




AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

**PODSTAWY ANALIZY
I INŻYNIERII SYSTEMÓW**

**Nowoczesne techniki operacyjnej analizy systemowej
w zastosowaniach obronnych i technicznych**

Tom 1

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
~~S/5383 t. 1~~

05-005383-001-0

WARSZAWA

69031





**AKADEMIA OBRONY
NARODOWEJ**

**PODSTAWY ANALIZY
I INŻYNIERII SYSTEMÓW**

Nowoczesne techniki
operacyjnej analizy systemowej
w zastosowaniach
obronnych i technicznych

Tom 1

Warszawa

listopad 2002

Spis Treści	3
WSTĘP	6
Tom 1	
CZĘŚĆ I PODSTAWY BADAŃ SYSTEMOWYCH	10
1. Geneza myślenia holistycznego	10
1.1. <i>Paradygmat scholastyczny</i>	11
1.2. <i>Paradygmat renesansowy</i>	13
1.3. <i>Mechanistyczna wizja świata i determinizm</i>	15
1.4. <i>Hegemonia determinizmu</i>	16
1.5. <i>Era teorii względności i mechaniki kwantowej</i>	21
1.6. <i>Wiek systemów</i>	28
2. Geneza koncepcji systemowych	36
2.1. <i>Systemy jako paradygmat</i>	39
2.2. <i>Zasięg badań systemowych</i>	42
3. Podstawy Ogólnej Teorii Systemów	44
3.1. <i>Ogólna Teoria Systemów i pojęcia definiujące właściwości systemów</i>	48
3.2. <i>Cybernetyka i pojęcia definiujące procesy systemowe</i>	58
3.3. <i>Zasady teorii systemów</i>	69
3.3.1. <i>Metoda systemowa</i>	69
3.3.2. <i>Struktura dziedzinowa</i>	72
3.3.3. <i>Podsumowanie</i>	75
4. Wybrane koncepcje i teorie systemów	78
4.1. <i>Boulding i jego Hierarchia Złożoności Systemów</i>	78
4.2. <i>Beer i jego Model Systemu Zdolnego do Życia</i>	83
4.3. <i>Taylor i jego Model Systemów Geopolitycznych</i>	88
4.4. <i>Klir i jego Ogólne Rozwiązanie Problemów Społecznych</i>	90
4.5. <i>Laszlo i Systemy Naturalne</i>	91
4.6. <i>Checkland i Typologie Systemów</i>	96
4.7. <i>Powers i Teoria Sterowania</i>	98
4.8. <i>Koncepcja L.von Bertalanffego</i>	101
4.9. <i>Ontologia „Świata Systemów” M. Bunge</i>	103
4.10. <i>Koncepcja P.K. M’Phersona</i>	104
4.11. <i>Koncepcja W.N. Sadowskiego i A.I. Ujemowa</i>	106
4.12. <i>Teoria M. Mazura</i>	109
4.13. <i>Teoria Mesarovica</i>	110
4.14. <i>Teoria L.Zadeha</i>	112
4.15. <i>Teoria Systemów Dynamicznych</i>	113
4.16. <i>Koncepcja J.Forrestera</i>	115
4.17. <i>Podsumowanie</i>	116
5. Cybernetyczna teoria systemów rozwijających się	118
5.1. <i>Podstawowe pojęcia</i>	118
5.2. <i>Modelowanie rozwoju systemów</i>	122
5.3. <i>Podsumowanie</i>	126
CZĘŚĆ II MODELOWANIE SYSTEMOWE	127
1. Zasady opisu systemów	127
2. Opis morfologiczny	133



3. Opis funkcjonalny	141
3.1. Czas systemowy.....	142
3.2. Stan systemu.....	143
3.3. Zdarzenia.....	147
3.4. Związek przyczynowo-skutkowy.....	149
3.5. Wnioski.....	156
4. Opis rozwojowy	158
5. Sterowanie w systemach wielopoziomowych	165
5.1. Metoda parametryczna.....	165
5.2. Metoda ceny.....	166
5.3. Zasada koordynacji.....	167
5.4. Kierowanie w systemie dwupoziomowym.....	169
6. Kierowanie w systemach aktywnych	173

Tom 2

CZĘŚĆ III ANALIZA I INŻYNIERIA SYSTEMÓW..... 183

1. Podejmowanie i wspieranie decyzji	183
1.1. Pojęcia podstawowe.....	184
1.2. Podstawowe metody wspomaganie decyzji.....	188
1.3. Problemy i potrzeby menedżerskie.....	189
1.4. Cztery generacje wsparcia komputerowego.....	190
2. Ogólne założenia analizy systemowej	192
2.1. Analiza systemowa.....	192
2.2. Inżynieria systemowa.....	194
3. Metodologia	197
3.1. Technologia i organizacja.....	210
3.2. Wspomaganie.....	256
4. Analiza systemowa w zastosowaniach militarnych	281
4.1. Istota analizy systemowej.....	281
4.2. Systemowe sytuacje decyzyjne.....	287
5. Efektywność systemów	296
5.1. Cechy systemowe.....	296
5.1.1. Potencjał systemu.....	296
5.1.2. Efektywność potencjalna systemu.....	299
5.1.3. Pojęcie efektywności systemu.....	301
5.1.4. Detrminaty efektywności systemów.....	305
5.1.5. Kryteria efektywności systemów.....	306
5.1.6. Kryteria operacyjne.....	307
5.1.7. Kryteria ekonomiczne.....	308
5.1.8. Kryteria informacyjne.....	311
5.1.9. Kryteria techniczne.....	312
5.1.10. kryteria eksploatacyjne.....	315
5.1.11. Jakość systemu.....	316
5.1.13. Kompleksowa ocena efektywności systemu.....	318
5.1.14. Model oceny efektywności systemu.....	318
6.1. Metody oceny efektywności systemów	321
6.1.1. metody bezpośredniego pomiaru.....	321
6.1.2. metody analizy stanów.....	322
6.1.3. metody oceny działalności gospodarczej.....	326
6.1.4. Metody symulacyjne.....	328

CZEŚĆ IV ORGANIZACJA JAKO SYSTEM DZIAŁANIA W WARUNKACH SPOŁECZEŃSTWA INFORMACYJNEGO.....	334
1. Analiza systemowa rozwoju społeczeństwa informacyjnego.....	334
1.1. Istota społeczeństwa informacyjnego.....	334
1.2. Determinanty.....	334
1.3. Szanse i zagrożenia.....	338
1.4. Wyzwania.....	344
2. System zarządzania firmy przyszłości.....	349
2.1. Nowa Ekonomia czyli e-gospodarka.....	351
2.2. Organizacja inteligentna – ucząca się i samorealizująca.....	351
2.3. Organizacja wirtualna.....	356
2.4. Nowoczesne koncepcje zarządzania.....	361
2.5. Informatyczne wspomaganie.....	367
3. Strategiczna Karta Wyników w systemie zarządzania firmą.....	370
3.1. Istota „The Balanced Scorecard” Roberta S. Kaplana.....	375
3.2. Nowe ujęcie efektywności firmy.....	375
3.3. Model procesów wewnętrznych.....	381
3.4. Wdrażanie systemu zarządzania opartego na „SKW”	387
	391
BIBLIOGRAFIA	411
Tom 3	
ZAŁĄCZNIKI	418

WSTĘP

Badania systemowe stanowią bardzo rozległy i wielce zróżnicowany obszar współczesnych badań naukowych o niejednym źródle. Trudności nastroczą jednoznaczne określenie głównego źródła ich inspiracji. Dlatego analiza historyczna rozwoju badań systemowych wydaje się być tak zachęcająca i wręcz fascynująca.

Początki myślenia systemowego należy wiązać z uświadomieniem przez badaczy ograniczeń myślenia redukcjonistycznego czyli „paradygmatu kartezjańskiego”. Jednakże owe uświadomienie zachodziło w różnym czasie w zależności od dziedziny badań czy dyscypliny naukowej. Kryzys kartezjańskiego mechanicyzmu i filozofii neopozytywistycznej, jak i niemal powszechny protest badaczy wobec pogłębiającego się redukcjonizmu nabrzmiewał przez lata. Dostrzegali to już filozofowie XX wieku, między innymi Tadeusz Kotarbiński, który niegdyś wyraził się o redukcjonizmie neopozytywistów: „tu jasno, ale płytko”, o holizmie natomiast: „tu głęboko, ale ciemno”. Z tej słusznej myśli wynika, że droga do prawdy wytyczona będzie przez redukcjonizm, bez którego nie ma postępu, oraz holizm bez którego człowiek nauki ma zawężone horyzonty, na co zwracał uwagę Julian Aleksandrowicz. Z kolei, wybitny logik Stanisław Leśniewski proponował „mereologię” jako naukę o relacji części i całości. Całości zwykło się charakteryzować mówiąc, że posiadają one organizację, dzięki której „całość jest czymś więcej niż sumą swoich części”, tę zaś myśl przypisuje się Arystotelesowi.

Doktrynę emergencji, czyli holizm określa się czasem jako tezę o hierarchicznej organizacji rzeczy i procesów, której skutkiem ma być pojawienie się własności na „wyższych szczeblach organizacji, których nie można przewidzieć w oparciu

o znajomości własności stwierdzanych na „niższych „ jej szczeblach (Ernst Nagel). Otóż, wydaje się, że w tym właśnie tkwi istota myślenia systemowego lub systemowo - holistycznego ujęcia badanych obiektów, różnorodnej zresztą natury.

Jeden z twórców tzw. geszaltizmu (niem. Gestalt – postać) K.Koffka pisał w 1931r.: „Jeżeli analiza ma nam przedstawić świat w sposób zupełny, to musi zatrzymać się na całościach (dowolnej wielkości) posiadających rzeczywistość funkcjonalną. Zamiast zaczynać od elementów i z nich wyprowadzać własności całości, niezbędny jest proces odwrotny, tj. należy starać się zrozumieć własności części w oparciu o własności całości. Zasadniczym sensem pojęcia „postaci” jest ten pogląd na relację części do całości oraz uznanie istnienia specyficznych dynamicznych własności całościowych”. Niemal dokładnie w tym samym czasie do podobnych wniosków doszedł biolog Ludwig von Bertalanffy w swej propozycji „organicyzmu” – założyciel dwadzieścia lat później Towarzystwa Ogólnej Teorii Systemów.

Warto zauważyć, że brak jest jednoznacznego poglądu na genezę holizmu jako pewnej doktryny. Spotkać można pewne „tropy” prowadzące do afrykanera (ponoć mającego wojskowy stopień...marszałka) – Iana Smutsa jako autora terminu „holizm”, a także znanego pisarza Artura Koestlera (autora głośnej powieści „Ciemność w południe”), który podczas organizowanych pod koniec lat 40 ubiegłego wieku seminariów posługiwał się pojęciem „holizmu” dla określenia całości (systemu?).

Zapewne za przełomową datę należy uznać rok 1948, kiedy Norbert Wiener publikuje fundamentalne dzieło pt. „Cybernetyka, czyli sterowanie i komunikowanie w zwierzęciu i maszynie”, zaś Claude Shannon tworzy podstawy matematycznej teorii komunikowania (informacji). Stanowią one swoistą syntezę doświadczeń uzyskanych podczas projektowania pierwszych komputerów i systemów automatycznego sterowania.

Szczyt zainteresowań cybernetyką w Polsce przypada na lata 60, kiedy to powstają oryginalne prace M.Mazura, H. Greniewskiego, O.Langego, J.Jaronia itp.. Z kolei, lata 70-te przynoszą wyjątkowe zainteresowanie teorią systemów, a także jej pragmatycznymi aplikacjami w postaci analizy systemowej (rodem z RAND) i inżynierii systemów. Ukazują się fundamentalne prace L. von Bertalanff’ego („Ogólna teoria systemów”), G. Weinberga („Myślenie systemowe”), G. Klira („Ogólna teoria systemów”), zaś dzięki popularyzatorskim wysiłkom W. Gasparskiego w kwartalniku „Prakseologia” artykuły m.in. M.Mesarovica, J. Millera, A.Rapaporta. Szczególne znaczenie ma I Szkoła Postaw Inżynierii Systemów zorganizowana przez PAN i MON w Orzyszu w maju 1976 roku. Rola lidera polskiego ruchu systemowego przypada niewątpliwie prof. Stefanowi Ziembie.

W latach 80-tych ukazują się oryginalne książki Józefa Koniecznego („Inżynieria systemów działania”) i Włodzimierza Bojarskiego („Podstawy analizy i inżynierii systemów”) oraz Piotra Sienkiewicza („Inżynieria systemów”, „Systemy kierowania”, „Inżynieria systemów kierowania”, „Teoria efektywności systemów”).

Lata 90-te świadczyć mogłyby o zmierzchu lub raczej marginalizowaniu badań systemowych, lecz złudny byłby taki sąd. Po prostu metody badań systemowych stały się czymś naturalnym i oczywistym dla autentycznych badaczy systemów. Uwagę przyciągają problemy modelowania dynamicznych systemów nieliniowych, co przynosi zainteresowania teorią chaosu, teorią katastrof Rene Thomma, teorią fraktali, czy strukturami dysspatywnymi Ilyi Prigogine’a. W ostatniej dekadzie XX wieku ukazują się ponadto - P. Sienkiewicza „Podstawy teorii systemów” (AON,1992) i „Analiza systemowa” (1995) oraz prace Witolda Pogorzelskiego (np. „O filozofii badań systemowych”) i podręcznik Stanisława Paszkowskiego „Podstawy teorii systemów i analizy systemowej” (WAT 2000).

U schyłku lat 90tych można było spotkać się z poglądami poddającymi w wątpliwość sens badań systemowych, aktualność i skuteczność metod i technik analizy i inżynierii systemów. Ale poglądom tym trudno przyznać słuszość, a jeszcze trudniej z nimi dyskutować, zwłaszcza że zupełny był brak jakichkolwiek kontrpropozycji. Bo jaka może być alternatywa dla paradygmatu holistyczno-systemowego? A to nie oznacza oczywiście, że „wszystko już było” lub „wszystko zostało zrobione”(co to znaczy wszystko!?). Być może zakończył się jakiś etap rozwoju, dzięki któremu postępujemy asymptotycznie do stanu pożądanego, którego nie potrafimy zidentyfikować, gdyż jakże różne są potrzeby i oczekiwania badaczy i praktyków.

Z kulminacji doświadczeń oraz świadomości potrzeb i oczekiwań narodziła się koncepcja niniejszej pracy. Także ze świadomości potrzeby „zamknięcia”, tj. uporządkowania dotychczasowych, wybranych siła rzeczy, poszukiwań, koncepcji i teorii systemowych. Ale również z oczekiwań licznych studentów poszukujących opracowania syntetyzującego dorobek ostatnich dekad rozwoju badań systemowych.

Jedną, wcale istotną, inspiracją była propozycja złożona autorowi niniejszego opracowania przez prof. Larsa Skyttnera wygłoszenia cyklu wykładów na Uniwersytecie Gävle w Szwecji pod koniec lat 90. Do realizacji tego nie doszło, lecz otrzymana książka L. Skyttnera pt. „General Systems Theory” stanowiła znaczący

bodziec do podjęcia jakby „na nowo” badań nad metodologią badań systemowych, zaś jej fragmenty zostały wykorzystane w nich z powodzeniem.

Wreszcie, z domowego archiwum autora dokonano wyboru znaczących artykułów, które znalazły się w załącznikach. Dzięki temu opracowanie zyskało nie tylko „na objętości”, lecz stanowi chyba najpełniejszy wykład metodologii badań systemowych ze znanych z bibliografii nie tylko krajowej. Rozwinięciem prezentowanych w niniejszym opracowaniu rezultatów, analiz i syntez, będzie z pewnością planowany podręcznik akademicki pt. „Podstawy badań systemowych” (PWE 2003).

Piotr Sienkiewicz

CZĘŚĆ 1 PODSTAWY BADAŃ SYSTEMOWYCH

1. Geneza myślenia holistycznego

Podczas gdy człowiek i jego pozycja we wszechświecie są obiektem zainteresowania nauk społecznych i humanistycznych, to w przypadku nauk ścisłych, każda z nich koncentruje się na prowadzeniu badań we własnym obszarze. I tak, nauki polityczne zajmują się głównie polityczną i administracyjną organizacją społeczeństw, nauki ekonomiczne aspektami komercyjnymi, geografia strukturami fizycznymi a np. filozofia wzorcami myślowymi, poglądami na życie czy ideologiami.

Nauki systemowe również posiadają własny, szczególny obszar zainteresowań, jest nim zrozumienie człowieka i jego środowiska, jako elementów wzajemnie oddziaływujących systemów. Celem jest badanie tych interakcji z wielu perspektyw, w sposób całościowy (holistyczny). Nieodłącznym elementem takiego podejścia jest połączenie postrzegania historycznego, współczesnego i przyszłościowego.

Dzięki takim ambicjom nauki systemowe dostarczają wspólnego, uniwersalnego języka, umożliwiającego interdyscyplinarną komunikację pomiędzy różnymi obszarami wiedzy. Tym sposobem, jednocześnie aspirują one do roli nauki uniwersalnej, łączącej dotychczas rozdzielone dyscypliny naukowe. Są one również zdolne do promowania kultury pozbawionej podziałów na naukę, filozofię i religię.

Dlatego też osobiste zaangażowanie w nauki systemowe jest zajęciem wysoce interdyscyplinarnym. Potencjalny student będzie miał styczność z wieloma dyscyplinami naukowymi: filozofią, socjologią, fizyką, biologią itd., co w konsekwencji pozwoli na zdobycie wszechstronnego wykształcenia, tak przecież pożądanego we współczesnym, nadmiernie wyspecjalizowanym społeczeństwie.

Walory wszechstronnego wykształcenia doceniało wielu wybitnych ludzi. *Francois Voltaire* powiedział: „Wykształcenie jest jedyną wartością, która pozostaje gdy już zapomnimy wszystko czego się nauczyliśmy”. *Oscar Wilde* w jednej ze sztuk stwierdził:

„Wykształcenie jest rzeczą dobrą, lecz należy pamiętać, że niczego, co warto wiedzieć nie można się nauczyć”. Z kolei szwedzkie przysłowie mówi „Wykształcenie nie jest czymś, czego można się nauczyć, jest czymś, co zdobywamy”.

Na kolejnych stronach, wraz z Ogólną Teorią Systemów, przedstawione zostaną pewne poglądy i teorie charakterystyczne dla świata zachodniego oraz niektóre związane z nimi aspekty filozoficzne.

Naturalnym punktem wyjścia do naszych rozważań powinna być starożytna Grecja - kolebka współczesnej cywilizacji, jednakże, mając na uwadze objętość niniejszej pracy, rozpoczniemy od Średniowiecza, które również powinno dostarczyć wiedzy niezbędnej do zrozumienia początków i źródeł myślenia systemowego i jego dalszego rozwoju.

1.1. Paradygmat scholastyczny

Należy zdawać sobie sprawę, że wierzenia i wiedza w każdym okresie historycznym znajdują się pod wpływem współcześnie towarzyszących im paradygmatów. Dlatego średniowieczne postrzeganie świata może być opisane za pomocą modelu scholastycznego. Jakkolwiek model scholastyczny może być charakteryzowany jako przednaukowy, to w istocie był to kompletny system filozoficzny, który przeplatał wzajemnie moralność i systemy niebiańskie z fizycznymi systemami ziemskimi tworząc jedną całość. Amalgamat ten opierał się na następujących założeniach:

- Świat naturalny był żywy i dlatego śmiertelny, podatny na grzech i skończony;
- Wszechświat i natura (istota) czasu były możliwe do zrozumienia;
- Zbawienie duszy było najważniejszym wyzwaniem;
- Nauki o świecie naturalnym były podporządkowane teologii;
- Celem nauki było wskazanie związków pomiędzy światem a prawdą duchową;
- Wiedza miała charakter encyklopedyczny, była opisana i sklasyfikowana;
- Struktura społeczeństwa była pod wpływem Niebios i odzwierciedlała Boski porządek. Średniowieczne miasto w kształcie krzyża to nie tylko przejaw funkcjonalności, ale również symbol religijny.

Rozwój nauki był, więc pożądanym na tyle na ile wspierał religię. Metodą służącą wyjaśnieniu złożoności zjawisk była *intuicja* i *objawienie*, ciekawość jako taka była grzechem. Obserwacja, rejestrowanie zjawisk, eksperymenty i wyciąganie obiektywnych wniosków nie były dobrze widziane. Natura była postrzegana jako organizm stworzony przez Boga, niszczenie jej oznaczało grzech. Siły natury były poza kontrolą człowieka, jedyną ochroną przed ich działaniem mogła pochodzić od Boga lub sił magicznych (nieczystych).

Zjawiska niezrozumiałe opisywano jako nadprzyrodzone. Teologia poszukująca celu była częścią natury: kamienie spadły na ziemię, ponieważ należą do niej i pragnęły połączyć się ze źródłem.

Dla żyjącego w II wieku n.e. astronoma *Ptolemeusza* wszechświat był tworem statycznym. Nie dostrzegano różnicy pomiędzy rzeczywistością a marzeniem, pomiędzy faktem a jego oceną. Nie odróżniano alchemii od chemii, astrologii od astronomii. Powód był często uznawany jako coś nieodpowiedniego lub wręcz obraźliwego dla tajemnicy istnienia. Odniesienie do rzeczywistości było niejasne, nieprecyzyjne i nieokreślone. W fizyce, na przykład, mówiono o pięciu (a później sześciu) podstawowych substancjach. Były to:

- Ziemia;
- Powietrze;
- Ogień;
- Woda;
- Kwintesencja, eter;
- Magnetyzm.

Pomimo, że psychologia, jako formalna nauka nie była znana, rozpoznawano takie typy umysłowości jak sataniczny, demoniczny, ludzki, anielski czy boski. Ich przejawami były:

Grzechy główne (śmiertelne):

- ✓ Pycha;
- ✓ Chciwość;
- ✓ Pożądanie;
- ✓ Zazdrość;
- ✓ Nieumiarkowanie w jedzeniu i piciu;
- ✓ Złość;
- ✓ Lenistwo;

Cnoty główne:

- ✓ Sprawiedliwość;
- ✓ Skromność;
- ✓ Odwaga;
- ✓ Umiarkowanie;

Cnoty boskie:

- ✓ Wiara;
- ✓ Nadzieja;
- ✓ Miłość;

(Należy zauważyć, iż ilość cnót równoważy ilość grzechów)

Grecki lekarz *Galenos* (131-201) opracował klasyfikację istot ludzkich ze względu na dominującą w organizmie substancję – „body fluid”. Związek pomiędzy dominującą

substancją a typem osobowości uznawano za bardzo istotny. Według *Galenosa* można było wyróżnić 4 typy osobowości:

<u>Dominująca substancja:</u>	<u>Typ osobowości:</u>
- krew	- Sangwinik
- żółta żółć	- Choleryk
- czarna żółć	- Melancholik
- szlam	- Flegmatyk

Zakłócenia równowagi pomiędzy substancjami były uznawane za przyczynę chorób.

Pomimo rozpowszechnionego mistycyzmu błędem byłoby uznanie średniowiecznej mentalności za prymitywną. Bowiem za brakiem uznania dla świata fizycznego z człowiekiem jako jego elementem leży obraz ludzkiej egzystencji rozumianej jako proces. Surowe życie doczesne traktowane było jako podróż do Nieba i kompensowane bogatym życiem wewnętrznym oraz uduchowioną wyobraźnią.

1.2. Paradygmat renesansowy

Wraz z nadejściem wieku szesnastego etap przednaukowy został skutecznie zastąpiony nowym, uznającym naukę za zdolną do opisywania zjawisk – jako drogę do wiedzy. Nauka staje się źródłem rozwoju nowych technologii. Pojawia się wzrastające uznanie dla faktów potwierdzonych w doświadczeniach naukowych oraz coraz to lepsza wymiana wiedzy i opinii. Teleologiczne wyjaśnienia zjawisk obserwowanych w otoczeniu człowieka (idea, że systemy fizyczne są prowadzone w kierunku końcowego celu) wcześniej postrzegane jako norma są stopniowo odrzucane. Ich miejsce zajmują „prawa natury” formułowane w oparciu o mechanikę. Tym sposobem wyłącznie czynniki bezpośrednio wpływające na tok wydarzeń są brane pod uwagę.

Czynnikiem otwierającym nowe możliwości w zmaganiach z problemami ludzkiej egzystencji jest rozwój wiedzy astronomicznej. Odkrycia *Mikołaja Kopernika* (1473-1543) powodują powolne odrzucanie geocentrycznej wizji wszechświata na rzecz heliocentrycznej teorii ruchu ciał niebieskich. Będąc jednak pod wpływem wcześniejszych preferencji ascetycznych uznaje on, że planety poruszają się po orbitach kołowych. Poglądy na temat

nieskończoności wszechświata i wielości światów głoszone przez **Giordano Bruno** (1548-1600) okazały się zbyt prowokacyjne dla Kościoła i został on skazany na śmierć i spalony na stosie. **Tycho de Brahe** (1546-1601) ulepszając technikę obserwacji ruchu planet przyczynił się do rozwoju teorii Kopernika. Jego osiągnięcie wdrożone przez **Johannesa Keplera** (1571-1630) pozwoliło udowodnić eliptyczną naturę orbit ruchów planet (trzy prawa Keplera). Wynalezienie teleskopu przez **Galileo Galilei** (1564-1642) stworzyło bardziej realistyczną perspektywę położenia Ziemi. Ziemia nie może być w dalszym ciągu postrzegana jako centrum wszystkich zjawisk, będąc jedną z kilku planet obracających się wokół Słońca. Odkrycie ogromnej liczby gwiazd dowodzi, że wszechświat jest zarówno większy jak i bardziej zróżnicowany niż głosił Kościół i teologowie. Teologiczne wyjaśnienie ruchu jest odrzucane i ruch jest postrzegany jako rezultat sił działających na ciało nie zaś dążenie ciała do połączenia ze źródłem. W myśleniu Galileusza możemy dostrzec początki mechanistycznego postrzegania świata i rozdziału pomiędzy religią i nauką.

Doświadczalnemu i matematycznemu podejściu do zjawisk Galileusz zawdzięcza miano pierwszego nowoczesnego naukowca. Jako badacz rozróżnił on właściwości ilościowe i jakościowe obiektów. Te ostatnie, jak kolor, smak czy zapach opisywały rzeczy istniejące tylko w naszej świadomości i dlatego nie nadawały się do zastosowań naukowych.

Inny badacz, **Rene Descartes** (1596-1650) rozszerza rozdział religii i nauki o kolejny, pomiędzy ciałem i umysłem – *dualizm*. Descartes różnicuje ciało, które należy do obiektywnego świata fizycznej rzeczywistości i to, co należy do subiektywnego świata umysłowości z jego myślami i uczuciami.

Od tego momentu zachodnia tradycja religijna traktująca istotę ludzką jako twór unikalny w świecie a prawdopodobnie i we wszechświecie rozpoczyna swój nieuchronny odwrót. Świadomość człowieka nie odzwierciedla już boskiego pierwowzoru a tylko samą siebie.

Jednakże większość zjawisk naturalnych otaczających człowieka wydaje się być w dalszym ciągu niewytłumaczalna. Oferowane wyjaśnienia były oparte o czyste przesady. Pomimo tego wierzy się w możliwość całkowitego poznania i zrozumienia świata. Dlatego naukowiec epoki renesansu widzi otaczający go świat jako relatywnie małą wyspę otoczoną morzem akceptowanej tajemniczości.

Narodziny współczesnej nauki muszą być rozpatrywane w odniesieniu do siły Kościoła. Wpływy papieskiej teokracji oraz światopogląd religijny oddziaływały na kierunek rozwoju nauki. Różnica pomiędzy księdzem a człowiekiem wykształconym była bardzo niewielka. Procesy Giordano Bruno i Galileusza dowodzą, że nauka była w

niebezpieczeństwie, gdy próbowała odpowiadać na kwestie społeczne, będące domeną i we władaniu papieża. Nauka musi w tej sytuacji podkreślać swą niezależność i neutralność tak, więc obiektywizm i bezstronność stają się wkrótce jej znakami firmowymi, wpływając na nowoczesną cywilizację znacznie silniej niż religia. Religijny imperatyw supremacji człowieka nad samym sobą jest zastępowany imperatywem naukowym – prawem do supremacji człowieka nad naturą.

Współcześnie pod koniec XX wieku, klasyczna naukowa mentalność utraciła swe znaczenie. Jednakże zasada obiektywizmu ma w dalszym ciągu zastosowanie, jeżeli uznamy jej ograniczenia.

1.3. Mechanistyczna wizja świata i determinizm

W początkach XVIII wieku światopogląd zwany obecnie naukowym jest silnie osadzony w społeczeństwie europejskim, jakkolwiek ze znamionami swego własnego czasu.

Tradycja i spekulacja zastępowane są przez *racjonalizm* i *empiryzm*, przy założeniu, że zjawiska natury mogą i muszą być badane i wyjaśniane. Rzeczywistość jest określona, dokładna i wyrazista. Możliwym jest zapanowanie nad siłami natury.

Wizerunek świata upodabnia się do maszyny zaś ambicją nauki staje się zdominowanie i podbój natury. Taki całkowicie zmaterializowany świat mógłby być traktowany jako martwy, pozwalający człowiekowi na bycie panem i władcą swego środowiska z roślinami i zwierzętami włącznie a nawet przyzwalający na rozwój niewolnictwa. Świat ten jest także oddzielony od świata moralnego, z którym stanowił jedność w Średniowieczu. Duchowy i fizyczny porządek połączone w ramach prawa naturalnego (obecnie widziane jako twór matematyczno – fizyczny) w dalszym ciągu wpływają na wszechświat. Wszystkie tajemnice natury mogą być ostatecznie wyjaśnione w warunkach mechanistycznych.

Świat fizyczny stanowi maszynę, której każda funkcja może być obliczona a zdarzenia w jednej części Wszechświata niosą konsekwencje dla wszystkich pozostałych elementów. W tym klasycznym determinizmie każdy skutek ma swą przyczynę a każda akcja reakcję. Przyczyny i skutki inicjują łańcuch wzajemnie powiązanych zdarzeń. W tym niekończącym się procesie unicestwienie materii/energii jest niemożliwe.

Astronomia staje się symbolicznym obszarem filozofii świata materialistycznego: mechanistyczny wszechświat martwych ciał pasywnie przestrzegających porządku ślepych

sił. Nawet ogólny pogląd na człowieka zmienia się i jest mechanistyczny. Dla wielu mechanistyka staje się logicznym przeciwieństwem przesądu.

Ludzie i zwierzęta są teraz, z zasady, niczym więcej jak bardzo rozbudowanymi bytami mechanicznymi. Serce ludzkie staje się pompa działająca zgodnie z zasadami termodynamiki w systemie hydrauliczno – mechanicznym. Okres mechanistyczny jest często nazywany „wiekiem maszyny” – terminem wywodzącym się z prezentowanego wówczas światopoglądu i wiodącej roli maszyn w rewolucji przemysłowej.

Najważniejszą postacią nauk matematyczno – fizycznych tego okresu jest *Isaac Newton* (1643-1727). W *Zasadach* z 1687 roku dotyczących grawitacji Newton prezentuje działający, mechanistyczny wszechświat niezależny od porządku duchowego. W mechanice newtonowskiej termin warunek początkowy symbolizuje stan materialny świata na początku czasu. Kolejne zmiany tego stanu są określane za pomocą praw fizyki. Stąd znane w danej chwili położenia i prędkości planet w Układzie Słonecznym pozwalają na określenie tych samych parametrów w dowolnym momencie w przyszłości. Dlatego determinizm jest automatycznie wkomponowany w prawa Newtona.

Pierre Simon de Laplace (1749-1827) kontynuator idei Newtona zasłynął koncepcją „demon Laplace’a”, który zna pozycję i prędkość każdego elementu we wszechświecie w każdym momencie i używając praw Newtona oblicza przyszłość wszechświata.

Tak zrodziła się idea wszechświata jako mechanizmu zegarowego. Na jej bazie powstała doktryna deterministyczna implikująca uporządkowany ruch przyczyn i skutków w statycznym wszechświecie, wszechświecie bytu pozbawionego cech kreacji.

1.4. Hegemonia determinizmu

I tak pojawia się ujednolicony światopogląd wyrażony terminami mechanistycznymi. Zrozumienie wszechświata, przynajmniej na poziomie fundamentalnym, staje się możliwe. Ten mechanizm zegarowy nakręcony przez stwórcę pracuje według własnej wewnętrznej struktury i sprawczych praw natury. Cel i znaczenie istnienia jest wyłączone poza wszechświat jako taki. Wyróżnikiem mechanizmu jest fakt, iż jego znaczenie jest zewnętrzne w stosunku do maszyny i występuje jedynie w umyśle twórcy. Zegarmistrz jest dla zegara tym, kim stwórca dla natury.

Mechanizm ten jest także centralnym opisem ogólnej *zasady przyczynowości*: każdy skutek jest poprzedzony przyczyną a nie odwrotnie. Tylko jedno koło zębate kieruje i wpływa

na pozostałe w racjonalny sposób, mierzalna przyczyna zawsze wytwarza mierzalny skutek w każdym racjonalnym systemie. Podobnie identyczne przyczyny nałożone na racjonalny system zawsze wytwarzają identyczne skutki. W konsekwencji jedna relacja przyczynowo – skutkowa, gdzie praprzyczyną jest Bóg wyjaśnia cały problem istnienia.

W tych okolicznościach wyłania się problem wolnej woli. W determinizmie wolna wola ma wymiar iluzoryczny. Znaczenie i swoboda wyboru tracą swój cel w świecie deterministycznym, przestają być niezbędne do wyjaśnienia zjawisk natury i zachowań ludzkich. Przyczyna całkowicie wyjaśnia skutki.

