,25**	**112,77**
16.	PORTUGALIA	48,66	50,23	51,70	53,85	55,99
17.	HISZPANIA	246,11	270,90	256,35	261,69	268,38
18.	TURCJA	155,68	146,38	151,55	156,77	155,47
19.	W. BRYTANIA	403,23	424,04	447,91	472,36	472,60
X	**NATO**	**6504,63**	**6856,53**	**6985,76**	**7192,37**	**7361,68**

Źródło: Obliczenia własne

W analizowanym szeregu czasowym dynamika wzrostu $\mathbf{P_d}$ dla Polski wynosi 42 %, podczas gdy dla Niemiec – 9,2 %, Włoch – 11 %, Hiszpanii – 9 % (USA – 17 %). Średnia dla państw NATO wynosi 13 %.

Natomiast udział P_d poszczególnych państw w całkowitym P_d wszystkich państw NATO jest różny, i wynosi (w 1998): dla Polski 1,2 %, podczas gdy dla Niemiec – 10 %, Włoch – 6,3 %, Hiszpanii – 3,8 % (USA – 44 %).

Tabela 5. P_k - potęga koordynacyjna państwa (z wykorzystaniem kategorii wydatków wojskowych) dla państw NATO

Lp.	Państwa	1994	1995	1996	1997	1998
1.	USA	355,79	351,28	346,82	341,07	352,39
2.	KANADA	23,58	22,42	21,34	20,44	18,84
3.	BELGIA	4,47	4,55	4,61	4,70	4,69
4.	CZECHY	2,55	2,72	2,85	2,66	2,85
5.	DANIA	4,18	4,51	4,51	4,15	4,14
6.	FRANCJA	49,29	53,67	51,80	46,83	45,55
7.	NIEMCY	44,38	49,31	47,10	41,88	41,84
8.	GRECJA	6,20	6,29	6,44	6,61	7,02
9.	WĘGRY	2,03	1,89	1,77	2,08	2,14
10.	ISLANDIA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	WŁOCHY	27,54	27,44	31,69	29,84	29,38
12.	LUKSEMBURG	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22
13.	HOLANDIA	9,81	9,74	10,62	9,67	9,77
14.	NORWEGIA	5,51	5,79	6,07	5,95	5,75
15.	**POLSKA**	**6,92**	**7,68**	**8,65**	**8,60**	**9,19**
16.	PORTUGALIA	3,55	3,71	3,80	3,80	3,66
17.	HISZPANIA	13,79	14,96	15,41	13,97	13,90
18.	TURCJA	13,62	16,78	15,84	19,99	19,52
19.	W. BRYTANIA	43,84	44,25	44,53	45,35	46,74
X	**NATO**	**665,47**	**673,28**	**668,68**	**649,59**	**662,03**

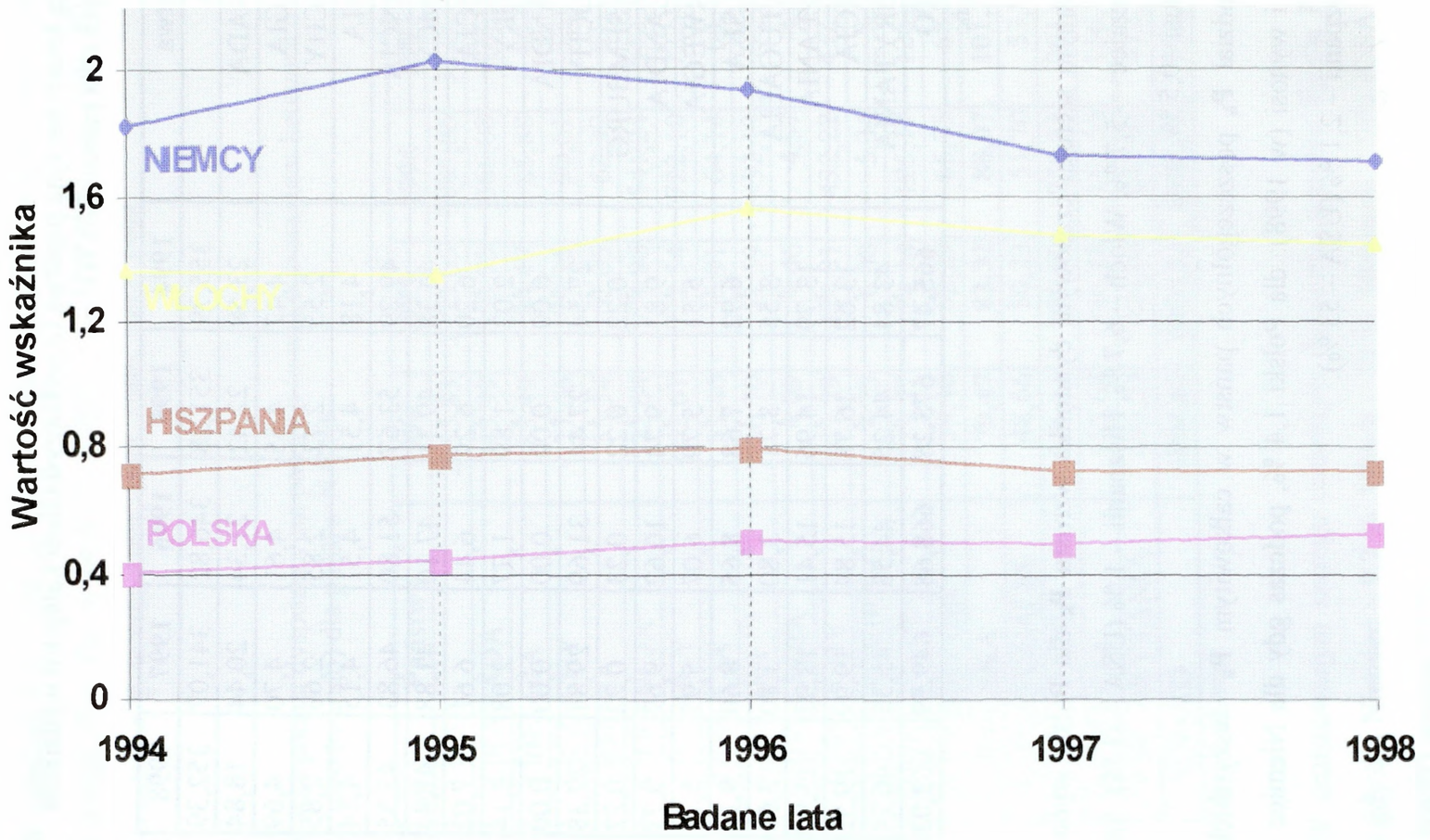
Źródło: Obliczenia własne

W analizowanym szeregu czasowym dynamika wzrostu P_k dla Polski wynosi 33 %, podczas gdy dla Niemiec – -5,7 %, Włoch – 6,7 %, Hiszpanii – 1 % (USA – -1 %). Średnia dla państw NATO wynosi –0,5 %.

Natomiast udział P_k poszczególnych państw w całkowitym P_k wszystkich państw NATO jest różny, i wynosi (w 1998): dla Polski 1,4 %, podczas gdy dla Niemiec – 6,3 %, Włoch – 4,5 %, Hiszpanii – 2,1 % (USA – 53 %).

Rys. 1.

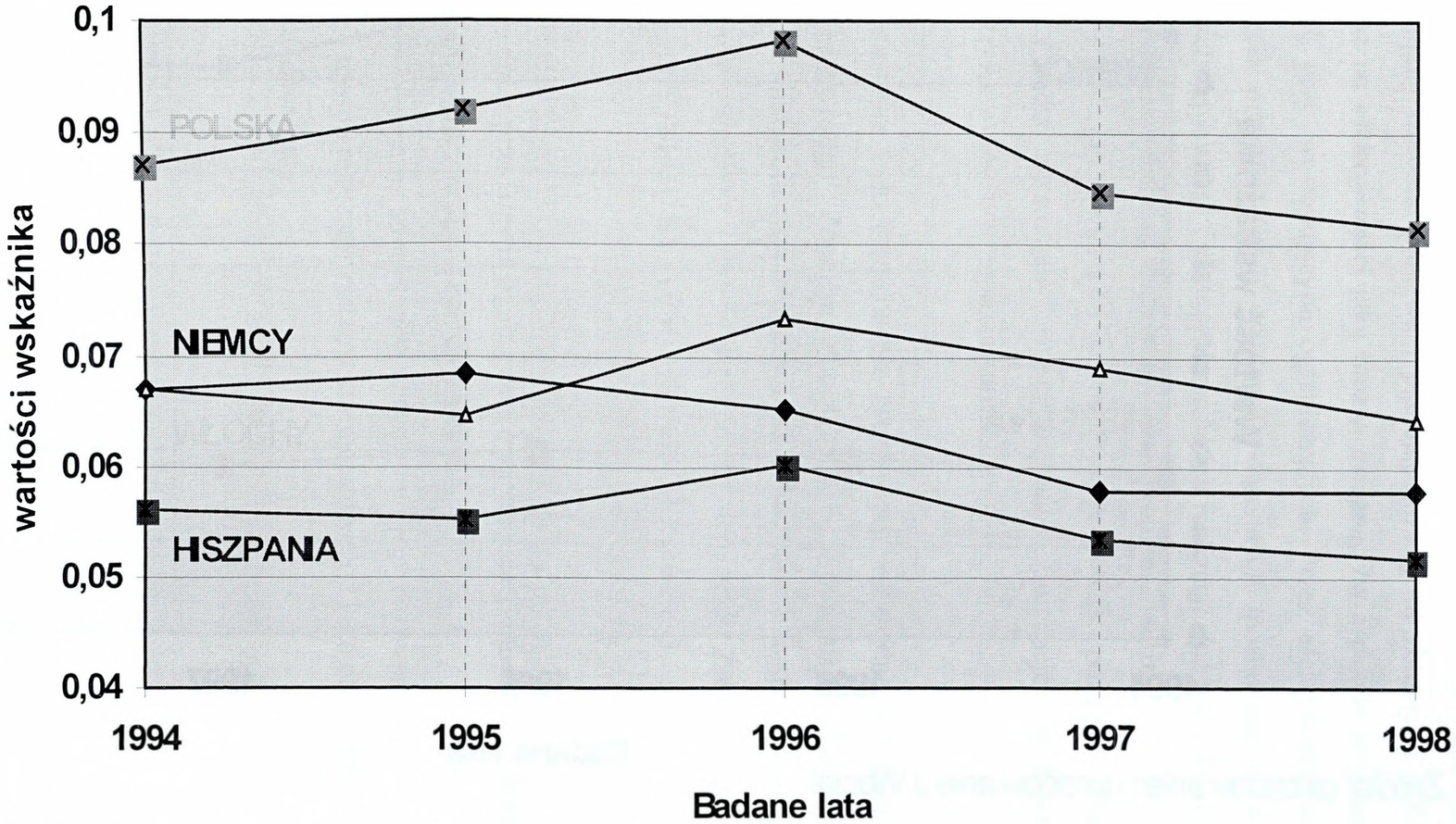
Zmiany wskaźnika mobilności potencjału obronnego w latach 1994 - 1998 dla wybranych państw NATO



Źródło: oszacowanie i opracowanie J.Wocial

Rys.2.

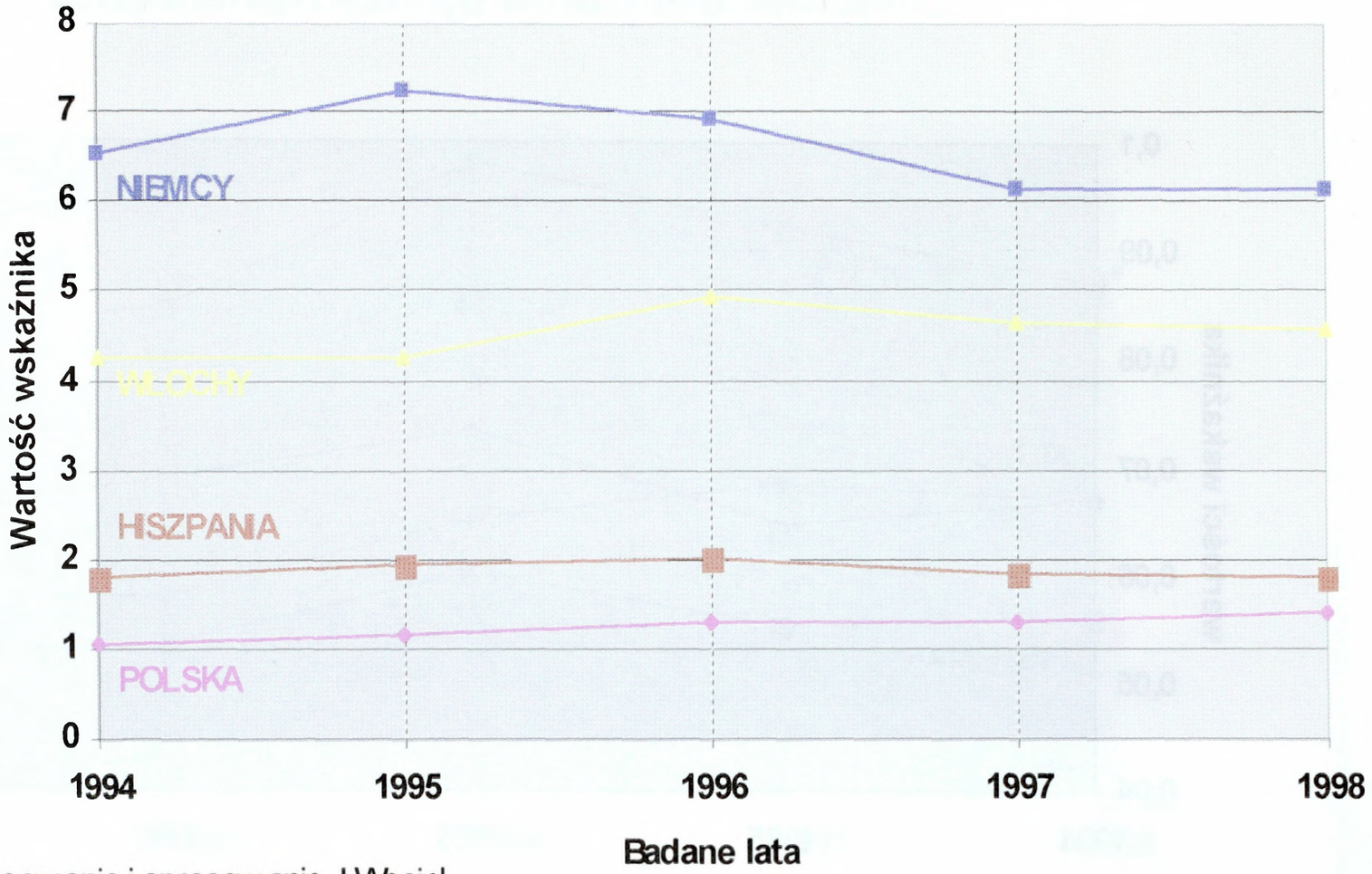
Zmiany wskaźnika gotowości potencjału obronnego w latach 1994-1998 dla wybranych państw NATO



Źródło: oszacowanie i opracowanie J.Wocial

Rys.3.

Zmiany wskaźnika żywotności potencjału obronnego w latach 1994 - 1998 dla wybranych państw NATO



Źródło: oszacowanie i opracowanie J.Wocial

18.4. Koncepcja dynamicznego modelu potencjału obronnego państwa

Opracowując plany obronne państwa i planując rozwój sił zbrojnych /SZ/ , należy wysiłki skoncentrować na **efektywności** jaką można osiągnąć /w aspekcie prognozowanych zagrożeń militarnych/, przy występujących ograniczeniach. Przez efektywność rozumiemy **skuteczność** osiągnięcia przewidzianych w planach obronnych /postawionych w procesie wojny/ zadań obronnych /bojowych/ i **ekonomiczność** ich realizacji. Już takie dwukryterialne, ogólne określenie przestrzeni ocenowej stwarza poważne problemy realizacyjne, aby określona koncepcja organizacji i funkcjonowania SZ i państwa była poprawna - poza przeświadczeniem opracowujących ją. Chodzi o to, aby wypracowywane koncepcje uzyskiwać mogły udokumentowane i weryfikowalne oceny poprawności.

Dlatego, aby możliwe było uzyskiwanie takich ocen, niezbędne jest opracowanie i realizacja narzędzia badawczego. Zdaniem autora może - i powinien - nim być **model symulacyjny wojny**, odwzorowujący podstawowe procesy walki zbrojnej SZ i funkcjonowania państwa /chociażby tylko w aspekcie ich wsparcia/. Zrealizowany powinien być w postaci SYMULACYJNEGO SYSTEMU KOMPUTEROWEGO.