W oparciu o pogląd deterministyczny wiodącą doktryną staje się *redukcjonizm*. W myśl tej doktryny z teorii naukowych wyjaśniających zjawiska na określonym poziomie można wydedukować wyjaśnienie zjawisk na poziomie wyższym. Rzeczywistość oraz nasze doświadczenie mogą być zredukowane do pewnej liczby niepodzielnych, podstawowych elementów. Również cechy jakościowe można sprowadzić do ilościowych. Kolor można ograniczyć do pytania o długość fali a nienawiść i miłość do pytania o skład wewnętrznych wydzielin. Tym sposobem redukcjonizm stał się właściwy dla wszystkich ważniejszych dyscyplin naukowych, co ilustrują poniższe przykłady:

- w fizyce : atom z dwiema właściwościami, masą i energią;
- w biologii : komórka, najmniejszy żyjący składnik organizmów;
- w psychologii : pierwotne instynkty;
- w lingwistyce : podstawowe elementy dźwięku, fonemy.

W sposób naturalny redukcjonizm stwarza podstawy dla trzystopniowej metody analitycznej:

- poddaj dokładnej analizie pojęciowej lub fizycznej;
- poznaj własności/zachowanie poszczególnych części;
- na podstawie własności poszczególnych elementów wydedukuj własności/zachowanie całości.

Obserwacja i doświadczenie stanowią podstawy redukcjonistycznej metodologii analitycznej. Dodatkowym warunkiem początkowym tej metody jest niezależność od środowiska – jest ono traktowane jako obojętne. Pojęcie *laboratorium naukowego* staje się standardem. W warunkach laboratoryjnych możliwe jest badanie efektów działania różnych zmiennych wykluczając wpływ środowiska. Tu właśnie weryfikuje się różne hipotezy w celu uzyskania najbardziej przybliżonych odpowiedzi, tu realizowane są podstawowe naukowe działania, aby opisać, opanować, przewidzieć i wyjaśnić różne zjawiska. Badacz, z założenia,

pozostaje nie zaangażowany – jest zewnętrznym obserwatorem zjawisk. Neutralność, obiektywizm i brak interwencjonizmu są najważniejszymi cechami naukowca.

Podstawowym metafizycznym założeniem pojęcia laboratorium jest przewidywalność i poznawalność natury. Przewidywalność powoduje, że te same prawa natury działają we wszystkich częściach wszechświata oraz, że zjawiska fizyczne podlegają prawom a nie odwrotnie. Poznawalność oznacza, że wszelkie aspekty natury mogą być odkrywane, chociaż w niektórych przypadkach pochłonie to bardzo wiele czasu. Ten sam eksperyment naukowy przeprowadzony przez różnych badaczy, w różnych częściach wszechświata i w różnym czasie powinien zawsze dać takie same rezultaty (*powtarzalność*). Rozbieżne wyniki mogą być rezultatem błędów i niedostatków człowieka i mogą zostać wyeliminowane poprzez dokładniejsze zaprojektowanie doświadczenia.

Drogą analityczną ustanowiono *metodologię naukową* składającą się z następujących kroków:

- Ograniczenie złożoności zjawiska poprzez analizę;
- Postawienie hipotez;
- Zaplanowanie i powtarzanie doświadczeń;
- Dedukcja wyników i odrzucenie błędnych hipotez.

Metodologia ta, jakkolwiek nie pozbawiona założeń metafizycznych, staje się obecnie kamieniem węgielnym nauk doświadczalnych. Zaletą jej jest branie pod uwagę wyłącznie tych faktów, które znajdują się w centrum zainteresowania. Badanie wagi obiektu jest całkowicie niezależne od jego barwy.

Jako, że celem metody badawczej jest wprowadzenie ustalonych ścieżek postępowania odpowiednich dla każdego rodzaju problemu, badacz ją stosujący może być pewien, że nie został przechytrzony przez naturę i nie wierzy w coś, o czym faktycznie nie ma pojęcia. Należy pamiętać, że osiągnięcia naukowe są na tyle wartościowe na ile mogą być swobodnie i oficjalnie ogłaszane. Dzięki temu powstał piąty krok w metodologii, komentarze i poprawki do wyników badań powracają do autora, inicjując nowe idee i doświadczenia naukowe.

Klasyczna nauka doświadczalna jest, więc zdolna nie tylko do tworzenia teorii opisujących istniejące zjawiska, ale także teorii ujawniających zjawiska jeszcze nie odkryte. Może ona wręcz tworzyć niewyjaśnione teorie w poszukiwaniu zjawisk. Eleganckie, abstrakcyjne teorie czekające na praktyczne zastosowanie są częścią historii nauki.

Metodologia naukowa stwarza grunt dla pewnego rodzaju umysłowości i sprecyzowanego, jednolitego światopoglądu opartego na pojęciach *empiryzmu*, *determinizmu*

i monizmu. Podczas gdy empiryzm za najlepszą metodę poznawania świata przyjmuje nasze zmysły, determinizm zakłada wiarę w uporządkowany ciąg przyczyn i skutków, to monizm zakłada wewnętrzną nierozdzielność ciała i umysłu. Powyższe trzy koncepcje zebrane w całość są często określane mianem *Paradygmatu Naukowego*, który odnosi wielki sukces w badaniach nad elektrycznością, magnetyzmem, światłem i ciepłem. W krótkim czasie udaje się sformułować ogólne reguły matematyczne opisujące powiązania pomiędzy tymi obszarami.

Ludzki optymizm gwałtownie rośnie - od nauki oczekuje się ostatecznych odpowiedzi na wszystkie pytania. **August Comte** (1798-1857) wprowadza modę na *naukowy pozytywizm*, wymagający „twardych faktów” osiągniętych w drodze doświadczenia. Pojęcia przyczyny, znaczenia czy celu są eliminowane z nauk naturalnych. Tylko możliwa do zaobserwowania za pomocą zmysłów rzeczywistość może być zaakceptowana jako podstawa wiarygodnej wiedzy. Naukowiec powinien obiektywnie obserwować, wyjaśniać i przewidywać. Zbieranie i wartościowanie absolutnie obiektywnych faktów to główne zajęcie naukowca.

Pozytywistyczny sposób rozumowania może być opisany za pomocą następujących pojęć:

- Monizm filozoficzny – ciało i umysł są nierozdzielne;
- Obiektywna rzeczywistość – rzeczywistość odbierana za pomocą zmysłów;
- Nominalizm – cała wiedza odnosi się do konkretnych obiektów, abstrakty nie istnieją;
- Empiryzm – cała wiedza opiera się na doświadczeniu;
- Anty-normatywizm – twierdzenia normatywne nie są częścią nauki, nie są ani prawdziwe ani fałszywe;
- Monizm metodologiczny – istnieje tylko jedna metoda badawcza, określona przez paradygmat naukowy;
- Objasnienia przyczynowe – cele, intencje i zamiary są niezwiązane z tematem.

Pod koniec okresu klasycznego determinizmu zostają sformułowane dwie główne zasady termodynamiki. Są one rezultatem prac **Rudolpha Clausiusa** (1822-1888), **Wiliama Kelvina** (1824-1907), **Ludwiga Boltzmanna** (1844-1906) i **Jamesa Maxwella** (1831-1879), który był również twórcą tzw. „demon Maxwella” – metafizycznej, termodynamicznej istoty, która wyraźnie lekceważy drugą zasadę termodynamiki, zwiększając entropię w wyizolowanym systemie. *Entropia* jest tu abstrakcyjną wielkością matematyczną, której fizyczna postać jest otoczona całunem tajemniczości.

Pierwsza zasada termodynamiki mówi: całkowita energia we Wszechświecie jest stała i nie może być zniszczona ani wytworzona. Energia może jedynie przybierać inne formy (zasada zachowania energii w sensie ilościowym). W istocie zasadę tę sformułował już 500 lat p.n.e. Pitagoras stwierdzając: „wszystko się zmienia, nic nie jest tracone”.

Druga zasada termodynamiki stanowi, że każda energia we Wszechświecie nieodwracalnie maleje i dlatego różnice między formami energii muszą rosnać w czasie (zasada utraty energii w sensie jakościowym). Tłumacząc to na język systemów, entropia systemu zamkniętego zawsze wzrasta. Ponadto, entropia dwóch połączonych systemów jest większa od sumy entropii każdego z nich.

Energia potencjalna jest energią uporządkowaną, energia cieplna jest energią niezorganizowaną i dlatego entropia maleje w sposób nieuporządkowany. Suma ilości ciepła traconego podczas wszystkich czynności mających miejsce we wszechświecie równa się nagromadzonej entropii. Popularna analogia dla entropii to fakt, że nie można ogrzać czegoś o temperaturze wyższej za pomocą czegoś o temperaturze niższej. Również proces starzenia się człowieka i śmierć są pedagogicznym przykładem entropii. Innym popularnym doświadczeniem jest tendencja do wzrostu nieporządku, jeżeli rzeczy pozostawimy samym sobie.

Zważywszy, że istnieje związek matematyczny pomiędzy prawdopodobieństwem a nieładem (nieład jest stanem bardziej prawdopodobnym niż ład), możliwym jest mówienie o ewolucji w kierunku entropii.

Poniżej znajdujemy pewne popularne wyrażenia ilustrujące ten proces:

Prawdopodobieństwo

- nieład
- niezorganizowana energia (ciepło)
- ciepło (energia niskiego poziomu)
- entropia

Nieprawdopodobieństwo

- ład (porządek)
- zorganizowana energia
- elektryczność
- syntropia

Powyższy proces ma swe źródło w drugiej zasadzie termodynamiki i wywarł ogromny wpływ na nasz sposób postrzegania świata. Jedną z jego konsekwencji jest niedeterministyczny (chaotyczny) obraz świata. Rzeczywistość to nieuporządkowany ruch atomów, życie powstaje w sposób przypadkowy a ewolucja jest rezultatem losowych mutacji. Ponadto mechanistyczno - newtonowska wizja świata ma nieustanną tendencję do upadku.

Stwórca zmuszony jest od czasu do czasu nakręcać ten niebiański zegar. Każde zdarzenie nie zabronione przez prawa fizyki powinno, więc powtarzać się w pewnym cyklu.

W dzisiejszych czasach możemy zauważyć, jaki wpływ wywarły tego typu poglądy, połączone z wizją nieuchronnego upadku wszechświata, na filozofię, sztukę, etykę i światopogląd jako taki. Obraz ten w pewnym sensie sparaliżował kulturę świata zachodniego. Cytując ówczesnego geologa *Georgea Barrowa* wszechświat był postrzegany jako „wielki i stary - ciemny i zimny”. Francuski lekarz *Leon Brillouin* (1889-1969) podsumowuje to wszystko pytaniem: „W jaki sposób można zrozumieć tajemnicę życia, jeżeli cały świat działa w myśl drugiego prawa termodynamiki, które prowadzi do upadku i unicestwienia”.

Okres determinizmu zbiegł się w historii z epoką maszyn w rewolucji przemysłowej i konserwatywną kulturą wiktoriańską. Umiejętności człowieka są zastępowane przez maszynę a te, które wykonujemy ręcznie zostają sprowadzone do prostych, powtarzalnych operacji. Postępująca dehumanizacja procesu produkcyjnego i alienacja pracownika stwarzają podłoże dla marksizmu i leninizmu.

To właśnie w deterministycznej interpretacji drugiego prawa termodynamiki możemy znaleźć korzenie powszechnego na przełomie wieków pesymizmu. Słońce wyczerpuje swe życiodajne zasoby, Ziemia zbliża się do kolejnej epoki lodowcowej, społeczeństwo chyli się ku upadkowi. Widocznymi rezultatami wzrastającej entropii są rozkład dyscypliny w armii, ogólna dekadencja, spadający przyrost naturalny i szerzenie się gruźlicy. Ten ponury obraz rzeczywistości znakomicie odzwierciedla literatura europejska okresu *fin de siecle*.

Podczas gdy 300 letni pogląd na rzeczywistość dobiega swego końca, jego upadek stwarza pole dla nowych impulsów i idei.

1.5. Era teorii względności i mechaniki kwantowej

Pierwszy zabójczy cios zadał determinizmowi, z jego statyczną wizją świata, *Albert Einstein* (1879-1955) w 1905 r., w swej *szczególnej teorii względności*. Zdarzenie definiuje on za pomocą czterech wielkości, trzy określają pozycję w przestrzeni, czwarta w czasie. Czas i przestrzeń nie występują indywidualnie, nie można wyobrazić sobie czasu bez przestrzeni i odwrotnie. Jeżeli obserwujemy gwiazdę z odległości 300 lat świetlnych to jest ona nie tylko odległym obiektem w przestrzeni, ale również tym, czym była 100 lat wcześniej. Wprowadzone zostaje pojęcie przestrzeni czterowymiarowej z ciągłością czasoprzestrzeni.

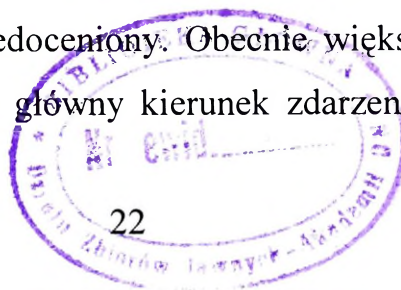
W wyniku przeciwstawienia sobie teorii Newtona i Einsteina powstaje problem. Einstein rozwiązuje go w 1915 r. ogłaszając *ogólną teorię względności*, gdzie grawitacja jest wynikiem zakrzywienia czasoprzestrzeni, spowodowanego nagromadzoną masą i energią. Masa Słońca zakrzywia czasoprzestrzeń w orbitę kołową w świecie trójwymiarowym, nawet, jeżeli jest ona linią prostą w świecie czterowymiarowym. W 1930 r. synteza czasu, przestrzeni, masy i energii dokonana przez Einsteina znajduje potwierdzenie w obserwacjach astronomicznych.

Prawdę powiedziawszy dla większości społeczeństw pierwszej połowy XX w. teoria Einsteina była raczej trudno zrozumiała.

Drugim śmiertelnym ciosem zadany determinizmowi była *teoria kwantów* – ogłoszona już w 1901 roku przez niemieckiego fizyka *Maxa Plancka* (1858-1947). Od niej rozpoczęło się przeformułowanie mechaniki klasycznej. W 1927 roku *Werner Heisenberg* (1901-76) podaje *zasadę nieoznaczoności*, która mówi, że z założenia, nie można w danym momencie, jednocześnie określić położenia i prędkości cząstki elementarnej. Zasada Heisenberga może być rozpatrywana jako szczególny przypadek *zasady komplementarności*, sformułowanej przez *Nielsa Bohra* (1885-1962), również w 1927 roku. Mówi ona, że doświadczenie prowadzone nad jednym z aspektów systemu (w wymiarze atomu) uniemożliwia poznanie komplementarnych aspektów tego samego systemu. Obie te zasady mają szokujące konsekwencje dla zrozumienia entropii i determinizmu.

Nowa mechanika – *mechanika kwantowa*, przyjmuje indeterminizm jako podstawową zasadę przy badaniu atomu i jego części składowych. Wyjaśnieniu zjawisk zachodzących w tak małej skali służy teoria kwantów, która odnosi się bardziej do prawdopodobieństwa niż pewności. Teoria, pomimo zastosowania do małych cząstek, ujawnia pewne nadzwyczajne zjawiska fizyczne jak np. *efekt spektralny*, zwany przez Einsteina „duchowym działaniem na odległość”, polegający na tym, że para wcześniej połączonych cząstek kontynuuje wzajemne oddziaływanie nawet po rozdzieleniu i przeniesieniu w różne części wszechświata. Innym zjawiskiem jest *efekt zeno* – elektrony nie zmieniają poziomów energetycznych, gdy są obserwowane. Obydwa przypadki ilustrują podstawowy fenomen fizyki kwantowej: interpretujący i interpretowany nie występują niezależnie. Dlatego byt jest interpretacją a interpretacja bytem.

Pomimo, że teoria kwantów nie dostarcza ostatecznych odpowiedzi w fizyce, otwiera ona całkowicie nowy sposób myślenia – jej wpływ na odbiór rzeczywistości i sposób postrzegania świata nie może być niedoceniony. Obecnie większość naukowców akceptuje globalny determinizm, jako nadający główny kierunek zdarzeniom, akceptują oni również



fakt, że rozwój w skali lokalnej określa swoje własne nieprzewidywalne ścieżki otwarte na wpływy zarówno niższego jak i wyższego szczebla.

Dominujący pogląd kosmologiczny, zwany *modelem standardowym* mówi nam, że wszechświat się rozszerza i miał swój punkt początkowy – „big bang” przed ok. 15 mld lat (największy skutek bez przyczyny!). Następnie, począwszy od formy niezwykle skondensowanej, w której nie działały znane nam prawa natury, wszechświat nieustannie rozwija się. Warunki początkowe nie dają się opisać ani za pomocą teorii względności ani teorii kwantów. Mogą one być jedynie składnikami nowej nie istniejącej jeszcze teorii.

Teorie w rodzaju teorii kwantów nie mogą zostać faktycznie udowodnione. Jednakże tak długo jak są one matematycznie spójne a obserwacje idą w parze z przewidywaniami, możemy przyjąć z dużym prawdopodobieństwem, że poprawnie opisują rzeczywistość. Teoria kwantów towarzyszy nam od długiego czasu i nie może być traktowana jako błędna czy niekompletna, lecz współczesna nauka, wykorzystując tę teorię, doszła do wniosku, że opisanie i zrozumienie świata jest niemożliwe. Możemy dodać, iż jeśli nawet współczesna nauka jest zdolna wyjaśnić **jak** świat jest skonstruowany, to z pewnością nie potrafi powiedzieć, **dlaczego**.

Naukowcy skłaniają się raczej do stwierdzenia, że formułując teorie świata atomów nie stajemy twarzą twarz z rzeczywistością, lecz naszą wiedzą na jej temat. Na przykład fizyk nie formułuje twierdzeń na temat rzeczy realnie istniejących, lecz raczej uzupełnia naszą wiedzę o czymś, co jak twierdzimy istnieje. Ten model fizyki nie wyjaśnia on jedynie opisuje. Dlatego, w pewnym stopniu, badania podstawowe w fizyce są zagadnieniem filozoficznym tak jak kosmologia była gatunkiem unaukowanej poezji.

Konsekwencją takiego podejścia jest możliwość stwierdzenia, że świat istnieje tylko w umyśle widza, czyli obserwacja jest zależna od obserwatora. Tak filozoficznie druzgocące dla rzeczywistości są tezy *Immanuela Kanta* (1724-1804), który twierdził, że pojęcia czasu i przestrzeni są bardziej niezbędnymi formami ludzkiego doświadczenia niż cechami (właściwościami) wszechświata. Kant rozważał, że nie tylko świadomość dopasowuje się do rzeczy, ale również rzeczy do świadomości.

Pogląd mówiący, że istnieje tylko jedna prawda o rzeczywistości a różne dyscypliny nauki opisują jej różne fragmenty nie daje się już obronić. To, co istnieje jest tylko subiektywnym i często sprzecznym pojęciem rzeczywistości. Upadek iluzji teorii przed Einsteinowskich dowodzi, że nawet wyniki badań naukowych nie mają charakteru ostatecznego. Z biegiem czasu jedne teorie są zastępowane innymi, lepiej opisującymi i

przewidującymi rzeczywistość. Aktualny stan wiedzy jest tylko najlepszym możliwym opisem rzeczywistości w danej chwili.

Werner Heisenberg miał powiedzieć „Świat kwantowy nie istnieje. Jediną rzeczą, która istnieje jest abstrakcyjny opis fizycznej rzeczywistości”. Również Niels Bohr stwierdził „Fizyka jest tylko tym, co możemy powiedzieć o naturze”. Niecelowym jest pytanie o stan materii poza naszą jej obserwacją, ponieważ to obserwacja jest jedynym dowodem, jaki możemy uzyskać. Zgodnie z takim punktem widzenia teoria kwantów nie powinna być rozumiana jak opis świata, lecz raczej jako instrument pozwalający umysłowi ludzkiemu prowadzić kalkulacje i przewidywania.

Albert Einstein przyjął nieco odmienny punkt widzenia mówiąc: „Twarde prawa logiki są zawsze w mocy a prawa natury nie zależą od naszego do nich stosunku”. Tym samym stwierdził, że świat istnieje niezależnie od istot ludzkich i jest tylko częściowo poznawalny. Pogląd, że rzeczywistość istnieje obiektywnie, niezależnie od obserwatora jest obecnie poddawany pod wątpliwość przez wielu badaczy.

Wielość perspektyw stworzona przez nowoczesną relatywistyczną naukę ożywiła dualizm pomiędzy substancją a świadomością – klasyczny problem ciała i umysłu. Konwencjonalna definicja nieśmiałości (zakłopotania) zakłada całkowitość i spójność w czasie i przestrzeni. Taki stan może być osiągnięty jedynie przez twórczą ludzką inteligencję. Fizyka kwantowa mówi, że świadomość jako taka może być umysłowym bytem cząsteczki, występującym w formie fali. Występuje ona wszędzie i posiada wiedzę o tym, co dzieje się w innych miejscach. Fizyczne istnienie cząsteczki jest jej stanem trwałym jako materii, z masą i pozycją w przestrzeni. W oparciu o powyższe możemy stworzyć następujące pary przeciwieństw:

- | | |
|--------------|---------------|
| - świadomość | - ciało; |
| - podmiot | - obiekt; |
| - osobnik | - środowisko; |
| - kultura | - natura. |

Poniżej możemy znaleźć szereg propozycji zaczerpniętych z teorii względności i fizyki kwantowej, wiele z nich jest paradoksalnych:

- Istnieje nieskończona liczba światów, my istniejemy równolegle w jednym z nich;
- Czas biegnie jednocześnie do przodu i do tyłu;
- Materia i świadomość są tym samym;

- Cząstka elementarna, przedstawiona w formie fali, istnieje w wielu miejscach w tym samym czasie (pomimo, że może być zaobserwowana tylko w jednym miejscu w określonym czasie);
- Fizyka kwantowa dotyczy prawdopodobieństwa. Równania falowe opisują wszystkie prawdopodobieństwa jednocześnie. Podczas obserwacji prawdopodobieństwo staje się rzeczywistością o określonych parametrach. Pozostałe prawdopodobieństwa znikają;
- W świecie fizyki kwantowej wszystko jest wzajemnie powiązane. Wszystko występuje wszędzie jednocześnie, lecz w danej chwili może być zaobserwowane tylko jako obiekt w jednym świecie;
- Fala kwantowa jest łącznikiem czasu przyszłego i przeszłego;
- To, co pamiętamy z przeszłości zostało określone przez coś w przyszłości. Zarówno przeszłość jak i przyszłość istniały już wcześniej, przyszłość w świecie równoległym;
- Wybierając obiekt obserwacji tworzymy go i wpływamy na niego;
- Obserwacja tworzy świadomość a świadomość tworzy świat materialny;
- Istnienie materii i świadomości jest tym samym;
- Egzystencjalną podstawą dla materii jest znaczenie;
- Muzyka transmitowana przez radio zamknięta w postaci fal radiowych istnieje tylko potencjalnie. Słyszymy ją tylko, gdy odbiornik jest włączony;
- Świat fizyczny i umysłowy są dwiema stronami tej samej monety. Oddziela je jedynie świadomość, nie rzeczywistość;
- Znaczenie i zamiar są nieodłącznymi składnikami rzeczywistości, nie zaś wartościami abstrakcyjnymi w ludzkim umyśle.

Teoria kwantowa poważnie podważyła naukową wiarę w zewnętrzną, materialną rzeczywistość i doprowadziła do rozwoju naukowości i surowych, pozytywistycznych nauk doświadczalnych.

Jednoznaczny determinizm traci znaczenie. O rozwoju wszechświata decyduje zarówno przypadek jak i konieczność, przyczyny losowe i zdeterminowane działające wspólnie w ramach entropii, ewolucji, ciągłości i zmiany. Te uniwersalne zasady, czasami nazywane *syntropią* (Fuller 1992), przeciwdziałając upadkowi i destrukcji (druga zasada termodynamiki) stworzą nowy, bardziej elastyczny światopogląd.

Jeszcze jednym wyzwaniem dla nauki pozytywistycznej jest idea, że wszechświat jest sam w sobie tworem żywym, bez względu na jego organicznych mieszkańców. Powstawanie

nowych gwiazd, ich wzrost, reprodukcja i śmierć w połączeniu z ich metabolizmem usprawiedliwiają, w oczach wielu naukowców, używanie pojęcia „żyjący”.

Pojęcie wartości nie jest nieodłączne dla nauki. Klasyczna nauka nigdy nie pyta, dlaczego i w jakim celu. Druga zasada termodynamiki głosząca rozkład i degenerację materii i bytu przez długi czas reprezentowała klasyczną mentalność naukową, wpływając na konstruowanie metod i instrumentów naukowych. Obecnie, wraz z rosnącą świadomością wszechświata przechodzącego twórczą, ukierunkowaną na rozwiązywanie problemów ewolucję, wartości mogą stanowić cenny i nowy wymiar dla klasycznej nauki.

Na podstawie powyższego zarysu rozwoju nauki i jego konsekwencjach dla współczesnego postrzegania świata możemy poczynić pewne obserwacje. Godnym uznania, ale i zaskakującym faktem jest, że prawa sformułowane np. przez Newtona mają się dobrze. Budowany cegła po cegle przez kolejne pokolenia naukowców budynek teorii nie wymaga zburzenia i rozpoczęcia od fundamentów.

Teoria powszechnego ciężenia Newtona wywarła wpływ na teorię względności Einsteina. Poprzez teorię Einsteina równania Newtona stały się bardziej złożone, tym niemniej oryginalna teoria jest dalej słuszna i w większości przypadków daje bardzo dobre przybliżenia. Mechanika Newtonowska stała się obecnie szczególnym przypadkiem teorii względności. Sprzeczne z intuicją, subatomowe paradoksy fizyki kwantowej nie kolidują ze zdrowym rozsądkiem życia codziennego, mając jednocześnie bardzo duże zastosowanie np. w mikroelektronice.

Rozpatrując relację pomiędzy teorią względności a teorią kwantów, ta druga sugeruje, że przestrzeń i czas są pojęciami przybliżonymi, które mogą być odrzucone, gdy rozpatrujemy nieskończenie małe obiekty. Dlatego, mechanika dużych obiektów - klasyczna i mechanika kwantowa zostały zmuszone do współlistnienia, bowiem żadna z nich dobrze nie wyjaśnia drugiej.

Można również zauważyć, że klasyczny podział na dyscypliny naukowe był w znacznym stopniu uwarunkowany, (lecz również odzwierciedlał) przez porządek natury, umysłowości i społeczeństwa charakterystyczny dla danego okresu. Wyraża to trzystopniowa hierarchia rozwoju nauki opracowana przez Comte'a:

- etap teologiczny (odpowiadający scholastyce);
- etap metafizyczny (odpowiadający epoce renesansu);
- etap pozytywny (odpowiadający erze mechanistycznej).

W tym samym czasie można zauważyć hierarchię redukcjonistyczną w różnych dziedzinach nauki, uporządkowanych wg „wielkości”:

- astronomia;
- socjologia;
- psychologia;
- biologia;
- chemia;
- fizyka.

Ponadto, różne dyscypliny naukowe przeszły podobną drogę rozwoju i wykazują podobieństwa w ulepszaniu metod. Praktycznie każda dziedzina wiedzy pokonała następujące etapy:

- intuicja;
- ustalanie faktów;
- analiza;
- synteza.

To właśnie synteza jest warunkiem wstępnym współczesnego *myślenia systemowego*, podobnie jak analiza była dla okresu mechanistycznego. System nie może być rozpatrywany analitycznie, bowiem wskutek dekompozycji traci własności współdziałania (synergii). Zrozumienie systemu musi, więc postępować od całości do części składowych – metodą syntezy. Synteza podąża krokami analizy, lecz w odwrotnej kolejności:

- określ system, którego częścią jest badany obiekt;
- wyjaśnij właściwości lub działanie systemu;
- w końcu, wyjaśnij właściwości badanego obiektu jako części lub funkcji systemu.

Synteza nie dostarcza szczegółowej wiedzy na temat struktury systemu, dostarcza natomiast wiedzy o jego działaniu (w przeciwieństwie do analizy). Dlatego synteza musi być rozważana jako *wyjaśniająca*, podczas gdy metoda naukowa musi być traktowana jako *opisująca*.

Myślenie systemowe poszerza pole obserwacji tam gdzie myślenie analityczne je ogranicza. Innymi słowy analiza przygląda się rzeczom, synteza patrzy poza nimi. Takie podejście do myślenia systemowego jest często nazywane ekspansjonizmem – w przeciwieństwie do klasycznego redukcjonizmu. Tam gdzie myślenie analityczne skupia się na właściwościach statycznych i strukturalnych, myślenie systemowe koncentruje się na działaniu i zachowaniu systemu jako całości. Analiza daje opis i wiedzę, myślenie systemowe

przynosi wyjaśnienie i zrozumienie. Kładąc nacisk na różnorodność i wielorakość należy ono do tradycji holistycznej.

Myślenie systemowe jest odpowiedzią na niepowodzenie myślenia mechanistycznego w próbach wyjaśnienia zjawisk społecznych i biologicznych. Będąc próbą rozwiązania kryzysu klasycznej nauki wprowadziło ono nowe sposoby podejścia do badań naukowych. Jego początki sięgają 1920 r., kiedy to ogólnie rozpoznano cechy powstawania żywych organizmów. Nietrudno więc zrozumieć, że dużą część terminologii myślenie systemowe zaczerpnęło właśnie z biologii (autonomia, przeżycie, itp.).

Możemy teraz zauważyć jak specyficzne dla danego okresu narzędzia badawcze podkreślały jego odrębność. Narzędzia analityczne jak mikroskop czy teleskop były założenia redukcjonistyczne. Narzędzia nadchodzącej ery systemowej są projektowane dla polepszenia syntezy i często przejmują funkcje klasycznego laboratorium. Komputer stał się bazą eksperymentów. W wielu dziedzinach jak fizyka nuklearna, aerodynamika, biologia, chemia itd.. eksperymenty są raczej symulowane niż przeprowadzane. Akcelerator cząstek elementarnych łączy właściwości analityczne i syntetyczne, będąc rodzajem mikroskopu o rozdzielczości większej niż średnica jądra atomowego. Satelity okrążające Ziemię dają wyjątkową możliwość zrozumienia zjawisk globalnych i po raz pierwszy w historii ludzkości spojrzenia na siebie z zewnątrz. Narzędzia o wyżej wymienionych cechach zwane są często *makroskopami*.

1.6. Wiek systemów

Lata 50-te XX wieku wraz z wprowadzeniem komputerów, bomby wodorowej i eksploracji kosmosu przyniosły społeczeństwom zachodnim wiele doniosłych problemów. Awarie systemów transportu, klęski żywiołowe i zagrożenie nuklearne szybko znalazły się na ich czele. Społeczeństwo stanęło wobec wzajemnie oddziaływających na siebie problemów technicznych, organizacyjnych, społecznych i politycznych.

Bardzo szybko zdano sobie sprawę, że wiele dotychczas stosowanych rozwiązań jest nieadekwatnych do nowych problemów. 200 lat sukcesów klasycznej nauki i technologii wytworzyło długoterminowe formy rozwoju, których efekty dały o sobie znać w sposób niszczący dla ludzkości. **Gerald Weinberg** w jednej ze swych książek stwierdza, że „nauka i inżynieria nie są zdolne dotrzymać kroku efektom wytworzonym przez wcześniejsze sukcesy naukowe”.

Oto lista wybranych problemów:

- Degradacja środowiska naturalnego i zmiany klimatyczne;
- Spadek zalesienia, przyrost terenów pustynnych;
- Nagromadzenie odpadów, promieniowanie radioaktywne, zanieczyszczenia wody, gleby i powietrza, zakwaszenie, spadek poziomu wód podskórnych, kurcząca się strefa ozonowa;
- Zanikanie gatunków;
- Eksplozja przyrostu naturalnego i wzrost przestępczości;
- Urbanizacja, bezrobocie i proletaryzacja;
- Marnotrawstwo energii i wyczerpywanie zasobów;
- Motoryzacja i hałas;
- „Zanieczyszczanie” danych, brak informacji i wiedzy;
- Komercjalizacja i zubożenie kulturowe;
- Narkomania i AIDS;
- Brzydota środowiska, wzrastająca ilość betonu i asfaltu;
- Biurokratyzacja, pasywność i znudzenie intelektualne.

Klasyczna, nadmiernie wyspecjalizowana i podzielona nauka dowiodła swej niemocy wobec tak złożonych problemów. Próby zredukowania złożoności zjawisk i zrozumienie całości poprzez wiedzę o jej elementach przestało być skuteczne. Nie rozumiejąc, że całość jest czymś więcej niż tylko sumą składowych, naukowcy gromadzili wiedzę na wyspach rozrzuconych po archipelagu rozłącznych danych.

Nie tak dawno fizyka była uważana za pierwowzór dla wszystkich autentycznych nauk. Machina redukcji ruszyła, gdy z psychologii wyodrębniono neurofizjologię, z neurofizjologii biochemię i wreszcie z biochemii mechanikę kwantową. Dzisiejsza nowoczesna biologia dowiodła, że taki rodzaj redukcjonizmu jest nieuzasadniony. Fizyka, chemia i biologia zjednoczyły się w ramach biologii molekularnej.

Wielu naukowców zdało sobie sprawę, że sposób, w jaki pojmowali świat nie był dostatecznie dalekosiężny by zrozumieć i wyjaśnić to, co napotykali i obserwowali. Jak mówi **Gary Zuchow** (1979) w swej książce „Tańczący Mistrz Wu-Li” - „Ich nosy były zbyt głęboko zagłębione w korze drzewa by móc znacząco dyskutować o lesie”. Toteż zaakceptowano, że systemy stanowią całość, która nie może być rozumiana poprzez analizę, zważywszy, że ich podstawowe własności wynikają z wzajemnego oddziaływania ich elementów. Ponadto oddziaływania pomiędzy zmiennymi systemowymi są tak zintegrowane, że przyczyna i

skutek nie mogą być oddzielone – pojedyncza zmienna może być równie dobrze przyczyną jak i skutkiem.

Wzrosła więc świadomość, że wszystko we wszechświecie, z nim samym włącznie, (mimo, że wydawał się funkcjonować niezależnie) było w istocie częścią wszechogarniającego, usystematyzowanego modelu. Żaden pojedynczy element nigdy w rzeczywistości nie był oddzielony od drugiego. Można było tylko w przelocie dostrzec uniwersalność układowego porządku i zachowania, która charakteryzowała zarówno ożywione jak i nieożywione systemy. Ludzkość uzyskała w ten sposób dostęp do jednej z głównych zasad zastosowanych przy projektowaniu wszechświata, mówiącej, że z jakiegoś istotnego, końcowego powodu ona również została uwzględniona w szkicach.

We wcześniejszym okresie alternatywą dla interwencji w systemie było cierpliwe znoszenie jego zachowań. Naukowcy zbyt często oczekiwali na awarię systemu by zobaczyć, jakie mechanizmy działania może ona ujawnić. Obecnie to właśnie działanie a nie anatomia systemu jest głównym punktem zainteresowania. Ważnym zadaniem jest rozwiązywanie rzeczywistych, życiowych problemów. Opis i zrozumienie nie były wartościami samymi w sobie, ich celem było poprawienie zdolności przewidywania i kierowania systemem o dużej skali.

Technicy starali się utrzymać właściwą pracę rzeczy, przedstawiciele nauk społecznych właściwe ich zachowanie. Nauka miała stać się bardziej etyczna, mniej filozoficzna. Robienie rzeczy było uznawane za ważniejsze niż myślenie o nich. W tych okolicznościach pojawiło się nowe interdyscyplinarne i holistyczne podejście. Holizm był próbą zebrania fragmentarycznych zdobyczy nauki w całościowy pogląd na człowieka, przyrodę i społeczeństwo. W praktyce było to poszukiwanie perspektywy by *lepiej widzieć*, sieci by *lepiej rozumieć* i platformy by *lepiej działać*.

Poszukiwania te mają, bez wątpienia, swe korzenie w wysiłkach okresu wojny i szczególnej specyfiki *badania operacyjnych*. Ta „dyscyplina zrodzona z nagłej potrzeby” zajmowała się strategicznymi decyzjami wojskowymi, alokacją zasobów, optymalnym planowaniem, analizą ryzyka itp., w prawdziwie pragmatyczny sposób, w celu wygrania wojny. Kierowała się ona następującymi, głównymi zasadami:

- Zrozumienie wszystkiego nie jest konieczne, należy raczej nad wszystkim panować. Pytaj, co się dzieje, zamiast dlaczego;
- Nie zbieraj więcej informacji niż to niezbędne do wykonania zadania, drobne szczegóły pozostaw w spokoju;

- Rozwiązuj problemy dnia dzisiejszego i miej świadomość, że warunki wstępne i rozwiązania szybko się zdezaktualizują.

Badania operacyjne stworzyły podwaliny pierwszej skutecznej metodologii, pozwalającej na traktowanie problemu w sposób całościowy przez różnych naukowców, bez potrzeby rozbijania go na elementy.

W 1954 roku powstało Międzynarodowe Stowarzyszenie Ogólnej Teorii Systemów (International Society for General Systems Theory – ISGST), które później przekształciło się w Międzynarodowe Stowarzyszenie Nauk Systemowych (International Society for Systems Science – ISSS). Jego najbardziej prominentnymi założycielami byli *Ludwig von Bertalanffy* i *Kenneth Boulding*. Ten pierwszy, pomimo opublikowania swych przemyśleń już w 1930 r. pozostawał nieznaną aż do 1950 r., kiedy to jeden z jego dziś już klasycznych artykułów ukazał się w magazynie *Science*. W owym czasie idea mówiąca, że systemy posiadają właściwości niezależne od obszarów nauki, do których należą była zarówno nowa jak i rewolucyjna. Następnie w 1956 r. Boulding opublikował swą dobrze znaną hierarchię systemu.

Wspólnym celem zespołu założycielskiego, składającego się naukowców interdyscyplinarnych, była nauka uniwersalna. Chcieli oni połączyć wiele dyscyplin naukowych za pomocą **prawa praw**, mającego zastosowanie do nich wszystkich. Postawiono sobie następujące cele:

- Zintegrowanie podobieństw i związków w nauce;
- Promowanie kontaktów poprzez granice dzielące dyscypliny naukowe;
- Ustanowienie podstaw teoretycznych dla ogólnego wykształcenia naukowego.

Integracja powinna być promowana poprzez odkrywanie analogii i izomorfizmów a nowa nauka powinna być narzędziem zdolnym do zajmowania się złożonymi systemami. **Analogie** są wyjaśnieniami dokonanyimi poprzez odniesienie czegoś dotychczas nie rozumianego do czegoś zrozumianego. **Izomorfizm** zachodzi, gdy w wspólne c charakterystyki, struktury, wzory i formy organizacyjne są zgodne z różnymi systemami. Dzieje się tak, gdy istnieją formalnie identyczne prawa rządzące funkcjonowaniem materialnie różnych zjawisk. W przypadku częściowej zgodności mówimy o **homomorfizmie**. Izomorfizm pozwala na nie bezpośrednie badanie systemów w warunkach innych systemów (symulacja) oraz zastosowanie metod niezależnych od zawartości w różnych obszarach nauki.

I tak, krok po kroku, powstała **Ogólna Teoria Systemów (General Systems Theory – GST)**. Nauka podstawowa, która, na poziomie abstrakcyjnym, zajmuje się ogólnymi właściwościami systemów, niezależnie od ich fizycznej formy i obszaru zastosowania. Jej

metafizycznym wsparciem jest *Filozofia Systemów*. U podstaw Ogólnej Teorii Systemów legło założenie, że wszystkie rodzaje systemów (rzeczywiste, koncepcyjne, abstrakcyjne, naturalne, stworzone przez człowieka) posiadają wspólne właściwości, niezależnie od swej wewnętrznej natury. Takie systemy mogłyby służyć do opisanego przyrody i naszego istnienia.

Wyrażając się bardziej precyzyjnie, cele Ogólnej Teorii Systemów możemy przedstawić następująco:

- Sformułowanie uogólnionych teorii systemów, w tym teorii dynamiki systemów, zorientowanej na cel zachowania, rozwoju historycznego, struktury hierarchicznej i procesami sterowania;
- Wypracowanie metodologii opisu funkcjonowania i zachowania obiektów systemowych;
- Zgłębienie uogólnionych modeli systemów.

Jako nauka stosowana, Ogólna Teoria Systemów stała się *Nauką o Systemach* – *metadyscypliną* wewnątrznie zdolną do transformacji od jednej dyscypliny naukowej do innej. Komputer jest dla niej odpowiednikiem klasycznego laboratorium, zastępując rzeczywiste eksperymenty, sam stał się użyteczną płaszczyzną doświadczeń. Użycie komputerów do obliczeń, symulacji i kreowania nie istniejącej rzeczywistości spowodowało powstanie nowego zjawiska lub trybu, który nazywamy *wirtualnym*. Mówiąc bardziej precyzyjnie, jest to abstrakcyjny twór lub proces mający swój fizyczny wyraz. W istocie jest to symulacja, symulacja czegoś, co nie koniecznie rzeczywiście istnieje. Rzeczywistość wirtualna jest trybem symulowanej egzystencji, będącej wynikiem obliczeń.

Celem nauki o systemach nie było zastąpienie, lecz raczej uzupełnienie nauki tradycyjnej. Znaczenie perspektywy systemowej wzrosło wraz z rosnącym stopniem skomplikowania systemów zawierających i otaczających człowieka. Ogólne myślenie systemowe oparte o teorię systemów stało się jej znakiem firmowym, miało ono bardziej sprzyjać „*generalistom*”, przygotowanym do rozwiązywania aktualnych problemów niż specjalistom. Powstały metody naukowe, wiele z nich w oparciu o symulację, modelowanie czy teorię gier.

Jedną z nich, *metoda systemowa (Systems Approach)*, w rzeczywistości aplikacja teorii systemów, działa w zintegrowanym środowisku nowoczesnej wiedzy nt. organizacji i zarządzania. Fundamentalną zasadą podejścia systemowego jest wspólne i racjonalne traktowanie wszystkich aspektów problemów człowieka. Jest to próba połączenia teorii, empiryzmu i pragmatyki i spojrzenia na system od góry do dołu a nie odwrotnie.

Inna metoda, *analiza systemowa (Systems Analysis)* wkroczyła na arenę naukową by zapewnić, że żadne istotne dla struktury czynniki nie zostaną wykluczone. Pracuje ona nad problemami identyfikacji, rekonstrukcji, optymalizacji i kierowania organizacjami, biorąc pod uwagę wielość celów, ograniczeń i zasobów. Przygotowywane są warianty działania wraz z oceną ryzyka, kosztów i zysków. Analiza systemowa może, więc być traktowana jako interdyscyplinarna podbudowa dla wspólnego postrzegania problemu.

Rozwinięciem analizy systemowej jest *anasynteza*, wprowadzona przy bezwzględny założeniu, że im więcej punktów widzenia możemy zastosować, tym lepiej problem może być zrozumiany. Dla ulepszenia systemu używane są: modelowanie, symulacja, teoria gier, analiza i synteza. Metoda ta, stosowana powtarzalnie na makro- i mikro- poziomach systemów dużej skali, prowadzi zwykle do poprawienia organizacji, struktury i gotowości do reagowania na bieżące wymagania, dając rezultaty lepsze niż inne metody.

Inżynieria systemowa to metoda, która umożliwiła uporządkowany rozwój systemów konstruowanych przez człowieka. To w niej znajdują zastosowanie **cztery M: money, machines, materials, men**.

Mocno dyskutowaną metodą o raczej teoretycznym charakterze jest *dynamika systemowa* opracowana przez *Jaya Forrestera*. Stosuje ona dynamiczne modele komputerowe w sieci połączonych zmiennych. Została zastosowana do prognozowania wzrostu nowoczesnych aglomeracji (Urban dynamics), rozwoju przemysłu (Industrial dynamics) i wyczerpywania się zasobów naturalnych (World dynamics).

Z powyższymi metodami nierozzerwalnie wiąże się przekonanie, że człowiek jest bardziej kreatorem rzeczywistości niż jej odkrywcą. Przyszłość stała się zbyt złożona do przewidywania i planowania – ona musi być kreowana. Przy tak pragmatycznym spojrzeniu na rzeczywistość, kluczową koncepcją perspektywy systemowej staje się **projektowanie** lub **przeprojektowywanie**. Projektowanie uruchamia procesy niezbędne do zrozumienia problemu, zaproponowania rozwiązań i przetestowania ich pod względem skuteczności. Samo w sobie jest twórczym procesem, polegającym na poddawaniu pod wątpliwość dotychczas stosowanych rozwiązań i wymagającym zupełnie nowego podejścia. *Projektowanie systemowe* integruje zasoby ludzkie, sprzęty użytkowe, techniki, informacje, procedury działania w ramach systemu, w celu ułatwienia jego działania.

Najnowszym poglądem w nauce o systemach jest *teleologia*, doktryna zakładająca, że zachowanie i struktura systemu są zdeterminowane przez cel, któremu służą. Wskazuje to, że systemy są kierowane nie tylko przez siły mechaniczne, ale również zmierną w kierunku samorealizacji.

Z powyższych rozważań wynika, że złożone systemy mogą być badane z wielu, raczej uzupełniających się niż konkurujących, punktów widzenia. Wspólną jakością wymienionych metod jest generowanie wiedzy niezbędnej do rozwiązywania problemów. Niezbędnych narzędzi takich jak komputery, sieci telekomunikacyjne czy bazy danych dostarcza nam **informatyka**.

Jednym z rezultatów poglądu systemowego było przemieszanie składników tradycyjnych dyscyplin naukowych i w efekcie powstanie nowych. Bardzo świeżym przykładem jest **nauka o złożoności (science of complexity)** łącząca matematykę komputerową, fizykę, dynamikę systemów nieliniowych, sieci neuronowe, itd.. Złożoność/Prostota i Symulowany/Nie symulowany - nowe, przeciwstawne cechy systemowe są także efektem nowego podejścia. Wprowadzono również nowe określenie złożoności (complexity) czegoś, która jest definiowana jako długość najkrótszego możliwego opisu (algorytmu) tego czegoś.

Teoria złożoności próbuje opisać jak w pewnych sytuacjach skomplikowane zasady skutkują prostym i zorganizowanym działaniem. Przykładem niech będzie zdolność systemów żywych do lepszej organizacji. Ich metodologia działania nie jest redukcjonistyczna: system jest widziany jako sieć współdziałających elementów, większość drobnych szczegółów jest pomijana. Zjawiska regularne i wzory (modele) występujące w wielu różnych systemach są uważnie badane. Szczególnym przedmiotem zainteresowania są te warunki, które zapewniają powstawanie ewolucyjnego, wewnątrz zorganizowanego i wewnątrz komplikującego działania. Teoria złożoności działa gdzieś pomiędzy całkowitym porządkiem a całkowitym chaosem.

Również dyscypliny bardziej zbliżone do nauk systemowych jak cybernetyka, bionika czy C³I zasługują na zaprezentowanie. Stwarzają one możliwość szerszego spojrzenia na podstawowe zasady struktur i zachowania systemów.

Cybernetyka została zdefiniowana w 1948, w książce **Norberta Wienera** „*Cybernetics and Control and Communication in the Animal and the Machine*”. Cybernetyka bada systemy żywe poprzez analogię do systemów fizycznych.

Bionika, studiująca systemy żywe w celu zidentyfikowania modeli mających zastosowanie w projektowaniu systemów sztucznych, została wprowadzona przez **Majora Steele** w 1958 r. Sama nazwa sugeruje mieszanie biologii i techniki. Bionika realizuje systemy fizyczne poprzez analogię do systemów żywych. Cybernetyka i bionika są często nazywane dwiema stronami tej samej monety.

Skrót **C³I** odczytujemy jako *command, control, communication & intelligence*. W ciągu minionych 10 lat znacznie wzrosło zainteresowanie działaniami organizacji społecznych, wojskowych i biznesowych. Nowoczesne systemy zarządzania działają w oparciu o wymianę pomiędzy ludźmi, jednostkami organizacyjnymi i wsparcie techniczne. Sytuacje w procesie decyzyjnym są często tak wewnętrznie skomplikowane, że we wstępnej fazie trudno ocenić jaki rodzaj informacji jest istotny, decydent zwykle wymaga większej ilości informacji niż będzie dla niego użyteczna.

W rozbudowanej wersji skrótu C4I², dodatkowe C oznacza, computer a dodatkowe I – *integration*, podkreślając bliski związek człowieka z komputerem. Praktycznie niemożliwe jest oddzielenie czynników społecznych od technicznych a istota ludzka jest zawsze zarówno częścią problemu jak i rozwiązania. Dostosowanie człowiek/maszyna jest kwestią zasadniczą, zaś system musi być projektowany dla człowieka, jego potencjału i potrzeb. Pomimo dostępu do zaawansowanej technologii wspomagającej procesy decyzyjne, główny nacisk musi być położony na przygotowanie człowieka do działania w sytuacjach nieoczekiwanych. Rzeczywistość ma nieustającą tendencję do stwarzania sytuacji, z jaką nigdy wcześniej się nie zetknęliśmy.

Nauka systemowa zastosowana do rozwiązywania problemów w organizacjach biznesowych jest czasem nazywana *cybernetyką zarządzania* i jako taka często używana do projektowania poprawnych struktur organizacyjnych a w tym:

- specyfikacja zadań i podział pracy;
- obieg informacji pomiędzy podsystemami;
- zdefiniowanie obszarów odpowiedzialności;
- projektowanie i rozwój systemów nadzoru i koordynacja wysiłków dla osiągnięcia celu.

Podsumujmy pojawienie się ruchu systemowego za pomocą często cytowanych słów Kennetha Bouldinga, wypowiedzianych w 1956 r.:

„Ogólna Teoria Systemów jest kośćcem nauki w takim sensie, że dostarcza struktury systemowej do zawieszenia tkanek określonych dyscyplin i problemów w uporządkowanym i spójnym ciele wiedzy”.

Należy dodać, że nauki systemowe dostarczają również ujednoliconego słownictwa i zunifikowanego zestawu pojęć mającego zastosowanie w praktycznie wszystkich dziedzinach nauki.

„...każde spojrzenie na świat jest ograniczone a dlatego lepiej patrzeć szerzej niż wężiej”.

2. Geneza koncepcji systemowych

Dla każdego okresu w rozwoju nauki charakterystyczna jest określona postawa metodologiczna, wyrażająca stosunek podmiotu badań do działań poznawczych. W celu wykazania zasadniczych różnic między poszczególnymi okresami w rozwoju nauki dokonuje się analizy „obowiązujących” w danych okresach dyrektyw metodologicznych. Jest to problem sam w sobie wielce interesujący, określany często jako „spór o rozwój nauki”. W sporze tym przyjmowane są także skrajne postawy, jak np. skrajny kumulatywizm lub skrajny antykumulatywizm. Postawą wolną od jednostronności postaw skrajnych, a zarazem jednoczącą przeciwieństwa jest ujęcie systemowe.

Bez względu na charakter sporów staje się jasne, że wraz ze stopniowym opanowaniem świata przez ludzi, rozwijających swą produkcję materialną i swe materialne stosunki, rodzi się potrzeba wiedzy koordynującej coraz to nowe działania ludzkie. Szczególnie interesujące wydają się następujące fakty.

Od końca XVII w. do początków bieżącego stulecia dominowała w nauce postawa mechanicystyczna, która przede wszystkim zapewniła rozkwit fizyki. Rewolucja naukowa na przełomie XVI i XVII w. spowodowała zastąpienie opisowo - metafizycznego pojmowania świata, zwięźle przedstawionego w doktrynie Arystotelesa przez Galileusza. Tym samym wizję świata jako kosmosu teleologicznego zastąpiono opisem zdarzeń rządzonych prawami przyczynowymi, dającymi się wyrazić w postaci matematycznej. Ten dystrybucyjno-kazualny światopogląd naukowy przekształcił się w XX w. w strukturalno - nomologiczny, zwany niekiedy po prostu systemowym. Zanim jednak do tego doszło, musiało nastąpić wiele przemian. Tak więc, przez długi okres europejska myśl naukowa znajdowała się pod wyraźnym wpływem dyrektyw kartezjańskich, zwłaszcza drugiej reguły przedstawionej w „*Rozprawie o metodzie*”, zgodnie z którą „każdy problem należy rozbić na tyle oddzielnych prostych elementów, na ile to jest możliwe”¹. W podobny sposób sformułował Galileusz swoją metodą „rozkładania”, która stała się paradygmatem nauki aż do współczesnych badań prowadzonych metodami laboratoryjnymi. Paradygmat ten polega na redukowaniu złożonych zjawisk oraz ich rozkładaniu na części i procesy elementarne.

¹ R. Descartes, *Rozprawa o metodzie*, Warszawa 1970r.

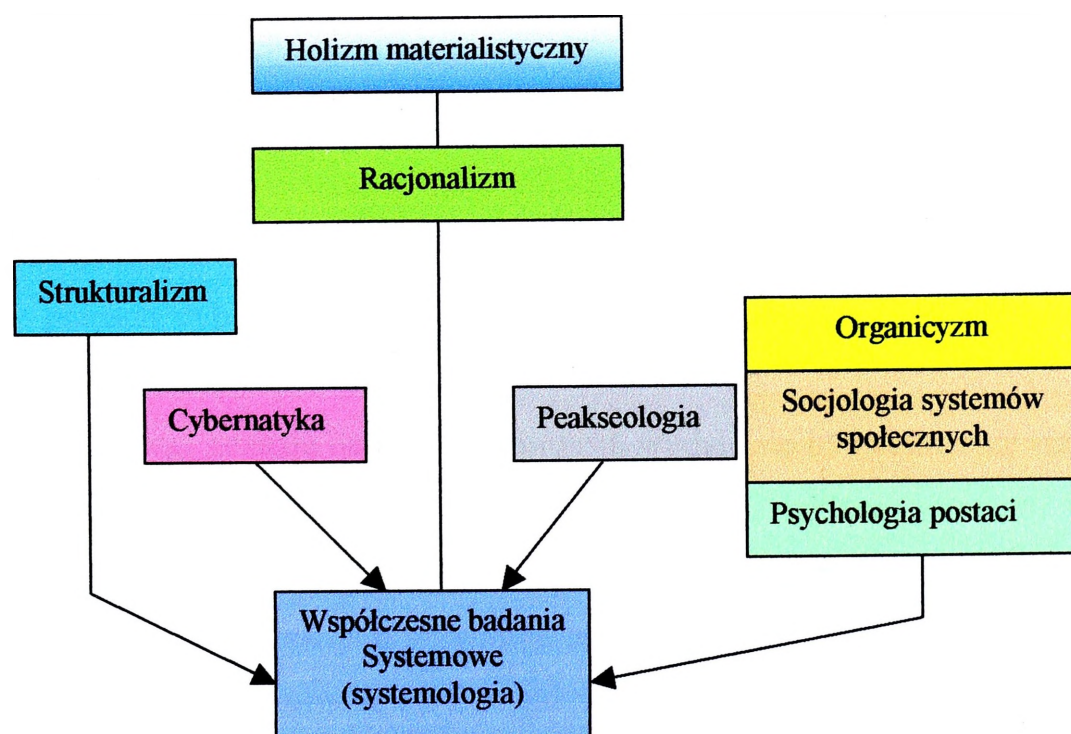
Próba sformułowania całościowego porządku kosmicznego był światopogląd Arystotelesa wraz z wprowadzonymi przez niego pojęciami holistycznymi i teleologicznymi. Przypisywane Arystotelesowi zasady głoszące, że „świat jest uporządkowany jako całość” lub „całość to więcej niż suma jej części i badanie całości ma swoją rację bytu”, przeżywają od kilkudziesięciu lat swoisty renesans, stanowiąc niejako "motto" dla badań systemowych. Długo trwał zaciekły spór między naukowym redukcjonizmem a holistyczną metafizyką. Wydaje się jednak, że możliwości pogodzenia redukcjonizmu z holizmem, dostrzec można we współczesnym ruchu systemowym.

Źródeł badań systemowych można z pewnością znaleźć znacznie więcej niż wymienione, a niektóre z nich, uznane za najistotniejsze, przedstawia rysunek 1.

Ze względu na charakter niniejszych rozważań najważniejsze wydają się pewne *przełomy metodologiczne*, jakie dokonały się w nauce.

Do nich należy zaliczyć:

- 1) przełom w naukach przyrodniczych dokonany przez Galileusza, który zapoczątkował metodę idealizacji, stosując zarazem na szeroką skalę język matematyki;
- 2) przełom w naukach społecznych związany z zastosowaniami metody idealizacji w badaniach społeczno - ekonomicznych;



Rys. 1. Główne źródła współczesnych badań systemowych.

- 3) przełom w klasycznych naukach humanistycznych dokonany przez N. Chomsky'ego, twórcę językoznawczej teorii sformułowanej na podstawie metody idealizacji i jednocześnie pioniera metod matematycznych w językoznawstwie.

We wszystkich wyróżnionych przełomach dostrzec można cechy, które w znacznej mierze wiążą się z charakterem współczesnych badań systemowych. Nie jest to jednak w literaturze dostatecznie podkreślane. Aby wyraźnie zaznaczyć, że badania systemowe nie są wytworem ostatnich kilkudziesięciu lat, lecz potwierdzają tezę o ciągłości tradycji naukowej², zwrócimy uwagę na kilka koncepcji. W badaniach socjologicznych np. A. Comte wolał tłumaczyć człowieka przez ludzkość, nie zaś odwrotnie a E. Durkheim ujmował całość społeczną jako coś otrzymane z połączenia jednostek, niczym molekula z atomów.

Ponadto należy chociażby wspomnieć o najbardziej znanych koncepcjach systemu społecznego stworzonych przez V. Pareto, F. Znanieckiego i T. Parsona. W dziedzinie psychologii kierunek szczególnie interesujący stanowiła tzw. psychologia postaci, znana także jako psychologia gestaltystyczna.

Jej reprezentanci: M. Wertheimer, W. Köhler, K. Kofka, K. Lewin krytykowali przede wszystkim atomistyczny charakter psychologii tradycyjnej - tezie o istnieniu zjawisk elementarnych, łączących się ze sobą przez skojarzenia, przeciwstawili tezę o zorganizowanym charakterze zjawisk świadomości a prawom skojarzenia - prawa struktury. Z powyższym wiąże się wersja strukturalizmu w psychologii, stworzona przez J. Piageta, zgodnie z którą następuje przeciwstawienie struktury skupiskom to jest czemuś, co powstaje z elementów niezależnych od całości. Wreszcie idea organizmu L. von Bertalanffy'ego, sformułowana na gruncie biologii, wymieniana często jako bezpośrednie i - niesłusznie jedyne źródło koncepcji systemowych. Wątki systemowe odnaleźć można także w tzw. tektologii A. Bogdanowa, rozumianej jako powszechna nauka o organizacji, oraz w prakseologii rozwijanej przez T. Kotarbińskiego. Systemowe idee w jawnej postaci znajdują się również w pracach cybernetyków: N. Wienera, R.W. Ashby'ego, H. Greniewskiego, O. Langego, M. Mazura i innych.

Poświęcenie uwagi genezie badań systemowych wydaje się być celowe ze względu na potrzebę wykazania, że stanowią one zjawisko obiektywne, będące wyrazem ciągłości rozwoju wiedzy naukowej. Na zakończenie dodajmy jeszcze, że powszechnie za datę pojawienia się koncepcji systemowych przyjmuje się 1954 r., w którym L. von Bertalanffy założył Society for the Advancement of General Systems Theory. Chcąc jednak w pełni poznać kształtowanie się idei systemowych, nie sposób rozpocząć genezy od wymienionej

² *Mówiąc o ciągłości tradycji naukowej, mamy na myśli dwa twierdzenia:*

- 1. każda nowo powstająca teoria jest formułowana na podstawie dotychczasowych osiągnięć nauki;*
- 2. każda sprawdzona i powszechnie uznana teoria musi być uwzględniana w dalszych badaniach dotyczących tego samego zagadnienia i doń zbliżona.*

daty, bowiem przyjęcie rozleglejszej perspektywy czasu pozwala niekiedy uniknąć poważnych błędów i nieporozumień ujemnie wpływających na ocenę rozwoju badań systemowych.

2.1. System jako paradygmat

Wyjaśnijmy użyte w tytule pojęcie poczynając od drugiego z nich. Jego autor - T.S. Kuhn przez *paradygmat* rozumie wszystkie powszechnie w danym okresie uznawane przekonania teoretyczne (przyrodnicze i filozoficzne) oraz metody eksperymentowania, jakie stosowane są przez specjalistów w ich pracy badawczej. Według Kuhna zmiany paradygmatów dokonujemy rzadko i niechętnie, do końca usiłując uratować stare poglądy. Zmiany te przy tym nie mają charakteru przemyślanej decyzji, uczeni zaś uświadamiają sobie istnienie paradygmatu jedynie w momentach rewolucji naukowej. Charakterystyczne są w tej kwestii stwierdzenia autora: „Zmiana paradygmatu powoduje, że uczeni inaczej widzą świat, który jest przedmiotem ich badania” oraz „Przejście od jednego paradygmatu do drugiego, z którego wyłonić się może nowa tradycja nauki instytucjonalnej, nie jest bynajmniej procesem kumulatywnym nie następuje też ono w wyniku uszczegółowienia czy też rozszerzenia starego paradygmatu. Jest to raczej przebudowa całego obszaru na nowych fundamentach, w wyniku czego zmianie ulegają niektóre najbardziej podstawowe uogólnienia teoretyczne oraz wiele metod i zastosowań paradygmatycznych”³.

Tezy Kuhna można z pewnością zaliczyć do dyskusyjnych, z nimi też polemizuje K. Popper, który z kolei za paradygmat uważa teorię świadomie przyjętą. Popper twierdzi, że zmienia się ją często i że należy to czynić, gdy tylko wykryje się jakąś anomalię. Sądzi on ponadto, że wiedza powstająca według kolejnych paradygmatów daje się porównywać. Mówiąc więc o systemie jako paradygmacie, nadajemy mu znaczenie bliższe drugiemu z wymienionych jego rozumień twierdząc, że mamy do czynienia z określoną i świadomie przyjętą teorią. Nie chodzi jednak o to, aby pojęcie „system” kryło w sobie całość pewnej teorii, lecz raczej o pewną zasadę systemowości, pozwalającą na wyrażenie nowych koncepcji bez używania starych terminów. Sens powyższych rozważań celnie oddają słowa A. Whiteheada: „Systemy naukowe i filozoficzne pojawiają się i przemijają. Każda metoda poznania ograniczonego została już całkowicie wyczerpana. W swym początkowym rozwoju każdy system jest oszałamiającym powodzeniem; u swego schyłku staje się nieznośną

³ T.S. Kuhn, *Struktura rewolucji naukowych*, Warszawa 1968, s.38.

zawadą. Przejście do nowego, płodnego sposobu pojmowania osiąga się przez nawrót do najgłębszych warstw intuicji w celu odświeżenia wyobraźni. W końcu - chociaż właściwie końca nie ma - to, co się osiąga, jest szerokością spojrzenia, znajdującą wyraz w tworzeniu większych możliwości⁴.

L. von Bertalanffy uznaje pojęcie systemu za równie stare jak filozofia europejska, wskazując na pojęcie kosmosu występujące już u starożytnych Greków. H. Greniewski uważa, iż co najmniej od czasów powstania „Korpusu Hipokratejskiego” pojęcie systemu względnie odosobnionego jest stosowane w nauce. Bertalanffy przywołuje także pojęcie *coincidentia oppositorum* Mikołaja z Kuzy oraz kartezjańskie *bele machine i homme machine* de la Mettrie - jako wyraz prób rozwiązania problemów porządku lub organizacji, znajdujących kontynuację w darwinowskiej koncepcji doboru naturalnego. Uznając pojęcie organizacji za swoistą syntezę integralności i systemowości, za odzwierciedlenie ujęcia analityczno-syntetycznego jedności i więzi zjawisk rzeczywistych, wskazuje na pojęcie całości organicznej u Schellinga i Hegla. Uznaje on, iż podczas gdy kategoria całości ma postać abstrakcyjno - syntetyczną, to pojęcie „systemu” będące jakby jej zaprzeczeniem dialektycznym, przybiera w zasadzie postać konkretno - analityczną.

FORMALNA DEFINICJA SYSTEMU

SYSTEM przedstawiamy jako parę

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

W której

$$M = \{m_i : i \in J = \{1, 2, \dots, K\}, K = 2, 3, \dots\}$$

oznacza skończony zbiór elementów,

$$M = \{m_i : i \in J = \{1, 2, \dots, K\}, K = 2, 3, \dots\}$$

$$R = \{R_i : j \in J = \{1, 2, \dots, L\}, L = 2, 3, \dots, 2^{2^k}\}$$

oznacza skończoną (L-elementową) klasę relacji R_j określonych na zbiorze M.

⁴ P.K. M'Pherson, *Nauka o systemach i filozofia systemowa*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 1974, nr 4.

Zasady systemowości powstały jako ujęcie całościowe (integralne) obiektów badania, co znalazło swój wyraz początkowo w pojęciu całości (i związanym z nim pojęciu integralności) a później zostało rozwinięte i skonkretyzowane w pojęciu systemu i organizacji. Zakładamy, że zasada systemowości reprezentuje stronę racjonalizmu holistycznego, zaś ujęcia systemowe w różnych dziedzinach badań stanowią formy konkretnej naukowej wiedzy metodologicznej. Przyjmowana w badaniach postawa systemowa realizuje związek filozoficznej refleksji z nauką, techniczną i praktyczną działalnością ludzi przez:

- refleksje nad badaniami pewnych całości jako systemów;
- określenie miejsca idei systemowych we współczesnej nauce;
- badanie perspektyw rozwoju badań systemowych.

Dotychczas przyjmowaliśmy pojęcie systemu jako intuicyjnie powszechnie znane, nie podejmując próby podania jego precyzyjnej definicji. Uważamy, że nie jest to konieczne, w szczególnym przypadku może zostać przyjęte jako kategoria - podstawowe pojęcie badań systemowych. Jednakże istnieje bardzo wiele różnorodnych określeń i definicji systemu. Na przykład W. N. Sadowski przytacza ponad trzydzieści, z których większość nie budzi żadnych wątpliwości, różnią się one między sobą szczegółowością i ścisłością⁵. Analiza tych określeń może dostarczyć interesującego materiału w postaci zestawu cech systemowych, za pomocą którego definiowane jest pojęcie systemu. W zdecydowanej większości są to tzw. definicje intensjonalne. Nie jest chyba konieczne ich przytaczanie. W niniejszej pracy przyjmujemy określenie, które z pewnością najlepiej oddaje sens intuicyjny systemu i stanowić będzie punkt wyjścia kolejnych jego konkretyzacji. **System jest pojęciem desygnującym pewną całość tworzoną przez określony zbiór obiektów (elementów) i powiązań (relacji) między nimi, rozpatrywaną z określonego punktu widzenia (aspektu badań).**

Na uzasadnienie faktu poświęcenia uwagi rozprawom filozoficznym przytoczyć można następujące stwierdzenia C. W. Churchmana:

- „badania systemowe rozpoczynają się, gdy zobaczysz świat przez oczy innych - dlatego należy studiować filozofów;
- badania systemowe prowadzą do odkrycia, że każde spojrzenie na świat jest ograniczone i dlatego lepiej patrzeć szerzej niż wężiej⁶”

⁵ W.N. Sadowski, *Podstawy ogólnej teorii systemów*, Warszawa 1978.