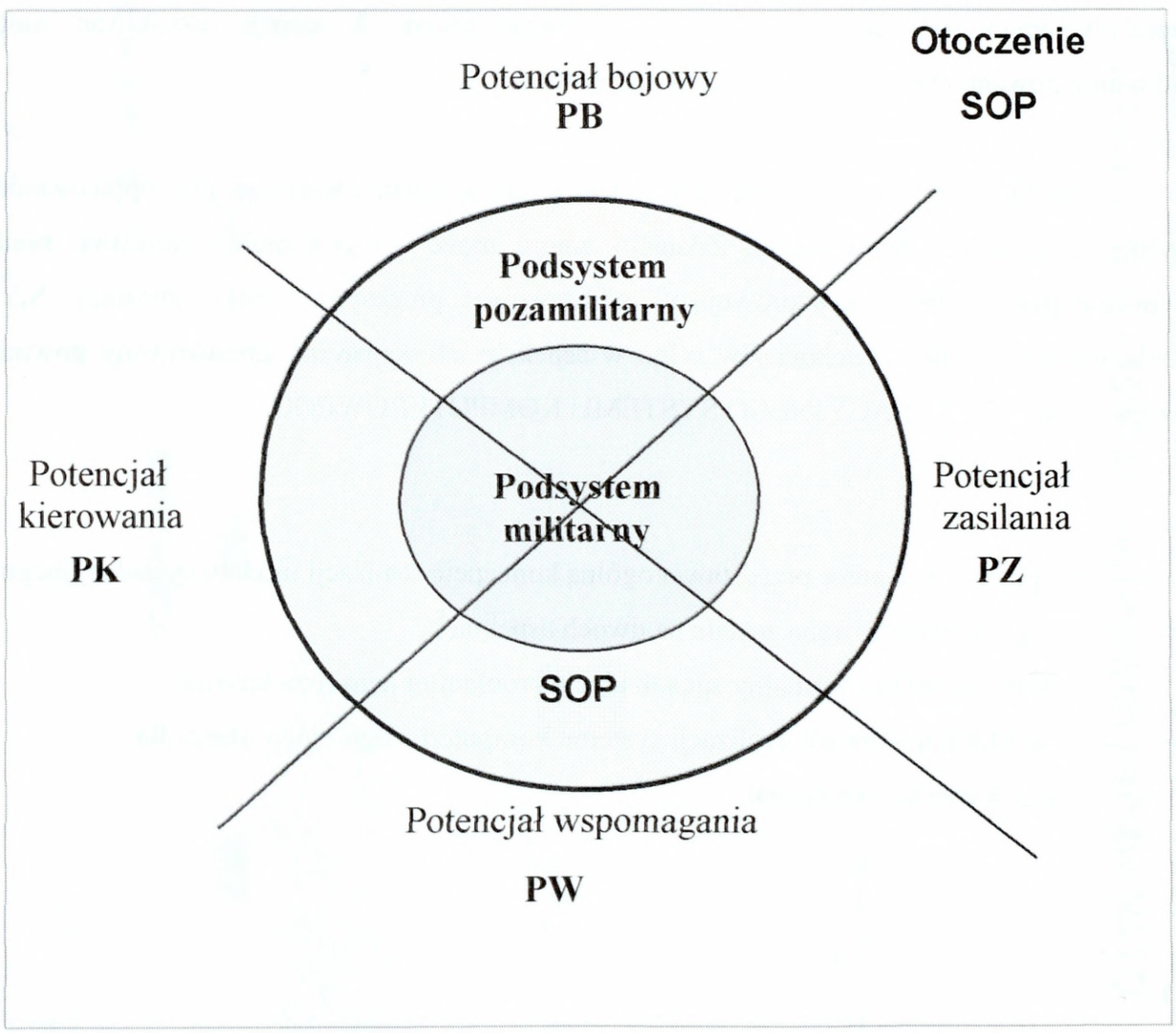
W opracowaniu autor przedstawia ogólną koncepcję realizacji modelu symulacyjnego wojny. Uwaga skoncentrowana została na dwóch aspektach:

- metodycznym - formalny sposób ujęcia problemu i jego rozwiązanie;
- utylitarnym - sposób realizacji systemu komputerowego i jego oferta dla użytkownika /operatora/.

Założenia i ustalenia przyjęte w modelu

1. Rozpatrywany przedmiot /czyli stronę w wojnie, tj. państwo lub koalicję/ opisujemy /rys.4/ w czterowymiarowej przestrzeni ***P*** potencjałów: bojowego /B/, zasilania /Z/, kierowania /K/ i wspomagania /W/.

$$\boldsymbol{P} = < PX : X \in \{B, Z, K, W\} >$$



Rys.4. Dekompozycja wertykalna i horyzontalna przedmiotu modelowania

2. Ustalamy, że każdy typ X potencjału PX "pochodzi" od określonego zbioru obiektów **O** tworzących stronę w modelu. Obiekty te mogą być różnie zorganizowane (w strukturę hierarchiczna, sieciową itp.) jak też - być może - niezorganizowane, a więc niezależne. Dlatego upraszczając rzeczywistość przyjmujemy, że potencjał PX obliczany będzie według formuły (1).

$$PX = \sum_{j=1}^{J} PX(O_j) \tag{1}$$

gdzie: PX - potencjał typu X dla X $\in$ {B, Z, K, W};

J - liczba obiektów /obiekty mogą być zarówno jednakowych klas, jak i różnych/;

$PX(O_j)$ - potencjał typu X, j - tego obiektu.

3. Potencjał PX, j-tego obiektu obliczamy według formuły (2):

$$PX(O_j) = \sum_{i=1}^{I} IL_i(O_j) \bullet JWJ_i(O_j) \tag{2}$$

gdzie: Il_i - ilość i-tego typu sprzętu /uzbrojenia i wyposażenia/;

JWJ_i - wartość i-tego typu sprzętu /uzbrojenia i wyposażenia/ w postaci **uogólnionego** jednostkowego wskaźnika jakości.

4. Ustalamy i przyjmujemy, że opis każdego typu potencjału, dla każdego podsystemu /SZ, podsystem pozamilitarny = państwo/, dla każdej strony, obejmuje:

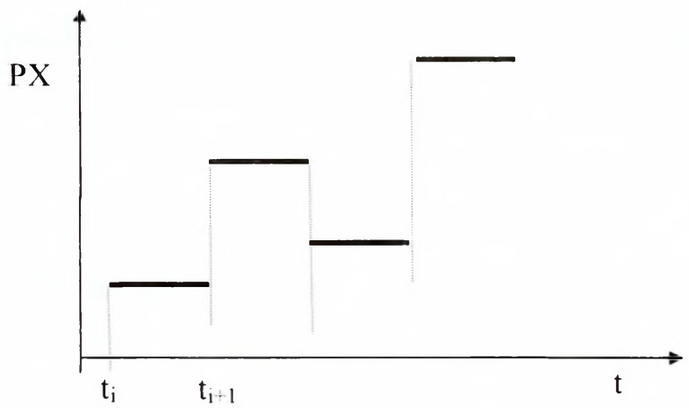
a) wartość potencjału,

b) gotowość potencjału do użycia,

c) intensywność produkcji (uzupełniania) potencjału,

d) intensywność zużycia potencjału.

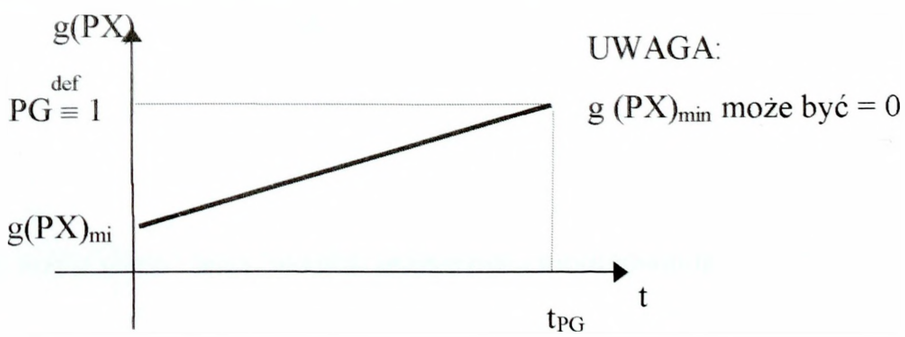
Ad. a). Przyjmujemy, że wartość potencjału **PX** typu X : X ∈{B, Z, K, W} jest funkcją ciągłą w czasie, choć faktycznie w procesie obliczeniowym traktowana jest jako funkcja skokowa /na in plus i in minus/ w punktach (momentach) czasu zmiany jednorodności zjawisk /rys.5/.



Rys.5. Faktyczna funkcja potencjału typu X w czasie

Nadanie charakteru funkcji ciągłej dla funkcji stałej odcinkami /rys.5/ następuje w procesie obróbki wyników eksperymentu symulacyjnego metodami aproksymacyjnymi.

Ad. b). Przyjmujemy, że gotowość **g(PX)** do użycia potencjału PX : X ∈{B, Z, K, W} jest funkcją ciągłą w czasie /rys.6/, określającą stopień narastania zorganizowania potencjału PX.

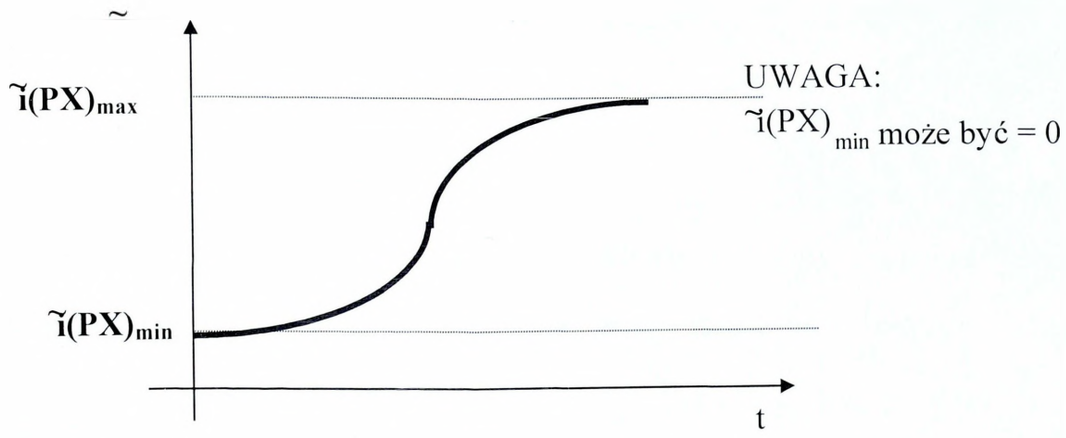


Rys.6. Funkcja gotowości **g(PX)** do użycia potencjału **PX**

Należy zauważyć, że funkcja g(PX)(t) związana jest **multiplikatywnie** z wartością potencjału PX.

Ad c). Przyjmujemy, że intensywność **i(PX)** uzupełniania /produkcji/ potencjału PX : X ∈ {B, Z, K,W} jest funkcją ciągłą w czasie. Ustalamy, że funkcja wartości względnych $\hat{i}(PX)$ intensywności **i(PX)** uzupełniania /produkcji/ potencjału PX, ma postać jak na rys.7. Funkcja $\hat{i}(PX)$ związana jest z funkcją **i(PX)(t)** formułą (3):

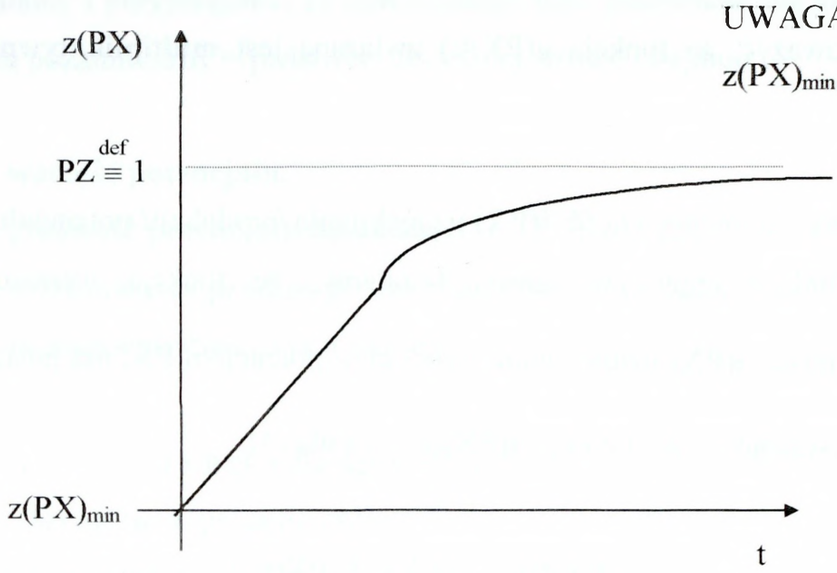
$$\mathbf{i(PX)(t)} = \hat{i}(PX) \ * \ \mathbf{PX(t)} \tag{3}$$



Rys.7. Funkcja intensywności $\tilde{\mathbf{i}}(\mathbf{PX})$ uzupełnienia potencjału PX

Należy zauważyć, że funkcja $\hat{i}(PX)$ związana jest **addytywnie** z wartością potencjału PX.

Ad d). Przyjmujemy, że intensywność zużycia **z(PX)** potencjału PX : X ∈{B, Z, K, W} jest funkcją ciągłą w czasie /rys. 7/:



Rys.8. Funkcja intensywności **z(PX)** zużycia potencjału **PX**

Należy zauważyć, że funkcja **z(PX)(t)** związana jest **addytywnie** z wartością potencjału PX.

UWAGA:

Funkcje $\hat{i}(PX)$ i **z(PX)** są odniesione do wartości PX *obiektu strukturalnego* wyposażonego zgodnie z etatem czasu „P". Po utworzeniu zgrupowania bojowego, system oblicza dla każdego elementu ugrupowania funkcje $\hat{i}(PX)$ oraz **z(PX)** w odniesieniu do norm wyrażonych w dyrektywie do operacji.

Konkludując przedstawione powyżej założenia i dokonane ustalenia, przyjmujemy w konsekwencji, że potencjał PX określony jest formułą (4):

$$\mathbf{PX = f\,(\,PX(t),\, g(PX)(t),\, i(PX)(t),\, z(PX)(t)\,)}$$

dla $X \in \{B,\ Z,\ W,\ K\}$, gdzie funkcja **f** może być różnej postaci. W modelu przyjmujemy, że:

$$PX(t) = PX(t) * g(PX)(t) + i(PX)(t) - (PX)(t) \quad (5)$$

5. Ustalamy i przyjmujemy, że opis podsystemów będzie następujący:

- Dla podsystemu militarnego / **SIŁY ZBROJNE/:**

Elementarnym obiektem ${}^{SZ}O_j$ rozpatrywanym dla SZ jest związek taktyczny typu dywizja, samodzielna brygada i im równorzędne. Potencjał ${}^{SZ}P(O_j)$ obiektu O_j przedstawia się zatem następująco (6):

$$P^{SZ}({}^{SZ}O_j) = (L(t), PB(t), PZ(t), PW(t), PK(t)) \quad (6)$$

czyli opisany jest następującą macierzą (tabela 6):

Tabela 6.

L(t)	PB(t)	PZ (t)	PW(t)	PK(t)
g(L)(t)	g(PB)(t)	g(PZ)(t)	g(PW)(t)	g(PK)(t)
i(L)(t)	i(PB)(t)	i(PZ)(t)	i(PW)(t)	i(PK)(t)
z(L)(t)	z(PB)(t)	z(PZ)(t)	z(PW)(t)	z(PK)(t)

Dla elementów ugrupowania, system sam oblicza wartość powyższych zmiennych.

- Dla podsystemu pozamilitarnego:

Elementarnym obiektem ${}^{P}O_j$ rozpatrywanym dla podsystemu pozamilitarnego powinna być jednostka przestrzenna typu gmina z następujących powodów:

dość dokładny opis różnicujący rozpatrywane potencjały;

dostępność źródeł informacji;

możliwość składania na różnorodne jednostki większe /ich opis dokonany zostanie metodą klasyfikacji/.

W modelowaniu procesów podwyższonej i pełnej gotowości obronnej państwa /tabela 7/, system oblicza wartości powyższych zmiennych (7) dla OBSZARÓW i REJONÓW odpowiedzialności.

$$P^{P}(O_j) = (\ L(t),\ PB(t),\ PZ(t),\ PW(t),\ PK(t)\ )$$

czyli opisany jest następującą macierzą:

Tabela 7.

L(t)	PB(t)	PZ (t)	PW(t)	PK(t)
g(L)(t)	g(PB)(t)	g(PZ)(t)	g(PW)(t)	g(PK)(t)
i(L)(t)	i(PB)(t)	i(PZ)(t)	i(PW)(t)	i(PK)(t)
z(L)(t)	z(PB)(t)	z(PZ)(t)	z(PW)(t)	z(PK)(t)

Opis każdej jednostki przestrzennej /statycznej i dynamicznej/ dokonany jest z punktu widzenia SZ i przedstawiony jest w postaci zagregowanej. Jeżeli zorganizowana zostanie baza danych obejmująca opis rzeczowy każdego składu i środka produkcji ze względu na potrzeby SZ /sprzęt bojowy, wyposażenie techniczne i materiałowe/, to na tej podstawie system będzie obliczał możliwości potencjałowe każdej jednostki przestrzennej.

Różnica między opisem SZ a Państwa tkwi w aspekcie rzeczowym, m.in.:

dla potencjału ludzkiego - liczba mężczyzn możliwych do wcielenia,

dla potencjału bojowego - produkcja środków walki,

dla potencjału zasilania - produkcja amunicji, MPS, żywności i środków zaopatrzenia medycznego,

dla potencjału wspomagania - infrastruktura obiektu (drogi, operacyjne przygotowanie terenu, naturalne własności terenu),

dla potencjału kierowania - przygotowane stanowiska dowodzenia oraz infrastruktura łączności (węzły łączności, sieci i linie łączności).

6. Ustalamy i przyjmujemy, że każdy obiekt analizować będziemy w trzech stanach /tabela 8/:

Tabela 8

	W czasie pokoju	**W okresie mobilizacji**	**W okresie wojny**
P A Ń S T W O	**Stała gotowość obronna państwa:** • Pokojowa działalność dyplomatyczna i opracowanie planów obronnych • Przygotowywanie społeczeństwa do obrony • Przygotowywanie GN do świadczeń wojennych • Zaopatrywanie SZ na etat „P”	**Podwyższona gotowość obronna państwa:** • Wzmożona działalność dyplomatyczna i uruchamia -nie planów obronnych • Mobilizacja społeczeństwa do działań obronnych • Mobilizacja GN • Uzupełnianie SZ do etatu „W”	**Pełna gotowość obronna państwa:** • Pozyskane sojusze, wojenna organizacja i funkcjonowanie państwa • Powszechny opór i obrona dziedzictwa • Produkcja „na front” • Pełne zaspokojenie wojennych potrzeb SZ

	Stała gotowość bojowa SZ:	Podwyższona gotowość /gotowość zagrożenia wojennego/ SZ:	Pełna gotowość bojowa SZ:
SZ	• Planowanie i organizacja obrony militarnej • Szkolenie stanu osobowego i rezerw • Utrzymanie sprzętu, uzbrojenia i wyposażenia • Ćwiczenia sztabowe i bojowe	• Weryfikacja (uaktualnianie) planów • Ćwiczenia z wojskami • Działania pozorujace • Uzupełnianie etatu • Mobilizacyjne rozwinięcie	• Wielowariantowe plany użycia wojsk • Pełna gotowość operacyjan • Ćwiczenia kompleksowe • Przegrupowywania • Operacyjne rozwinięcie • Walka

Proces przechodzenia ze stanu pokoju do stanu wojny polega na:

zmianie wartości $\tilde{g}$, $\tilde{i}$ dla każdego obiektu (w każdym potencjale i każdym podsystemie). Proces zmian rozpoczyna się od poziomu określonego w czasie „P" i przebiega w różnym tempie (zgodnie z planem mobilizacyjnym) do poziomu $\tilde{g}$ =1 (100%), oraz $\tilde{i}$ do wartości i^{max},

zmianie położenia obiektu ${}^{sz}O_j$ do określonej jednostki przestrzennej ${}^{p}O_j$ (określonej jednostki statycznej /np. administracyjnej/ i/lub dynamicznej /obszar, rejon/. Zmiana ta dotyczy jedynie obiektów podsystemu militarnego. W modelu nie przewiduje się tworzenia nowych źródeł potencjałotwórczych i/lub przemieszczania starych. Po zmianie położenia zmienia się również wartość potencjału: PK, PW i PZ.

7. W ustalonej jednostce czasu potencjał SZ określany jest zgodnie z formułą (8):

$$P^{SZ} = f\,(\,L, PB, PW, PZ, PK\,)$$

przy czym wszystkie elementy są różnie zmienne, np:

in „plus" na podstawie symulacji wzrostu,

in „minus" na podstawie symulacji ubytku odwzorowanego Modelem Lanchastera.

Metoda rozwiązania problemu

1. Dla ustalonego momentu /chwili/ czasu t_n, gdzie n = 1, 2, 3, ..., N, które są punktami zmiany jednorodności rozpatrywanych zjawisk, obliczamy potencjał PX : X ∈ {B, Z, K, W} i wartość L na podstawie równań bilansowych:

- Dla SZ zgodnie z formułą (9):

$$\begin{cases} {}^{sz}\vec{P}X = diag({}^{sz}PX) \bullet \vec{g}({}^{sz}PX) + \vec{i}({}^{sz}PX) - \vec{z}({}^{sz}PX) \\ {}^{sz}L = {}^{sz}l \bullet {}^{sz}g^{L} + {}^{sz}i^{L} - {}^{sz}z^{L} \end{cases} \quad (9)$$

- Dla PAŃSTWA zgodnie z formułą (10):

$$\begin{cases} {}^{P}\vec{P}X = diag({}^{P}PX) \bullet \vec{g}({}^{P}PX) + \vec{i}({}^{P}PX) - \vec{z}({}^{P}PX) \\ {}^{P}L = {}^{P}l \bullet {}^{P}g^{L} + {}^{P}i^{L} - {}^{P}z^{L} \end{cases} \quad (10)$$

- Związek między potencjałem państwa wyrażonym równaniem (10), a potencjałem SZ wyrażonym równaniem (9) określony jest równaniem (11):

$$\begin{cases} \vec{\mathbf{i}}\,({}^{\mathbf{sz}}\mathbf{PX}) & = \mathbf{f}\,(\vec{\mathbf{i}}\,({}^{\mathbf{P}}\mathbf{PX}),\ ,\ ) \\ {}^{\mathbf{sz}}\mathbf{i}^{\mathbf{L}} & = \mathbf{f}\,({}^{\mathbf{P}}\mathbf{i}^{\mathbf{L}},\ ,\ ) \end{cases} \tag{11}$$

2. Dla okresu czasu $\tau_{n+1} \in (t_n, t_{n+1})$, gdzie n = 1, 2, 3, ..., N, które są odcinkami jednorodności rozpatrywanych zjawisk w czasie, obliczamy ubytki potencjału PX : X ∈ {B, Z, K, W} i ubytek wartość L na zmodyfikowanych równań **Lanchastera**:

- Dla SZ zgodnie z formułą (12):

$$\begin{cases} \dfrac{d\begin{bmatrix} {}^{sz}\vec{P}X_0 \\ {}^{sz}L_0 \end{bmatrix}}{dt} = -\,{}^{sz}\vec{\lambda}_1 . diag(PB_1) \\ \dfrac{d\begin{bmatrix} {}^{sz}\vec{P}X_1 \\ {}^{sz}L_1 \end{bmatrix}}{dt} = -\,{}^{sz}\vec{\lambda}_0 . diag(PB_0) \end{cases} \tag{12}$$

- Dla PAŃSTWA zgodnie z formułą (13):

$$\begin{cases} \dfrac{d\begin{bmatrix} {}^{P}\vec{P}X_0 \\ {}^{P}L_0 \end{bmatrix}}{dt} = -{}^{P}\vec{\lambda}_1 . diag(PB_1) \\ \dfrac{d\begin{bmatrix} {}^{P}\vec{P}X_1 \\ {}^{P}L_1 \end{bmatrix}}{dt} = -{}^{P}\vec{\lambda}_0 . diag(PB_0) \end{cases} \quad (13)$$

gdzie dolne prawe indeksy oznaczają „stronę" w modelu wojny, wektory λ oznaczają intensywność niszczącego użycia potencjału PB na L i na każdy typ potencjału PX : $X \in \{B, K, Z, W\}$ drugiej strony.

3. Przedstawiona metoda rozwiązania jest zatem **dwuetapowa** dla każdego wyodrębnionego /ze względu na jednorodność zjawisk/ momentu t_n i okresu τ_{n+1} czasu.

w etapie pierwszym uwzględniono:

uprzedzające uderzenia przeciwnika na obiekty potencjałotwórcze (zasoby i środki produkcji).

w etapie drugim uwzględniono:

klasyczne formy walki.

Cel i przeznaczenie modelu wojny

Celem modelu jest poprzez symulacyjne odwzorowanie procesów funkcjonalnych zachodzących w realnym systemie państwowym, systemie obronnym państwa i systemie SZ, uzyskiwanie oceny efektywności ich działania w procesie wojny. Faktycznie ocena taka dokonywana powinna być /i jest/ w trzech stanach państwa i SZ : w czasie pokoju, kryzysu /mobilizacji państwa i SZ/ i w okresie wojny.

Przeznaczeniem modelu wojny, mówiąc ogólnie, jest **wspomaganie decyzji** w zakresie planowania obronnego i zarządzania kryzysami /w tym wczesnego ostrzegania/.
Szczegółowiej zaś mówiąc, wykorzystywany może /i powinien/ być przez organy :

- operacyjne do bieżącej diagnozy stanu państwa i SZ;
- planistyczne do systematycznej analizy i weryfikacji wypracowywanych koncepcji;
- decyzyjne do nabycia umiejętności posługiwania się modelem;
- sztabowe do prognozowania skutków wojny;
- naukowo - badawcze w celu realizacji kolejnych, doskonalszych jego wersji;
- dydaktyczne do szkolenia oficerów i pracowników centralnej administracji państwowej.

Odwzorowanie działania SZ w modelu.

Model w trybie interakcyjnym umożliwia operatorowi zorganizowanie zgrupowania wojsk, jego odpowiednie ugrupowanie bojowe i postawienie zadań do realizacji każdemu wyróżnionemu elementowi /i/lub obiektowi, jeżeli element jest obiektem prostym/, tak jak realizowane jest to w dyrektywie do operacji. Następnie, na podstawie tak określonego scenariusza działania dla każdego elementu/obiektu, model dokonuje dyskretyzacji czasu na okresy jednorodnych zjawisk - z punktu widzenia obu stron. Dla każdego okresu czasu symulowane jest wzajemne oddziaływanie stron i w efekcie obliczane ubytki w stanie osobowym L i potencjale każdego typu X, dla każdej ze stron. Na tej podstawie model wnioskuje o stopniu utrzymania (utracie) terenu. Parametry symulacji przeprowadzonej dla

każdego okresu czasu określane i/lub losowane są zgodnie z przyjętymi regułami w zakresie charakteryzującym jednorodność zjawisk w danym okresie czasu.

System porządkuje jednostki czasowe, w których następuje zmiana jednorodności zjawisk, wyznacza okresy czasu, w których analizowane zjawiska są stałe (niezmienne). Uwzględniany jest dopływ L i potencjałów PX z państwa do SZ.

Odwzorowanie działania państwa w modelu

Model nie umożliwia operatorowi dynamicznej organizacji GN i społeczeństwa do wojny. Nie ma możliwości sterowania procesem produkcji potencjałów PX : X ∈ {B, W, Z, K}. Ustaleniu przez operatora podlegają tylko wartości początkowe zmiennych oraz określenie stopnia ich gotowości i charakterystyka zmian (intensywność produkcji i zużycia). Tak więc dla państwa nie odwzorowuje się jakiegoś analogonu „dyrektywy" do operacji - tak jak dla SZ. Model przyjmuje, że działania państwa w okresie mobilizacji i wojny realizowane są tak jak zaplanowano (z dokładnością do zdarzeń losowych). Jedyne zakłócenie uwzględniane w modelu pochodzi od niszczącego oddziaływania strony przeciwnej.
Uwzględniany jest dopływ L i potencjałów PX z zagranicy do państwa.

Zalety proponowanego modelu wojny

Uwzględnienie zewnętrza SZ, tj. państwa /a nawet zagranicy/.

Uwzględnienie „przejścia" tak SZ jak i państwa z organizacji i funkcjonowania w czasie „P" na organizację i funkcjonowanie w okresie „W".

Wektoryzacja skalarnego ujęcia modelu Lanchestera.

Detalizacja strony na elementy i obiekty proste oraz wyodrębnienie jednorodnych procesów walki /ze względu na ich działanie i oddziaływanie wzajemne/ umożliwiło dokonać dyskretyzacji czasu, co w konsekwencji przyczyniło się do tego, że model stał się nieliniowy - z punktu widzenia strony w wojnie.

Sposób realizacji

Problem określenia charakterystyk

Powyższe założenia mają jedynie wartość ogólnoanalityczną. Pokazują jakie problemy zostaną w modelu odwzorowane, a jakie nie. /ogólnie wprowadzany jest czynnik losowy/. Odwzorowanie to następuje w procesie przypisywania:

- charakterystykom stanu - zmiennych modelu;
- charakterystykom procesów - funkcji modelu.

Procesy określone zostały jako łańcuchy operacji, tj. pierwotne /ale nie elementarne, bo niejednokrotnie bardzo złożone analitycznie/ działanie na zmiennych modelu.

Ze względu na zmianę charakterystyk tak stanu jak i operacji /procesów/ następującą w czasie, a wynikającą ze „zużycia" i „regeneracji" /nabywania doświadczenia/ czyli „życia" systemu /realnego/, wprowadzone zostaną **zmienne zmian** stanu i funkcji modelu.

Niektóre, wyróżnione zmienne są decyzyjne, a więc podlegające zmianom przez operatora /na początku eksperymentu i/lub po cyklu obliczeniowym /etapie walki/. Inne zaś są niezależne od woli operatora /a ich wpływ może być zarówno dodatni /warunki sprzyjające/ jak i ujemny /niesprzyjające//.

Wszystkie zmienne powiązane są parametrami modelu, tj. współczynnikami i związkami relacyjnymi /funkcyjnymi/ o określonej wartości i postaci /np. rozkładzie/, które ustalane są dokładnie w procesie dopasowywania /weryfikacji/ modelu. Na etapie konceptualizacji następuje jedynie przyjęcie decyzji co do ich wystąpienia /uwzględnienia/.

Zmienne modelu są nie tylko nazwane, ale muszą być ustalone ich związki, przebieg w czasie oraz wartości. Następuje to w koncepcji i oparte jest najczęściej o normy.

Przewidywane główne zadania realizowane w systemie.

1. Obserwacja /raportowanie i wizualizacja /graficzna, pseudograficzna i numeryczna/ stanu sił i środków oraz procesów
2. Decydowanie:
   A. Statyczne /przed eksperymentem symulacyjnym/:
      - ustalanie struktury systemu SZ i państwa;
      - ustalanie dyslokacji podsystemów SZ i alokacji zasobów państwa;
      - ustalanie wielkości /i struktury/ zasobów

   B. Dynamiczne /po cyklu obliczeniowym/:
      - wypracowywanie decyzji o dostawach;
      - ze względu na czas;

3. Ocenianie: /procesów informacyjno - decyzyjnych i energo - materiałowych/:
   A. Stanu:
      - rozmieszczenia składów;
      - urzutowania /w asortymentach/;
      - wydolności środków transportowych;
      - mobilności i skuteczności środków organicznych;

   B. Procesów:
      - informacyjno - decyzyjnych;
      - zaopatrywania;
      - walki;

4. Obliczanie potencjałów PX : X $\in$ { B, Z, K, W } i jego rozkładów: rzeczowego, przestrzennego i czasowego, a także określenie wskaźników efektywności podsystemów Z, K, W na podsystem B, oraz państwa na SZ.

5. Weryfikowanie, poprzez:

- składowanie zmiennych w wyróżnionych momentach czasu w celu powtórnego podjęcia eksperymentu;

- *monitoring* wyróżnionych zmiennych w procesie rozwoju sytuacji wewntrznej w państwie i operacyjnej dla SZ;

- zadania /pseudo/optymalizacji problemów decyzyjnych.