⁶ C.W. Churchman, *The Systems Approach*, New York 1968, s.48.

2.2. Zasięg badań systemowych

Nie będziemy określali struktury nauki o systemach (nauk systemowych), interesować nas będą jedynie możliwości zastosowań metodologii badań systemowych lub inaczej skuteczność przyjęcia postawy systemowej w badaniach. Zakładając jako szczególne cechy tej postawy: ogólność i uniwersalność (uzyskaną dzięki posługiwaniu się takimi pojęciami, jak system, struktura, proces) oraz ścisłość (dzięki zastosowaniu matematyki wraz z postulatem spełnienia określonych rygorów, takich jak zupełność, rozłączność, funkcjonalność), twierdzimy, że stanowi ona podstawę systematyzacji znanych już procesów, bezpośrednio obserwowanych stanów rzeczy i przewidywania stanów nie znanych. Wynikają stąd funkcje eksplancyjna i prognostyczna oraz wyjaśniająca i instrumentalna metodologii badań systemowych. Zwracając szczególną uwagę na funkcję instrumentalną przyjmujemy, że wyróżnikami nowoczesnego podejścia systemowego są następujące cechy praktycznego działania:

- traktowanie badanego obiektu jako systemu;
- traktowanie danego systemu jako należącego do „większego” systemu (nadsystemu);
- traktowanie danego systemu jako obiektu złożonego z podsystemów;
- świadome posługiwanie się modelem systemu o określonym poziomie rozdzielczości do rozwiązywania np. problemów decyzyjnych;
- racjonalne optymalizowanie systemu metodami matematyki i np. informatyki.

Rozwój postawy systemowej nastąpił w wyniku dążenia do określenia zachowania się systemu jako całości przez uwzględnienie wszystkich możliwych relacji między jego elementami. W odróżnieniu od ujęcia systemowego ujęcie „klasyczne” sprowadzało się do badania poszczególnych, wzajemnych oddziaływań w oderwaniu od pozostałych, a następnie dokonania ich prostej superpozycji. Z pewnością ma rację W.R. Ashby twierdząc, że: „Przyszłość teorii systemów zdaje się należeć do badanych systemów, w których wzajemne powiązania elementów uwzględnia się w sposób wystarczający, by reprezentowały systemy rzeczywiste, co wcale nie oznacza, że należy uwzględniać wszystkie wzajemne powiązania”⁷.

Dziedzina badań systemowych nie jest dotychczas jednoznacznie określona, być może z powodu ich ogólności i uniwersalności. Traktując badania systemowe jako dziedzinę empiryczną i przyjmując metodologiczną hipotezę, iż wszelkie nauki empiryczne mają

⁷ W.R. Ashby, *Systemy i ich miary informacyjne*, W: Ogólna teoria systemów, praca zbiorowa pod red. G.J. Klira, Warszawa 1976, s. 89.

jednocześnie charakter teoretyczny i praktyczny, możemy uznać, że cele badań systemowych są dwojakie:

- 1) opis i wyjaśnianie rzeczywistości traktowanej całościowo za pomocą pojęcia systemu (ściślej - języka systemowego);
- 2) projektowanie przyszłych, pożądanych stanów rzeczy określonych systemów.

Należy jednak zdać sobie sprawę z istnienia różnych barier antysystemowych, takich jak:

- ✓ bariera pojęciowa związana głównie z pewnymi trudnościami w opanowaniu nowego, specyficznego języka;
- ✓ bariera modelowa dotycząca głównie trudności związanych z operowaniem modelem systemu, co jest w istocie czynnością abstrakcyjną;
- ✓ bariera optymalizacyjna dotycząca trudności związanych z poprawnym sformułowaniem problemu optymalizacji systemu;
- ✓ bariera wielostronności dotycząca trudności związanych z potrzebą interdyscyplinarnych kompetencji;
- ✓ bariera losowości utrudniająca przewidywanie przyszłych stanów badanego systemu ze względu na występowanie czynników przypadkowych.

Poza wymienionymi barierami „zewnętrznymi”, wyrażającymi ograniczenia możliwości działania podmiotu - realizatora postawy systemowej, istnieją pewne bariery „wewnętrzne” badań systemowych, określane mianem „paradoksów” myślenia systemowego. Omówione przez W. Sadowskiego bariery wyrażają występowanie wewnętrznych sprzeczności i paradoksów, do których należy m.in. paradoks hierarchiczności, paradoks całościowości, paradoks systemowo-metodologiczny. Ostatni z wymienionych paradoksów sformułować można następująco: rozwiązanie zadania polegające na stworzeniu adekwatnej wiedzy o konkretnych systemach możliwe jest tylko na podstawie opracowanej metodologii badania systemowego, a taka metodologia może być stworzona na podstawie adekwatnego opisu systemów, spełniającego wymagania metodologii systemowej.

Z powyższych rozważań wynika oczywisty wniosek, że warunkiem koniecznym skuteczności zastosowań metodologii badań systemowych jest jej rozwój wraz z równoległym rozwojem ogólnej wiedzy systemowej realizatorów metody. Wniosek ten ma szczególne znaczenie w obliczu częstych jeszcze przypadków bezkrytycznego „stosowania” metody systemowej, polegającego na zaadaptowaniu kilku pojęć wybranych ze słownika systemowego. Postępowanie takie powoduje mnożenie paradoksów i sprzeczności, których źródeł nie należy doszukiwać się w metodologii badań systemowych.

3. Podstawy Ogólnej Teorii Systemów

„W sprawie znaczących, ostatecznych pytań nauka nie ma nic do powiedzenia”

(N.Campbell, 1953).

Każda teoria posługuje się zestawem założeń i aksjomatów, które nie mogą być udowodnione i jako takie muszą być zaakceptowane. Założeń i podstaw teorii systemów możemy doszukiwać się w odległej historii. Grecki filozof *Arystoteles* (384-322 p.n.e.) zaprezentował metafizyczną wizję naturalnego porządku w swej systematyce biologicznej. Jego teologiczna, naturalna filozofia jest raczej zaawansowanym systemem myślenia.

Zbliżając się do współczesności, *Fryderyk Hegel* (1770-1831) sformułował twierdzenia dotyczące natury systemów:

- Całość jest czymś więcej niż sumą elementów;
- Całość określa naturę elementów;
- Nie można zrozumieć elementów studiując całość;
- Elementy są dynamicznie połączone i wzajemnie zależne.

Holizm uzyskał swą pierwszą nowoczesną ocenę dzięki „strukturalizmowi” – naukowej szkole myślenia ustanowionej przez szwedzkiego lingwistyka *Ferdinanda de Saussure* (1857-1913). Strukturaliści badali „całość”, która nie mogła być zredukowana do elementów składowych. Społeczeństwo nie było traktowane jako świadomy twór, lecz jako seria samoorganizujących się i wzajemnie nakładających się struktur, z pewnym szacunkiem dla prawa. Ta „całość” stanowiła o osobistej i zbiorowej woli.

Jednym z podstawowych założeń Ogólnej Teorii Systemów jest pojęcie porządku, będącego wyrazem ludzkiej potrzeby wyobrażenia świata jako uporządkowanego kosmosu w nieuporządkowanym chaosie. Bezwzględną konsekwencją takiego porządku jest założenie istnienia prawa praw, co stanowiło również inspirację do nazwy teorii. Systematyczne poszukiwanie takiego prawa jest głównym zadaniem Ogólnej Teorii Systemów. Według drugiego fundamentalnego założenia, tradycyjna nauka nie jest zdolna do rozwiązania wielu problemów realnego świata, ponieważ patrzy zbyt wąsko i abstrakcyjnie. W przeciwieństwie do nauki systemowej, która zajmuje się konkretnym uosobieniem odkrywanych praw i porządku.

W 1964 r. Kenneth Boulding, sformułował pięć postulatów, które muszą być uznane za punkt wyjścia do rozwoju nowoczesnej Ogólnej Teorii Systemów. W ujęciu skrótowym przedstawiają się one następująco:

- Porządek, regularność i nieprzypadkowość są bardziej pożądane od nieładu, chaosu i przypadkowości;
- Uporządkowanie świata doświadczalnego czyni go dobrym, interesującym i atrakcyjnym dla teoretyków systemowych;
- Istnieje porządek w uporządkowaniu świata zewnętrznego lub doświadczalnego (porządek drugiego stopnia) – prawo rządzące prawami;
- Ustanowienie porządku, kwantyfikacja i matematyzacja stanowią bardzo wartościowe wsparcie;
- Poszukiwanie porządku i prawa wiąże się z poszukiwaniem empirycznych odnośników- *empirical referents* tych abstrakcyjnych pojęć.

Innymi dobrze znanymi założeniami Ogólnej Teorii Systemów, jako filozofii świata i życia są niżej wymienione. Opracowane w 1981 r. przez *Downinga Bowlera*:

- Wszechświat jest hierarchią systemów tzn. proste systemy wskutek syntezy tworzą bardziej złożone, od cząstek elementarnych do cywilizacji;
- Wszystkie systemy lub formy organizacyjne mają pewne wspólne właściwości, zakłada się, że twierdzenia dotyczące tych właściwości są uniwersalnie stosowanymi uogólnieniami;
- Wszystkie poziomy systemów posiadają osobliwe właściwości, które mają zastosowanie również do wyższych, bardziej złożonych poziomów hierarchii, lecz nie do niższych;
- Możliwym jest sformułowanie względnych uogólnień, mających zastosowanie do wszystkich systemów, na wszystkich poziomach istnienia;
- Każdy system posiada zestaw ograniczeń, które wskazują stopień zróżnicowania pomiędzy tym, co jest a co nie jest zawarte w systemie;
- Wszystko, co istnieje formalnie, egzystencjalnie czy psychologicznie, jest zorganizowanym systemem energii, materii i informacji;
- Wszechświat składa się z procesów syntetyzujących systemy systemów i dezintegrujących systemy systemów. Będzie to trwało dopóty, dopóki jeden zestaw procesów nie wyeliminuje drugiego.

Stwierdzenie, że sposób zaprojektowania makrokosmosu odzwierciedla strukturę mikrokosmosu, może być krótkim podsumowaniem założeń Bowlera.

Kolejny punkt widzenia przedstawił słynny profesor *West Churchman*, który w 1971r. następująco scharakteryzował system:

- System jest teleologiczny (celowy);
- Działanie systemu może być określone;
- System ma użytkownika lub użytkowników;
- System jest osadzony w środowisku;
- System zawiera wewnętrzny ośrodek decyzyjny, który może zmieniać działanie elementów;
- System posiada projektanta, który troszczy się o jego strukturę i który może kierować działaniami ośrodka decyzyjnego i w rezultacie wpływać na końcowy wynik działania całego systemu;
- Celem projektanta jest jak najlepsze dostosowywanie systemu do potrzeb użytkownika;
- Projektant zapewnia, do założonego poziomu - stabilność systemu.

Churchmanowska koncepcja projektanta może być oczywiście interpretowana w sposób filozoficzny lub religijny (Churchman jest bardzo religijnym człowiekiem). Jednak bardziej powszechną interpretacją jest postrzeganie projektanta jako człowieka – twórcy określonego systemu (np. skomputeryzowany system zamawiania biletów do opery).

Aktualnie panuje prawie całkowita zgoda, co do właściwości ogólnej teorii systemów. Ludwig von Bertalanffy (1955), Joseph Litterer (1969) i inni wybitni przedstawiciele ruchu systemowego sformułowali główne tezy teorii:

- **Wzajemne powiązanie i wzajemna zależność obiektów i ich cech.** Niepowiązane i niezależne elementy nie mogą stanowić systemu;
- **Holizm.** Własności holistyczne, niemożliwe do wykrycia poprzez analizę, powinny być możliwe do określenia w systemie;
- **Celowość (Goal seeking).** Reakcje wewnątrz - systemowe muszą skutkować osiągnięciem określonego celu, stanu końcowego lub zmierzaniem do stanu równowagi;
- **Proces transformacji.** Wszystkie systemy, jeżeli mają osiągnąć cel, muszą przekształcać wejście na wyjście;
- **Wejścia i wyjścia.** W systemach zamkniętych ilość wejść jest trwale ustalona, w systemie otwartym dozwolone tworzenie dodatkowych wejść;
- **Entropia.** Jest to wielkość wyrażająca ilość nieładu lub przypadkowości w każdym systemie. Systemy nieożywione zmierzają w kierunku nieładu, pozostawione samym sobie tracą wszelką inicjatywę i przekształcają się w bezwładną masę. W tym stanie ich entropia jest największa. System żyjący może, w skończonym przedziale

czasu, odwrócić ten nieodwracalny proces, importując energię z otoczenia. Dlatego mówi się o stworzeniu negentropii, która byłaby charakterystyczna dla wszystkich rodzajów życia.

- **Regulacja.** Dla osiągnięcia celu *współdziałające* w ramach systemu obiekty muszą być w pewien sposób regulowane. Regulacja zakłada wykrywanie i korygowanie niezbędnych odchyłeń. Dlatego sprzężenie zwrotne jest warunkiem efektywnego nadzoru. Typowe otwarte systemy trwające znajdują się w stabilnym stanie równowagi dynamicznej.
- **Hierarchia.** Systemy są całościami składającymi się z mniejszych podsystemów. To zagnieżdżanie się jednych systemów w drugich wynika z hierarchiczności.
- **Różnicowanie.** W złożonych systemach wyspecjalizowane jednostki wypełniają wyspecjalizowane funkcje. Jest to cechą wszystkich złożonych systemów i może być także nazywane specjalizacją lub podziałem pracy.
- **Równofinalizm i wielofinalizm.** Systemy otwarte mają wiele równoważnych, alternatywnych metod służących osiągnięciu tego samego celu (dywergencja) lub przy określonych warunkach początkowych, osiągają różne i wzajemnie wykluczające się cele (konwergencja).

Zastosowanie powyższych standardów do teorii opisanych w rozdziale 3 pokaże, iż różne teorie mają docelowo mniej lub bardziej ogólny charakter. W istocie większość z nich jest teoriami systemowymi, aczkolwiek odnoszącymi się do odmiennych obszarów zainteresowania.

Ogólna Teoria Systemów jest częścią **paradygmatu systemowego** uzupełniającego tradycyjny paradygmat naukowy o sposób myślenia lepiej przystający do sfery biologicznej i behawioralnej. Obiektywizm, charakterystyczny dla paradygmatu naukowego jest uzupełniany o *interwencję*, *aktywność* i *uczestnictwo*. Ten bardziej wszechstronny paradygmat systemowy zмага się z takimi procesami jak: życie, śmierć, narodziny, ewolucja, adaptacja, uczenie się, motywacja i interakcja (van Gigh 1992). Zajmuje się także emocjonalnymi, mentalnymi i intuicyjnymi składnikami naszego bytu, takimi jak wartości, wierzenia czy sentymenty.

Również **paradygmat ewolucyjny (R. Fivas 1989)** odnosi się do Ogólnej Teorii Systemów. Spontaniczna ewolucja od prostoty do złożoności jest zjawiskiem uniwersalnym. Proste systemy różnicują się i integrują, zarówno w ramach systemu jak i ze środowiskiem go otaczającym. Począwszy od cząstek elementarnych przez atomy, molekuly, żywe komórki, organizmy wielokomórkowe, rośliny, zwierzęta i istoty ludzkie ewolucja sięga społeczeństwa

i kultury. Przyjmując interpretację świadomościową, paradygmat ewolucyjny zakłada, że każda rzecz we wszechświecie, począwszy od cząstki elementarnej, osiąga pod wpływem sił ewolucji coraz wyższy poziom świadomości. Ten punkt widzenia posiada wiele zastosowań naukowych i pozwala na unifikację wiedzy pochodzącej z różnych dyscyplin naukowych.

Zastosowanie pewnych zbliżonych sposobów rozumowania w fizyce, biologii, psychologii, socjologii i filozofii pozwoliło na stworzenie wspólnego języka pojęć i terminów naukowych. Język ten obejmuje zasady wspólne dla często odległych zjawisk. Innowacyjne i użyteczne konstrukcje powstałe w jednym obszarze rozprzestrzeniają do innych stając się w rezultacie elementami Ogólnej Teorii Systemów, którą z tego powodu możemy nazywać *metateorią*.

Na kolejnych stronach zostaną zaprezentowane najważniejsze terminy, odnoszące się do ogólnych właściwości systemów, bez względu na ich fizyczny kształt. Zrozumienie ich oznacza zapoznanie się z podstawami Ogólnej Teorii Systemów a tym samym wejście w posiadanie pojęciowych narzędzi niezbędnych by zastosować myślenie systemowe do systemów świata rzeczywistego.

Wartą zacytowania jest charakterystyka Ogólnej Teorii Systemów dokonana przez jej twórcę von Bertalanffy w 1967 roku: „Piękno teorii systemów polega na jej psychofizycznej neutralności, co oznacza, że pojęcia i modele mogą być stosowane zarówno do zjawisk materialnych jak niematerialnych”.

3.1. Ogólna Teoria Systemów i pojęcia definiujące właściwości systemów

Przede wszystkim należy zdefiniować słowo **system** i podkreślić jego subiektywną naturę. Systemem nie jest coś, co może być zaprezentowane obserwatorowi. Jest to coś, co ma być przez niego rozpoznane. Bardzo często określone słowo, nie odnosi się do rzeczy realnie istniejącej a raczej do sposobu organizacji naszych myśli o świecie rzeczywistym. Zgodnie z poglądem konstruktywistycznym (*E. Von Glaserveld* 1990) systemy nie występują w świecie rzeczywistym niezależnie od ludzkiej umysłowości, tylko spojrzenie okiem robaka definiuje pojedynczą komórkę zamiast całości systemu. Jeszcze dalej posuwa się *fikcjonalizm*, twierdząc, że pojęcia systemowe mogą w określonych warunkach spełniać swój cel nawet, jeśli wiemy, że są niepoprawne lub pełne sprzeczności.

Odmiennej definicji słowa „system” dostarczył znany biolog *Paul Weiss*: „Systemem jest coś na tyle jednostkowego, że zasługuje na nazwanie”. Bardziej aforystycznie wyraził się *Kenneth Boulding*: „Systemem jest wszystko, co nie jest chaosem”. W tym kontekście pogląd

Churchmana, że „system jest strukturą mającą zorganizowane składniki” brzmi znacznie poważniej.

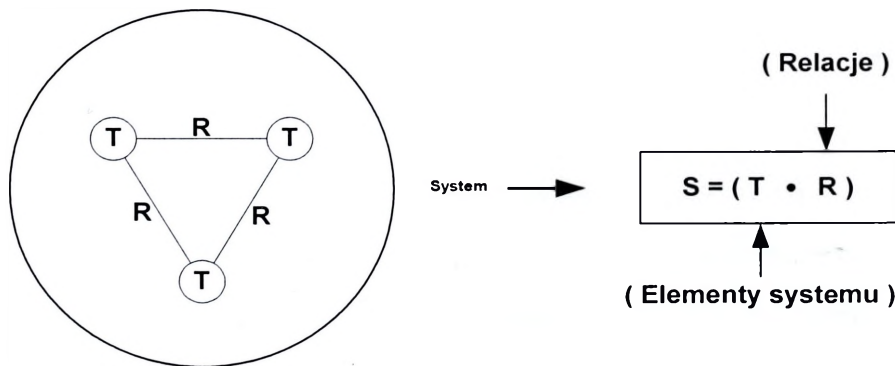
Często używana, zdroworozsądkowa definicja brzmi następująco: „System jest zbiorem wzajemnie oddziaływujących jednostek lub elementów, które tworzą zintegrowaną całość, z zamiarem wykonywania określonych funkcji”. Używając języka potocznego możemy opisać system jako strukturę, która posiada swój *porządek*, *formę* i *cel*.

Inną pragmatyczną definicją, używaną szczególnie w dziedzinie zarządzania jest „zorganizowany zbiór komunikujących się ludzi, maszyn i materiałów wymaganych do osiągnięcia określonego celu”.

Bardziej naukowej definicji dostarczył *Russel Ackoff* (1981), który mówi, że „system to zbiór dwu lub więcej elementów spełniających następujące trzy warunki:

- Zachowanie się każdego z elementów wpływa na zachowanie się całości;
- Zachowanie się elementów i ich wpływ na całość są wzajemnie zależne;
- Wszystkie tworzące się podgrupy elementów wpływają na zachowanie się całości, lecz żadna z nich nie wpływa niezależnie.

Często stosowana matematyczna definicja słowa system pochodzi od *George Klira* (1991). Ponieważ wzór ten (patrz rys 2.1) jest niezwykle ogólny posiada zarówno wady jak i zalety. We wzorze litera T wyraża zbiór elementów lub sił (możliwości), natomiast R to wszelkie związki i relacje możliwe do zdefiniowania w zbiorze za pomocą jego szczególnych charakterystyk.



Rys.2. Matematyczna definicja słowa „system”

Należy jednak podkreślić, że zbiór elementów wykonujących takie same czynności nie tworzy systemu, lecz *ogół (masę)*. Dla wypełnienia definicji systemu musi zaistnieć podział funkcjonalny i koordynacja pracy wszystkich jego części, co implikuje montowanie składników systemu w pewnym określonym porządku. Tym, co odróżnia system od jego elementów jest jego *organizacja*. Dlatego przypadkowy zbiór elementów stanowi jedynie pozbawioną struktury masę, niezdolną do osiągnięcia czegokolwiek. Jednakże zbiór uporządkowanych elementów nie musi tworzyć systemu. Przepiękna organizacja atomów kryształu nie kwalifikuje go do bycia systemem. Jest to czystej postaci produkt końcowy nie wykonujący żadnych funkcji.

Aby zasłużyć na miano systemu muszą, oprócz organizacji, zaistnieć dwa dodatkowe warunki: *ciągłość tożsamości* oraz *celowość*. Twór nie potrafiący uchronić swej struktury w obliczu zmian nie jest systemem. Celowość to po prostu istnienie działania.

Systemy są zwykle dzielone na konkretne, pojęciowe (konceptualne), abstrakcyjne lub niedostrzegalne. Najbardziej popularny system konkretny (niekiedy zwany fizycznym) istnieje w fizycznej rzeczywistości czasu i przestrzeni i składa się, z co najmniej dwu jednostek czy obiektów. Wśród systemów konkretnych rozróżniamy *ożywione (żywe)* i *nieożywione*. Inny podział dotyczy systemów naturalnych (powstałych w wyniku procesów przyrody) oraz wytworzonych przez człowieka.

System żywy lub organiczny poddany jest prawom naturalnej selekcji i charakteryzuje się nierównowagą termodynamiczną. Jako system złożony, zorganizowany i otwarty jest on często opisywany przez swą zdolność do *autopoiesis* (*H.Maturana i V.Varela 1974*), co oznacza samo-odnowę i pozwala na zachowanie autonomiczności. Działanie systemów autonomicznych jest ukierunkowane głównie do wewnątrz, gdzie głównym celem jest zachowanie autonomii samej w sobie. Utrzymanie wewnętrznego porządku oraz tożsamości wymaga częstej wewnętrznej reorganizacji.

Cechami charakterystycznymi systemów samo-odnawialnych są *metabolizm*, *zdolność do naprawy*, *wzrost* i *replikacja*. Systemy te utrzymują swą organizację poprzez sieć procesów produkujących składniki, które z kolei wytwarzają sieć identyczną jak ta, która je wytworzyła. Zaawansowane systemy samo-odnawialne są również zdolne do coraz wydajniejszego porządkowania otaczającego je środowiska. Na zasadzie kontrastu, system *allopoietyczny* wpływa rozwojowo na inne niż on sam systemy.

Następujące cechy odróżniają systemy ożywione od nieożywionych:

- występowanie w systemie związków zarówno *strukturalnych* jak i *genetycznych*;

- występowanie w systemie zjawisk *koordynacji i podporządkowania*;
- występowanie jedyne w swym rodzaju *mechanizmu zarządzającego* (np. centralny układ nerwowy), działającego w sposób *probabilistyczny*, z określoną liczbą *stopni swobody* w systemie;
- występowanie procesów *przekształcających jakościowo* części i całość systemu oraz *w sposób ciągły odnawiających* jego elementy.

Systemy żywe są na ogół przetwornikami energii, używającymi informacji dla bardziej wydajnego działania i przetwarzającymi jedną formę energii w inną a także energię w informację. Wyższe poziomy systemów żywych zawierają *artefakty* i *mentefakty*. Artefakt jest obiektem sztucznym i może nim być cokolwiek od ptasiego gniazda po sieć komputerową. Mentefakt jest tworem myślowym przedstawionym za pomocą danych, informacji lub wiadomości. Wśród artefaktów należy rozróżnić maszyny, narzędzia, itp. od struktur. Te pierwsze starzeją się, ulegają zniszczeniu i są zastępowane lepszymi. Natomiast struktury mają konstrukcję trwałą jak piramidy egipskie czy Wielki Mur Chiński.

Teoria żywych systemów sformułowana w ramach Ogólnej Teorii Żywych Systemów (General Living Systems Theory – GLS) musi być uznawana jako składnik Ogólnej Teorii Systemów i zostanie zaprezentowana w kolejnym rozdziale wśród teorii o podstawowym znaczeniu.

System konceptualny jest strukturą pojęć wyrażonych w formie symbolicznej. Jego składnikami mogą być słowa, liczby lub inne symbole. System konceptualny może istnieć jedynie w ramach pewnych form systemów konkretnych, przykładem jest komputer, który przygotowuje projekty i plany innego fizycznego systemu przed jego powstaniem. W **systemie abstrakcyjnym** wszystkie elementy muszą być pojęciowe. Związki pomiędzy abstraktami myślowymi i ich klasami tworzą system. Na przykład w psychologii struktury procesów psychicznych są opisywane za pomocą systemu pojęć abstrakcyjnych. W systemie niedostrzegalnym wielość elementów i skomplikowane relacje pomiędzy nimi czynią faktyczną strukturę systemu nieczytelną.

Wszystkie systemy charakteryzują się określonym typem struktury. Systemy konkretne istnieją fizycznie w czasie i przestrzeni, konceptualne i abstrakcyjne nie mają określonej pozycji w przestrzeni ani ściśle zdefiniowanego czasu trwania. Jednakże, z upływem czasu wszystkie systemy podlegają do pewnych granic zmianom. Zjawisko to nazywamy *procesem*. Jeżeli zachodzące zmiany są nieodwracalne proces nazywamy *historycznym*.

W tym miejscu należy dokonać dalszego rozróżnienia na systemy otwarte i zamknięte. System otwarty (wszystkie systemy żywe) jest zawsze zależny od środowiska, z którym może

wymieniać materię, energię i informację. Jego podstawową charakterystyką jest organizacja, kierowana poprzez informację i zasilana pewnymi formami energii. System zamknięty (np. biosfera) jest otwarty tylko dla dostarczanej energii. Różnice pomiędzy systemami otwartymi i zamkniętymi są względne. Organizm będący typowym przykładem systemu otwartego może być potraktowany jako system zamknięty jeżeli rozpatrujemy go łącznie z otaczającym środowiskiem.

Mówiąc językiem entropii, systemy otwarte są negentropiczne, co oznacza, że zmierzają w kierunku bardziej skomplikowanej struktury. Organizmy, jako systemy otwarte, pozostając w stanie stabilnym mogą pracować przez długi czas, korzystając ze stałego zasilania w materię i energię. Natomiast systemy zamknięte zwiększają entropię dążąc do upadku i dlatego możemy nazywać je „systemami umierającymi”. System zamknięty po osiągnięciu stanu równowagi nie jest zdolny do wykonywania żadnej pracy.

System izolowany to taki, którego granice są zamknięte dla wszelkich rodzajów wejść. Niezależny, co do struktury i rodzaju, ciągle podnosi swą entropię aż do stanu idealnej równowagi. Podczas gdy pojęcie to znajduje bardzo rzadko zastosowanie w świecie rzeczywistym, to kosmos jest pozbawionym środowiska izolowanym systemem stanowiącym kontekst dla wszystkich pozostałych systemów mogących pojawiać się w jego obszarze.

Systemy będące przedmiotem naszego zainteresowania występują w *środowisku*. Najbliższym środowiskiem dla systemu jest następny wyższy system z wyłączeniem jego samego. Całkowite środowisko zawiera ponadto wszystkie pozostałe systemy wyższego szczebla. Środowisko może być również zdefiniowane zarówno jako to, co pozostaje poza bezpośrednią kontrolą systemu jak i każde zjawisko mające wpływ na procesy i zachowanie systemu. W przypadku systemów żywych środowisko musi być postrzegane jako część organizmu jako takiego. Wewnętrzna struktura żywych organizmów zawiera elementy, które we wcześniejszych etapach ewolucji były składnikami środowiska zewnętrznego. Potwierdza to, między innymi, skład chemiczny krwi i wody morskiej.

Środowisko jest czymś istniejącym w **przestrzeni**, pojęciem definiowanym w odniesieniu do systemu będącego przedmiotem naszego zainteresowania. *Przestrzeń pragmatyczna* to oddziaływanie fizyczne integrujące żywy system z jego naturalnym, organicznym środowiskiem. *Przestrzeń egzystencjalna* tworzy stabilny wizerunek indywidualnego środowiska i łączy je ze społeczną i kulturową tożsamością. *Przestrzeń poznawcza* (cognitive space) jest świadomym doznaniem świata fizycznego, podczas gdy przestrzeń logiczna lub abstrakcyjna należą do świata systemów konceptualnych lub abstrakcyjnych, dostarczając nam w ten sposób narzędzi do opisu pozostałych.

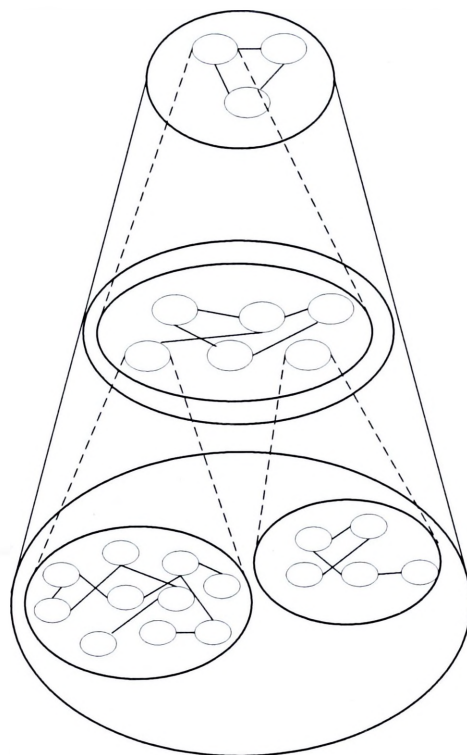
Poprzez stałe oddziaływanie pomiędzy systemem a środowiskiem, systemy wpływają na środowisko a środowisko na systemy. W przypadku systemów społecznych interakcje te są szczególnie wyraźne. Ich zakres jest przedstawiony w następujących parach:

System żywy	Środowisko
- społeczeństwo	- natura
- my	- im
- ja	- pozostali
- ego	- id
- umysł	- ciało
- świadomość	- podświadomość

W celu zdefiniowania środowiska systemu niezbędne jest określenie *granic* systemu. Granica otacza system w taki sposób, że intensywność wzajemnego oddziaływania w ramach systemu jest większa niż poza jego granicami, wskazując elementy należące i nie należące do systemu. W normalnych warunkach przekroczenie granicy wymaga modyfikacji lub transformacji systemów. W przypadku informacji granice posiadają właściwości kodujące i dekodujące. Innymi słowy informacja wychodząca jest bardzo rzadko identyczna z informacją wchodzącą do systemu. Ponieważ systemy nie zawsze graniczą bezpośrednio, niezbędne jest wprowadzenie pojęcia *interfejsu* dla wskazania obszaru pomiędzy granicami systemów.

Pojęciem równie rzadkim jak system zamknięty jest odosobniony system otwarty. Z reguły systemy wchodzą w skład innych systemów, tworząc **hierarchię systemów**. Teoria systemów uznaje pojęcie hierarchii za uniwersalne, mające zastosowanie w świecie nieorganicznym, organicznym, życiu społecznym i kosmosie. W strukturze hierarchicznej składniki całości są szeregowane malejąco aż do osiągnięcia najniższego szczebla. *Elementy*, będące na najniższym poziomie, tworzą *podsystemy*, wchodzące w skład struktury systemu, który z kolei jest częścią nadrzędnego *suprasystemu*. Przytoczony ranking jest bardziej relatywny niż bezwzględny, ponieważ, w zależności od poziomu odniesienia, ten sam obiekt może być traktowany jako element, system lub składnik środowiska (patrz rys. 2).

Myślenie hierarchiczne wywołuje zjawisko nazwane paradoksem hierarchii, który implikuje opisywanie systemów jako elementów większej całości. Przedstawienie danego systemu jako elementu większego systemu może być dokonane tylko wtedy, gdy ten większy jest systemem.