Realizacja systemu komputerowego

1. Proponowana **forma** systemu komputerowego:
   - system autonomiczny
   - system interakcyjny;
   - system mieszany /interakcyjno - autonomiczny/;

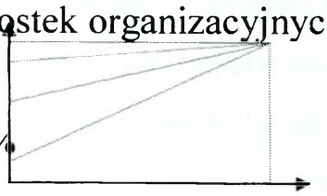
2. Wizja eksperymentu symulacyjnego

   - niezbędne dane i formy ich ustalania na etapie eksperymentu symulacyjnego;
   - istotne uproszczenia w odwzorowaniu państwa i ich SZ;

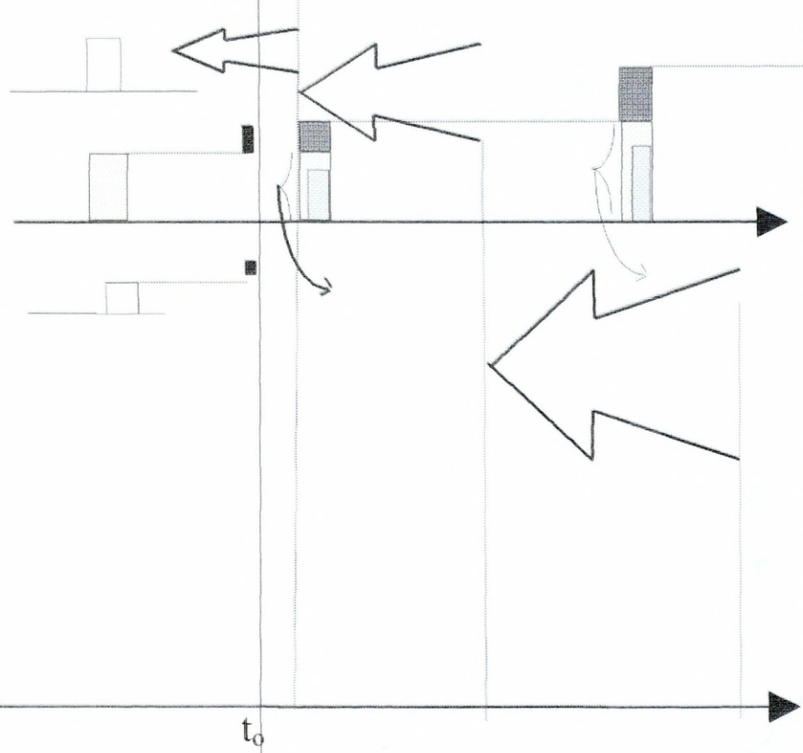
3. Uzysk z eksperymentu symulacyjnego;

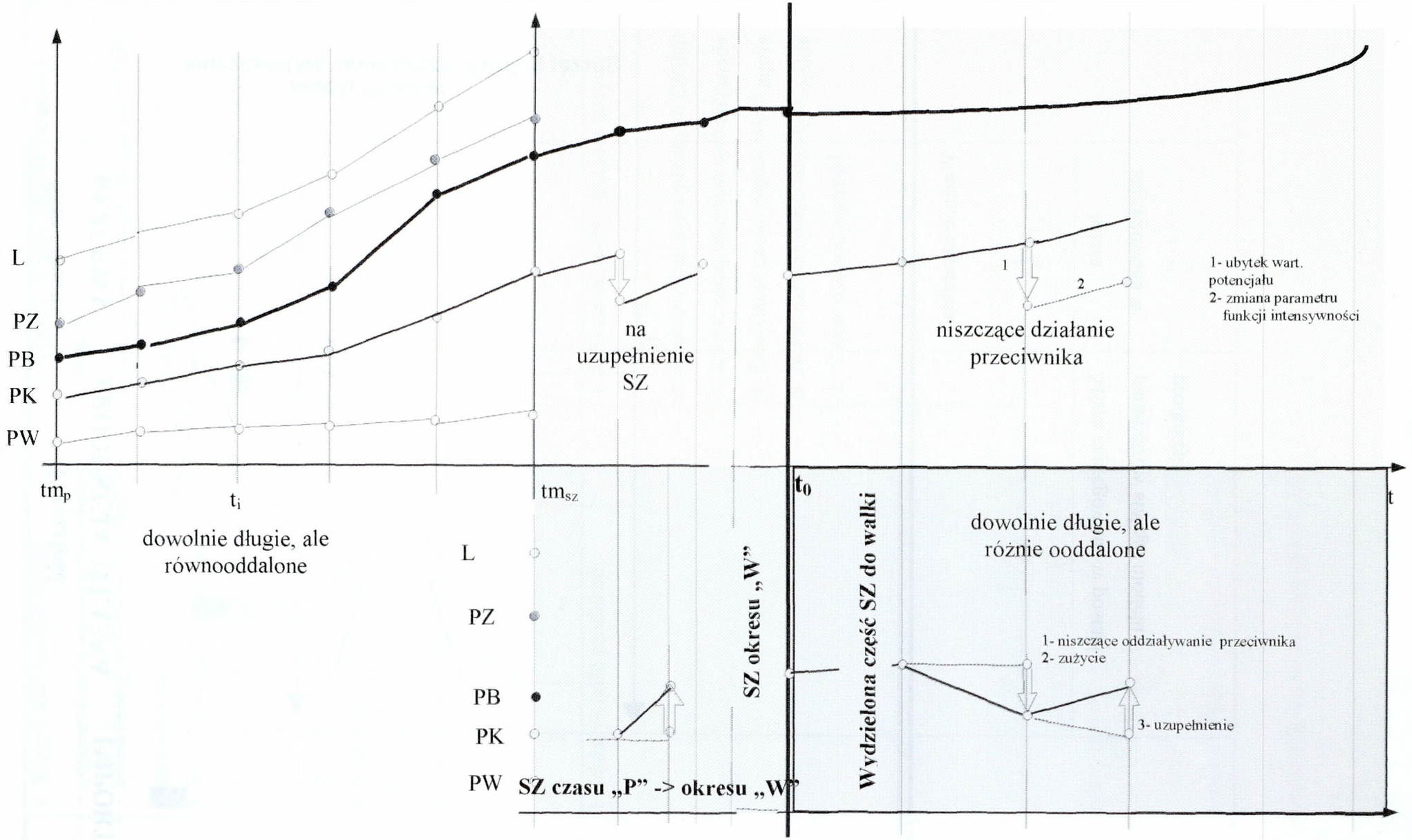
4. Problem adekwatności modelu do rzeczywistości.

ASPEKT RZECZOWY

	SYSTEM PAŃSTWOWY	SYSTEM SIŁ ZBROJNYCH
PRODUKCJA PX	1. Potencjał gospodarczy. 2. Poziom rozwoju techniczno-technologicznego 3.Potencjał produkcji specjalnej. 4. Wydzielone moce produkcyjne. 5. Zapasy surowców strategicznych. 6. Wydobycie surowców strategicznych. 7 Rezerwy państwowe. 8. Import surowców strategicznych. 9. Import sprzętu i uzbrojenia oraz części zamiennych. 10. Rezerwy osobowe. 11. Zorganizowanie GN i społeczeństwa	1. Stan ukompletowania jednostek organizacyjnych.  b={0, 0.2, 0.6, 0.85} $u(t)=a(t_{PG}-0)+b$ 2. Zorganizowania planu mobilizacji. 3. Stan infrastruktury komunikacyjnej. 4. Siły i środki wydzielone do przeprowadzenia mobilizacji oraz ich przygotowanie. 5. Efektywność procesu pozyskiwania środków z GN. 6. Zorganizowanie i efektywność sił logistycznych jednostek organizacyjnych. 7. Wyposażenie jednostek organizacyjnych w sprzęt. 8. Rozlokowanie składów i magazynów materiałowo - technicznych. 9. Teren. 10. Proces szkolenia mobilizowanych rezerw osobowych. 11. Formy oddziaływania przeciwnika.

GOTOWOŚĆ PX	1. Klarowność kompetencji i odpowiedzialność organów władzy i administracji państwowej właściwych w sprawach obrony. 2. Ilość i stan SK w państwie. 3. Poziom wiedzy i umiejętności oraz woli decydentów do podejmowania decyzji. 4. Ilość i jakość środków komunikacyjnych. 5. Jakość wspomagania informacyjnego (decyzyjnego) decydentów. 1. Wydzielone moce produkcyjne. 2.	1. Zorganizowanie planów osiągania WSGB. 2. Sprawność procesu osiągania WSGB. 3. Poziom wiedzy i umiejętności (wyszkolenie). 4. Efektywność procesu mobilizacyjnego i operacyjnego rozwinięcia wojsk. 5. Efektywność procesu odtwarzania zapasów.
ZUŻYCIE PX	1. Intensywność produkcji.	1. Sprawność, wiek i poziom zużycia sprzętu. 2. Intensywność prowadzonych działań. 3. Jakość usług remontowych. 4. Posiadanie części zapasowych. 5. Norm zużycia materiałowego. 3. Czasu trwania operacji.

	Stan Obecny	Przyszłość	
	REZERWY	**PRODUKCJA WŁASNA**	**IMPORT**
Sprzęt bojowy, uzbrojenie, wyposażenie według typów			
	t_o		
MPS: •benzyna •ropa •oleje			
	Wartość naturalna		
	Miara zagregowana w postaci	Miara zagregowana w postaci parametrów stałego modelu produkcji:	


L
PZ
PB
PK
PW
tm_p
t_i
tm_{sz}
dowolnie długie, ale
równooddalone
na
uzupełnienie
SZ
1
2
niszczące działanie
przeciwnika
1- ubytek wart.
potencjału
2- zmiana parametru
funkcji intensywności
t_0
t
dowolnie długie, ale
różnie ooddalone
1- niszczące oddziaływanie przeciwnika
2- zużycie
3- uzupełnienie
L
PZ
PB
PK
PW
SZ czasu „P" -> okresu „W"
SZ okresu „W"
Wydzielona część SZ do walki

19.Kompleksowy symulacyjny model potencjału bojowego sił zbrojnych

19.1. Pojęcie potencjału bojowego

19.1.1. Ogólnoteoretyczne pojęcie potencjału bojowego

Pojęcie *potencjału bojowego* sił zbrojnych posiada w literaturze różnorodną i dyskusyjną interpretację. Brak jest jednej, ustalonej definicji *potencjału bojowego*, a poszczególne określenia formułowane są najczęściej na indywidualny użytek danej pracy, modelu czy systemu[138].

P. Sienkiewicz proponuje, aby przez **potencjał bojowy** rozumieć "*całokształt możliwości bojowych danego systemu wojskowego /jednostki wojskowej, zgrupowania, strony walczącej, środka walki/ w danej chwili niezbędnych do prowadzenia działań bojowych /walki, bitwy, operacji/*"[139].

Możliwości bojowe SZ są zatem indywidualną i zmienną /tak w czasie, jak i w przestrzeni/ cechą systemową SZ, którą możemy określić tylko w konkretnym przypadku, dla ściśle ustalonego przedmiotu /systemu, zgrupowania, obiektu/, w ściśle określonych warunkach. Są one złożoną funkcją wielu argumentów /zmiennych, stałych i ograniczeń/, wśród których jednym z najistotniejszych jest czas. Ogólnie rozumiane możliwości bojowe są więc wielkością dynamiczną, zmienną w czasie, a ich pomiaru można dokonać tylko w ustalonym momencie czasu, przy ściśle określonych warunkach i ograniczeniach[140].

---

[138] *Patrz J. WOCIAL - Metoda oceny wartości modelu systemu sił zbrojnych, AON, 1998. Rozprawa doktorska.*

[139] *W dalszej części autor silnie relatywizuje aktualne możliwości bojowe do rodzaju walki /działań bojowych/. Na poziom możliwości bojowych, oprócz rodzaju walki, ma wpływ wiele innych jeszcze determinant potencjału bojowego, takich jak: uwarunkowania geopolityczne, warunki klimatyczno - meteorologiczne, stan moralno - polityczny, itp.*

[140] Na takie potrzeby konceptualizowane i opracowywane są stosowne modele /najczęściej symulacyjne/ [19], [27], [28], [35].

Jako cecha systemowa systemu sił zbrojnych o charakterze jakościowo – efektywnościowym, nie posiada miernika pomiaru. Jest zresztą tylko pewnym konstruktem logicznym, nie występuje jako byt fizyczny w świecie.

Przyjmijmy zatem, że przez pojęcie ***potencjału bojowego SZ*** /w postaci ***ogólnoteoretycznej***/ **rozumieć będziemy całokształt możliwości bojowych danego systemu wojskowego /środka walki, jednostki wojskowej, zgrupowania wojsk, strony walczącej, SZ/ w danej chwili niezbędnych do prowadzenia działań bojowych /walki, bitwy, operacji, kampanii, wojny/.**

19.1.2. Operacjonalizacja pojęcia potencjału bojowego

Operacjonalizacja pojęcia *potencjału bojowego SZ* jest niezwykle trudna[141]. Nie tylko ze względu na **różnorodność** systemów organizacyjnych SZ o różnych poziomach hierarchii, nie posiadających zoperacjonalizowanej miary swojej podstawowej cechy systemowej - ***wartości bojowej***, ale także ze względu na **nieokreśloność** czasu, miejsca, celu i *formy* działań. Dlatego, ogólnoteoretyczne ujęcie *potencjału bojowego SZ* zredukować należy do jego podstawowych, możliwie niezależnych /od tej różnorodności przedmiotu i nieokreśloności jego zastosowań/, niezbywalnych atrybutów. Takim atrybutem jest - *wartość bojowa* środków walki zgromadzona w systemie. Dobrze określona *wartość bojowa* środków walki danego systemu organizacyjnego /strukturalnego lub funkcjonalnego/ jest podstawą jego możliwości bojowych, bez względu na pozostałe uwarunkowania.

W naukach wojskowych, jako zoperacjonalizowaną **miarę *wartości bojowej*** dowolnego systemu organizacyjnego SZ przyjęło się traktować jego **potencjał rażenia /PR/**. Tak więc PR SZ /lub dowolnego zbioru jego elementów strukturalnych/ obliczany jest według formuły (1):

---

[141] *Wszelka operacjonalizacja pojęć ogólnoteoretycznych implikuje przynajmniej trzy kontrowersyjne aspekty problemu:*

- *redukcjonizmu pojęcia ogólnoteoretycznego do operacyjnego;*
- *różnic pomiędzy przyjętymi miarami operacyjnymi, które - patrząc globalnie - są najczęściej słabo między sobą skorelowane;*
- *każda przyjęta miara ocenowa prowadzi do kontrowersji.*

$$PR = \sum_{i=1}^{I} IL_i * JWJ_i \qquad (1)$$

gdzie IL_i - oznacza liczbę egzemplarzy i-tego typu sprzętu;

JWJ_i - oznacza ***jednostkowy wskaźnik jakości*** i-tego typu[142] sprzętu[143];

I - oznacza liczbę typów sprzętu.

19.2. Statyczny model potencjału bojowego sił zbrojnych

19.2.1. Uproszczenia modelu ocenowego SZ w stosunku do systemu SZ

Omawiany model oceny *potencjału rażenia* SZ wywodzi się - zdaniem autora - z ekonometrii. Jest bowiem analogią kosztów /zysku/ przedsiębiorstwa /lub innego podmiotu gospodarczego/ albo użyteczności /cenności/ określonego zbiorowiska niejednorodnych przedmiotów[144]. Pozwala jednak na to, aby SZ - będące systemem złożonym, a opisywanym różnymi miernikami naturalnymi /typowymi miarami taktycznymi i operacyjnymi /w koncepcjach strukturalno - organizacyjnych/ - brygady, dywizje, armie/ - przedstawić w postaci jednego miernika zagregowanego - **potencjału rażenia** SZ.

---

[142] *W całym zbiorze uzbrojenia, sprzętu i wyposażenia wojskowego wyodrębnione zostały grupy, w każdej grupie - podgrupy, w każdej podgrupie - typy /pojedyncze egzemplarze/. Dlatego często postać formuły (1) uwypukla ten fakt. Z punktu widzenia algebry - jest to bez znaczenia.*

[143] *Problemy określania jednostkowego wskaźnika jakości uzbrojenia, sprzętu i wyposażenia wojskowego opisane zostały w zadaniu badawczym nr. 1.*

[144] *J. Zielinski, J. Wocial - Potencjał militarny Polski i jego porównanie z potencjałem państw ościennych, AON, 1994, ss. 11. W przypadku gdy rozpatrywany zbiór obiektów /tu systemów broni/ nie jest sumowalny /operacja dodania samolotu do czołgu jest bez sensu/ wówczas każdemu obiektowi przypisujemy określoną cechę - cenę, jakość, użyteczność (bojową), itp. Cecha taka może być konstruktem prostym albo złożonym, ale zawsze opisywać powinna badany aspekt /tu wartość bojową sprzętu - jednostkowy wskaźnik jakości/.*

Pojęcie *potencjału bojowego SZ* zostało zatem **silnie** zredukowane do postaci *potencjału rażenia SZ*. Formuła (1) operacjonalizująca pojęcie *potencjału bojowego SZ* do postaci agregatowej - *potencjału rażenia SZ* jest wyjątkowo elementarna. Faktycznie opisuje zbiorowość, pomija[145] aspekt ludzki, kierowania i zasilania oraz organizacyjny systemu[146]. Nadto, dla elementów opisywanej zbiorowości zakłada zbyt wygórowane żądania co do poprawności określenia ich wartości bojowej, dokonywanej przez *JWJ*.

Jeśli jednak **wartość *JWJ* potraktujemy jako wartość oczekiwaną wartości bojowej środka walki w zbiorze** /uporządkowanym liniowo <ze względu na przyjęte kryterium>/ **wszystkich jego zastosowań** /walk, wojen/ **i określimy jego rozkład** /najlepiej, dającym się aproksymować znanym rozkładem teoretycznym/ **na tym zbiorze, to wówczas *JWJ* będzie dobrą miarą ocenową wartości bojowej tego środka walki**. Niestety, w tym przypadku prawidłowo postawione założenie teoretyczne, nie zostanie nigdy osiągnięte praktycznie. Powyższy postulat jest zbyt idealistyczny!

Jeśli zatem rozumiemy i pamiętamy o dokonanych *ex definitione* ograniczeniach treści definiowanego pojęcia, który to aspekt zostanie uwzględniony w interpretacji i wnioskowaniu na podstawie uzyskanych wyników - wówczas zawsze takie działanie ma sens i jest uzasadnione.

Przyjmijmy zatem, że **model ocenowy *potencjału bojowego* SZ przedstawiony w zoperacjonalizowanej postaci - *potencjału rażenia* SZ - jest wystarczającą miarą kwantytatywną oceny SZ w skali *macro*.**

---

[145] *Patrz na metodykę obliczania potencjału wojennego państwa uwzględniającą w dalszym procesie obliczeń czynnik ludzki, kierowania, zasilania i wspomagania [23], [24].*

[146] */ i wyszkoleniowy/ tak ważny dla systemu organizacyjnego, który się nie realizuje, nie weryfikuje się. /Jeśli już weryfikacja nastąpi, wówczas wszelkie oceny tracą sens./ Niestety, w tym przypadku tylko intuicja lub stosowanie innych metod ocenowych /np. symulacyjnych/ pozwoli uwzględnić te problemy. Poszukiwanie szerszej wykładni operacyjnej dla obliczenia efektu organizacyjnego w badaniach diagnostycznych jest jak dotychczas kwestią otwartą. Patrz H. Piekarz - Efekt organizacyjny jako kryterium oceny systemu wytwórczego, ZN AE w Krakowie, seria Monografie nr 102, 1991, ss. 8.*

19.2.2. Użyteczność modelu potencjału bojowego sił zbrojnych

Podstawowa użyteczność modelu potencjału bojowego jest taka, że umożliwia kwantytatywną ocenę sił zbrojnych. Ocena taka dokonana może być w dwóch aspektach:

- stanu potencjału bojowego (sił zbrojnych);
- struktury potencjału bojowego (w rozkładzie na rodzaje sił zbrojnych, rodzaje wojsk, okręgi wojskowe (administracyjne, operacyjne), grupy sprzętu, itp.).

Uzyskana ocena sił zbrojnych w postaci wartości jego potencjału bojowego jest po prostu **diagnozą SZ w kwantytatywnej postaci.** Opracowanie diagnozy pozwoli przeprowadzić analizę i uzyskać odpowiednie oceny, zarówno w postaci szeregu rozdzielczego, jak i czasowego. Dla każdego z nich uzyskana ocena dotyczyć może: ogólnej wartości SZ i ich struktury /ze względu na składniki /organizacyjne i funkcjonalne/ tworzące SZ/ wewnętrznej. Umożliwia przeprowadzenie analizy porównawczej badanych przedmiotów /w zbiorze określonym przez postać szeregu/.

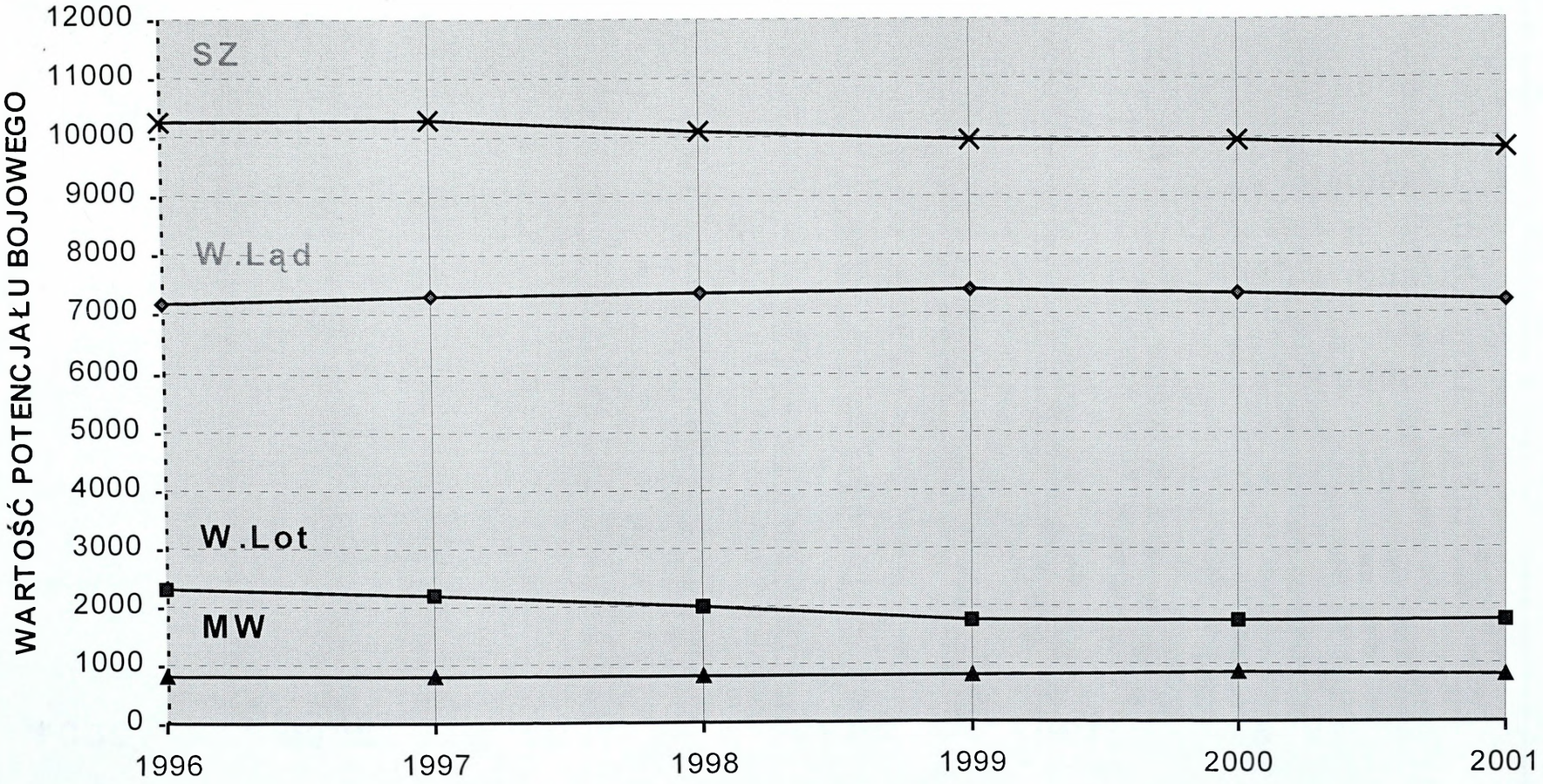
Tabela 9. Potencjał bojowy sił zbrojnych Polski w latach 1996 – 2001

Rodzaje SZ	Wartość potencjału bojowego w umownych jednostkach obliczeniowych (w wartościach bezwzględnych i względnych) w poszczególnych latach					
	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Wojska Lądowe	7 187 / 70%	7 334 / 71%	7 385 / 73%	7 425 / 74%	7 373 / 74%	7 229 / 74%
Wojska Lotnicze	2 291 / 22%	2 177 / 21%	1 967 / 19%	1 746 / 18%	1 746 / 18%	1 761 / 18%
Marynarka Wojenna	799 / 8%	792 / 8%	775 / 8%	802 / 8%	835 / 8%	809 / 8%
Siły zbrojne	10 277 / 100%	10 303 / 100%	10 125 / 100%	9 973 / 100%	9 954 / 100%	9 799 / 100%

Źródło: J. WOCIAL

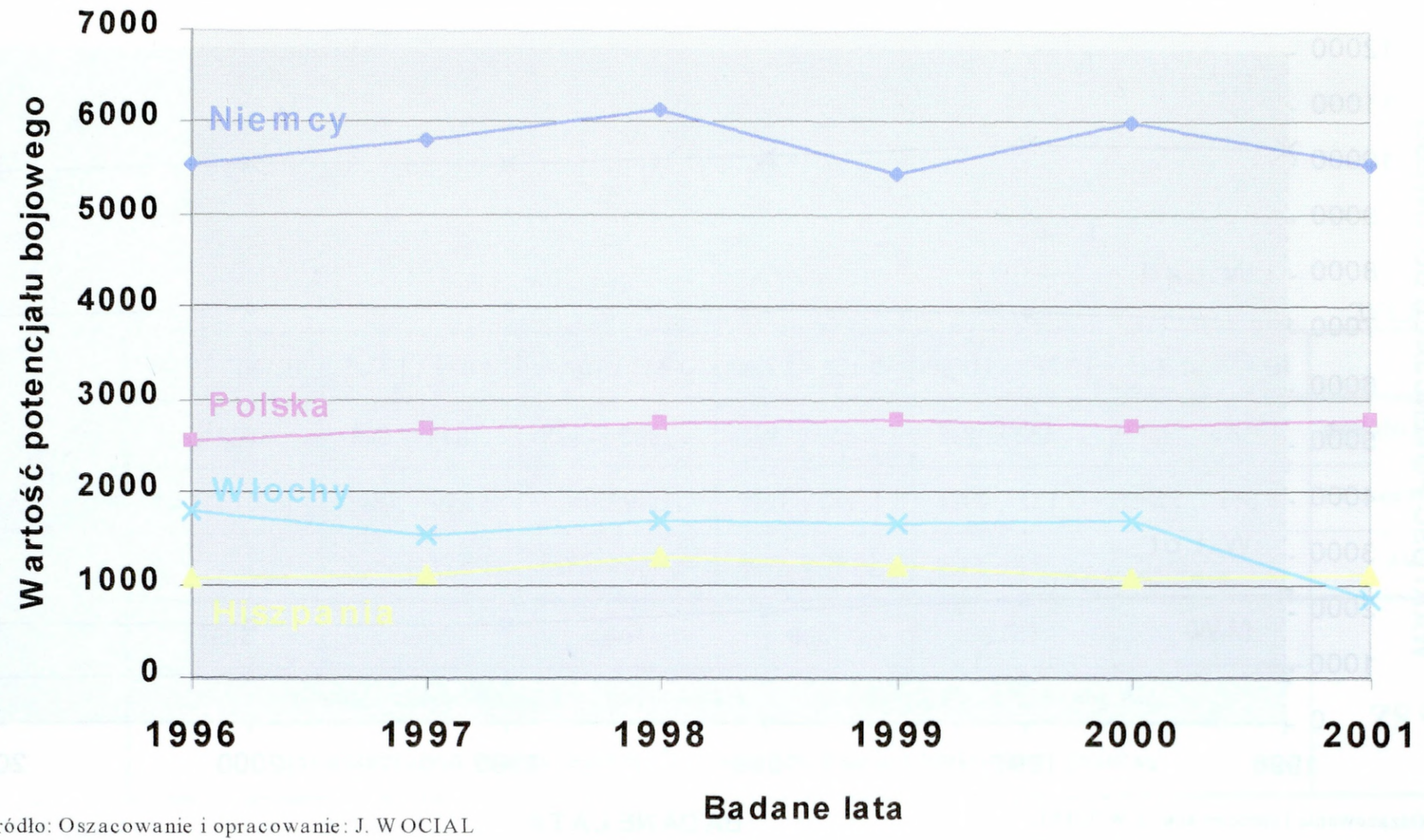
Rys. 8.

POTENCJAŁ BOJOWY SZ I RSZ POLSKI
W LATACH 1996 - 2001



Źródło: Oszacowanie i opracowanie: J. WOCIAL

Rys.9.



Źródło: Oszacowanie i opracowanie: J. WOCIAL

19.3. Statyczno – dynamiczny model potencjału bojowego sił zbrojnych

Statyczno – dynamicznym modelem nazywamy model w którym zjawisko przedstawiane jest w szeregu czasowym[147].

Zaproponowana metoda tendencji rozwojowej[148] pozwala opracować prognozę zmian (analizę prospektywną rozwoju) potencjału bojowego sił zbrojnych. Funkcją aproksymujacą dane empiryczne będzie funkcja liniowa.