Rys. 2. Hierarchia systemów

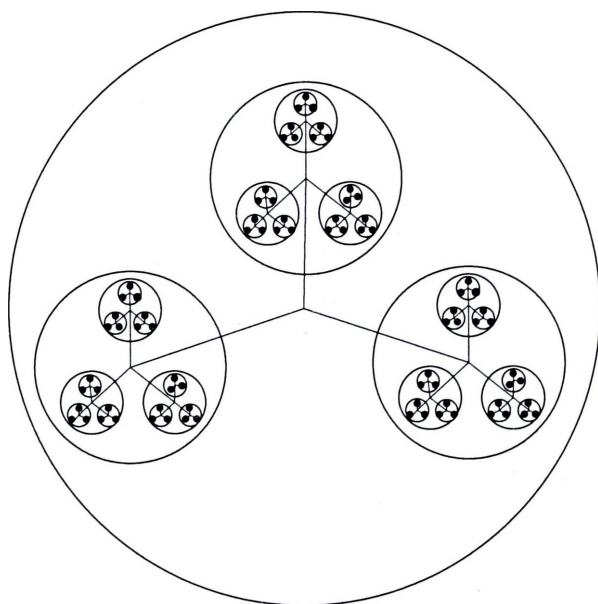
Bardziej rozbudowana terminologia hierarchiczna przedstawia się następująco:

- makrosystem;
- system;
- podsystem;
- moduł;
- składnik;
- jednostka;
- część (element).

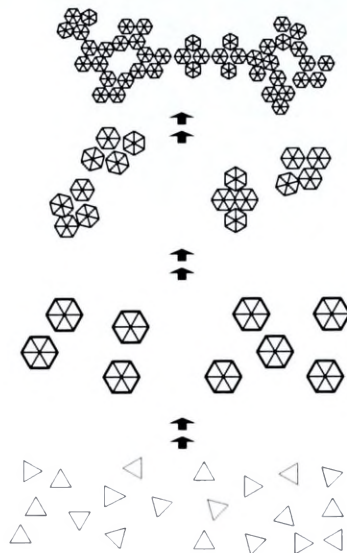
Na określonym poziomie hierarchii dany system może być postrzegany jako składnik systemów nadrzędnych i będący poza systemami umieszczonymi poniżej. Dzieje się tak, ponieważ system posiada właściwości *endogeniczne* i *egzogeniczne*, odpowiednio istniejące w systemie i określone na zewnątrz systemu. Również status składnika systemu nie jest jednoznaczny, może on być traktowany jako podsystem, system lub element środowiska. Podsystem, w celu wykonywania swych funkcji w ramach suprasystemu musi zachować swą tożsamość i pewien zakres autonomii. Proces w określonej części systemu, w którym wzrasta poziom interakcji często skutkuje powstaniem nowej lokalnej struktury. Zjawisko to nazywamy

centralizacją i oznacza ono, iż niewielkie odchylenia zachodzące w części systemu mogą wywołać istotne zmiany całości.

Inny pogląd hierarchiczny wiąże się z pojęciem, holon (od ang. wholeness – całość). Według naukowca węgierskiego pochodzenia *Arthura Koestlera*, w żywych organizmach i organizacjach społecznych, całość i części składowe nie egzystują samodzielnie. Systemy te wykazują zarówno spójność, jaki i zróżnicowanie. Tendencje integracyjne oraz samo - asertywność wzajemnie się uzupełniają i znajdują odzwierciedlenie w zespołowym działaniu. Zjawisko to, zwane efektem „Janusa” (od rzymskiego boga Janusa o dwóch twarzach) stanowi fundamentalną charakterystykę subcałości we wszystkich rodzajach hierarchii. Ogólna struktura hierarchii holonistycznej jest gniazdowa. Na rys. 3 możemy dostrzec, co najmniej pięć jej poziomów.



Rys. 3. Struktura hierarchii holonistycznej



Rys. 4.

System o zorganizowanej prostocie to system nieskomplikowany, składający się z niewielkiej ilości składników, takich jak ludzie i maszyny – może być badany analitycznie.

Podobnej klasyfikacji systemów dokonał *Herbert Simon* (1968), który rozróżnia systemy **rozdzielne, prawie rozdzielne i nierozdzielne**. W systemie rozdzielnym podsystemy możemy uznać za niezależne od siebie. Przykładem jest gaz obojętny hel, w którym siły międzycząsteczkowe są pomijalnie małe w porównaniu z wewnątrzcząsteczkowymi. W systemie prawie rozdzielnym oddziaływanie pomiędzy podsystemami jest słabe, lecz niepomijalne. Oddziaływanie pomiędzy podsystemami jest zwykle słabsze od oddziaływania wewnątrz podsystemów. Systemy nierozdzielne są bezpośrednio wzajemnie zależne lub oddziaływujące. Przykładem systemu nierozdzielnego jest układ płuco-serca.

Russel Ackoff – senior badań nad zarządzaniem dokonał klasyfikacji systemów na podstawie ich zachowania lub funkcjonowania. Zgodnie z jego poglądem rozróżniamy **systemy utrzymujące cel** (goal-maintaining systems), które próbują wypełniać wcześniej określone zadanie. Za przykład może służyć termostat lub inny prosty regulator, w którym każda zmiana wymusza jedną określoną odpowiedź korygującą.

W **systemach poszukujących celu** istnieje możliwość wyboru reakcji na zmieniające się zachowanie systemu. System posiada zdolność uczenia się, poprzednie zachowania gromadzone są w prostej pamięci. Dobrym przykładem jest autopilot, który utrzymuje uprzednio ustawiony kurs, wysokość i prędkość.

Systemy poszukujące wielocelowe posiadają umiejętność wyboru działania stosownie do zmieniających się warunków zewnętrznych. W warunkach alternatywnych wyborów system decyduje o wyborze najlepszych środków. Warunkiem koniecznym jest rozbudowana

pamięć, umożliwiającą magazynowanie i pozyskiwanie informacji. Przykładem tak działającego systemu jest automatyczna centrala telefoniczna.

Systemy refleksyjne, zmieniające cel dokonują rozważań po podjęciu decyzji. Informacja zebrana w pamięci jest badana pod kątem tworzenia nowych wariantów działania.

Innym często spotykanym podziałem jest wyróżnienie systemów **statycznych** i **dynamicznych**. System statyczny jest strukturą nie wykonującą żadnych działań. System dynamiczny zawiera składniki strukturalne oraz działanie. Przykładem systemu statycznego może być wieża radiowa a dynamicznego pododdział wojskowy z ludźmi, sprzętem i rozkazami.

Należy również wspomnieć o dwóch szczególnych kategoriach systemów **irracjonalnym** i **zerowym (nieważnym)**. Obie kategorie łamią zasadę przyczynowości i dlatego nie mogą być traktowane w sposób racjonalny. W systemie irracjonalnym nie ma żadnego związku pomiędzy wejściem a przewidywaną odpowiedzią systemu. W systemie zerowym nie otrzymujemy produktu wyjściowego lub powstaje on bez udziału wejścia. Ponieważ obydwie kategorie są również niemierzalne, musimy mieć świadomość trudności związanych z identyfikacją systemów. „Tajemnicze zachowanie” ma czasem bardzo naturalne przyczyny.

W niektórych okolicznościach zachodzi potrzeba zastosowania do pojęć systemowych pewnych podstawowych kryteriów matematycznych. W **systemie ciągłym** wejście może podlegać nieprzerwanym i arbitralnym zmianom a zatem na wyjściu również otrzymujemy produkt zmieniający się w sposób ciągły. Wejście w **systemie dyskretnym** zmienia się skokowo, dając również dyskretne zmiany na wyjściu.

Podział na systemy deterministyczne i stochastyczne to kolejny przykład zastosowania kryteriów matematycznych. Zgodnie z zasadą przewidywalności, system deterministyczny posiada wejścia i wyjścia wytłumaczalne i mierzalne na poziomie pojedynczego zdarzenia. Dla identycznych wejść otrzymamy te same rezultaty wyjściowe, powtarzane procesy dostarczają identycznych rezultatów. W systemie stochastycznym podanie identycznych, powtarzalnych danych wejściowych nie umożliwia przywrócenia elementów do stanu pierwotnego. Czynniki wpływające na system są statystycznie zmienne. Tym niemniej, przy zastosowaniu odpowiednich metod analizy stochastycznej, możliwym jest przewidywanie zachowania się systemu.

Ostatni już podział dotyczy systemów **niesymulowalnych i symulowalnych**. Ekstremalnie małe zmiany na wejściu ogromnych, złożonych i nieliniowych systemów są często wzmacniane poprzez dodatnie sprzężenie zwrotne i mogą powodować rosnące wykładniczo transformacje całego systemu. Przykładem systemu niesymulowalnego jest pogoda, charakteryzowana jako *deterministyczny chaos*. Czułość systemu na dane wejściowe utrudnia przewi-

dywanie. W dodatku, każdy działający w sposób niecykliczny system fizyczny jest nieprzewidywalny.

„Efekt motyla”, gdzie trzepot jego skrzydeł inicjuje ruch powietrza kończący się huraganem zafascynował wielu i dobrze oddaje nieprzewidywalność systemów nieliniowych. Nie istnieje program komputerowy, który mógłby modelować ten system. Program taki byłby nie mniej skomplikowany jak system pogody sam w sobie. Z tego powodu niektórzy meteorolodzy twierdzą, iż jedynym komputerem zdolnym do symulacji pogody w skali globalnej jest Ziemia – podstawowy, analogowy biokomputer.

W systemie symulowanym złożoność programu symulującego jest daleko mniejsza od stopnia skomplikowania systemu symulowanego.

3.2. Cybernetyka i pojęcia definiujące procesy systemowe

Aby przewidywać zachowanie racjonalnego systemu zanim nastąpi jego odpowiedź, potrzebna jest pewna wiedza z zakresu ogólnych mechanizmów kierowania (sterowania). Pomimo, że już od ok. 2000 lat istnieją opisy systemów automatycznego sterowania to teoria dotycząca tej dziedziny pozostawała ograniczona i rzadko wykorzystywana poza środowiskiem inżynierskim

Norbert Wiener, amerykański naukowiec z MIT, wydając w 1948 r. książkę pt. *„Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine”* tchnął w teorię sterowania nowe życie. Jako matematyka i uniwersalnego myśliciela, jego zafascynowanie logiką i elektrycznością splecioną z automatyką zaprowadziło go do pojęcia cybernetyki. Termin **cybernetyka** pochodzi od greckiego rzeczownika kubernetes, oznaczającego przewodnika lub ster.

W istocie, jeden z najstarszych systemów automatycznego sterowania związany jest z obracaniem kołem sterowym dużego okrętu z pomocą napędzanego parą silnika sterującego. Ten wspomagający mechanizm nazywano „serwo” (od łacińskiego *servitudo*). Według publikacji Wienera, cybernetyka miała obejmować uniwersalne zasady, mające zastosowanie zarówno w inżynierii jak i do organizmów żywych (jedna z tych zasad mówi, że wszystkie procesy we wszechświecie wydają się być cykliczne). Wiener skutecznie wykazał, że zasady cybernetyki mogą być z powodzeniem stosowane na poziomie teoretycznym do wszystkich systemów. Cybernetyka, krótko po zaistnieniu jako niezależna dziedzina wiedzy, stała się częścią Ogólnej Teorii Systemów. Z powodów praktycznych te dwa obszary zintegrowały się

w ramach jednej obszernej domeny zróżnicowanych problemów i stały się przedmiotem rozważań nauk systemowych.

W cybernetyce pojęcia kierowania i komunikacji są ściśle powiązane. Informacja dotycząca funkcjonowania i kierowania jest przekazywana pomiędzy elementami systemu a także pomiędzy systemem a środowiskiem. Celem tych procesów jest uzyskanie stanu **równowagi**. W systemach żywych, utrzymywanie psychologicznych zmiennych w pewnych granicach, nazywamy **homeostazą**. Dlatego cybernetyka zajmuje się przywracaniem stabilności we wszystkich rodzajach systemów.

Fakt, że cybernetyczne sterowanie systemów odbywa się z wykorzystaniem małych, często nieznaczących porcji energii, oznacza ich wysoki stopień skuteczności. Jest to możliwe, ponieważ podstawową funkcją jest przetwarzanie informacji a nie transformacja energii.

Punktem wyjścia do zrozumienia podstawowych terminów cybernetycznych może być system reprezentowany przez trzy skrzynki: czarną, szarą i białą. Celowe działanie wykonywane przez skrzynkę nazywamy *funkcją*. Wewnątrz każdej skrzynki znajdują się *składniki strukturalne* – elementy statyczne, *składniki operacyjne* – przetwarzające oraz *składniki przepływające* – przetwarzana materia/energia lub informacja.

Związki pomiędzy wzajemnie zależnymi składnikami nazywamy *pierwszorzędnymi*. Najlepszym przykładem jest tu symbioza – życiowo istotna współpraca dwóch organizmów. Związki drugorzędne uzupełniają działania systemu w sposób synergetyczny. Związki trzeciorzędne występują, gdy składniki duplikujące, które wydają się zbędne występują w celu utrzymania ciągłości działania systemu.

Każda ze skrzynek zawiera procesy wejściowe, transformacyjne i wyjściowe (należy zauważyć, że produkty na wyjściu mogą być użyteczne lub bezwartościowe dla systemu nadrzędnego, jak również wejście jednego systemu może być wyjściem jego podsystemu). Wszystkie te procesy nazywamy **skrośnymi** (throughput) aby uniknąć koncentrowania się na pojedynczych elementach procesów wewnętrznych.

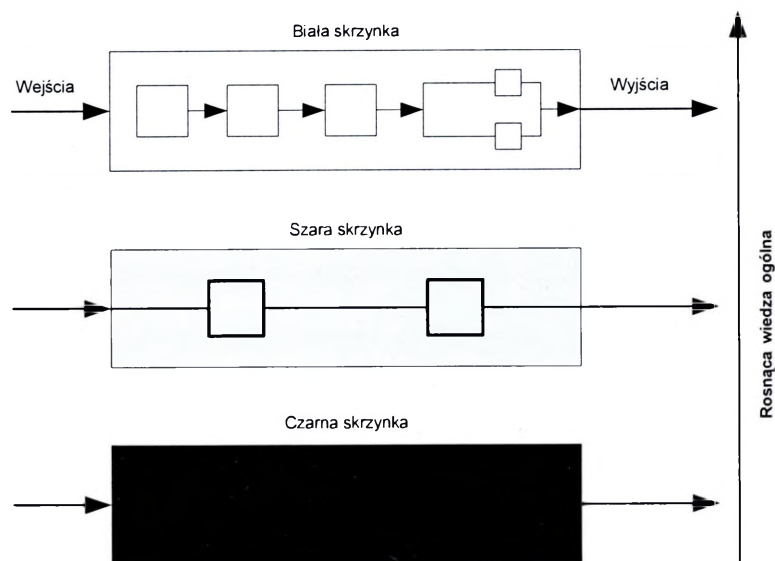
Kolory skrzynek odzwierciedlają różny stopień zainteresowania użytkownika procesami zachodzącymi w ich wnętrzu. Czarna skrzynka jest tworem prymitywnym, zachowującym się w określony sposób, jednak nie objaśniającym obserwatorowi, w jaki sposób rezultat jest osiągany. Kenneth Boulding napisał:

A system is a big black box
Of which we can't unlock the locks
And all we can find out about
Is what goes in and what comes out.

System jest wielką czarną skrzynką,
Której nie potrafimy otworzyć
A wszystko co o niej wiemy
Jest tym co do niej wchodzi i co z niej wychodzi.

Model czarnej skrzynki może być efektywny, jeżeli dostosowujemy wejście w celu uzyskania maksymalnego efektu wyjściowego (zimny prysznic w celu zwalczenia gorączki). **Szara skrzynka** oferuje częściową wiedzę na temat wybranych procesów wewnętrznych (wizyta u pielęgniarki w celu uśmierzania bólu). **Biała skrzynka** jest całkowicie przejrzysta, dostarcza pełnej informacji na temat procesów wewnętrznych (hospitalizacja na oddziale intensywnej terapii). Ten ostatni model występuje rzadko i nie zawsze jest pożądany.

Poniżej pewnego poziomu na pytania nie można odpowiedzieć ale również ich postawić, nie możemy uzyskać pełnej informacji o stanie systemu. Patrz rys. 5.



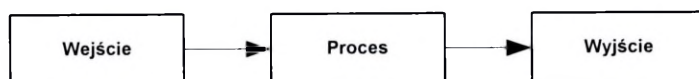
Rys. 5.

Chcąc dobrze zrozumieć procesy transformacji zachodzące w systemie musimy wziąć pod uwagę pięć następujących elementów:

- Zbiór wejściowy. Różnorodne parametry wpływające na zachowanie systemu;
- Zbiór wyjściowy. Różnorodne parametry wpływające na relacje pomiędzy systemem a środowiskiem;

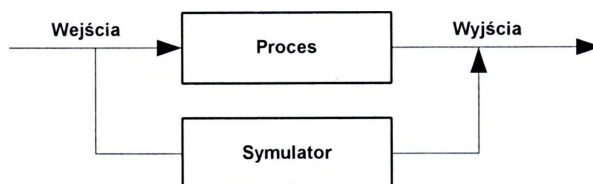
- Zbiór stanów. Wewnętrzne parametry systemu określające związki pomiędzy wejściem a wyjściem;
- Funkcje stanów przejściowych. Funkcje decydujące o zmianach stanów systemu przy zmianach zachodzących na wejściu;
- Funkcje wyjścia. Funkcje decydujące o rezultacie wyjściowym, przy określonym wejściu i stanie.

Procesy systemowe mogą, lecz nie muszą być samoregulujące. System samoregulujący nazywamy **systemem z zamkniętą pętlą (closed-loop system)** – wyjście systemu jest połączone z wejściem. W **systemie z otwartą pętlą** wyjście i wejście nie są połączone w celach pomiarowych. Przykładem systemu z otwartą pętlą jest automatyczna polewaczka, schematycznie przedstawiona na rys. 6.



Rys. 6.

Mechanizmy regulacyjne w systemach z zamkniętą pętlą nazywamy sprzężeniem wyprzedzającym lub sprzężeniem zwrotnym. Sprzężenie wyprzedzające występuje przed oczekiwanym zdarzeniem wyjściowym i jest częścią pętli planistycznej, przygotowującej przyszłe ewentualności. Dostarcza informacji o oczekiwanym zachowaniu i symuluje właściwy proces. Jest częścią antycypacyjnego sterowania systemem, zgodnie z istniejącym modelem wewnętrznym, przenosi aktualne stany wejściowe na przewidywane stany wyjściowe. Patrz rys. 7.



Rys. 7.

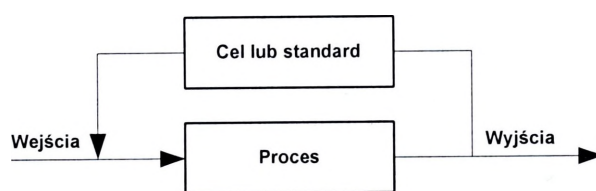
Sprzężenie zwrotne to podstawowa strategia pozwalająca systemowi na kompensowanie nieoczekiwanych zakłóceń – często określane jako „transmisja sygnału od stanu późniejszego do wcześniejszego”. Informacja dotycząca rezultatów własnego działania jest, więc

dostarczana jako część informacji o bieżącym działaniu. Jako mechanizm sterujący pracuje ono bardziej na podstawie faktycznego niż oczekiwanego działania systemu. Sprzężenie zwrotne jest kluczowym pojęciem cybernetyki.

Powstała rozbudowana, uogólniona teoria dotycząca działania systemów z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego.

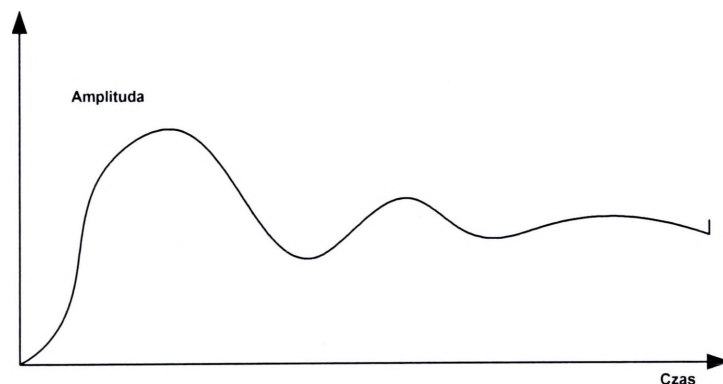
Przy zastosowaniu szeregu wzajemnie połączonych elementów sprzężenia zwrotnego systemy mogą zachowywać się w sposób niezwykle złożony, rezultaty mogą być trudne do obliczenia. Główne pojęcia uogólnionej teorii sprzężenia zwrotnego zostały przedstawione poniżej.

Ujemne sprzężenie zwrotne to pewien fragment wyjścia podawany na wejście systemu i regulujący tym samym nowy, kolejny stan wyjścia (współczynnik sprzężenia jest mniejszy od jedności). Ten rodzaj sprzężenia ma skłonność do przeciwdziałania aktualnemu zachowaniu się systemu i dlatego nazywamy go ujemnym. Wzrost poziomu sprzężenia powoduje obniżenie poziomu wyjściowego działając autokorekcyjnie i stabilizująco na system. Systemy ze sprzężeniem automatycznie kompensują siły zakłócające, często uprzednio nieznanne. Zasada działania pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego została pokazana na rys. 8.



Rys. 8.

Zaprezentowane przykłady elementarnego ujemnego sprzężenia zwrotnego działają w uprzednio założonym celu. Możliwe jest tylko korygowanie dewiacji. Nie ma możliwości działań warunkowych lub alternatywnych, regulacja dążąca do stanu równowagi przebiega wykładniczo. Taki sposób bezpośredniej, deterministycznej regulacji nazywamy **ujemnym sprzężeniem zwrotnym pierwszego stopnia**. **Ujemne sprzężenie zwrotne drugiego stopnia** jest sprzężeniem wykorzystującym inne sprzężenie zwrotne. Tym sposobem, jest ono bardziej pośrednie od sprzężenia pierwszego stopnia i jeżeli nie jest tłumione powoduje oscylacje sinusoidalne wokół stanu równowagi. Jeżeli stłumimy je sprzężeniem pierwszego stopnia regulacja będzie przebiegać według sinusoidy gasnącej. Patrz rys. 9.

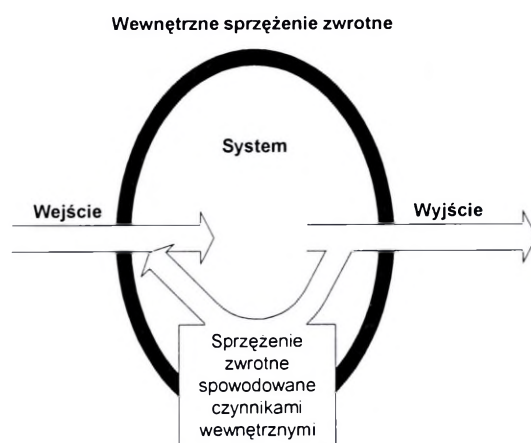
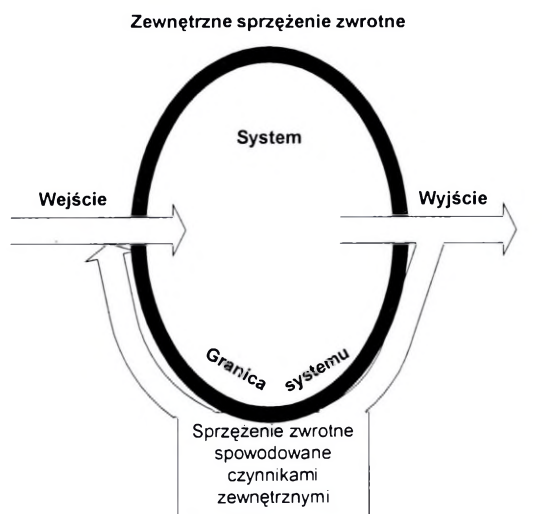


Rys. 9.

Regulacja za pomocą **ujemnego sprzężenia zwrotnego wyższego stopnia** również przebiega oscylacyjnie wokół stanu równowagi. Przeszterowany łańcuch sprzężenia zwrotnego może spowodować przyrost amplitudy i uczynić system niestabilnym. Dla zachowania stabilności mechanizmy regulacyjne muszą być odpowiednio tłumione. Często opory wewnętrzne systemu skutecznie spełniają funkcje tłumika.

Karl Deutsh zaproponował odmienną klasyfikację celowości jako procesu cybernetycznego sprzężenia zwrotnego. Jego czterostopniowa hierarchia może być porównywalna z klasyfikacją systemów wg Ackoffa.

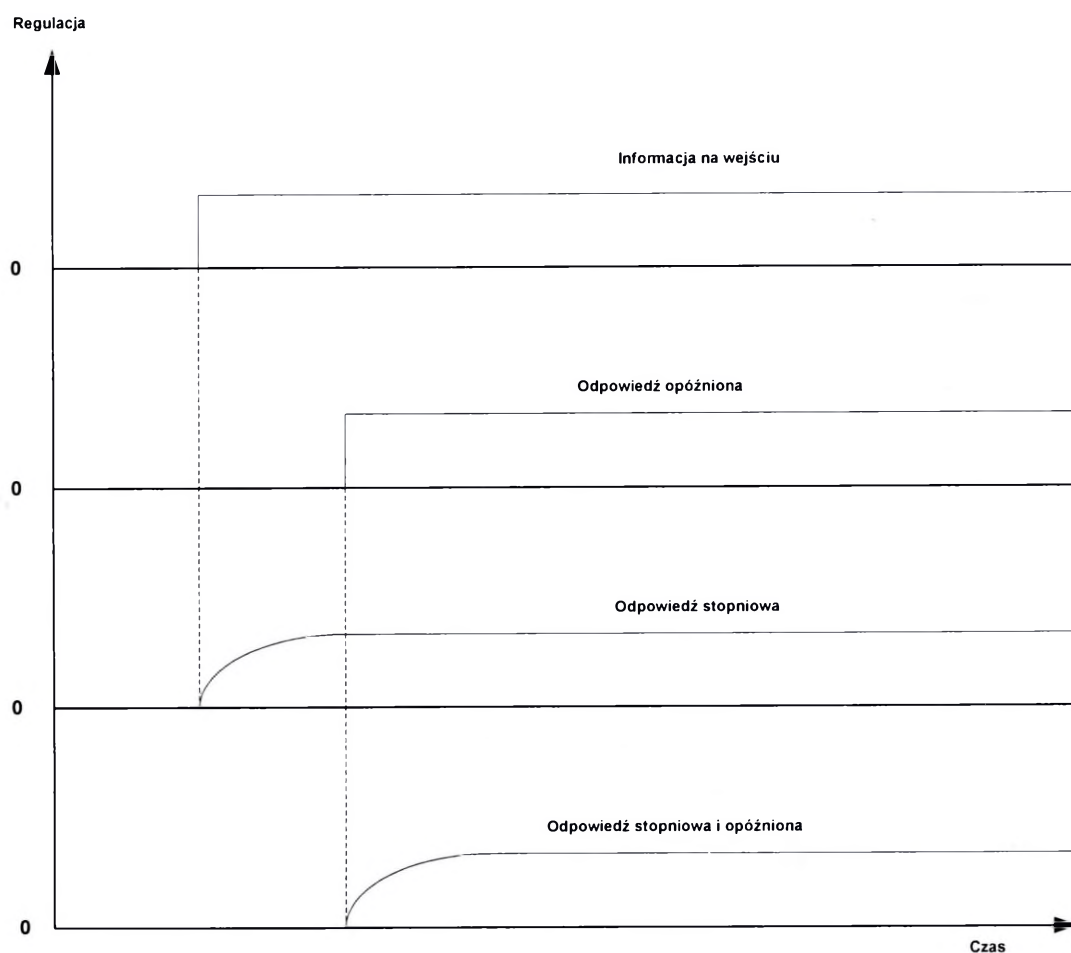
W pewnych okolicznościach należy dokonać rozróżnienia pomiędzy **zewnętrznym** i **wewnętrznym** sprzężeniem zwrotnym. Zewnętrzne sprzężenie zwrotne zachodzi, gdy produkt wyjściowy przekracza granice systemu i zostaje poddany modyfikacji przez środowisko zanim zostanie podany na wejście. Sprzężenie wewnętrzne występuje wtedy, gdy tenże produkt wyjściowy nie opuszcza granic systemu i jest modyfikowany w jego obszarze. Podczas, gdy sprzężenie zwrotne jest ogólnie rzecz biorąc definiowane jako wewnętrzne to z systemowego punktu widzenia obydwa rodzaje są równoważne. Z reguły, system nie rozróżnia typu istniejącego sprzężenia zwrotnego. Patrz rys. 10.



Rys. 10.

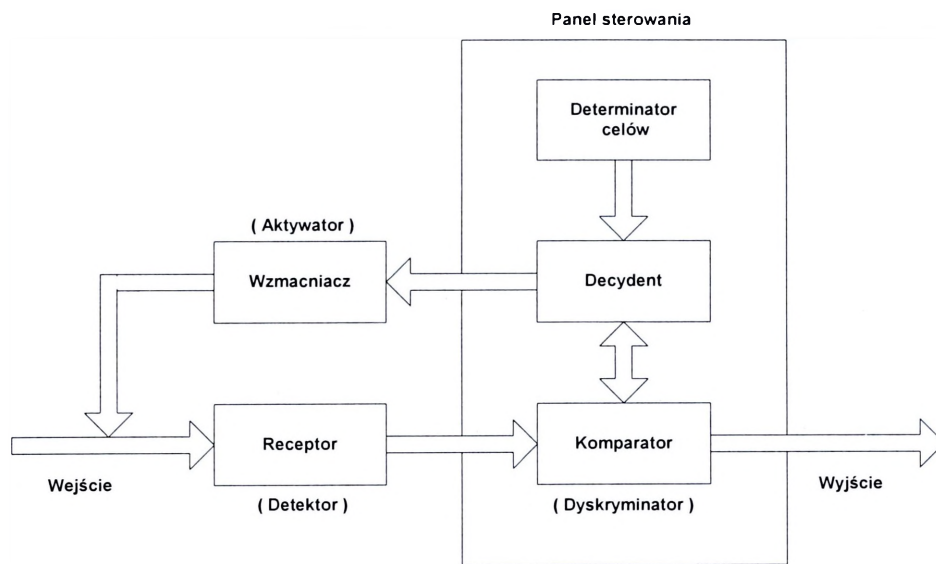
W cyklu cybernetycznego sterowania bardzo ważną rolę odgrywa czas. W systemie mogą występować wahania prędkości ruchu i współczynników tarcia pomiędzy elementami. Opóźnienie i spowolnienie są ważnymi parametrami regulacyjnymi, które przeciwdziałają naturalnym tendencjom oscylacyjnym w procesie sprzężenia zwrotnego. Parametry te są często stosowane do nałożenia na system fizycznych ograniczeń, dynamicznie opóźniających działanie. Dzięki tym ograniczeniom zapobiegamy gwałtownym skokom ważnych zmiennych systemu (przede wszystkim wyjściowych).

Opóźnienie może całkowicie powstrzymać działania regulacyjne na pewien czas, po upływie, którego rozpoczną się one w pełnym zakresie. Spowolnienie jest siłą działającą stopniowo i osiąga swoje maksimum po pewnym czasie. Systemy sprzężenia zwrotnego ze spowolnieniem mogą działać destabilizująco aż do utraty sterowalności włącznie. Jeszcze bardziej niebezpieczne może być połączone działanie opóźnienia i spowolnienia. (patrz rys. 11).



Rys. 11.

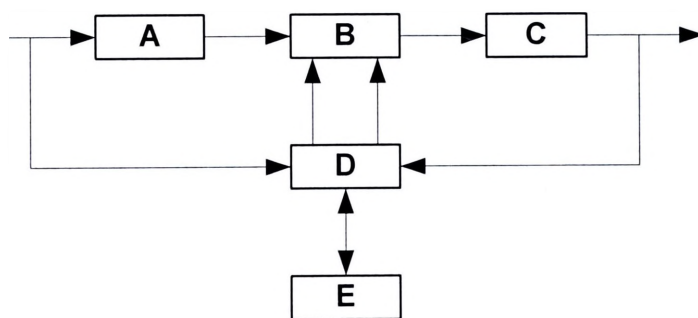
Zaprezentowane procesy sprzężenia zwrotnego mają zastosowanie w różnorodnych systemach sterujących. Ich zasadniczą funkcją jest utrzymywanie pewnych zmiennych zachowań systemu w ramach uprzednio zdefiniowanych ograniczeń. Celem końcowym jest utrzymywanie wyjścia systemu w stanie zgodnym z założonymi oczekiwaniami. Idealny system sterujący całkowicie usuwa wszelkie zakłócenia. Ogólny model systemu sterującego, stosującego podstawowy cykl sterowania został przedstawiony na rys. 12.



Rys.12.

Pierwszym, podstawowym składnikiem mechanizmu regulacyjnego w **podstawowym cyklu sterowania** jest receptor, czujnik rejestrujący różne bodźce, które po przetworzeniu na informację docierają do *regulatora/panelu sterowania* (contoller). W *komparatorze* dokonywane jest porównanie pomiędzy wartością odebraną przez receptor a wielkością pożądaną. Różnica stanowi wiadomość korygującą, która jest wprowadzana do systemu poprzez *element wykonawczy* (effector). Tym sposobem, poprzez monitorowanie i sprzężenie zwrotne osiągamy efekt samoregulacji. Na rys. 13 widzimy, że regulacja ma miejsce na wejściu systemu a mechanizm rozstrzygający znajduje się po stronie wyjściowej. W bardziej skomplikowanych systemach ze sprzężeniem zwrotnym trzeciego stopnia regulator zawiera także *determinatora celu* (goal setter) i *decydenta* oraz czasami *projektanta*, który określa cele i zasady decyzyjne w systemie.