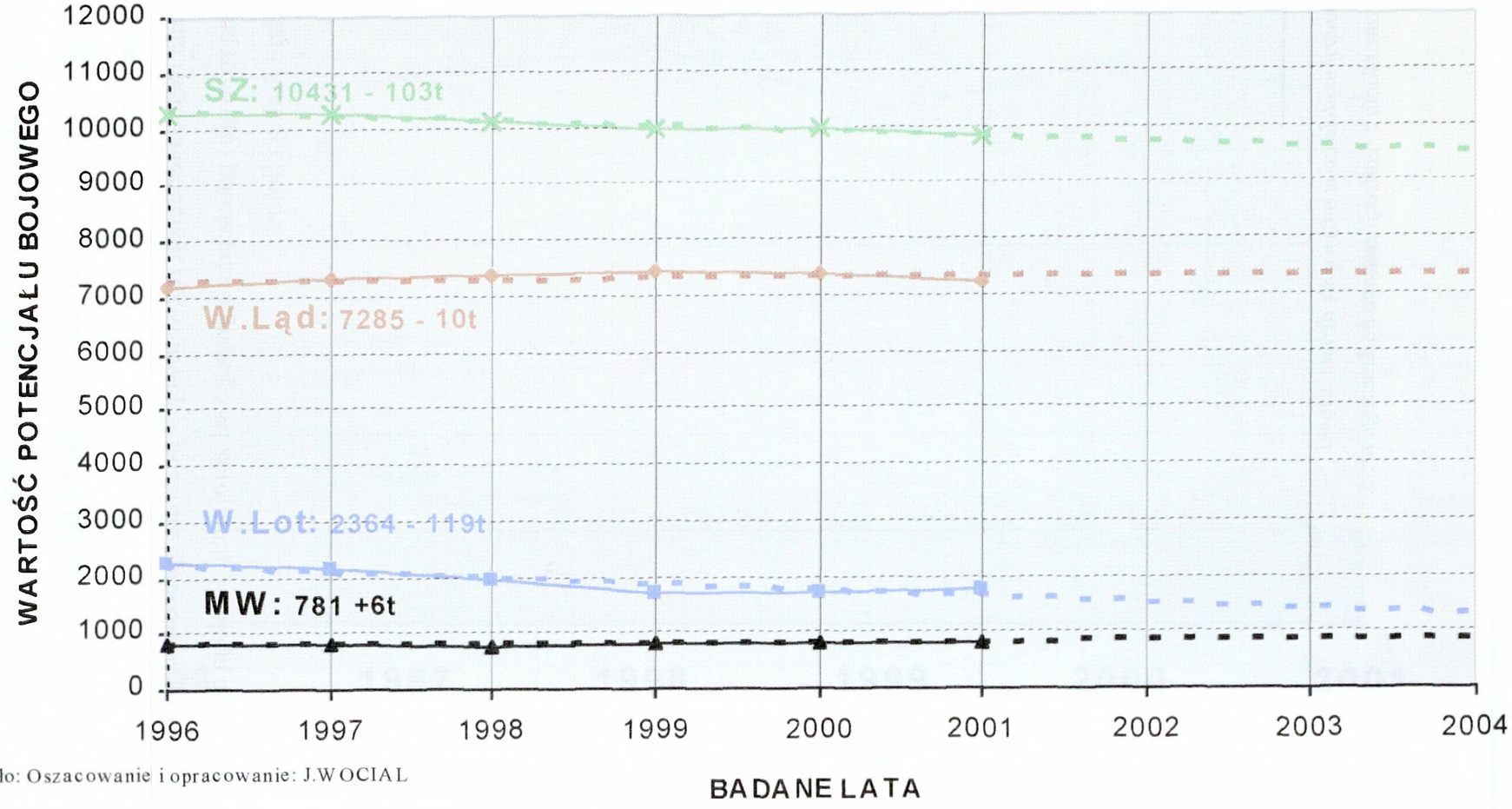
---

[147] *W statystyce i ekonometrii modele takie nazywa się dynamicznymi.*

[148] *Przedstawiona w sprawozdaniu z realizacji zadania badawczego nr. 5.*

TENDENCJA ZMIAN POTENCJAŁU BOJOWEGO SZ POLSKI NA LATA 2002 - 2004

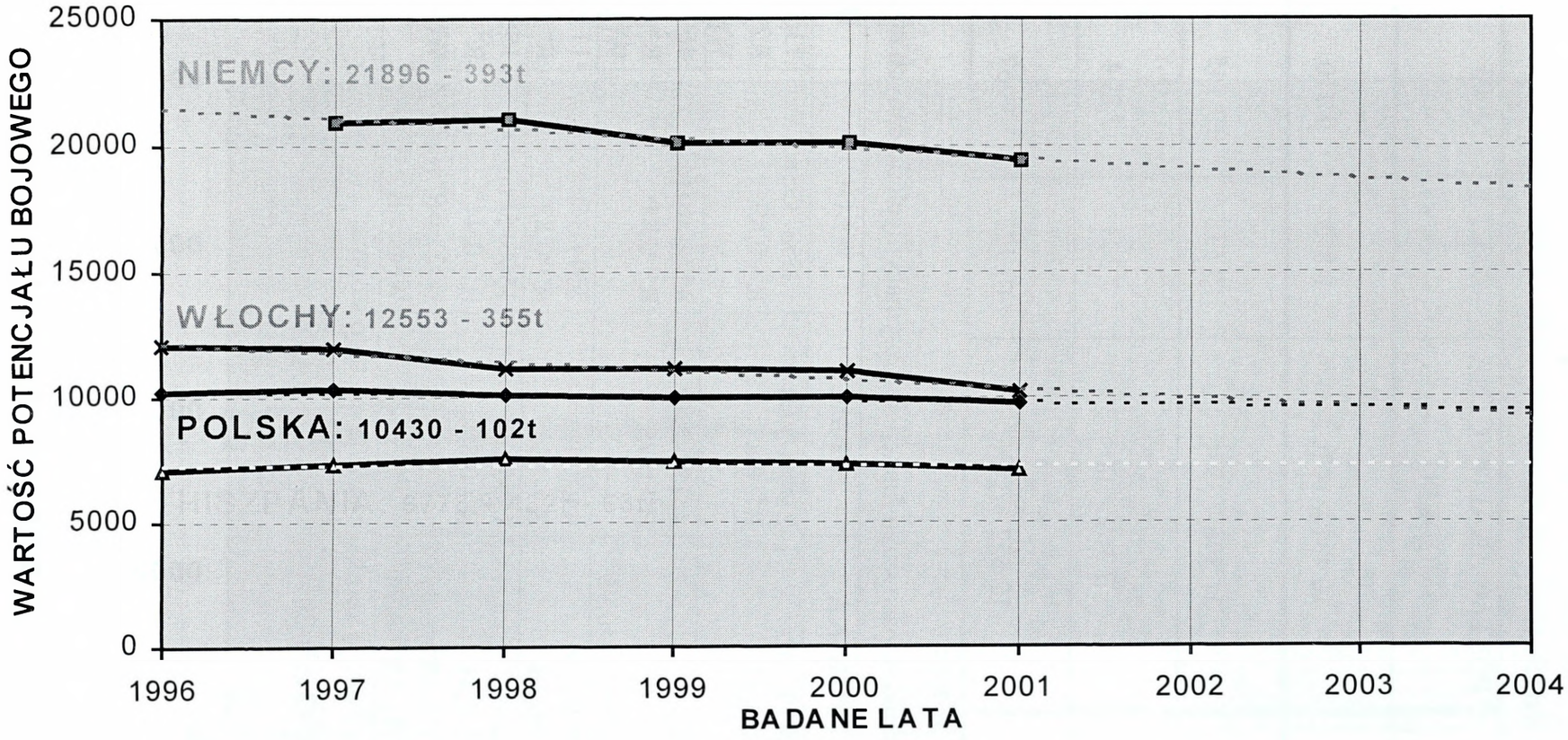
Rys.10.



Źródło: Oszacowanie i opracowanie: J.WOCIAL

Rys.11.

POTENCJAŁ SIŁ ZBROJNYCH WYBRANYCH PAŃSTW NATO W LATACH 1996 - 2001 I PROGNOZA NA LATA 2002 - 2004



Źródło: Oszacowanie i opracowanie: J.WOCIAL

Tabela 10. Wartości prognoz potencjału bojowego sił zbrojnych wybranych państw w liniowym modelu tendencji rozwojowej na lata 2002 - 2004

	POSTAĆ ANALITYCZNA MODELU	2002	2003	2004
POLSKA	10 431 – 103t	9 813	9 710	9 607
NIEMCY	21 896 – 393t	19 538	19 145	18 752
HISZPANIA	7 369 – 11t	7 301	7 294	7 283
WŁOCHY	12 552 – 355t	10 422	10 067	9 712

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 11. Współczynniki dopasowania funkcji aproksymacyjnych do danych empirycznych;.

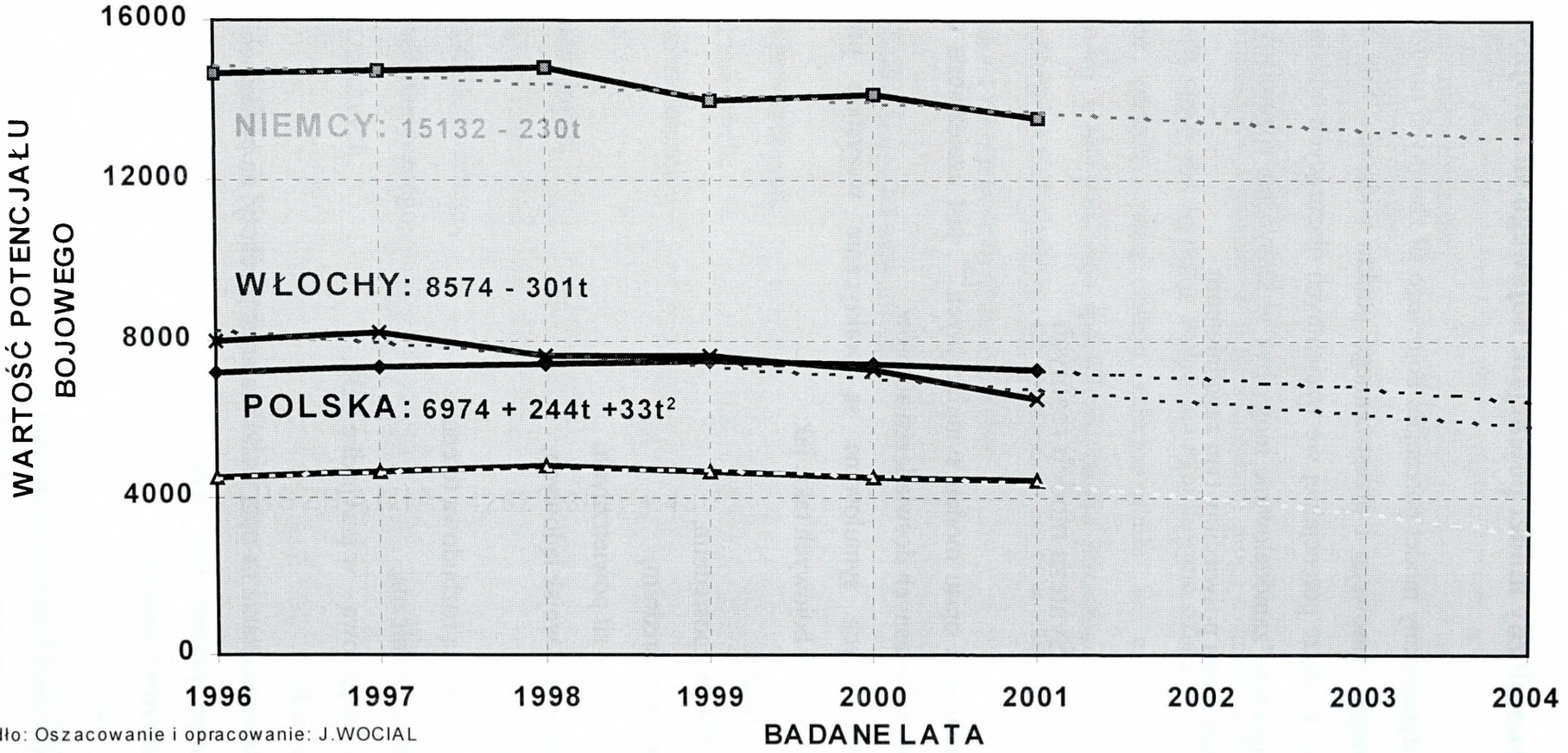
	POLSKA	**NIEMCY**	**WŁOCHY**	**HISZPANIA**
SIŁY ZBROJNE	10430-102t R^2=0,94	21896-393t R^2=0,87	12553-355t R^2=0,89	7369-11t R2=0,01 W(2)⇒R^2=0,91(8)
WOJSKA LĄDOWE	7285-11t R^2=0,04 W(2)⇒R^2=0,98(6)	15132-230t R^2=0,75	8574-301t R^2=0,84	4697-31t R^2=0,14 W(2)⇒R^2=0,82(7)
WOJSKA LOTNICZE	2364-119t R^2=0,86	4401-16t R^2=0,91	2094-36t R^2=0,82	1119+33t R^2=0,94
MARYNARKA WOJENNA	781-6t R2=0,31 W(2)⇒R^2=0,37(4) W(3)⇒R^2=0,74(5)	1995-67t R^2=0,89	1566+50t R^2=0,44 W(2)⇒R^2=0,49(4) W(4)⇒R^2=0,99(1)	1553-13t R^2=0,24 W(2)⇒R^2=0,7(2)

Uwaga: W(n) oznacza funkcję aproksymacyjną n – tego stopnia;

(1) $-25t^4+348t^3-1674t^2+3155t-201$
(2) $-12t^2+71t+1441$
(4) $799-7t+2t^2$
(5) $883-113t+37t^2-3t^3$
(6) $6974+244t-33t^2$
(7) $4252-302t+48t^2$
(8) $6778+432t-63t^2$

Rys.12.

POTENCJAŁ WOJSK LĄDOWYCH WYBRANYCH PAŃSTW NATO W LATACH 1996 - 2001 I PROGNOZA NA LATA 2002 - 2004



Źródło: Oszacowanie i opracowanie: J.WOCIAL

19.4. Dynamiczny model potencjału bojowego sił zbrojnych

Tylko dynamiczny model potencjału bojowego sił zbrojnych umożliwia analizę i ocenę z merytorycznego, czasowego i przestrzennego punktu widzenia. Siły zbrojne jako system działania nadto w sferze potencjalnej we wzajemnych niszczących oddziaływaniach ze stroną przeciwną, poprawnie zamodelowane mogą być w klasycznie rozumianych modelach walki. Stąd dalsze rozważania poświecimy tym zagadnieniom.

19.4.1. Synteza modeli realnych

Szczegółowość opisu modeli symulacyjnych[149], jest uzależniona od dostępnej w tym zakresie literatury i własnych doświadczeń autorów.

W systemach tych symulowane są praktycznie wszystkie procesy związane z prowadzeniem działań bojowych takie jak:

- ✓ oddziaływanie:
  - ➢ ogniem bezpośrednim,
  - ➢ ogniem pośrednim,
  - ➢ lotnictwem sił powietrznych,
  - ➢ lotnictwem wojsk lądowych,
  - ➢ opl,
  - ➢ inżynieryjną rozbudową terenu,
  - ➢ bronią chemiczną,
  - ➢ bronią jądrową – w przypadku CBS,
- ✓ proces ruchu:
  - ➢ przemieszczania na polu walki (natarcie piechoty, na pojazdach itp.),
  - ➢ przegrupowania (marsze na kołach, przewozy w tym również koleją itp.),
  - ➢ przerzuty i desanty,

---

[149] Autorzy powyższe konstatacje opierają na znajomości takich modeli symulacyjnych jak: Model-5, SimoF i ABS2000, CBS, Kora

- ✓ rozpoznania,
- ✓ logistyczne:
  - ➢ zaopatrzenie,
  - ➢ zabezpieczenie techniczne,
  - ➢ zabezpieczenie medyczne,
- ✓ uzupełnienie kadrowe.

Tak więc w ćwiczeniach wspieranych tymi systemami mogą ćwiczyć wszystkie komórki sztabów, a jakość ich pracy ma wyraźny wpływ na symulowane działania wojsk. Wszystkie wyżej wymienione procesy mają swoje odwzorowanie w cząstkowych modelach funkcjonalnych. Każdy z nich realizuje specyficzną naturę poszczególnych elementów pola walki. Realizacja jednego z nich wpływa na zachowanie się pozostałych. W systemach tych najczęściej wyróżnia się następujące modele cząstkowe:

- piechoty,
- wojsk zmechanizowanych i pancernych,
- artylerii,
- lotnictwa sił powietrznych,
- lotnictwa sił lądowych,
- obrony przeciwlotniczej,
- rozpoznania,
- wojsk inżynieryjnych,
- zaopatrzenia,
- zabezpieczenia technicznego,
- zabezpieczenia medycznego,
- uzupełnień kadrowych,
- ruchu.

W modelu CBS, KORA i SimoF oraz w Model-5 procesy wzajemnego niszczenia są oparte na różnych modyfikacjach klasycznego modelu Lanchestera. Wiadomo, że w systemie CBS i KORA rozpatrywane jest wzajemne oddziaływanie systemów broni w ujęciu ilościowym. W systemie Model-5 oddziaływanie rozpatrywane jest w ujęciu jakościowym (potencjałowym). W systemie ABS2000 do rozwiązania tego problemu zastosowano modele probalistyczne. Ich szczegółowość stanowi tajemnicę firmy *Raphael*.

Wszystkie systemy uwzględniają wpływ terenu na prowadzone działania wojsk. Zróżnicowana jest reprezentacja terenu (model terenu) w tych systemach. W systemach CBS i KORA analiza terenu jest prowadzona w oparciu o podział terenu na elementarne jednostki (kwadraty, sześciokąty o boku 3 km, 2 km, 500m.) dla których zostały określone następujące atrybuty: przejezdność, roślinność, zabudowa, wysokość, ufortyfikowanie, drogi, rzeki, mosty, przeszkody itp.

W systemie ABS2000 teren jest odwzorowany poprzez numeryczny model wysokości oraz mapy wektorowe (zawierające tematyczne warstwy).

Każdy z wyżej wymienionych systemów oferuje mapy rastrowe w różnych skalach jako podkłady mapowe do przedstawiania sytuacji operacyjno-taktycznej wojsk.

Model-5 uwzględnia teren w sposób uogólniony poprzez określanie rzeźby i pokrycia przez użytkownika (na podstawie klasycznej mapy topograficznej).

Wszystkie uwzględniają wpływ:

- warunków meteorologicznych,
- pory doby,
- czasu.

Analiza wyżej wymienionych modeli pozwoliła autorom na sprecyzowanie wymagań i założeń do projektowanego modelu symulacyjnego walki.

19.4.2. Matematyczne modele walki

W procesie modelowania przedmiotów jednym z ważniejszych etapów jest sformułowanie modelu matematycznego. Modelem matematycznym z formalnego punktu widzenia nazywamy funkcję wzajemnie jednoznaczną (1 – 1) przekształcającą

$$f : \widetilde{A} \overset{1-1}{\rightarrow} \overset{\circ}{X} \cup \overset{\circ}{R}$$

gdzie:

$\widetilde{A}$ oznacza zbiór nazw wybranych cech obiektów i nazw związków;

$\overset{\circ}{X}$

oznacza zbiór wszystkich możliwych wartości jakie przyjmować mogą ustalone zmienne modelu;

$\mathring{R}$ oznacza zbiór wszystkich wartości relacji określonych na ustalonych zmiennych modelu.

Tak więc matematyczny model możemy uważać za skonstruowany jeżeli:

- odzwierciedla wszystkie wybrane cechy i wybrane związki między nimi zachodzące;
- ustalone jest jednoznacznie, jaką interpretację merytoryczną mają wszystkie zmienne wolne występujące w modelu (pierwotne zmienne opisujące ustalone cechy przedmiotu modelowanego i pierwotne relacje określone między nimi).

Formalna postać modelu matematycznego jest użyteczna przy analizie adekwatności modelu do oryginału – z punktu widzenia rozpatrywanego problemu. Jednak zawsze wtedy, kiedy model spełnia warunki:

- istotności wybranych cech oryginału;
- istotności wybranych związków pomiędzy cechami oryginału;
- spójności modelu (model powinien łączyć wszystkie powołane do bytu zmienne);
- niesprzeczności modelu.

19.4.3. Modele walki Lanchestera

Przedstawiamy znane w literaturze i powszechnie stosowane w symulacyjnych systemach komputerowych modele dynamiki walki, zwane modelami **Lanchestera**[150].

19.4.3.1. Klasyczny model walki Lanchestera

Pierwsze prawo Lanchestera (zależność liniowa) odnoszące się do wojen, w których „broń bezpośrednio przeciwstawiała się broni", a więc ogólnie rzecz biorąc, na szczeblach strategicznych do I wojny światowej. Sens prawa wyrażony jest równaniem:

---

[150] *W. F. Lanchester, Aircraft in Modern Warfare, the Dawn of the Fourtf Arm. Constable and co, London 1916.*

$$E = \frac{n(t_0) - n(t_k)}{m(t_0) - m(t_k)} = \frac{N - n(t_k)}{M - m(t_k)}$$

Gdzie $n(t_0) = N \; m(t_0) = M$ wyrażają ilości środków stron przed rozpoczęciem walki, a $n(t_k)\, m(t_k)$ odpowiednie siły po jej zakończeniu.

Pierwsze prawo Lanchestera wynika z następującego opisu dynamiki walki:

$$\begin{cases} \dfrac{dn}{dt} = \dfrac{1}{1 + E} \\ \dfrac{dm}{dt} = \dfrac{1}{1 + E} \end{cases}$$

Drugie prawo Lanchestera (zależność kwadratowa) odpowiada wojnom do II wojny światowej, gdy należy uwzględniać również możliwości bezpośredniego oddziaływania środków walki:

$$E = \frac{N^2 - n^2(t_k)}{M^2 - m^2(t_k)}$$

Klasyczny model walki Lanchestera rozpowszechniony jest dla najprostszego przypadku walki dwóch grup jednostek elementarnych.

Podstawowymi założeniami ograniczającymi zakres stosowalności modelu są następujące wymagania:

1. Każda jednostka elementarna dowolnej strony, dopóki nie jest rażona, realizuje losowy strumień strzałów z pewną średnią szybkostrzelnością; strumień ten jest strumieniem Poissona.[151]
2. Każda jednostka elementarna dowolnego typu może strzelać do dowolnej jednostki elementarnej przeciwnika. Ogień jest celowany, tzn. skierowany na rażenie w pełni określonej jednostki elementarnej przeciwnika. Jednym strzałem nie można razić więcej niż jedną jednostkę elementarną przeciwnika.[152]
3. Jeżeli ostrzeliwana jednostka przeciwnika została rażona, ogień natychmiast przenosi się na inną tego samego typu (jeżeli istnieje), a rażona jednostka nie bierze udziału w dalszych działaniach bojowych.[153]
4. Czasu lotu pocisku do celu można nie uwzględniać w porównaniu z ogólnym czasem trwania walki.
5. Sumaryczna moc bojowa każdej grupy jednostek elementarnych w dowolnej chwili t jest proporcjonalna nie do liczby losowo ocalałych jednostek elementarnych, ale do jej wartości oczekiwanej.[154]

19.4.3.2. Zmodyfikowany model walki Lanchestera

Układ równań różniczkowych Lanchestera określamy następującą formułą

$$\begin{cases} \dfrac{dm^{A}(t)}{dt} = -\Lambda^{B}(t) \cdot m^{B}(t) \\ \dfrac{dm^{B}(t)}{dt} = -\Lambda^{A}(t) \cdot m^{A}(t) \end{cases}$$

[151] Jeżeli czas ponownego „załadowania" jednostki elementarnej jest stosunkowo mały w porównaniu ze średnim odstępem czasu pomiędzy kolejnymi strzałami.
[152] Wymaga to posiadania pełnej informacji o przeciwniku (w szczególności o jego dyslokacji), aby ogień mógł być celowany. Wyklucza jednocześnie możliwość stosowania takich jednostek elementarnych, które rażą przeciwnika „powierzchniowo", tzn. takich, których strzał razi wszystkie jednostki elementarne przeciwnika znajdujące się na pewnej powierzchni terenu.
[153] Wymaga to, aby czas przeniesienia ognia jednostki elementarnej był dostatecznie mały.
[154] Im liczniejsze grupy jednostek elementarnych biorą udział w wymianie ogniowej, tym założenie to lepiej odpowiada rzeczywistości.

gdzie $\Lambda(t)$ oznacza gęstość strumienia strzałów skutecznych określonego środka walki[155], tzn. niszczących: określone środki walki przeciwnika.

$m(t)$ oznacza liczbę środków walki strony.

$$\Lambda(t) = \lambda(t) * p(t)$$

gdzie: λ(t) oznacza intensywność prowadzenia ognia;

p(t) oznacza prawdopodobieństwo zniszczenia jednym strzałem

Ponieważ w walce uczestniczą niejednorodne środki walki, to aby problem ujednorodnić można przejść na postać agregatową siły (mocy bojowej) strony, tj. do . potencjału strony. Dodatkowo więc oprócz aspektu ilościowego strony uwzględniony zostanie także aspekt jakościowy środków walki strony. Potencjał strony wyrażony jest formułą postaci:

$$P = \sum_{j=1}^{N} IL_j * JWJ_j$$

gdzie: IL_j oznacza ilość j – tego typu środka walki;

JWJ_j Oznacza jednostkowy potencjał rażenia j – tego typu środka walki;

j = 1... J jest wskaźnikiem bieżącym ilości j – tego środka walki

Uogólniając powyższe, uzyskujemy zmodyfikowany model Lanchastera postaci:

$$\begin{cases} \dfrac{dP^A(t)}{dt} = -k^B \cdot \Lambda^B(t) \cdot P^B(t) \\ \dfrac{dP^B(t)}{dt} = -k^A \cdot \Lambda^A(t) \cdot P^A(t) \end{cases}$$

---

[155] *Aby nie zaciemniać istoty modelu nie rozróżniamy tu poszczególnych grup jednostek elementarnych, ale zachowując założenia modelu klasycznego, rozważamy walkę środka walki z e środkiem walki. Nie uwypuklamy zatem organizacji walczących stron i typologii środków walki.*

Gdzie dodatkowo wprowadzone współczynniki k^A, k^B określać mogą wszelkie dodatkowe zmienne modelu, np. zmienne operacyjne walki, zmienne środowiskowe pola walki, itp. Najczęściej w konkretnych realizacjach takiego modelu ich autorzy konstruują autorskie współczynniki modelu, w których kumulują wartości specyficznych zmiennych powołanych do bytu w procesie konceptualizacji modelu.

19.4.3.3. Optymalizacyjny model walki Lanchestera

Sformułujmy problem optymalizacji procesu walki dla przypadku niejednorodnych środków walki[156]

Niech dany będzie zbiór typów środków walki poszczególnych stron:

$$J^A = \{1, ..., i, ..., I^A\}$$
$$J^B = \{1, ..., j, ..., J^B\}$$

oraz znane są charakterystyki tych środków

$$M_i,\ \lambda^A{}_i,\ P^A{}_{ij}(t) \quad \text{oraz} \quad N_j,\ \lambda^B{}_j,\ P^B{}_{ji}(t)$$

dla $i \in J^A$, $j \in J^B$.

Określa się wielkości, które posłużą jako zmienne decyzyjne:

$X^A{}_{ij}(t)$ – stosunek liczności tej części grupy środków typu i, która w chwili t prowadzi ogień do środków typu j – do całkowitej liczności grupy środków typu i;

$Y^B{}_{ji}(t)$ - stosunek liczności tej części grupy środków typu j, która w chwili t prowadzi ogień do środków typu i – do całkowitej liczności grupy środków typu j.

Wielkości te spełniają następujące warunki:

---

[156] A. Chojnacki, Modelowanie matematyczne i algorytmizacja planowania działań bojowych. Rozprawa doktorska, WAT, 1976.

$$0 <= X^{A}_{ij}(t), \quad 0 <= Y^{B}_{ji}(t)$$

$$\sum_{j=1}^{J^B} X^{A}_{ij}(t) \le 1, \quad \sum_{i=1}^{I^A} Y^{B}_{ji}(t) \le 1$$

Wtedy równania dynamiki walki mają postać:

$$\begin{cases} \dfrac{dm_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^{J^B} \lambda_j^B P_{ji}^B(t) Y_{ji}^B(t) n_j(t) \\ \dfrac{dn_j(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^{J^A} \lambda_i^A P_{ij}^A(t) X_{ij}^A(t) m_i(t) \end{cases}$$

dla warunków początkowych $m_i(0) = M_i$, $n_j(0) = N_j$.

Wprowadźmy funkcje oceny efektywności dla stron walczących, posiadające sens różnicy ważonych strat:

Dla strony A:

$$E_A = \sum_{j=1}^{J^B} \omega_j^B (N_j - n_j(t)) - \sum_{i=1}^{I^A} \omega_i^A (M_i - m_i(t))$$

Dla strony B:

$$E_B = \sum_{j=1}^{J^A} \omega_j^A (N_j - n_j(t)) - \sum_{i=1}^{I^B} \omega_i^B (M_i - m_i(t))$$

Ponieważ rozwiązanie problemu <m(t), n(t)> zależy od wyboru (x, y)∈X×Y, gdzie:

$$X=\{X^{A}_{ij}: i\in J^{A}, j\in J^{B}\},\ Y=\{Y^{B}_{ji}: j\in J^{B}, i\in J^{A}\},$$

więc także m(T) i n(T) zależy od (x, y) przy ustalonym T>0, wtedy możemy zapisać, że:

$$\begin{cases} E_A = E_A(x,y) \\ E_B = E_B(x,y) \end{cases}$$

Strona A wybiera taki sposób sterowania ogniem $x^{*}\in X$, aby zmaksymalizować swój efekt E_A przewidując odpowiednie przeciwdziałanie nieprzyjaciela, tzn.

$$E_A(x^{*}, y)=\max_{x\in X} E_A(x, \hat{y})= \max_{x\in X}\min_{y\in Y} E_A(x, y)$$

Analogicznie zakładamy postępowanie strony B:

$$E_B(x, y^{*})=\max_{y\in Y} E_B(\hat{x}, y)= \max_{y\in Y}\min_{x\in X} E_B(x, y)$$

W ten sposób, wychodząc od modelu walki typu Lanchestera, otrzymujemy zagadnienie optymalizacji sterowania ogniem (uderzenia ogniowego). Do rozwiązania tego złożonego problemu stosowana jest zasada maksimum Pontriagina.

Uogólniając dotychczasowe rozważania powiemy, że w procesie modelowania systemu walki dążymy do:

a) **opisu dynamiki walki** – intensywności wzajemnego oddziaływania ogniowego stron walczących

$$\begin{cases} \dfrac{dPB^{A}(t)}{dt} = \varphi_{A}^{B}(x, y, t) \\ \dfrac{dPA^{B}(t)}{dt} = \varphi_{B}^{A}(x, y, t) \end{cases}$$

dla $PB^{A}(t_0) = PB^{A}{}_0 > 0$, $PB^{B}(t_0) = PB^{B}{}_0 > 0$.

W celu obserwacji zmian potencjału bojowego stron walczących w badanym okresie czasu, ze szczególnym uwzględnieniem takiego momentu t_g, w którym nastąpi spadek potencjału jednej ze stron poniżej pewnej przyjętej wartości granicznej, tj.

$$PB^{A}(t_g) < PB_g \text{ lub } PB^{B}(t_g) < PB_g.$$

b) **określenia funkcji** (funkcjonału) **efektywności walki**, pozwalającej określić wielkość uzyskanych korzyści stron walczących, zależnej od przyjętych zmiennych opisujących proces walki:

$$\begin{cases} E_A = E_A\left(PB^{A}(t), PB^{B}(t), x(t), y(t), t\right) \\ E_B = E_B\left(PB^{A}(t), PB^{B}(t), x(t), y(t), t\right) \end{cases}$$

c) **sformułowanie**, a następnie **rozwiązanie problemu optymalizacji decyzji walczących stron**, tj. określenia takich decyzji do walki, które zapewniają maksymalne efekty danej stronie walczącej:

$$x^{*}: \; E_A(x^{*}) \geq E_A(x) \qquad dla\; x \in X$$

lub

$$y^*: \; E_B(y^*) \geq E_B(y) \qquad dla \; y \in Y$$

Rozważane modele były typu deterministycznego. Dla modeli tych istnieją odpowiednie modele probabilistyczne, z reguły bardziej skomplikowane. Stanowią one zapewne lepsze przybliżenie rzeczywistej walki, niż w przypadku założeń o determinizmie. Jednakże w obu przypadkach mamy do czynienia ze znacznym poziomie ogólności i znacznym idealizowaniem rzeczywistego współczesnego pola walki. Nie przesądza to bynajmniej o użyteczności tych modeli w procesie systemowego modelowania procesów walki. Komputerowa realizacja tych modeli pozwala na analizę wpływu poszczególnych czynników na przebieg walki, prognozowanie stosunku sił i dynamiki zmian potencjału bojowego, itp. Korzyści płynące z tego typu badań mogą być zatem znaczne, oczywiście w warunkach pełnej świadomości przyjętych uproszczeń i założeń idealizujących złożoną rzeczywistość (walkę, bitwę, operację).

19.4.4. Koncepcja dynamicznego modelu potencjału bojowego sił zbrojnych

Poniżej przedstawiamy autorską konceptualizację matematycznego modelu walki w podejściu analitycznym. Podejście analityczne oznacza w tym przypadku przyjęcie następujących założeń:

- modelowany oryginał traktujemy jako zbiór środków walki;
- walkę rozpatrujemy jako wzajemne oddziaływanie środków walki jednej strony na środki walki drugiej strony;
- skutek oddziaływania środków walki na siebie jest sumą algebraiczną oddziaływania poszczególnych środków;
- środki walki strony skumulowane są w jednym punkcie przestrzeni.
- rozpoznanie środków walki przeciwnika jest pełne;

- oddziaływanie określonych środków walki na środki walki przeciwnika jest skuteczne zgodnie z normami taktycznymi, ale „ślepe" z punktu widzenia sensu oddziaływania.

1. Założenia modelu:

1. Rozpatrywane są dwie strony w walce: A, B;
2. W walce oddziaływać rażąco może J typów środków walki każdej ze stron.
3. Każdy j – ty typ (j = 1, ..., J) środka walki jest opisany wskaźnikami:
   - *JWJ* - określającym jego potencjał bojowy[157];
   - *r* – czasów regeneracji niezbędnego do przygotowania się do oddania następnej salwy ogniowej;
   - *a* – maksymalnej liczby salw jakie środek walki może wykonać bez zasilania zewnętrznego;
   - *z* – skuteczny zasięg ognia środka walki.
4. Określona jest macierz dopuszczalnych oddziaływań środków walki na siebie:

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1J} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{J1} & d_{J2} & \cdots & d_{JJ} \end{bmatrix}$$

5. Każda ze stron posiada określoną liczbę j – tego środka walki:
   - strona A – Il^{A}_{j};
   - strona B – IL^{B}_{j};

6. Określona jest macierz prawdopodobieństw (norm taktycznych) zniszczenia jednego typu środka walki przez drugi środek walki jedną salwą, postaci:

---

[157] Prezentowana koncepcja modelu oparta została o pojęcie potencjału. Bardziej elementarny model można przedstawić na zbiorze środków walki. W formułach prezentowanych dalej ten fakt zostanie uwidoczniony.

$$p = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1J} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{J1} & p_{J2} & \cdots & p_{JJ} \end{bmatrix}$$

2. Koncepcja analitycznego modelu matematycznego:

1. Potencjał bojowy strony w chwili początkowej t_0 określamy według formuły:

gdzie X = {A, B} $$P^X(t_0) = \sum_{j=1}^{J^X} IL_j^A(t_0) \cdot JWJ_j^X$$

2. Potencjał bojowy strony w następnej chwili czasu t_1 określamy według formuły:

$$P^X(t_1) = \sum_{j=1}^{J^X} \left(IL_j^X(t_0) - IL_j^X(t_1) \right) \cdot JWJ_j^X$$

W każdej następnej n – tej chwili czasu formuła obliczeniowa jest identyczna. Jej postać ogólna jest następująca:

$$P^X(t_n) = \sum_{j=1}^{J^X} \left(IL_j^X(t_{n-1}) - IL_n^X(t_1) \right) \cdot JWJ_j^X$$

3. Z formuły przedstawionej powyżej wynika, że istotą modelu jest problem określania strat środków walki w okresie czasu $\Delta t = t_1 - t_0$ ($\Delta t = t_n - t_{n-1}$). Proponujemy, aby straty obliczać według formuły (przy założeniu, że nie uwzględniamy procesów dostaw amunicji oraz procesów dostaw i naprawy środków walki):

$$IL_j^A(t_n) = \sum_{j=1}^{J^B} p_{j^A j^B} \cdot IL_j^B(t_{n-1}) \cdot \frac{\Delta t}{r_{j^B}} \cdot \delta_{j^B} \cdot d(z)$$

gdzie:

$$\delta_{j^B} = \begin{cases} 1 \; dla \; a_{j^B} \neq 0 \\ 0 \; dla \; a_{j^B} = 0 \end{cases}$$

i uwzględnia możliwości ogniowe środka walki (posiadanie amunicji do rażenia)

$$d(z) = \begin{cases} 0 & dla\ d > 0 \\ -\frac{2}{z} \cdot d + 2 & dla\ \frac{z}{2} \le d \le z \\ \frac{2}{z} \cdot d & dla\ 0 \le d \le \frac{z}{2} \end{cases}$$

Wprowadzona zmienna d(z) określa (jeżeli znane są współrzędne (x_j, y_j) dyslokacji środków walki, a odległość pomiędzy środkami walki traktujemy jako odległość Euklidesa na płaszczyźnie płaskiej) efektywność rażenia środka walki w funkcji jego teoretycznego zasięgu i faktycznej odległości. Maksymalną efektywność (=1) określono w tym przypadku dla odległości będącej połową teoretycznego zasięgu. (jeżeli chcemy najbardziej efektywną odległość określić inaczej, wówczas we wzorach stała 2 musi ulec zmianie). Odległość efektywna jest aproksymowana rozkładem trójkątnym.