Jak mogliśmy spostrzec wcześniej, jedną z najważniejszych zalet systemów żywych jest adaptacja osiągana poprzez uczenie się. Jednakże zaleta ta nie ogranicza się do systemów żywych, maszyny działające według zasad cybernetyki mogą również posiadać zdolność uczenia się. Jeżeli informacja przekazywana zwrotnie może zmieniać ogólne zasady i reguły działania systemu możemy mówić o uczeniu się. Ogólny cybernetyczny model systemu uczącego się został zaprezentowany na rys. 13.



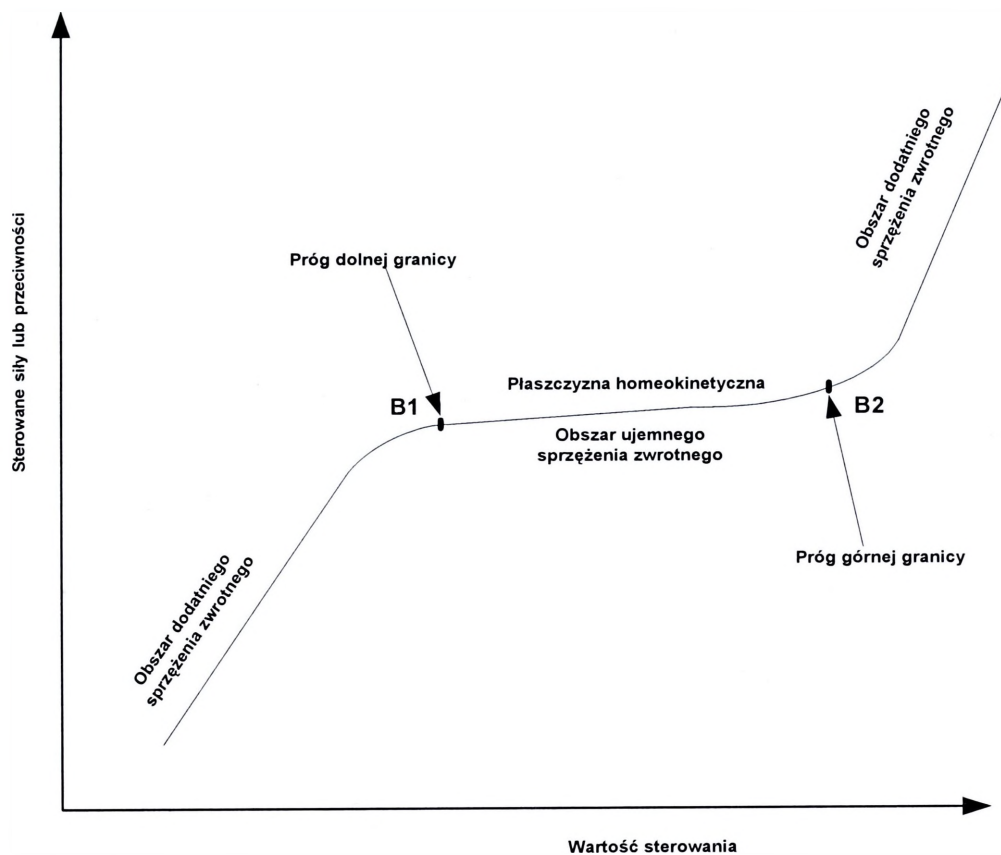
Rys. 13.

Informacja wejściowa, wprowadzana do systemu poprzez receptor trafia do uczącej się wewnętrznej jednostki decyzyjnej. Po przetworzeniu trafia do elementu wykonawczego i staje się produktem wyjściowym. Zachowanie jednostki decyzyjnej (decydenta) nie jest jednak uprzednio określone. Zarówno wejście jak i wyjście są równoległe, poprzez komparator, doprowadzone do urządzenia oceniającego (evaluating mechanism).

Z urządzenia oceniającego dwie równoległe ścieżki prowadzą do decydenta. Decydent porównuje wpływ wejścia na rezultat wyjściowy na podstawie kryteriów oceny przechowywanych w komparatorze. Jeżeli decyzja jest poprawna decydent jest „nagradzany”, jeżeli jest błędna zostaje „ukarany”. W rzeczywistości skutkuje to taką modyfikacją wewnętrznych parametrów systemu, która jest rodzajem samoorganizacji i uczenia się.

Istnieje oczywiście ryzyko błędnej samoorganizacji poprzez uczenie się. Wszystkie systemy uczące się muszą posiadać zdolność samoorganizacji, lecz system może się samoorganizować bez umiejętności uczenia się. Zdolność adaptacji i modyfikacji swego zachowania nie są wystarczające by traktować system jako zdolny do uczenia się. Kluczowym elementem jest takie sterowanie, które skutkuje poprawnym, zgodnym z oczekiwaniami działaniem systemu, czyli modyfikacją działań niepoprawnych. Dlatego tak ważnym elementem jest wewnętrzna modyfikacja przekazywania informacji.

Termin **homeostaza** oznacza, w przypadku systemów żywych, sumę wszystkich funkcji sterujących tworzących stan równowagi dynamicznej w zdrowym organizmie. Jednakże wszystkie systemy podlegają procesowi starzenia się i od określonego punktu dojrzewania powoli ich stan ulega pogorszeniu prowadząc do śmierci. Zjawisko to nazywamy homeokinezą, która stanowiła inspirację do powstania pojęcia płaszczyzny homeokinetycznej, pokazanej na rys. 14.



Rys. 14.

Proces stałego pogarszania się może zostać skompensowany zwiększonym sterowaniem i mobilizacją zasobów w ramach płaszczyzny homeokinetycznej. W jej obszarze ujemne sprzężenie zwrotne jest silniejsze od dodatniego umożliwiając stan tymczasowej homeostazy. Poniżej i powyżej wartości progowych przeważa dodatnie sprzężenie zwrotne, prowadząc do wzrostu oscylacji i w końcu do upadku systemu. Jediną alternatywą dla takiego biegu wydarzeń jest adaptacja systemu poprzez zmianę jego struktury. Adaptacja taka pozostaje jednak poza zakresem możliwości pojedynczego organizmu.

Płaszczyzna homeokinetyczna jest naturalnym tworem wchodzącym w skład **cyklu życia systemu**. W systemach żywych składa się on z narodzin, ewolucji, upadku i śmierci. W systemach nieożywionych cykl życia systemu możemy podzielić na następujące etapy:

- identyfikacja potrzeb;
- planowanie systemu;
- badania nad systemem;
- projektowanie systemu;
- budowa systemu;
- ocena systemu;
- użytkowanie systemu
- wycofanie systemu.

3.3. Zasady teorii systemów

3.3.1. Metoda systemowa

Ostatnie lata przyniosły znaczny wzrost zainteresowania metodami rozwiązywania złożonych problemów (zadań), co wynika m.in. z rozwoju heurystyki i tzw. inwentyki. Szczególne znaczenie w tej dziedzinie uzyskały prace: G. Polya, uznawanego za twórcę nowoczesnej heurystyki, A. Newella i H. Simona, związane z badaniami nad tzw. sztuczną inteligencją, a także H. Altszullera.

Jako punkt wyjścia przyjmujemy określenie T. Kotarbińskiego: "Metoda, czyli system postępowania, jest to sposób wykonywania czynu złożonego, polegający na określonym doborze i układzie jego działań składowych, a przy tym uplanowany i nadający się do wielokrotnego stosowania⁷. A Góralski⁸ uważa, że opisać metodę to sformułować zbiór dyrektyw i sposobów wartościowania czynów, oraz stwierdza, że charakterystyka każdej metody rozwiązywania zadań zawiera takie składniki, jak:

- 1) opis proceduralny metody, tj. wyszczególnienie i charakterystyka stadiów procesu rozwiązania;
- 2) wykaz działań, których podjęcie sprzyja sprawnej realizacji określonego stadium procesu rozwiązywania;
- 3) wykaz dyrektyw obowiązujących w trakcie całego procesu rozwiązywania.

Autor ten wśród, jego zdaniem, podstawowych metod takich, jak dialog sokratejski, metoda Kartezjusza, metoda Polya, metoda morfologiczna, burza mózgów, inwentyka, synektyka, IPID, programowanie heurystyczne itp., wyróżnił także metodę systemową. Następnie na podstawie pewnych cech różnicujących utworzył tzw. przestrzeń metod rozwiązywania zadań. Analiza rezultatów przedstawionych przez Góralskiego pozwala na stwierdzenie, że najbliższymi metodzie systemowej w sensie podobieństwa cech różnicujących są: metoda morfologiczna, inwentyka, synektyka i IPID. Rozpatrując natomiast analizowane cechy metod, możemy stwierdzić, że w przypadku metody systemowej szczególnie istotne są takie elementy, jak:

- oczekiwany skutek rozwiązywania: nowa struktura, nowy proces, nowy system;
- zadania dotyczą zarówno człowieka i grupy ludzkiej, jak również ich otoczenia;
- sposób formułowania zadania: słaby;

⁷ T. Kotarbiński, *Traktat o dobrej robocie*, jw., s. 79

⁸ A. Góralski, *Twórcze rozwiązywanie zadań*, Warszawa 1983, s. 48 - 52.

- warunki ograniczające typu „nie dłużej niż”;
- sposób oceny rozwiązania: ocena użytkownika lub decydenta (ocena realizowana jest w praktyce społecznej);
- występuje uwarunkowanie realizacji metody przez grupę, umiejętności uświadomione - sposób, wynik itp.;
- zasady realizacji: interdyscyplinarnie i celowo instrumentalnie;
- zasada realizacji metody skłania do refleksji nad rozwiązaniem.

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

Właściwością metody systemowej jest to, że jej przedmiotem są klasy systemów empirycznych (przedmiotowych) charakteryzowanych za pomocą zbioru cech systemowych. Jest to pierwszy warunek „systemowości” metody i zarazem jej ogólności. Podmiotem w metodzie systemowej jest system rzeczywisty, czyli określona grupa ludzi. W jej skład mogą wchodzić przedstawiciele różnych, powiązanych z sobą dyscyplin. Jest to interdyscyplinarny warunek kolektywnego charakteru stosowania metody. Wynik takiego stosowania stanowi także pewien system, którego ocena poprawności realizowana jest w szeroko pojętej praktyce społecznej. Oprócz powyższych generalnych cech wyróżnimy cechy szczegółowe mające charakter pewnych dyrektyw:

- konsekwentne stosowanie w procesie rozwiązywania problemu naczelných zasad systemologii: zasady systemowości, zasady relatywności, zasady nieoznaczoności;
- przestrzeganie rygorów ścisłego stosowania pojęcia systemu (ścisłość, niezmienność, zupełność, rozłączność, funkcjonalność);
- stosowanie procedur analitycznych, syntetycznych i ocenowych, przy czym cel problemu determinuje zasadnicze znaczenie jednej z nich;
- stosowanie zarówno procedur programowych, jak i heurystycznych;
- dążenie do strukturalizacji, formalizacji i matematyzacji podejmowanych problemów;
- stosowanie zasady optymalności rozwiązań w sensie przyjętego kryterium będącego „odbiciem” określonych potrzeb społecznych;
- stosowanie komputerów jako podstawowego narzędzia, czyli realizacja zasady instrumentalizacji działania.

Metoda systemowa jest sposobem rozwiązywania problemów systemowych zlokalizowanych w określonych systemach przedmiotowych, realizowanym przez określony system - realizatora - zgodnie z metodologicznymi zasadami systemologii.

Metodą systemową nazywamy pewną strukturę rzeczywistą określoną następująco:

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

gdzie

SSP - systemowa sytuacja problemowa,

RMS - system - realizator metody:

$$RMS = \langle R, p_p \rangle$$

R - zbiór realizatorów metody,

P_p - zbiór relacji:

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

$$SPR = \langle P, P_p \rangle$$

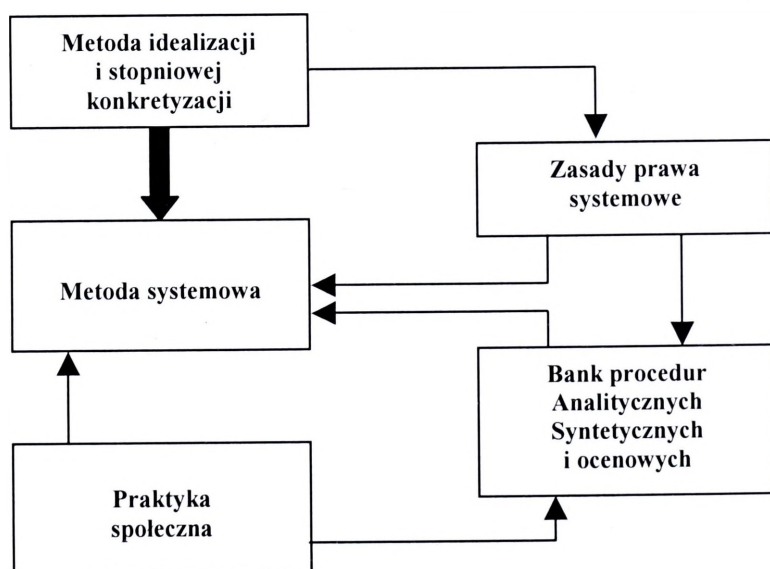
P - zbiór procedur,

p_p - zbiór relacji: $p_p \subset P \times P$,

KWW - zbiór kryteriów weryfikacji wyników realizacji metody.

W związku z powyższym powiemy, że metoda systemowa obejmuje wyrażenie explicit procedur przedstawiania przedmiotów metody jako systemów i sposobów ich systemowego badania (opis, objaśnianie, przewidywanie, decydowanie, konstruowanie itp.).

Realizacja metody może przebiegać od empirycznego, na wpół intuicyjnego opisu cząstkowych procedur badań systemowych do ściśle matematycznego formułowania ogólnosystemowych procedur i technik. Ogólny schemat struktury metody systemowej przedstawiamy na rysunku 15.



Rys. 15.

3.3.2. Struktura dziedzinowa

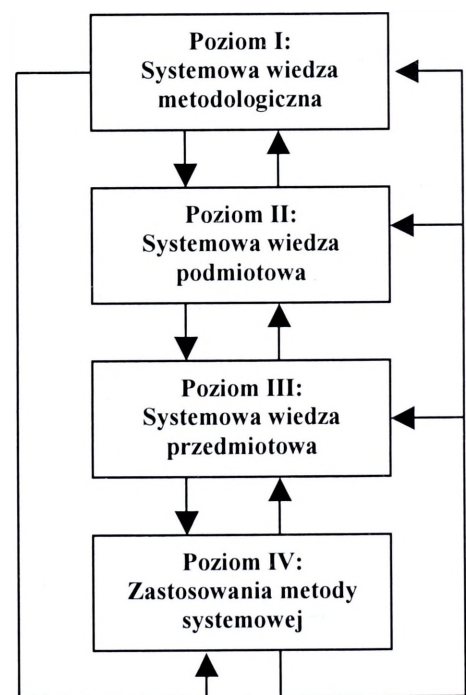
Na podstawie dotychczasowych rozważań dotyczących przedmiotu i zakresu systemologii zależności metody systemowej można sformułować następujący wniosek: teoria systemów obejmuje swym zasięgiem cztery *poziomy wiedzy systemowej*:

- 1) poziom wiedzy dotyczącej systemów podmiotowych (abstrakcyjnych);
- 2) poziom wiedzy dotyczącej systemów przedmiotowych (empirycznych);
- 3) poziom systemowej wiedzy metodologicznej;
- 4) poziom wiedzy pragmatycznej związanej z zastosowaniami metody systemowej do rozwiązania konkretnych problemów praktycznych.

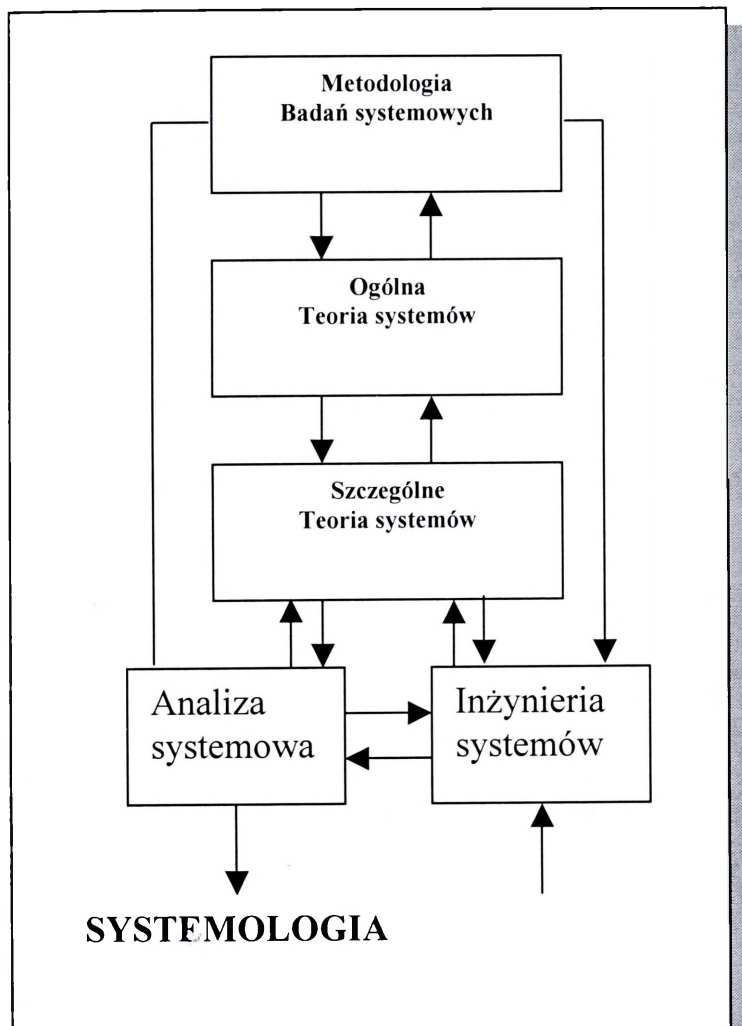
Dokonując hierarchizacji w obrębie tych poziomów ustalamy porządek od poziomu najogólniejszego do najszczegółowszego (rysunek 16). Poziom najwyższy zajmuje metodologiczna wiedza systemowa, najniższy zaś - zastosowania metody systemowej. Wynika stąd, że systemologię traktować będziemy jako teorię systemów i zarazem metodologię badań. Przyjmujemy, że poszczególnym poziomom wiedzy systemowej odpowiadają określone dziedziny:

- metodologia badań systemowych,
- ogólna teoria systemów,
- analiza systemowa,
- inżynieria systemów.

Pierwsza z wymienionych stanowi podstawę metodologiczną i ontologiczną teoretycznych i praktycznych problemów systemologii i jednocześnie obszar badań stricte metodologicznych. Między wyróżnionymi dziedzinami istnieją takie powiązania, że możemy mówić o strukturze dziedzinowej systemologii (rysunek 17). Powiązania te wynikają z określonych funkcji różnych dziedzin, m.in. uogólniania, wyjaśniania, opisywania, odkrywania, projektowania, zmieniania.



Rys. 16. Koncepcja poziomów wiedzy systemowej - zakresu badań systemologii Metodologia (teorii badań systemowych systemów).



Rys.17. Ogólna struktura systemologii (teorii systemów)

Problemy systemowe zawierają zadania, których podmiot nie może rozwiązać posiadając jedynie określony zasób wiedzy. Problem, bowiem występuje wtedy, gdy podmiot znajduje się w sytuacji nowej, trudnej, niepowtarzalnej (na ogół) i niepewnej (probalistycznej). Wyodróżniamy trzy podstawowe typy zadań występujących w problemach, a mianowicie:

- 1) *Zadania analizy typu*: dany jest system rzeczywisty, dla którego znane są następujące informacje:
 - zbiór cech, przy czym, dla co najmniej jednej cechy znany jest tylko zbiór wartości dopuszczalnych;
 - typy podstawowych relacji;
 - zbiór celów (zadań funkcji).

Należy określić kryterium efektywności (jakości) systemu, a następnie znaleźć najlepsze wartości badanych cech zgodnie z przyjętym kryterium.

2. *Zadania syntezy typu*: dana jest klasa badanych systemów i kryterium, pozwalające na wyrażanie sądów wartościujących poszczególne systemy. Należy dokonać wyboru najlepszego systemu (określić jego skład, struktury, cechy itp.) z punktu widzenia przyjętego kryterium.
3. *Zadania oceny typu*: dany jest określony system opisany w zadaniu orzekającym oraz kryterium opisane w zadaniu normatywnym, postulującym pewne cechy systemu - wzorce zgodne z obowiązującymi wartościami społecznymi. Należy, dokonawszy pomiaru wybranych cech systemu, wyrazić aprobatę lub dezaprobatę stanu ocenianego systemu.

W związku z powyższym można powiedzieć, że zadania analizy wymagają uzyskania odpowiedzi na pytania analityczne, np., jakie będą efekty funkcjonowania systemu, który charakteryzują określone cechy? W przypadku zadania syntezy pytanie brzmić będzie następująco: jakie cechy powinny charakteryzować system, aby osiągnął on zamierzone efekty?

Wszystkie z wyróżnionych typów zadań występują w systemowych problemach decyzyjnych.

Podsumowaniem rozważań dotyczących zasad teorii systemów mogą być następujące wnioski:⁹

- I. Komplementarne (wieloaspektowe, multidyscyplinarne) badanie fragmentów rzeczywistości bądź ich projektowanie, a przy tym traktowanie tych fragmentów jako całości złożonych z różnorodnych części wymaga wprowadzenia pojęcia umożliwiającego wyodrębnienie przedmiotu badania lub projektowania. Pojęciem tym jest SYSTEM.
- II. Dotychczasowe określenia systemu wskazują na występowanie pewnego wspólnego obszaru intuicji związanego z tym pojęciem. Opisanie tego obszaru możliwe jest przez odwołanie się do cech systemu w różnych jego rozumieniach. Pojęcia opisujące te cechy należy traktować jako pojęcia pierwotne.
- III. Rozważanie obiektu jako systemu polega na: doborze rzeczy jako nośników własności do zadanych relacji (struktury relacyjnej) bądź doborze rzeczy jako nośników relacji do zadanych własności (struktury atrybutowej). Rzecz jest systemem, jeśli spełnia daną strukturę (relacyjną lub atrybutową).
- IV. Systemy są zbiorami w sensie kolektywnym, przy czym nie każdy zbiór kolektywny jest systemem.
- V. Między systemem *in abstracto* a systemem *in concreto* zachodzi stosunek odpowiedności ze względu na założoną strukturę.

Bardzo trafnie stwierdza Wojciech Gasparski, że „Od czasów Renesansu aż po drugą wojnę światową nauka zajmowała się głównie oddzielnymi przedmiotami, zdarzeniami i związanym z tym poszukiwaniem takich niewidzialnych elementów, jak atomy w fizyce, związki elementarne w chemii, komórki w biologii, potrzeby lub instynkty w psychologii itp. (...). Uczeń poszukują niewidzialnych elementów, lecz niewidzialnych całości - systemów, które tracą swe własności, gdy się je adekomponuje. Zjawiska wyjaśnia się za pomocą probabilistycznej zależności między przyczyną i skutkiem; celowość i funkcjonalność stają się uprawnionymi pojęciami nauki. Zachowanie systemów jest wyjaśniane na podstawie funkcji pełnionych przez te systemy w większych całościach - nadsystemach. Ukształtował się sposób myślenia nazywany myśleniem systemowym”.

⁹ Gasparski W. (red). wyd. cyt.

3.3.3. Podsumowanie

Próba swoistej rekapitulacji może być specyfikacja cech konstytutywnych ujęcia systemowego jako pewnego stylu:

„DEKALOG” SYSTEMOWY

1. HOLIZM
2. KOMPLEKSOWOSC
3. ESENCJALIZM
4. STRUKTURALIZM
5. KONTEKSTOWOŚĆ
6. TELEOLOGIZM
7. FUNKCJONALIZM
8. EFEKTYWNOŚĆ
9. SYNERGIZM
10. ROZWÓJ

- (1) Badanie zjawisk (obiektów, procesów, zdarzeń itd.) jako całości (**HOLIZM, CAŁOŚCIOWOŚĆ**).
- (2) Ujawnianie różnorodności, sprzężeń i relacji wewnętrznych zjawisk (**KOMPLEKSOWOŚĆ**).
- (3) Badanie zjawisk ze względu na istotne wielkości charakterystyczne (**ESENCJALIZM**).
- (4) Określanie własności rozważanego zjawiska na podstawie tej własności jego struktury, którą traktuje się jako integrującą i niezmienniczą (**STRUKTURALIZM**).
- (5) Rozpatrywanie systemów ze względu na ich miejsce w „reszcie świata” (**KONTEKSTOWOŚĆ**).

- (6) Zjawiska są rozpatrywane pod kątem ich celowości (**TELEOLOGIZM**).
- (7) Rozpatrywanie systemów ze względu na charakter spełnianych, przez systemy lub ich podsystemy, funkcji (**FUNKCJONALNOŚĆ**).
- (8) Rozpatrywanie systemów ze względu na wielkość efektów związanych z realizacją określonych celów i funkcji (**EFEKTYWNOŚĆ**).
- (9) Ujawnianie własności wynikających ze współdziałania elementów systemu (**SYNERGIZM**).
- (10) Rozpatrywanie systemów w dynamice, jako obiektów rozwijających się (**ROZWÓJ**).

Zbiór cech systemowych nie zawiera zapewne wszystkich cech charakteryzujących myślenie systemowe, czy „systemizm” jako pewien styl myślenia i rozwiązywania problemów poznawczych i praktycznych. Pomędzy poszczególnymi cechami istnieją określone relacje, zaś badanie ich jest jednym z zadań teorii systemów.

Nie można zapominać o wpływie, jaki wywarły potrzeby obronności na kształt współczesnych badań systemowych. Należy wspomnieć chociażby o przyczynach, jakie zrodziły badania operacyjne, na krótko przed drugą wojną światową i jakie miały niewątpliwy wpływ na powstanie cybernetyki w końcowej fazie wojny. Były to potrzeby obronności, a więc zapotrzebowanie na całościowe modele zjawisk, których uczestnikami byli ludzie wraz z techniką. Lata 50 to okres dalszego wzrostu zapotrzebowań nie tylko na coraz efektywniejsze systemy uzbrojenia i techniki wojskowej, lecz także na modele i metody planowania obrony, porównawczych analiz wariantów działania, wielowymiarowe oceny efektywności organizacji i systemów technicznych. W ten sposób powstała analiza systemowa i inżynieria systemów dziedziny badań systemowych, rozwijające się nadal, przy czym należy przewidywać dalszy wzrost zapotrzebowania na ich zastosowania.

Wojna w Zatoce Perskiej w 1991 r. wykazała, że dość anachroniczny model działań wojennych ukształtowany pod wpływem doświadczeń wyniesionych z drugiej wojny światowej czas odłożyć do lamusa. Systemy broni inteligentnej oraz zintegrowane systemy dowodzenia, sterowania, łączności i rozpoznania wymagają innego, właśnie systemowego ujęcia.

Planowanie i kierowanie współczesnymi działaniami, w które zaangażowano różnorodne systemy organizacyjne i techniczne wymaga stosowania metod systemowych.

I wreszcie, rozwój współczesnych badań systemowych, który odbywał się nader często w cieniu ujęć i podejść redukcjonistycznych, by nie rzec - antysystemowych, będzie stanowił bardzo istotny nurt w badaniach systemowych. Bez sięgania do teorii systemów, cybernetyki i informatyki rozwój strategii, sztuki operacyjnej i taktyki, a przede wszystkim teorii dowodzenia może niebezpiecznie „dryfować” na margines współczesnej nauki. Dlatego należy zapoznać się z podstawami teorii systemów. Zwłaszcza, że w świecie, w którym „wszystko zależy od wszystkiego”, nie wolno patrzeć wężej niż szerzej...

4. Wybrane koncepcje i teorie systemów

„To teoria decyduje o tym co możemy zaobserwować”

(Albert Einstein)

W rozdziale 4 opisane zostały pewne cechy właściwe dla teorii systemów. Rozważając zaprezentowane teorie i modele można zauważyć, że spełniają one wymagania w zróżnicowanym stopniu. Wspólną cechą dla wszystkich (z jednym wyjątkiem) jest hierarchiczność co do złożoności i wielkości systemu. Inną wspólną właściwością jest występowanie struktury na wszystkich szczeblach i w każdej skali.

Jest rzeczą oczywistą, że twórcy tych usystematyzowanych struktur mieli wspólne obszary zainteresowań, jakkolwiek postrzegane z różnych perspektyw. Będąc filozofami, socjologami biologami czy fizykami tworzyli swoje teorie systemów w odmiennych warunkach. Jednak fundamentalnym i wspólnym założeniem była możliwość powiązania pewnych głównych aspektów otaczającego świata, za pomocą niezliczonej ilości systemów w jeden racjonalny schemat.

Żadne zjawisko nie może być rozpatrywane w izolacji. Dlatego wszystkie teorie systemów są *strukturami objaśniającymi*, mającymi odniesienie do realnego świata. Jako wspomniane struktury objaśniające tworzą one pewne ramy dla metodologii systemowej, opisanej w kolejnych rozdziałach. Kolejną cechą wyróżniającą teorie systemów jest ich zainteresowanie *organizacją* jako taką, bez względu czego ona dotyczy.

Powszechną praktyką przy omawianiu teorii systemów jest rozpoczynanie od trzech autorów: Bouldinga, Millera i Beera. Wprowadzone przez nich łatwo przyswajalne pojęcia i słownictwo tworzą podstawy do dalszego zgłębiania innych teorii. Taki porządek prezentacji może być traktowany jako próba stworzenia podstaw, w postaci najbardziej ogólnych i przekrojowych teorii, na których można budować teorie bardziej wyspecjalizowane.

4.1. Boulding i jego Hierarchia Złożoności Systemów

Kenneth Boulding, którego możemy traktować jako jednego z ojców ruchu systemowego, opublikował w 1956 r. swoje klasyczne już dzieło pt. „Ogólna teoria systemów – kościec nauki” („General Systems Theory – The Skeleton of Science”). W publikacji tej wyraził swoje zaniepokojenie nadmierną specjalizacją nauki i brakiem komunikacji pomiędzy

poszczególnymi jej dziedzinami. Jako sposób na rozwiązanie tego dylematu proponuje on używanie interdyscyplinarnego języka pojęć oraz stworzenie teoretycznych systemów i konstrukcji według hierarchii złożoności. Powinien powstać „system systemów” możliwy do zastosowania we wszystkich dziedzinach. Ponieważ każda dyscyplina naukowa bada pewien rodzaj systemu to w celu stworzenia wspólnej metodologii, niezbędne jest ustanowienie klasyfikacji tych systemów.

Pierwszy poziom w hierarchii Bouldinga stanowią struktury statyczne i związki pomiędzy nimi, wg. jego terminologii **struktury** (frameworks). Przykładem niech będzie struktura atomów kryształu, anatomia genów, komórek, roślin czy organizacja wszechświata. Poziom drugi nazywamy **mechanizmami zegarowymi** (clockworks). Układ Słoneczny jest przykładem prostego, dynamicznego systemu z uprzednio określonym sposobem poruszania się. Do tej kategorii należą również maszyny jak silnik samochodowy czy dynamo oraz teoretyczne struktury w fizyce, chemii czy ekonomii – wszystkie one zmierzają do pewnego stanu równowagi.

Systemy cybernetyczne, zwane również mechanizmami sterującymi, stanowią poziom trzeci. Termostat lub zjawisko homeostazy są często używanymi przykładami tego poziomu, który charakteryzuje się sprzężeniem zwrotnym z transmisją i interpretacją informacji.

Szczebel czwarty to poziom **komórki** lub struktury samowystarczalnej. Ponieważ na tym etapie powstaje i rozwija się życie nazywamy go również poziomem systemu otwartego.

Poziom piąty możemy nazwać poziomem **rośliny** opisanej za pomocą procesów genetyczno – społecznych. Głównymi cechami tych procesów są zróżnicowanie i podział pracy oraz wzajemna zależność pomiędzy różnymi komponentami obydwu z nich. Ponieważ procesy życiowe na poziomie rośliny zachodzą bez udziału wyspecjalizowanych organów zmysłowych, reakcje na zmiany środowiska są powolne.

Poziom szósty to poziom **zwierzęcia**, gdzie głównymi charakterystykami są różne stopnie świadomości, teleologiczne zachowanie i zwiększona mobilność. Rozbudowany system wyspecjalizowanych czujników przekazuje poprzez system nerwowy ogromną ilość informacji do mózgu, gdzie jest ona przechowywana i systematyzowana. Reakcje na zmiany zachodzące w środowisku są prawie natychmiastowe.