Iloraz $\frac{\Delta t}{r_{j^B}}$ określa liczbę salw rażących jednego środka walki na drugi w badanym okresie czasu Δt. (problem „częściowych" salw można rozpatrywać w bardziej szczegółowym modelu)

Prawdopodobieństwo $p_{j^A j^B}$ zniszczenia j^B – tego środka walki przez j^A – ty środek walki uwzględnia macierz dopuszczalnych oddziaływań (d_{ij}), aby niepotrzebnie nie inicjalizować procesów obliczeniowych.

3. Koncepcja syntezy modelu matematycznego

Dla każdej strony obliczamy stan potencjału strony w czasie t_n według (2.2) [będący sumą algebraiczną potencjału wszystkich środków walki strony], natomiast straty ilościowe każdego środka walki w okresie czasu Δt obliczamy według (2.3). We wzorach (2.3) można uwzględnić inne zmienne będące zagregowanymi wielkościami innych zmiennych cząstkowych, które w modelu chcemy uwzględniać (lub uzewnętrzniać, jeżeli uczynimy je decyzyjnymi).

Złożenie powyższych obliczeń dla n = 1, ..., N oraz dla każdej ze stron określi stan potencjału (w tym dokładnie każdego j – tego typu środka walki) strony w n –tej chwili czasu walki zbrojnej.

Z powyżej przedstawionej (dość prostej logicznie, ale złożonej implementacyjnie i bardzo uciążliwej dla użytkownika) koncepcji analitycznego modelu walki dwóch antagonistycznych stron wynikają (przynajmniej) dwa zasadnicze spostrzeżenia:

- dużego redukcjonizmu modelu w stosunku do oryginału[157] – rzeczywistych procesów walki (choć procesy zabezpieczenia (logistycznego i bojowego) można /i uwzględnia się/ wprowadzając stosowne równania bilansowe oraz procesy wsparcia bojowego – przez inicjalizację innych modeli rażenia(oddziaływania));
- dużych wymagań stawianych użytkownikowi, a polegających na specyfikacji wszystkich zmiennych modelu. W szczególności w przypadku uwzględnienia licznych poziomów dowodzenia. Automatyzm działania podległych jednostek – chociaż realizowany – nie spełnia oczekiwań.

Niemniej analityczne podejście do modelowania walki zbrojnej, które zapewne pobudziło Lanchestera do uogólnień i w efekcie do ujęcia tego problemu w postaci Modelu Lanchestera, jest stosowane obecnie prawie przez wszystkie zespoły analityczno – projektowe symulacyjnych modeli walki. Różnorodność ujęcia (a faktycznie uwzględnienia w modelu coraz innych (istotniejszych) zmiennych) procesów walki jest niczym innym jak zmodyfikowanym modelem Lanchestera.

---

[157] Należy jednak pamiętać, że nie ma uniwersalnych modeli. Opracowany (jakikolwiek) model nie odwzorowuje wszystkiego o oryginale, nie wypełnia wszystkich celów i wszystkich podmiotów badawczych. Model oryginału opracowywany jest w ściśle określonym celu, spełnienia określone kryteria (będące wyznacznikiem jego konceptualizacji).

ZAKOŃCZENIE

Przedstawione opracowanie jest syntezą prac naukowo – badawczych podjętych i przeprowadzonych przez zespół pracowników Akademii Obrony Narodowej. Centralnym przedmiotem badawczym stał się system obronny państwa i system sił zbrojnych. W każdym przypadku analizowano i poszukiwano ich miar ilościowych, tj. potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. Badania prowadzone były w dwóch nurtach: teoretycznym i empirycznym. Nurt teoretyczny pozwolił określić istotę pojęć i zoperacjonalizować je. Następnie, metodologicznie poprawnie, określić metodę pomiaru. Nurt empiryczny pozwolił dokonać tego pomiaru, a więc uzyskać ilościową miarę ocenową badanych przedmiotów, zweryfikować jej poprawność, zastosować metody analityczne obróbki tych danych i przeprowadzić analizę porównawczą (szereg rozdzielczy) i rozwojową (szereg czasowy).

Zainteresowania badawcze autorów od dawna koncentrują się na problemach modelowania, w tym symulacyjnego oraz na modelach ocenowych w kwantytatywnej mierze. Powyższe problemy opracowywane są na potrzeby konceptualizowanych modeli, które w postaci projektów koncepcyjnych i technologicznych implementowane są w różnych środowiskach narzędziowych na potrzeby przede wszystkim komputerowego wspomagania ćwiczeń. Ćwiczenia wspomagane komputerowo (CAX) realizowane są w AON w procesie dydaktycznym oraz organizowane są na potrzeby dowództw i sztabów SZ. Stąd doniosłość praktyczna pracy jest znacząca i wymierna.

Niemniej, przeprowadzone analizy problemów w aspekcie ogólnoteoretycznym, i na ich podstawie wypracowane oceny i poczynione konstatacje uwidaczniają potrzebę prowadzenia dalszych prac w dziedzinie potencjału obronnego państwa i potencjału bojowego sił zbrojnych. I jakkolwiek przedmioty badawcze: system obronny państwa i system sił zbrojnych, będące systemami wielkimi i złożonymi, nadto nie realizującymi się (rozważania prowadzi się w oparciu o hipotetyczne miary efektywnościowe), a więc nie poddającymi się łatwej ocenie ilościowej, to analizy i oceny ich miar kwantytatywnych należy prowadzić nadal. Wyniki uzyskane w takich analizach pozwalają prowadzić wnioskowanie prospektywne badanych przedmiotów, niezbędne w planowaniu i prognozowaniu ich rozwoju, a także dokonywać ocen i porównań zasadności posiadanych potencjałów.

BIBLIOGRAFIA

1. Barton R. F. „*Wprowadzenie do symulacji i gier*" Warszawa 1974.
2. Bączkowski Z. – *Porównanie potencjału obronno – gospodarczego wybranych państw kontynentu – praca studyjna.* Zaoczne Podyplomowe Studium Informatyki, Zarządzania i Analizy Systemowej AON, Warszawa 1997.
3. Bartosiewicz S. - *Ekonometria*, PWE, Warszawa 1989.
4. Bojarski W. - *Podstawy analizy i inżynierii systemów*, PWN, Warszawa 1984
5. Ciastoń S – *Ekonomiczne aspekty obronności,* MON, Warszawa 1972
6. Chmielewski S.: *Metodologia jakościowej oceny sił dla potrzeb planowania operacyjnego oraz rozwoju Sił Zbrojnych PRL*, Wyd. WII Filia nr 1, 02998/79, Warszawa 1979.
7. Chojnacki A. „*Modelowanie matematyczne*" WAT Warszawa 1986
8. Czerniak J. „*Informacja i zarządzanie*" Warszawa 1978
9. Czerwiński Z. - *Matematyka na usługach ekonomii*, PWN 1984.
10. 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).
11. Evans G.W. „*Symulacja na maszynach cyfrowych*", WNT, Warszawa 1973.
12. Ficoń K. – *Zmodyfikowana metoda normalizacji cech diagnostycznych w badaniach taksonomicznych,* Zeszyty naukowe AMW nr 2 (125), Gdynia 1995.
13. Ficoń K. – *Symulacyjne modelowanie potencjału bojowego okrętowych sił morskich państw nadbałtyckich w aspekcie prognozowania obronnego,* Zeszyty naukowe AMW nr 124 A, Gdynia 1995.
14. Filar W. „*Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki*" Wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN, 1979
15. .
16. Fishman G. S. „*Symulacja komputerowa – pojęcia i metody*", PWE, Warszawa 1981.
17. 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.
18. 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.

19. Flanek Cz., Kinasiewicz M., Urbanek M. – *Model potencjału obronno – gospodarczego i militarnego,* praca n-b „Potencjał", Centrum Informatyki AON 1997.

20. Flanek Cz., Kinasiewicz M., Urbanek M. – *Model potencjału obronno – gospodarczego i militarnego,* praca n-b „Potencjał", Centrum Informatyki AON 1998.

21. Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. – *Koncepcja modelu symulacyjnego systemu obronnego państwa,* praca n-b „Opcja", Departament Systemu Obronnego MON, Warszawa 1993.

22. 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.

23. Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A. – *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno – gospodarczych,* PWE, Warszawa 1990.

24. Greń J. - *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*, PWN, Warszawa 1984

25. Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A.: *Metody doboru zmiennych w modelach ekonometrycznych.* PWN, Warszawa 1988.

26. Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A.: *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno-gospodarczych.* PWE, Warszawa 1990.

27. Gutenbaum J. – *Modelowanie matematyczne systemów,* PWN, Warszawa – Łódź 1987.

28. Hellwig Z., Wielowymiarowa analiza porównawcza i jej zastosowanie w badaniach wielocechowych obiektów gospodarczych. [w:] „Metody i modele ekonomiczno-matematyczne w doskonaleniu zarządzania gospodarką socjalistyczną", red. W. Welfe, PWE, Warszawa 1981.

29. Kilar E., Kinasiewicz M., Urbanek M. – *Modelowanie operacji wojsk lądowych,* ASG, Warszawa 1990.

30. Kinasiewicz M. – *Analiza sytuacji militarnej w Europie,* AON, Warszawa 1990.

31. Kolman R. - *Inżynieria jakości,* PWE, Warszawa 1992.

32. Konieczny J. - *Modele matematyczne systemów*, WAT, Warszawa 1983.

33. Korzan B. „*Elementy teorii grafów i sieci metody i zastosowania*" WNT Warszawa 1978

34. .

35. Kotarbiński T. „*Traktat o dobrej robocie*" Ossolineum, Warszawa 1969

36. Krzysztofiak, M., Urbanek D. - *Metody statystyczne*, PWN, Warszawa 1981.

37. Kulczycki R. – *System modelowania walki zbrojnej,* sprawozdanie z pracy n-b „Model-1" Instytut Badań Strategiczno - Obronnych ASG, Warszawa 1988.

38. Kulczycki R. – *Metodyka diagnozowania i prognozowania stanu zagrożenia i pokoju,* praca n-b „Opcja", AON 1996.

39. 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.

40. Kulczycki R., Gogolewski J., Wocial J. – *Metoda i jej zastosowanie do określania wielkości sił zbrojnych na poziomie niezbędnie wystarczalnym,* praca n-b „Kierunki", AON, Warszawa 1993.

41. Kulczycki R., Gogolewski J., Ratajczak M., Wieleba R., Wocial J. – *Model walki zbrojnej szczebla operacyjno - strategicznego „SKORPION"*, praca n-b „Sieć", AON, Warszawa 1995.

42. 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.

43. Liderman K, *Miernictwo i diagnostyka systemów komputerowych, Elementy systemów ekspertowych,* WAT, Warszawa 1992

44. Mulawka J.J.: Systemy ekspertowe. WNT, Warszawa 1997

45. Nowak E – *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno – gospodarczych,* PWE, Warszawa 1990.

46. Nowak E. – *Problemy informacji w modelowaniu ekonometrycznym,* PWN, Warszawa 1990

47. Pawłowski Z. - *Statystyka matematyczna*, PWN, Warszawa 1981.

48. Pawłowski Z. - *Ekonometria*, PWN, Warszawa 1984.

49. Pluta W. – *Wielowymiarowa analiza porównawcza w modelowaniu ekonometrycznym,* PWN, Warszawa 1986.

50. Raczyński L, Istota i funkcjonowanie systemów ekspertowych, Praca studyjn, AON, Warszawa 1997.

51. Rajski J., Tyszer J. , *Modelowanie i symulacja cyfrowa,* Poznań 1986

52. Ratajczak M., Wieleba R., Mrowiec T. – *Prognozowanie skutków decyzji podejmowanych w działaniach bojowych z zastosowaniem metody modelowania symulacyjnego,* rozprawa doktorska, AON, Warszawa 1991.

53. Rogucki A. – *Analiza systemów w planowaniu obrony. Apekty ekonomiczno – polityczne.* Biblioteka Wiedzy Wojskowej, MON, Warszawa 1975.

54. Sienkiewicz P. – *Teoria efektywności systemów kierowania,* rozprawa habilitacyjna, ASG 1979.

55. Sienkiewicz P. – *Inżynieria systemów. Wybrane zastosowania wojskowe,* MON, Warszawa 1983.

56. Sienkiewicz P. – *Inżynieria systemów kierowania.* PWE, Warszawa 1988.

57. Sienkiewicz P. – *Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania,* Bellona, Warszawa 1994.

58. Sienkiewicz P. – *Teoria efektywności systemów,* Ossolineum, Wrocław 1987.

59. Sobolewski A. – *Model systemu cybernetyczno – ekonomicznego porównania potencjałów obronno – gospodarczych,* Wydział Nauk Ekonomicznych WAP, Warszawa 1985.

60. Steczkowski J., Zeliaś A. – *Statystyczne metody analizy cech jakościowych,* PWE, Warszawa 1981.

61. Sułek M. – *Potencjał gospodarczo – obronny. Pojęcie. Pomiar. Decyzje*, Instytut Ekonomiki Obrony AON, Warszawa 1993.

62. Świątnicki Z.: *Wojskowe systemy ekspertowe*, Wyd "Bellona", Warszawa 1995.

63. Świątnicki Z. Wantoch-Rekowski R., : *Systemy ekspertowe*, WAT, Warszawa 1995.

64. Turski W.M.: *Propedeutyka informatyki.* PWN, Warszawa 1988

65. Urbanek M. – *Model symulacyjny zabezpieczenia leczniczo – ewakuacyjnego działań bojowych wojsk na szczeblu taktycznym,* rozprawa doktorska, AON, Warszawa 1992.

66. Wesołowski J., *Modele decyzyjne rozwoju techniki.* PWN, Warszawa 1987

67. Wocial J. - *Metoda wartościowania modeli i jej zastosowanie do wyboru modelu SZ*, AON, 1993.

68. Wocial J. -*Potencjał rażenia sił zbrojnych Polski i państw otoczenia. Oszacowanie, analiza, ocena*, AON, 1994.

69. Wocial J. - *Zastosowanie metody tendencji rozwojowej do prognozowania rozwoju potencjału rażenia sił zbrojnych*, AON, 1994.

70. Wocial J. - *Analiza potencjałów rażenia SZ Polski i państw otoczenia*, AON, 1996.

71. Wocial J. – *Metoda oceny wartości modeli systemu sił zbrojnych* – rozprawa doktorska, AON, Warszawa 1998.

72. Wocial J. – *Oszacowanie i ocena potencjału rażenia państw sił zbrojnych Polski i państw otoczenia w 1999 roku*, rękopis 1999.

73. Wydymus S. – *Metody wielowymiarowej analizy rozwoju społeczno – gospodarczego,* Zeszyty naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 62, Kraków 1984.

74. Zagórski J. – *Teoretyczny model potencjału wojennego.* Wojskowy Przegląd Ekonomiczny, nr 3/1969.

75. Zeigler B. P. – *Teoria modelowania i symulacji,* PWN, Warszawa 1984.