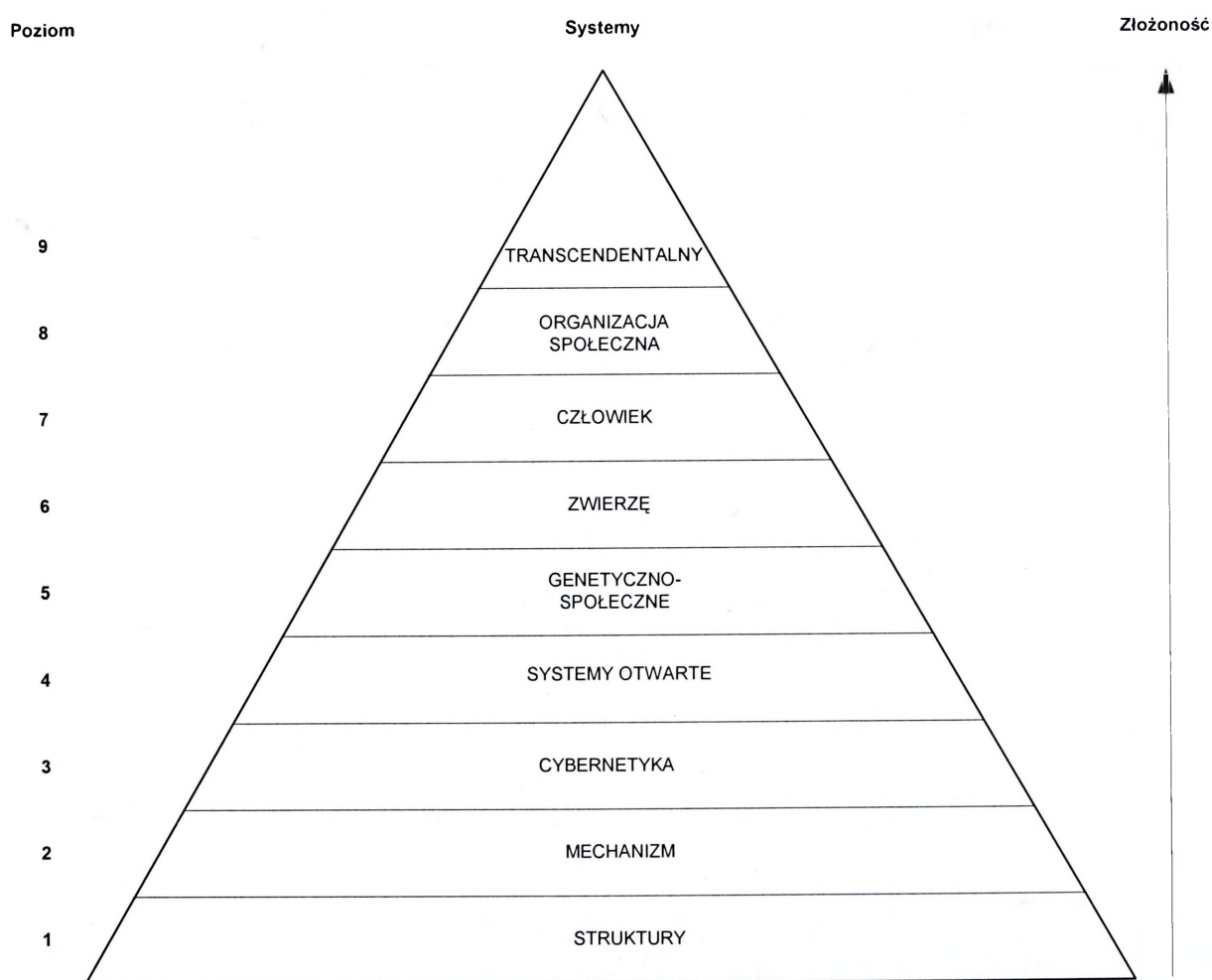
Poziom siódmy to **człowiek** – pojedynczy osobnik określany jako system. Różniący się od zwierząt posiadaniem własnej świadomości – człowiek nie tylko wie ale również wie, że wie. Konsekwencją tego jest świadomość własnej śmiertelności. Inną wyróżniającą cechą jest skomplikowany sposób porozumiewania się za pomocą języka oraz zestawu symboli,

umożliwiający gromadzenie wiedzy, przekazywanie jej od mózgu do mózgu i z pokolenia na pokolenie.

Poziom ósmy to **organizacja społeczna**. Rzadkością jest samotna istota ludzka, odizolowana od współtowarzyszy. Każda jednostka odgrywa na tym poziomie określoną rolę a czynnikiem wiążącym są kanały komunikacyjne. Ważne są także czynniki kulturowe jak sztuka, muzyka, historia czy wspólne wartości.

Ostatni, dziewiąty szczebel to poziom **transcendentalny** - niepoznawalny. Podczas gdy możliwe są jedynie spekulacje na temat jego struktury czy związków to z założenia ma on odzwierciedlać struktury i powiązania systemowe.

System systemów lub innymi słowy hierarchię złożoności przedstawia rys. 18.



Rys.18.

Przy bliższym przyjrzeniu się rysunkowi zauważymy, że pierwsze trzy poziomy należą do kategorii systemów fizycznych lub mechanicznych i są przedmiotem zainteresowania tych nauk. Poziom komórki, rośliny czy zwierzęcia to domeny biologów, botaników i zoologów. Następne dwa poziomy – człowiek i organizacje społeczne to obszary

zainteresowania nauk społecznych. Rozważania dotyczące natury i systemów transcendentálnych to przedmioty zainteresowania filozofii.

Jednym z motywów powstania hierarchii Bouldinga była chęć przedstawienia ówczesnego stanu wiedzy naukowej. Istniały oczywiście modele teoretyczne do poziomu komórki włącznie. Modele wyższych poziomów istniały w formie szcążkowej. Boulding podkreślił lukę pomiędzy modelami teoretycznymi a ich empirycznymi odnośnikami. Innym pomysłem było pozyskiwanie cennej wiedzy poprzez stosowanie wiedzy o systemach niższego poziomu do problemów wyższego poziomu. Jest to możliwe, gdyż każdy z poziomów zawiera wszystkie poziomy niższego rzędu.

W 1985 r. Boulding wydał kolejną książkę „Świat jako system totalny” („The World as a Total System”) w której przedstawił nową jedenastostopniową hierarchię systemów, nadając poszczególnym poziomom nieco inne nazwy i znaczenie. Pierwszą i najbardziej podstawową kategorią jest struktura. Kolejne kategorie zawierają opis systemów dynamicznych, to jest zmieniających się w funkcji czasu. Końcowa kategoria obejmuje systemy objaśniające, które oprócz modelowych struktur w czasie i przestrzeni wyjaśniają szereg podstawowych prawidłowości. W nowej hierarchii możemy również znaleźć poziomy złożoności oraz regulację i sterowanie różnymi podsystemami. Wszystkie poziomy znajdują swoje odpowiedniki w świecie rzeczywistym.

Poziom pierwszy składa się z **systemów mechanicznych** sterowanych za pomocą prostych połączeń i zaledwie kilku parametrów. Wspomniane połączenia są w sensie matematycznym bardzo rzadko bardziej skomplikowane od równań trzeciego stopnia. Przykładami mogą być zasada powszechnego ciężenia, prawo Ohma, prawo Boyle’a itp..

Poziom drugi to **systemy cybernetyczne**, bardziej skomplikowane i zmierzające do stanu równowagi poprzez ujemne sprzężenie zwrotne. Takie procesy, pod nazwą homeostazy, zachodzą w osobnikach żywych i są zależne od przetwarzania informacji.

Poziom trzeci to **systemy z dodatnim sprzężeniem zwrotnym**. Dzięki naturze dodatniego sprzężenia zwrotnego nie żyją one zbyt długo, przyspieszają w kierunku upadku. Im szybciej płonie las, tym wyższa staje się jego temperatura, im więcej osobnik uczy się tym łatwiej mu uczyć się więcej. Również ewolucja może być przykładem antyentropicznego procesu z dodatnim sprzężeniem zwrotnym.

Poziom czwarty to **systemy kreodyczne** (od greckiego „konieczna ścieżka”). Są to wszystkie systemy zmierzające do celu, który możemy nazwać w pewnym sensie zaplanowanym, ich działanie jest kierowane za pomocą pewnego wstępnego planu. Jako

ilustracje mogą posłużyć morfogeneza rozwoju jajka do postaci kury czy ekonomia społeczeństw.

Poziom piąty to **systemy reprodukcyjne**, które powodują, że instrukcje genetyczne kierują zarówno wzrostem jak i reprodukcją. Proces reprodukcyjny ma miejsce w organizacjach społecznych. Mowa oraz materiały drukowane rozprzestrzeniają idee, członek organizacji jest awansowany a następnie przechodzi na emeryturę lub jest zwalniany – jest zastępowany innym.

Poziom szósty dotyczy **systemów demograficznych**, składających się z populacji systemów reprodukcyjnych. Populacja jest zbiorem porównywalnych obiektów, niekoniecznie identycznych, lecz na tyle podobnych by utworzyć znaczącą klasyfikację. Populacja biologiczna wzrasta poprzez narodziny i zmniejsza się poprzez umieranie.

Poziom siódmy to **systemy ekologiczne**, składające się z pewnej liczby interaktywnych populacji różnych gatunków. Wielkość populacji określają jej własna struktura oraz wielkość populacji współzawodniczących. Jeżeli w określonym środowisku populacji jedna z nich osiągnęła stan równowagi, mówimy, że znajduje się w niszy ekologicznej. Ekologiczne interakcje pomiędzy populacjami mogą przybierać formę *wzajemnej współpracy, współzawodnictwa lub grabieży*.

Poziom ósmy to **systemy ewolucyjne**, zarówno ekologiczne, zmieniające się pod wpływem selekcji i mutacji jak i sztuczne podlegające w przenośni tym samym wpływom. Fakt, że systemy ewolucyjne zawsze zmiernają w kierunku coraz to większej złożoności możemy zauważyć na przykładzie pojawiania się ludzkiej świadomości lub rozwoju miast.

Poziom dziewiąty – **systemy ludzkie**, różnią się od pozostałych systemów żywych dzięki wyjątkowej zdolności mózgu do przetwarzania informacji. Rozpoznawanie zaawansowanych form, komunikacja za pomocą mowy i pisma, używanie wyszukanych przedmiotów są czynnikami wyróżniającymi.

Poziom dziesiąty to **systemy społeczne**, będące skutkiem oddziaływania pomiędzy istotami ludzkimi i/lub wytworzonymi przez nie przedmiotami. Powstają one dzięki zdolności umysłu ludzkiego do tworzenia wyobrażeń i przekazywania skomplikowanych pojęć pomiędzy umysłami. Najważniejszą rolę odgrywa interaktywny proces uczenia się, wykorzystujący różne rodzaje doświadczeń i ocen komunikujące się w ramach systemu. Oddziaływania te możemy zakwalifikować jako *zagrożenie, wymianę* lub *integrację*. Działania społeczne mogą mieć charakter systemów ekonomicznych, politycznych, towarzyskich czy integracyjnych. Procesy mutacji i selekcji mają zastosowanie zarówno do jednostek ludzkich jak i wytwarzanych przez nie produktów. Biologiczna koncepcja niszy

również tu znajduje zastosowanie. Samochody wypełniają każdą wolną przestrzeń na całym świecie, Coca Cola skutecznie współzawodniczy z ogromną ilością innych dostępnych napojów.

Systemy społeczne i zachodzące w nich zjawiska zostały szczegółowo opisane przez Bouldinga w książce „Ekodynamika”, wydanej w 1978 r.

4.2. Beer i jego Model Systemu Zdolnego do Życia

Model Systemu Zdolnego do Życia (Viable System Model – VSM) został po raz pierwszy zaprezentowany w 1972 roku, przez *Stafforda Beera* w jego książce „Mózg przedsiębiorstwa” („Brain of the Firm”). Model VSM jest mniej więcej tak skomplikowany, jak jego prototyp czyli ciało człowieka, składa się z elementów analogicznych do kończyn, kręgosłupa, nerwów, centrów nerwowych i mózgu. Części te stanowią pięć podsystemów zarządzających. System nerwowy, jako instrument decydujący o przeżyciu organizmu, zmuszony jest do przetwarzania nadmiaru informacji oraz regulowania ogromnej ilości zmiennych. Biorąc jego sposób działania za punkt wyjścia, Beer nazywa swój model *neurocybernetycznym*, co odnosi się do systemu połączeń i przepływu informacji w ramach firmy. Obieg informacji przekazywanej różnymi kanałami pomaga w zrozumieniu zarówno działania organizacji jako całości jak i poszczególnych jej elementów w odniesieniu do założonego celu.

System Zdolny do Życia jest samonaprawialny, posiadający świadomość, powtarzalny i podtrzymujący tożsamość. Zgodnie z teorią Beera struktura i zasady działania systemu nerwowego mogą być zastosowane do dowolnego rodzaju organizacji w celu jej uporządkowania, dostosowania, nauczania czy rozwoju. Jeżeli działanie jest nieprawidłowe, możemy założyć, że reguły cybernetyczne są łamane. Według słów Beera organizacje funkcjonują w bardzo skomplikowanej rzeczywistości – „okropnym bałaganie”. W celu sprawnego zarządzania menedżerowie muszą zahamować rozwój „bałaganu”, stosując podstawowe zasady przedstawione w modelu w oparciu o funkcję kontrolną (sterującą) i pojęcie **różnorodności/zmienności** (variety). W celu rozwiązywania złożonych organizacyjnie i różnorodnych problemów możemy wykorzystać fakt, że różnorodność neutralizuje różnorodność. Toteż zgodnie z **prawem wymaganej różnorodności**, różnorodność jednostki sterującej musi być co najmniej taka sama jak systemu zarządzanego. Zasadnicze zmniejszenie różnorodności jest możliwe poprzez powielanie organizacyjne

(organizational recursion), które zakłada, że każdy poziom systemowy jest kopią organizacyjną swego metasytemu.

W pewnych sytuacjach różnorodność musi podlegać wzmocnieniu a w innych tłumieniu, stąd terminy **wzmacniacz** (amplifier) i **tłumik** (attenuator). Wymagany jest także **przetwornik** (transducer), który spełnia rolę translatora pomiędzy granicami poszczególnych podsystemów.

Posługując się powyższymi pojęciami Beer sformułował cztery reguły, które muszą być spełnione przez organizacje zdolne do życia.

- **Pierwsza reguła organizacji.**

Różnorodność / zmienność, rozprzestrzeniając się w systemie instytucjonalnym zmierza do stanu zrównowżenia, powinno się to odbywać jak najmniejszym kosztem i szkodą dla zespołu ludzkiego.

- **Druga reguła organizacji.**

Kanały informacyjne pomiędzy jednostką zarządzającą, działaniem i środowiskiem muszą mieć większą pojemność od tworzonego podsystemu.

- **Trzecia reguła organizacji.**

Informacja transmitowana w kanale, przekraczając granice systemów podlega przetworzeniu, różnorodność przetwornika musi być co najmniej odpowiadająca różnorodności kanału.

- **Czwarta reguła organizacji.**

Działanie trzech pierwszych reguł musi być bez przerw lub opóźnień powtarzane w czasie.

Ponadto, każda organizacja zdolna do życia składa się z pięciu podsystemów opisanych poniżej. **System Jeden** odnosi się do jednostek, którymi mamy zarządzać. Przykładem niech będą departamenty w firmie czy organizacje pomocnicze w przedsiębiorstwie.

Audyt jest typowym przykładem **Systemu Dwa**, który działa w obszarze Systemu Jeden i tworzy pomost do Systemu Trzy.

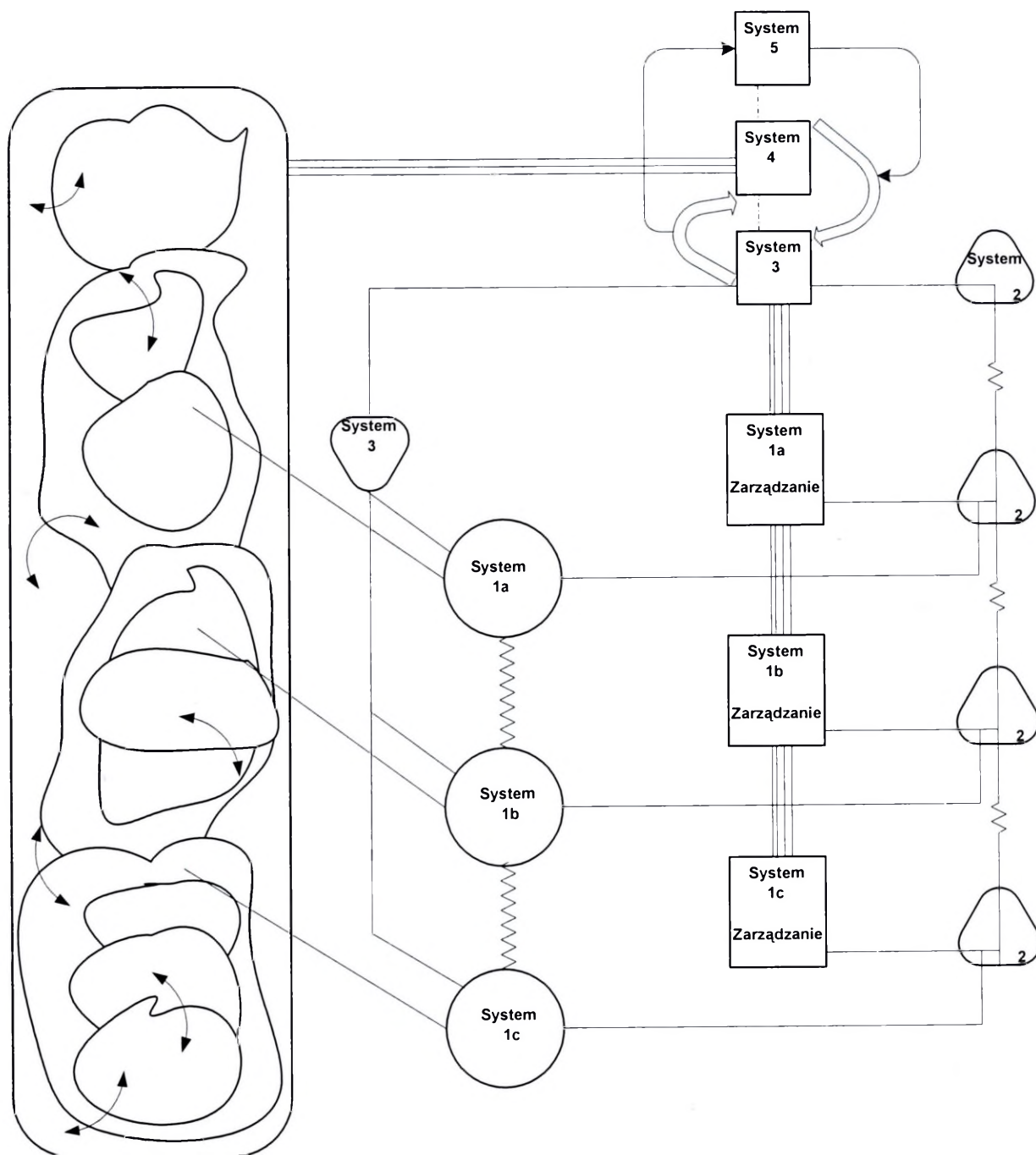
System Trzy to „tu i teraz” danego przedsiębiorstwa. Jego funkcjonalnymi składnikami są zwykle marketing, księgowość, kadry itp.. Dwa podstawowe zadania systemu to utrzymanie wewnętrznie spójnej infrastruktury i konfiguracji Systemu Jeden. Zajmuje się on również przetwarzaniem decyzji podejmowanych na wyższych szczeblach zarządzania i przydzielaniem zasobów dla poszczególnych elementów Systemu Jeden.

System Cztery to forum dla „przyszłości i zmian”. Podczas gdy System Trzy zajmuje się wewnętrznymi sprawami przedsiębiorstwa, System Cztery obejmuje sferę zewnętrzną, kontakty z innymi firmami, prace badawczo rozwojowe i planowanie. Przyszłość nie zdarza się tak po prostu – ona musi być projektowana.

Dystrybucja informacji pochodzącej ze środowiska do i od poszczególnych podsystemów, w zależności od kategorii ważności, to również zadanie Systemu Cztery. Pilne informacje czy „sygnały alarmowe” pochodzące z niższych szczebli muszą być odbierane i przekazywane do Systemu Pięć.

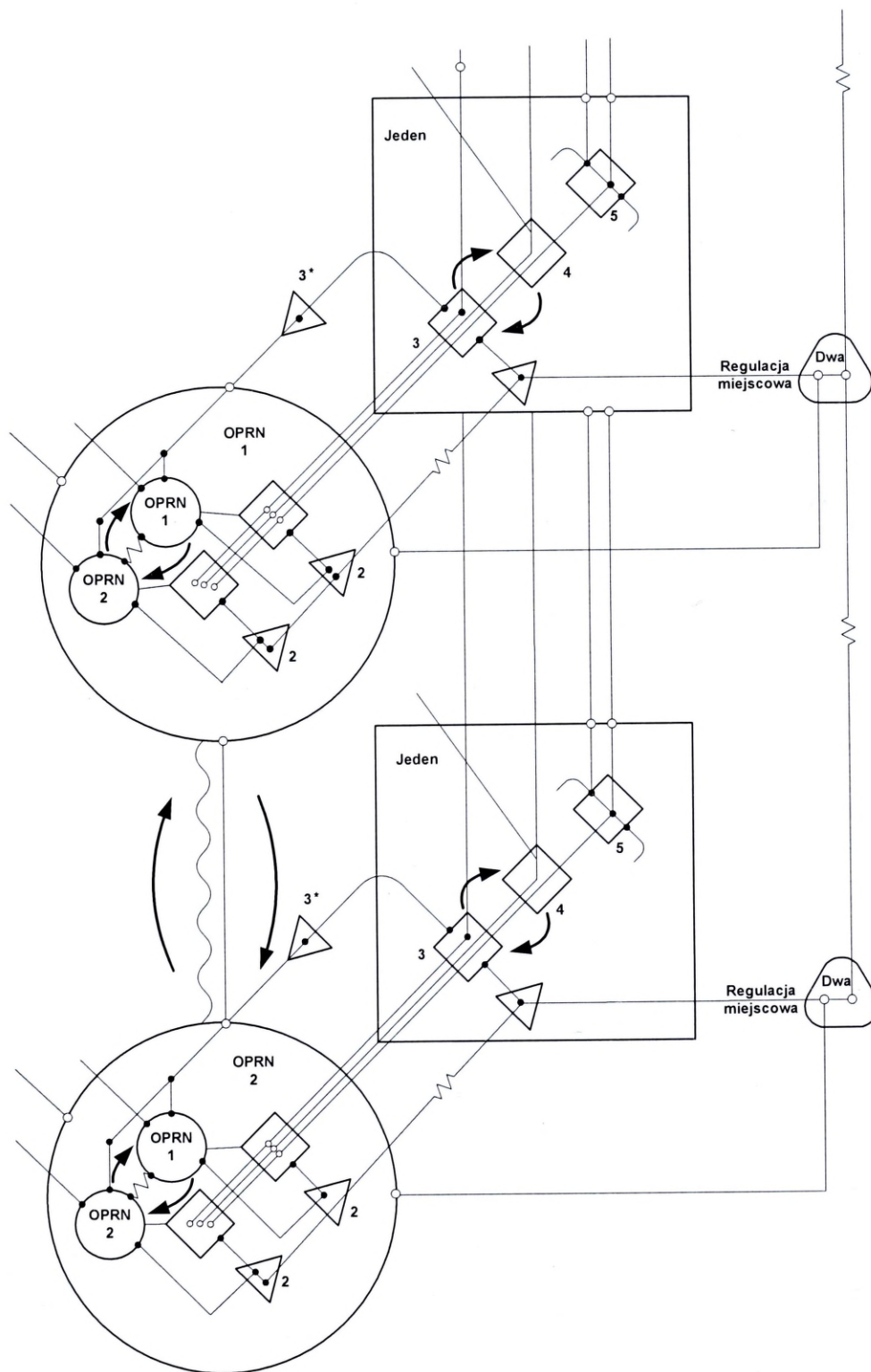
System Pięć to ostatni, zamykający szczebel modelu. Zadaniem jego jest monitorowanie działania Systemów Trzy i Cztery. Ten metapoziom odpowiada za politykę przedsiębiorstwa i inwestycje w zakresie infrastruktury. Przykładem są udziałowcy, generalni zarządcy czy rady dyrektorów korporacji międzynarodowych. System Pięć reprezentuje „całokształt systemu”. Ponieważ odpowiada on tylko na najważniejsze sygnały (pozostałe podlegają filtracji na niższych poziomach) jego odpowiednikiem w organizmie człowieka może być kora mózgowa.

Schemat pełnego pięciopoziomowego modelu Beera przedstawia rys. 19.



Rys. 19.

Dla pełnego zrozumienia powyższego schematu niezbędne jest zapoznanie się z **Twierdzeniem o Systemach Powtarzalnych**. Według słów Beera „każdy system zdolny do życia zawiera i jest zawarty w systemie zdolnym do życia”. Aby zrozumieć ten fenomen należy rozważyć trzy systemy zdolne do życia: organizację, która jest przedmiotem naszych badań, organizację w której skład ona wchodzi i wreszcie zespół organizacji; które ona zawiera. Najważniejszą cechą systemu zdolnego do życia jest zdolność do odwoływania się do samego siebie (*self-reference*), jak ilustruje to rys. 20. Proszę zauważyć, że połączenia pomiędzy powtarzającymi się parami są identyczne. Każda organizacja w poprawny sposób przypisana do określonego poziomu powtarzalności należy również do pewnej liczby innych poziomów.



Rys. 20.

4.3. Taylor i jego Model Systemów Geopolitycznych

Geopolityka jako dyscyplina naukowa próbuje wyjaśnić wpływ czynników geograficznych na zjawiska socjokulturowe i polityczne. W obszarze tym powstało bardzo wiele modeli teoretycznych. *Alastair Taylor*, profesor geografii i nauk politycznych Kanadyjskiego Uniwersytetu Królewskiego, jest autorem jednego z mniej wyspecjalizowanych i łatwiejszych do zrozumienia.

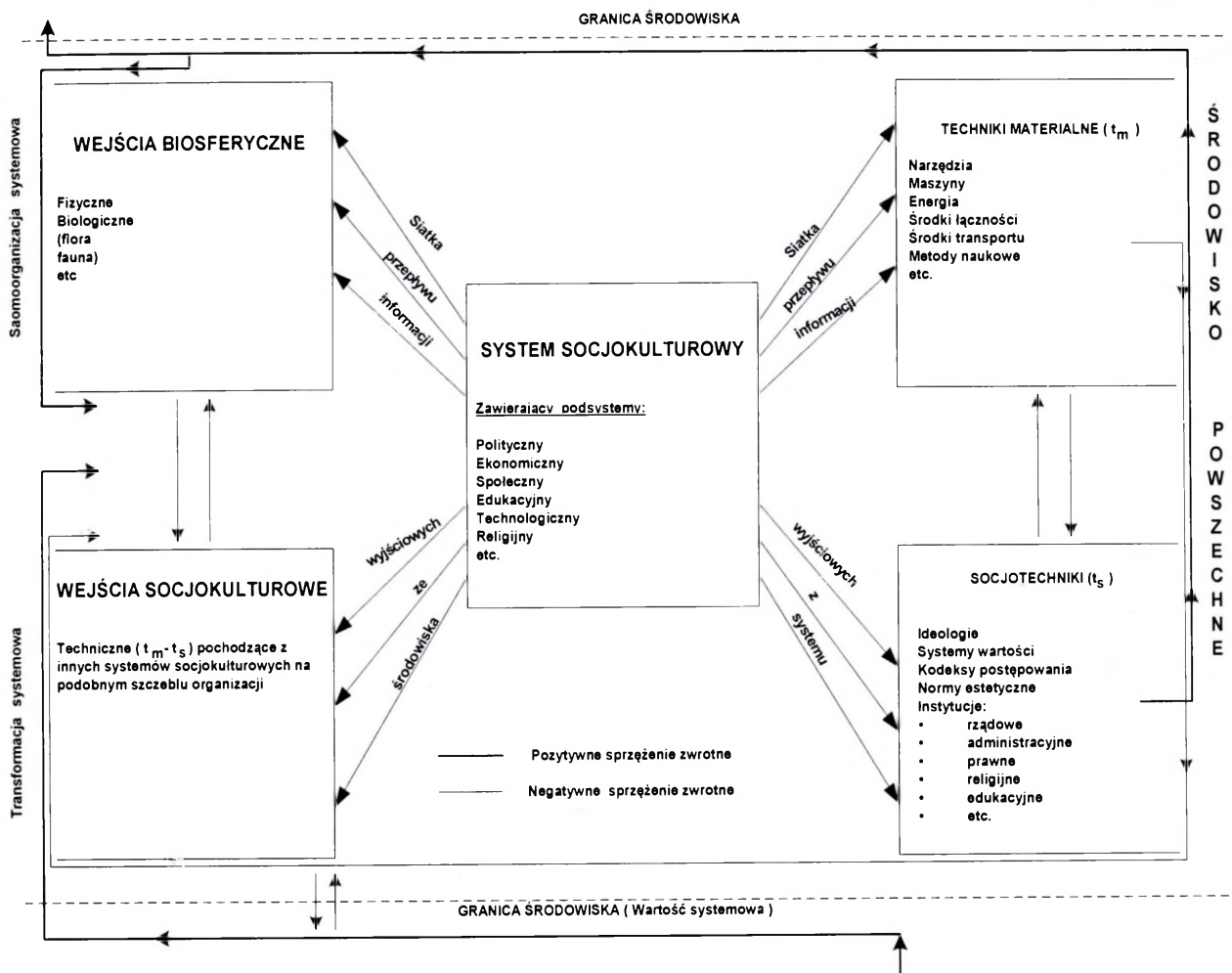
Model Taylora składa się z dwóch części: poziomu organizacji i mechanizmów regulacyjnych. Został on zaprojektowany głównie w celu wyjaśnienia skoków ilościowych w rozwoju społecznym na przestrzeni historii ludzkości, poprzez korelację określonych poziomów organizacji społecznych i politycznych z różnymi stadiami kontroli nad środowiskiem.

Pierwsza część modelu zawiera następujące zjawiska:

- poziomy organizacji społeczno - kulturalnych;
- procesy ukazujące samo-stabilizację w ramach danego poziomu organizacji i integracji;
- transformacje systemowe, skutkujące skokami społeczno - kulturowymi ponad granicami środowiskowymi.

Druga część modelu ukazuje wagę procesów, zarówno dodatniego jak i ujemnego sprzężenia zwrotnego i wzajemnego oddziaływania pomiędzy nimi na wszystkich poziomach organizacji społeczno- kulturowych. Rys. 21 obrazuje następujące zjawiska:

- wejścia biosferyczne i społeczno-kulturowe od strony środowiska;
- funkcjonowanie istniejącego systemu jako przetwornika dla podsystemów;
- regulacje wyjść społecznych i materialnych za pomocą dodatniego i ujemnego sprzężenia zwrotnego.



Rys. 21.

Na modelu tym możemy zaobserwować w jaki sposób techniki społeczne i materialne wpływają na transformacje i samostabilizację systemu. Samostabilizacja jest oznaczona jako Cybernetyka 1, natomiast transformacja jako Cybernetyka 2.

Ważniejsze transformacje systemowe zawsze implikują przyrost gromadzonej informacji, przetwarzanej na wiedzę oraz zwiększenie ogólnego poziomu negentropii. Tym sposobem, możliwości sterowania systemem rosną, pozwalając na przekraczanie istniejących granic i urastają do nowego poziomu organizacji społecznej. Taylor następująco zdefiniował ten rodzaj dodatniego sprzężenia zwrotnego: „kwantyzacja zachodzi wtedy, gdy odchylenie wzrasta do poziomu niemożliwego do skorygowania przez mechanizmy sterujące i następuje przerwanie granic systemu, utrzymanie i skanalizowanie wygenerowanej energii i nacisku w wymienionych granicach jest niemożliwe”.

Transformacja z dodatnim sprzężeniem zwrotnym działa na dwa sposoby: jako rozwój i samo-organizacja oraz zmiana systemowa z kwantyzacją środowiska. Przykładem tej pierwszej może być społeczność Eskimosów, wykazująca zaawansowane możliwości

posługiwania się dostępną na dalekiej Północy techniką i potencjałem środowiska. Używając ognia i pewnych użytecznych narzędzi osiągnęli stan nisko-energetycznej życiowej symbiozy z ekstremalnym środowiskiem.

Transformacja systemowa poprzez dostęp do nieskomplikowanych narzędzi zachodziła w mezozoicznej Azji. Wprowadzenie kamiennego sierpa, uprawa pszenicy i jęczmienia oraz udomowienie zwierząt stworzyło zjawisko „rewolucji neolitycznej”. W tym okresie powstały nowe formy organizacji społecznych, lepszy podział pracy i zwiększona produkcja żywności. Czynniki te przyczyniły się do zwiększenia populacji.

Bardziej znaczący skok kwantyzacyjny miał miejsce w starożytnych Chinach i Egipcie. Nadwyżka żywności oraz sprzyjające środowisko otworzyły drogę do „rewolucji urbanistycznej”. Zjawisko to charakteryzowało się rozwojem miast, ulepszoną administracją i podziałem społeczeństwa na klasy. Wczesne cywilizacje rozlokowane wzdłuż rzek opanowały uprawę ziemi i rozwinęły hydrotechnikę, co dało początek pojęciu miasta.

4.4. Klir i jego Ogólne Rozwiązywanie Problemów Systemowych

Klasyfikacja systemów wg *Georgea Klira* ma na celu dostarczenie opartego na pragmatycznych podstawach podziału, użytecznego w różnych zastosowaniach naukowych i technicznych. Po raz pierwszy została ona przedstawiona w publikacji „Architektura Rozwiązywania Problemów Systemowych”, która ukazała się w 1985r. Praktycznym zastosowaniem teorii jest opisany w ww. pracy system komputerowy – **General Systems Problem Solver – GSPS**.

Teoria Klira oparta jest o ściśle podstawy matematyczne (nie będące przedmiotem niniejszego opracowania) i dla pełnego zrozumienia wymaga pewnego doświadczenia w zakresie matematycznego myślenia. Przed sformułowaniem definicji systemu autor identyfikuje pewne jego cechy. Cechy te są gromadzone za pomocą zmiennych, takich jak zachowanie czy stany, a następnie formalizowane i klasyfikowane. Stosowna hierarchia składa się z co najmniej pięciu zasadniczych poziomów, postrzeganych z następujących perspektyw: badacz i jego środowisko, badany obiekt i jego środowisko oraz interakcje pomiędzy badaczem a obiektem. Każdy poziom uosabia i uzupełnia wszystkie niższe szczeble w hierarchii.

Poziom zerowy, zwany również *systemem źródłowym* jest określony przez interakcje pomiędzy badaczem a obiektem. Interakcje te częściowo podlegają wpływom preferencji

badacza, powinny jednak obejmować następujące aspekty: definicje zbioru zmiennych, zbiór potencjalnych stanów każdej ze zmiennych oraz opis znaczenia każdej ze zmiennych z jej stanami. Zmienne muszą zostać podzielone na *podstawowe* (basic) i *wspierające* (supporting).

Zmienne podstawowe mogą być zarówno wejściowymi jak i wyjściowymi i należą do *systemów kierowanych* (*directed systems*). Systemy pozbawione zmiennych podstawowych są nazywane *systemami neutralnymi* (*neutral systems*). Wszystkie zmienne wspierające tworzą wspólnie zbiór wsparcia, w obrębie którego następują zmiany stanów zmiennych podstawowych. Przykładami często stosowanych zmiennych wspierających są przestrzeń, czas lub zbiory jednostek tego samego typu (produktów, ludzi itp.). Jak wynika z nazwy poziom zerowy jest źródłem empirycznych danych dotyczących cech obiektu naszego zainteresowania.

Poziom pierwszy uzupełnia system źródłowy o dane dotyczące zmiennych, które z tego powodu często nazywamy danymi systemowymi. Poziom ten obejmuje wiedzę szczebla zerowego wzbogaconą o dodatkową, dostępną na poziomie pierwszym. Dane są pozyskiwane za pomocą pomiarów i obserwacji lub pochodzą z definicji określonych stanów.

Poziom drugi (i wszystkie wyższe poziomy) posiada wiedzę o niezmiennych, wzajemnych charakterystykach wsparcia (*support-invariant relational characteristics*), wewnętrznych zmiennych generujących dane dotyczące warunków granicznych. Niezmiennosc powoduje, że zmiany w zbiorze wsparcia nie powodują zmian pewnych cech definiujących działanie zbioru danych. Relacja niezmiennego wsparcia (*support-invariant relation*) opisuje proces generacji stanów podstawowych zmiennych zbioru wsparcia. Z tych powodów poziom trzeci jest jednym z systemów twórczych (*generative systems*).

Poziom trzeci należy do systemów struktury i jest definiowany jako zbiór systemów twórczych, również zwanych podsystemami systemu ogólnego. Podsystemy wspólnie wykorzystują zmienne i oddziałują wzajemnie na różne sposoby.

Poziom czwarty opisywany jako *metasystem*, składa się ze zbiorów systemów poziomów 1, 2 i 3 oraz niezmiennych metacharakterystyk wsparcia. Systemy niższych szczebli muszą pochodzić od tego samego systemu źródłowego.

4.5. Laszlo i Systemy Naturalne

Węgierski filozof *Ervin Laszlo* jest autorem wielu książek z dziedziny filozofii systemów. W jednej z nich „*Wstęp do Filozofii Systemów*” (*Introduction to Systems*

Philosophy), wydanej w 1972 r. przedstawił pojęcie **Systemów Naturalnych**. Podobnie jak wielu innych filozofów zwrócił się on najpierw ku metafizyce, aby uzyskać odpowiedź na pytania zasadnicze dotyczące rzeczywistości. Laszlo twierdzi, że w przeciwieństwie do religii, tezy metafizyki oparte są na wewnętrznej spójności i prostocie – elegancji.

Laszlo rozpoczyna od dwóch podstawowych tez:

- Świat istnieje;
- Świat jest, co najmniej w pewnym względzie, zrozumiale uporządkowany (otwarty na racjonalne poznawanie).

Dla Laszlo pojęcie porządku posiada swoje własne, wewnętrzne piękno. Porządek uznaje on za najwyższy ideał umysłu ludzkiego i dlatego porządek myśli jest bodźcem dla istnienia nauki. Podobnie porządek uczuć inspiruje sztukę a porządek egzystencjalny staje się motorem napędowym religii. Można również założyć, że ponad aktualną ludzką wiedzą i doświadczeniem istnieje pewien racjonalny porządek świata.

Dwie tezy drugiego rzędu stanowią kontynuację rozważań Laszlo:

- Świat jest zrozumiale uporządkowany w specjalnych domenach;
- Świat jest zrozumiale uporządkowany jako całość.

W świecie tym zjawiska fizyczne są postrzegane jako systemy, zgodnie z nowoczesną

mechaniką czy teorią pól ze złożonymi, pomocniczymi modelami, takimi jak podsystemy widziane z perspektywy chemii. Ich odpowiedniki w biologii to organizmy tworzące kontinuum, oddzielone relatywnymi granicami od większych systemów, jak ekologie kontynentalne czy systemy społeczne. Wychodząc z powyższych założeń Laszlo układa wszystkie systemy w dwóch różnych płaszczyznach: makrohierarchii i mikrohierarchii.

W makrohierarchii, gdzie siły grawitacji odgrywają ewolucyjną rolę, możemy znaleźć następujące obiekty astronomiczne:

- Planety i ich satelity;
- Gwiazdy;
- Konstelacje gwiazd;
- Galaktyki;
- Konstelacje galaktyk.

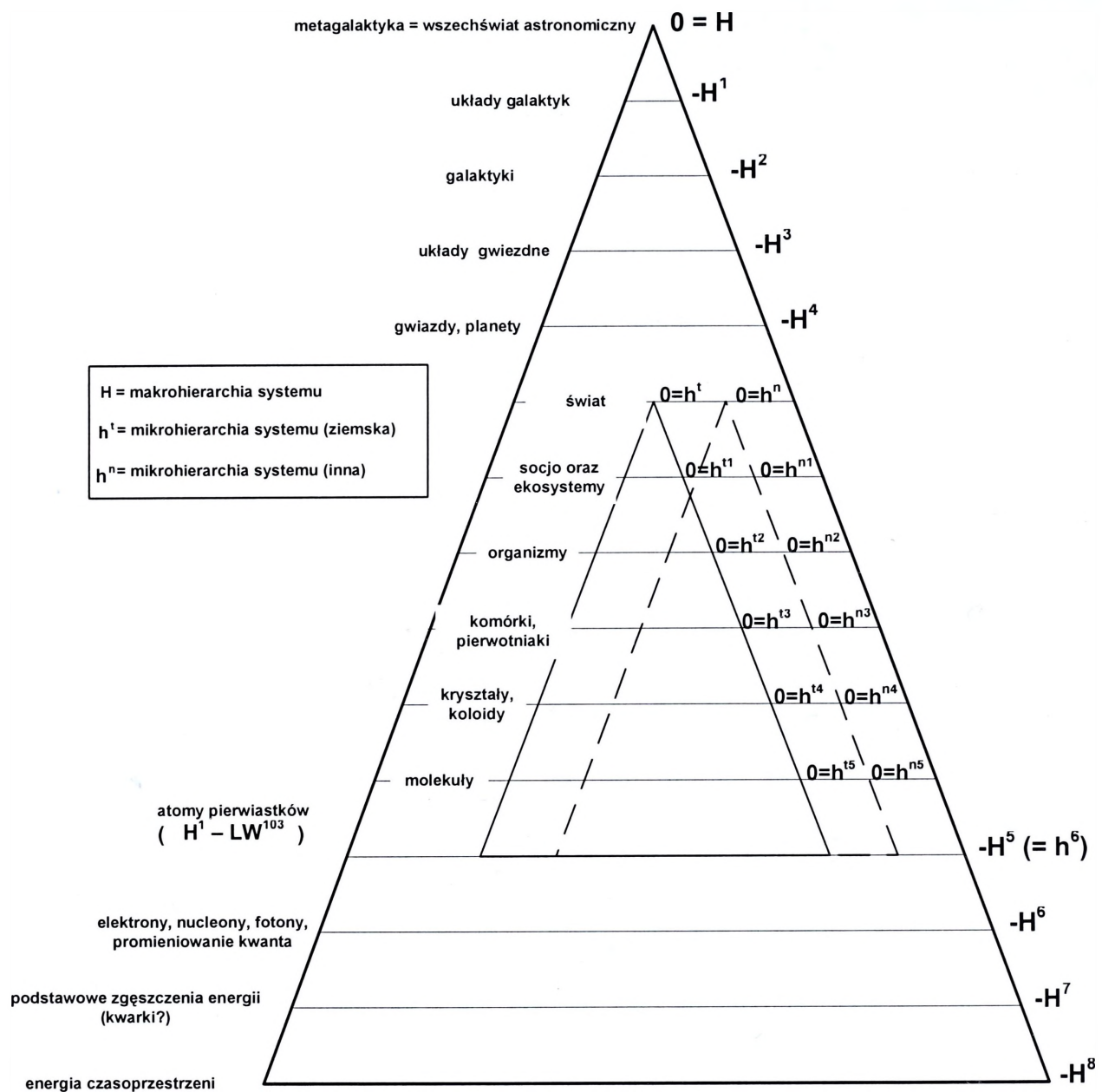
W *mikrohierarchii*, gdzie wpływy wywierają siły związane z elektrycznością, znajdujemy jednostki fizyczne, chemiczne, biologiczne, ekologiczne i socjologiczne.

- Atomy;

- Molekuły;
- Mieszanki molekularne;
- Kryształy;
- Komórki;
- Organizmy wielokomórkowe;
- Wspólnoty organizmów.

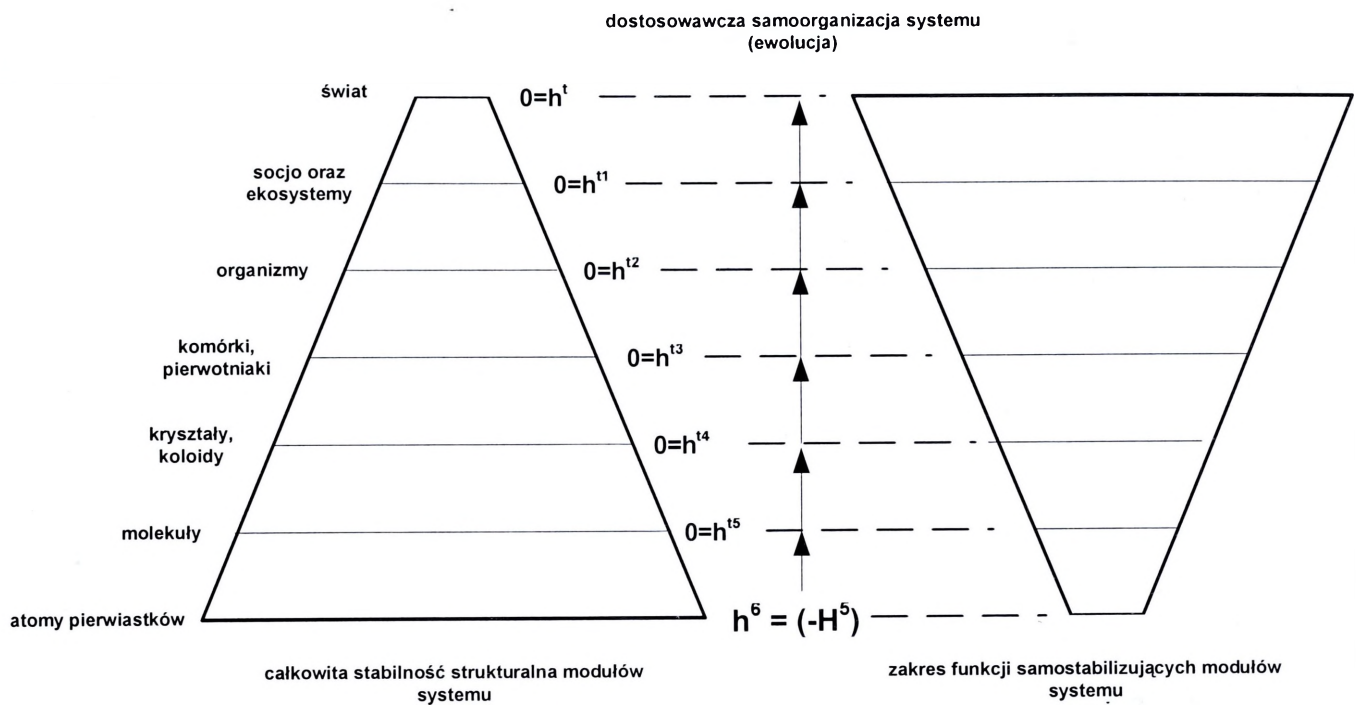
Podczas, gdy posiadamy jedynie szczątkową wiedzę na temat makrohierarchii to wiedza naukowa na temat mikroewolucji jest rozległa. Podział wszechświata na planety, gwiazdy i galaktyki nie jest jak dotąd całkowicie wyjaśniony. Nie znamy również dokładnej liczby poziomów obserwowalnego wszechświata ani racjonalnych dowodów na jego nieskończoność.

Na rys.22 widzimy teoretyczną, hierarchiczną organizację przyrody będącą rezultatem nałożenia mikrohierarchii na makrohierarchię. Obie hierarchie krzyżują się na poziomie atomu. Ten zintegrowany model został przez Laszlo nazwany *Systemami Naturalnymi (Natural Systems)*.



Rys. 22

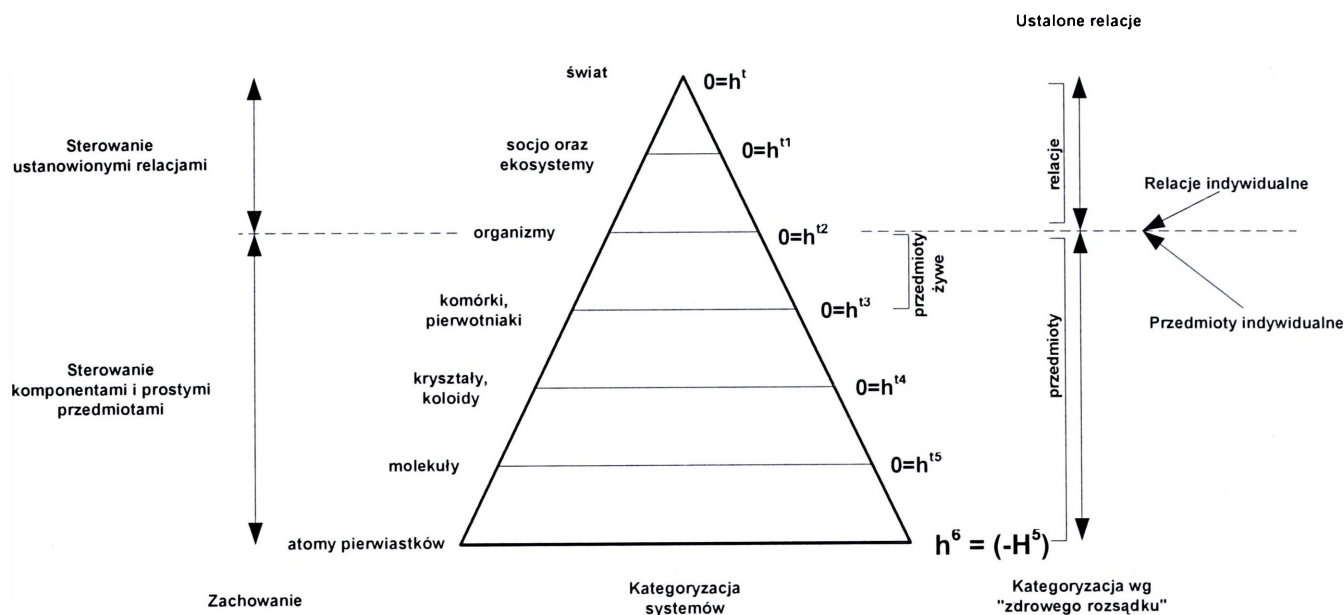
Rozwój systemów naturalnych od poziomów prostych do bardziej złożonych następuje według adaptacyjnej samo-organizacji, nieuchronnie prowadzącej do znanych systemów biologicznych i psychologicznych. Samo-organizacja ze swym rosnącym poziomem skomplikowania obniża stabilność systemu. Dlatego gwałtowna dezorganizacja jest bardziej prawdopodobna na wyższych poziomach systemu. Odwrotną relację pomiędzy złożonością strukturalną a samo-stabilnością możemy zaobserwować na rys. 23



Rys 23

Im wyżej wspinamy się po hierarchicznej drabinie, tym większe jest zróżnicowanie funkcji i właściwości, pomimo że ilość systemów maleje. Atomy występują w większej liczbie niż molekuly, lecz mają mniej odmian strukturalnych i mniej właściwości od tych drugich. Pomimo, że organizmów jest mniej niż molekuł to przedstawiają one ogromnie większy zakres funkcji i właściwości. Laszlo wskazuje, że ponad milion istniejących gatunków roślin i zwierząt jest przykładem możliwego zróżnicowania. Liczba istniejących ekosystemów czy społeczeństw jest znacznie mniejsza od ilości organizmów, ale ilość ich odmian i cech dalece przewyższa tę, którą możemy przypisać pojedynczemu organizmowi lub ich małej grupie.

Badając systemy naturalne zauważymy, że składają się one zarówno z *przedmiotów (things)* jak i *związków (relationships)*. Na rys. 24 przedstawiono pojęcie przedmiotów i związków w odniesieniu do poziomów mikrohierarchii. Rzeczy usytuowane poniżej, lecz blisko poziomowi człowieka, są stosunkowo łatwe do objęcia umysłem, powyżej tego poziomu rzeczy mają tendencje do wymykania się spod kontroli umysłu i przekształcania się w związki. Na znacznie niższych poziomach hierarchii rzeczy są tylko zbiorami mniejszych jednostek - kryształy składają się z molekuł. Związki stają się coraz to słabsze gdy przekroczymy poziom człowieka. Nasze związki z ludzkością są znacznie bardziej rozproszone niż te z najbliższym sąsiadem.



Rys. 24.

4.6. Checkland i Typologia Systemów

Peter Checkland, brytyjski profesor nauk systemowych, opublikował swą książkę „Myślenie systemowe, praktyka systemowa” („Systems Thinking Systems Practice”) w 1982 roku. Książką tą dołączył do grona naukowców tworzących hierarchię systemów naturalnych, w tym przypadku zwaną Typologią Systemów. Według Checklanda do opisu otaczającej nas rzeczywistości potrzebne są co najmniej cztery klasy systemów: *systemy naturalne*, *systemy w obszarze działalności człowieka*, *zaprojektowane systemy fizyczne* i *zaprojektowane systemy abstrakcyjne*. Systemy naturalne dostarczają możliwość badania, opisywania i uczenia się, systemy będące przedmiotem działalności człowieka mogą być budowane, zaś systemy projektowane mogą być tworzone i wykorzystywane.

Rozpocznijmy od systemów naturalnych. Checkland definiuje je jako „systemy, które nie mogą być innymi niż są, weźmy wszechświat, którego modele i prawa nie są niekonsekwentne”. Ich źródłem są źródła wszechświata i procesy ewolucji. W obrębie systemów naturalnych istnieje oczywista hierarchia od atomów do molekuł. Związki molekuł dają początek hierarchii branżowej.

Systemy subatomowe.

Systemy atomowe.

Systemy molekularne.

stanowią przyczynek dla

Systemów nieożywionych	i	Systemów Żywych
- Kryształy nieorganiczne		- Jednokomórkowce
- Skały		- Rośliny
- Minerale		- Zwierzęta
		- Ekologie

Kolejnym ważnym poziomem rozważań są **systemy aktywności człowieka**, które wykazują tendencję do integrowania się w taki sposób, że mogą być widziane jako całość. Najczęściej towarzyszą im inne (projektowane) systemy. Przykładem niech będzie przemysł paliwowy ze swymi szybami naftowymi, tankowcami i systemem dystrybucji. Spośród ogromnej liczby systemów w obszarze aktywności człowieka wymieńmy kilka najbardziej typowych:

- Rolnictwo;
- Obronność;
- Handel;
- Transport.

Jednak najbardziej podstawowym pozostaje system społeczny reprezentowany przez rodzinę, plemię, klan itp.. Typową cechą systemu społecznego jest podstawowa potrzeba wzajemnego wspierania się w ramach społeczności. System społeczny ze swą zcentralizowaną strukturą należy zarówno do grupy systemów naturalnych jak i systemów aktywności człowieka.

Projektowane systemy fizyczne możemy zdefiniować jako systemy wymyślone dlatego, że potrzeba ich istnienia została określona w jakimś obszarze ludzkiej działalności. Do tej kategorii należą:

- Pojedyncze narzędzia;

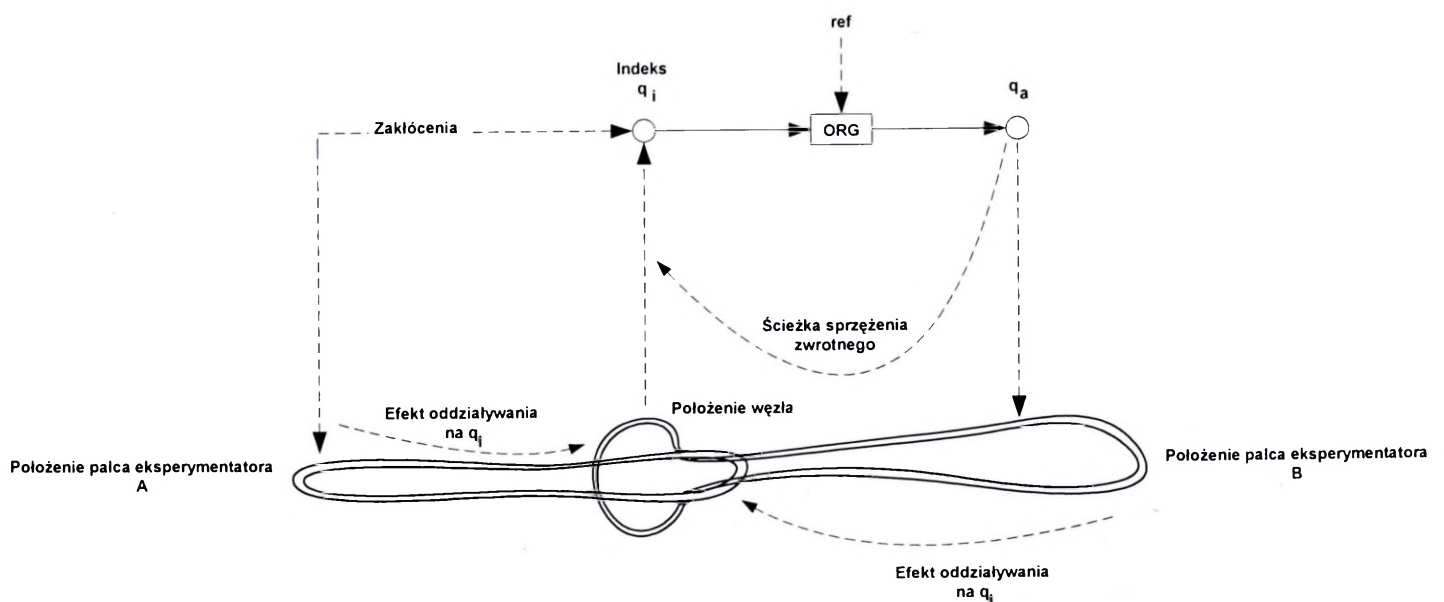
- Pojedyncze maszyny;
- Inne zaprojektowane i wykonane przedmioty materialne.

Projektowane systemy abstrakcyjne to zróżnicowane systemy teologiczne, filozoficzne czy naukowe. Podczas gdy projektowane systemy fizyczne mogą być wykonane przez zwierzęta (gniazdo ptaka, pajęczyna itp..) to systemy abstrakcyjne kojarzymy wyłącznie z istotą ludzką.

4.7. Powers i Teoria Sterowania

Amerykański badacz *William Powers* - psycholog i cybernetyk, przez wiele lat zastanawiał się nad pytaniem „Dlaczego to samo zakłócenie skutkuje czasami inną odpowiedzią/reakcją ?” Klasyczny pogląd bodźca i reakcji oraz behawioryzm zawiodły przy odpowiedzi na to pytanie. Sam Powers dostarczył odpowiedzi w swej książce „Zachowanie: Sterowanie Percepcją” („Behaviour: The Control of Perception”) wydanej w 1973 r. Według Powersa zachowanie ludzkie oparte jest o pojęcie sterowania percepcją odniesienia i sprzężenie zwrotne.

Swą interpretację Powers zilustrował za pomocą prostej metafory: dwóch gumek połączonych węzłem. Patrz rys.25.



Rys.25.

Dwie osoby, A i B stojące po przeciwnych stronach stołu kładą palec na pętli powstałej w wyniku połączenia gumek węzłem. Następnie rozciągają gumki i dopasowują położenie węzła do znaku umieszczonego na stole. Jeżeli A wykonuje niewielki ruch palcem w celu przemieszczenia węzła to B reaguje i jest w stanie utrzymać jego pozycję. Pozycja węzła z punktu widzenia B i w odniesieniu do znaku na stole jest wielkością sterowaną q . Położenie palca B jest wielkością wyjściową Q . Gumka B reprezentuje ścieżkę środowiskowego sprzężenia zwrotnego, za pomocą którego wyjście B wpływa na własne wejście. Położenie palca A reprezentuje czynnik zakłócający a jego gumka połączenie środowiskowe przez które zakłócenie wpływa na tę samą wielkość sterowaną na którą działa wyjście B. Na tym przykładzie możemy wyraźnie zaobserwować wszystkie aspekty sterowania za pomocą sprzężenia zwrotnego.

Powers twierdzi, że zachowanie jest kierowane przez wewnętrzne sygnały odniesienia oraz, że istnieje hierarchia mechanizmów ujemnego sprzężenia zwrotnego, dostrzegalnych w zachowaniu danej osoby. W ramach tej hierarchii mechanizmy wyższego rzędu określają warunki odniesienia dla niższych poziomów oraz odbierają informacje o odchyleniach przy porównaniu wartości sterowanej z wartością odniesienia. Hierarchia struktur sterowanych za pomocą sprzężenia zwrotnego wg Powersa zarządza wszystkimi rodzajami zachowań ludzkich. Obejmuje ona co najmniej dziewięć różnych poziomów przedstawionych w poniższej tabeli:

Hierarchia sterowania wg Powersa.

Poziom	Sedno sterowania	Przykłady
Pierwszy	Intensywność	Napięcia mięśniowe
Drugi	Doznanie	Percepcja kinestetyczna
Trzeci	Konfiguracja	Postawa, fenomy
Czwarty	Przejście	Ruch, czas, zmiana
Piąty	Kolejność	Chodzenie
Szósty	Związki	Kategoryzacja
Siódmy	Programy	Szukanie ołówka by pisać
Ósmy	Zasady	Heurystyka
Dziewiąty	Pojęcia systemowe	Percepcja abstrakcji
Wyższe	Zjawiska duchowe	

W tej hierarchii tylko pierwszy poziom interreaguje z otaczającym światem. Aż do poziomu piątego istnieją dowody neurologiczne proponowanej hierarchii sterowania. Powyżej poziomu piątego różnice między poziomami są mniej widoczne i ich obserwacja wymaga bardziej pośredniego podejścia.

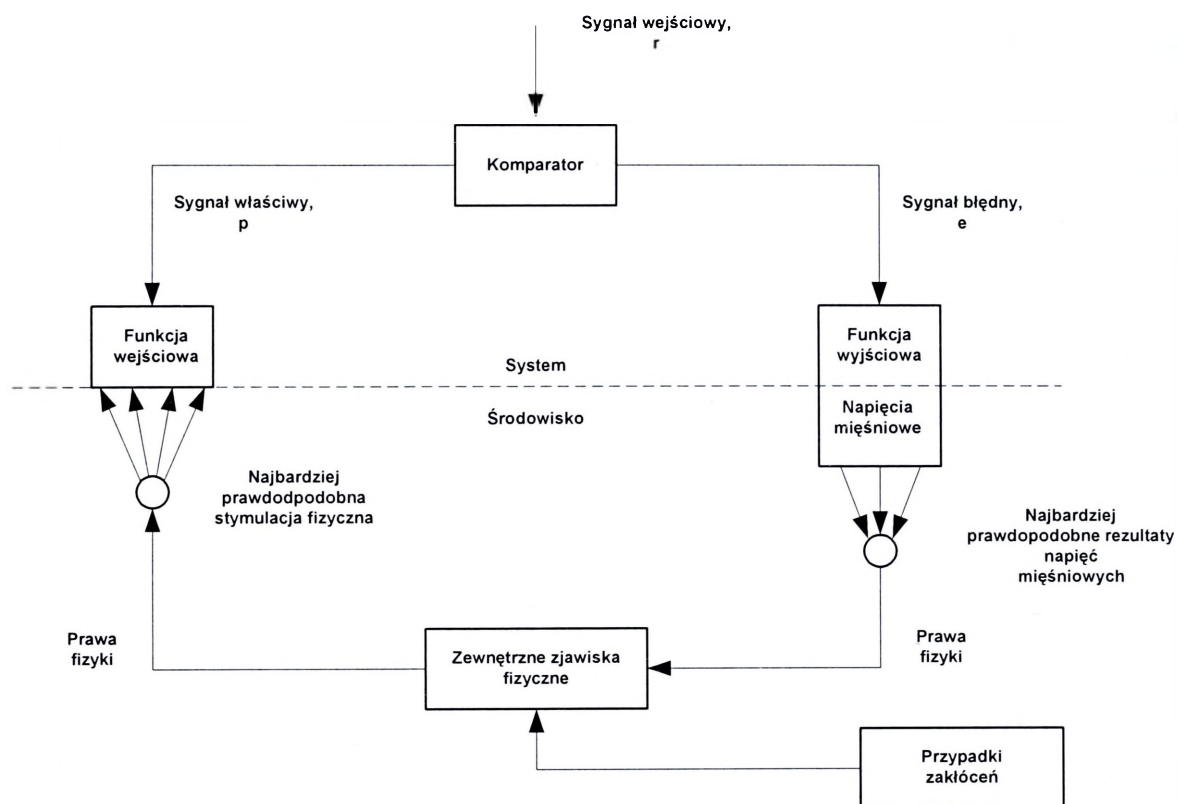
We wszystkich hierarchiach sterowania najniższy poziom musi odpowiadać najszybciej. Im wyższy poziom w hierarchii tym wolniejsze jest dopasowanie i tym dłuższa wytrzymałość na zakłócenia.

Wreszcie zachowanie organizmu jest zorganizowane wokół jego sterowania percepcją. Percepcja w oderwaniu od mózgu człowieka nie posiada większego znaczenia. Wyobrażony świat zewnętrzny nie jest tym którego doświadczamy. Jeżeli nawet uznamy rzeczywisty, otaczający nas wszechświat to nasze postrzeganie nie jest tym wszechświatem. Postrzeganie jest pod wpływem wszechświata lecz jego natura i działanie są określone przez procesy mózgowe.

Sygnaly odniesienia dla naturalnych systemów sterowania pochodzą z wnętrza organizmu i otoczenie nie ma na nie wpływu. Według Powersa naturalne sygnaly odniesienia możemy również nazywać *celem (purpose)*. Jeżeli percepcja nie odpowiada wewnętrznemu odniesieniu mamy do czynienia z błędem percepcyjnym. Błędy percepcyjne na wyższych poziomach hierarchii wywołują większe problemy psychologiczne. Należy więc uczynić coś by ograniczyć ten błąd – coś, czego nie możemy nazwać po prostu zachowaniem.

Bardziej praktyczne zastosowanie modelu Powersa możemy znaleźć w obszarze konfliktów interpersonalnych. W opinii Powersa konflikt zachodzi wówczas, gdy dwa systemy sterowania próbują oddziaływać na tę samą wielkość, lecz według różnych poziomów odniesienia. Prawdopodobieństwo wystąpienia konfliktu zachodzi wyłącznie pomiędzy systemami tego samego poziomu, systemy innych poziomów posiadają inne klasy percepcji. Nie istnieją zatem wspólne wielkości sterowane.

Rys.26 przedstawia i podsumowuje ogólny model systemu sterowanego ze sprzężeniem zwrotnym.



Rys. 26.

4.8. Koncepcja L. von Bertalanffy'ego

Organizmalizm (organicyzm) L. von Bertalanffy'ego, jako jedno ze stanowisk teoretycznych w biologii współczesnej, był sformułowany w różnorodny sposób - ogólnych ujęć ontologicznych i epistemologicznych w postaci ogólnej teorii systemów, poprzez wersję metodologiczną, stanowiącą bezpośrednią podstawę badań naukowych, aż do wystąpienia konkretnych badań naukowych i uogólnień teoretycznych. Bertalanffy uznaje, że organizm stanowi system, w którym rola poszczególnych części jest uzależniona od ich miejsca w całości tego systemu. Swoiste cechy życia związane są właśnie z owymi całościami organicznymi, nieredukowalnymi do własności części a typowe prawa życia mają charakter całościowo-systemowy. Bertalanffy sformułował swoje stanowisko w opozycji do redukcjonizmu, określanemu przez niego mianem mechanicyzmu.

Organicyzm, uogólniony przez Bertalanffy'ego w latach pięćdziesiątych do ogólnej teorii systemów, opierał się na nowych zasadach poznania naukowego, do których zalicza się¹⁰.

- rozpatrywanie organizmu jako całości, czyli zorganizowanego układu oddziałujących na siebie wzajemnie składników;

¹⁰ L.von Bertalanffy, *Ogólna teoria systemów*, Warszawa 1985

- rozpatrywanie organizmu jako zjawiska dynamicznego mającego charakter procesualny;
- rozpatrywanie organizmu jako aktywnego uwzględniania zależności losowych w opisie jego zachowania.

Jednocześnie Bertalanffy jako pierwszy sformułował swoisty program badań systemowych, w którym wyróżniał trzy główne działy:

1. nauki systemowe, czyli naukową eksplorację systemów w różnych naukach; obejmują one ogólną teorię systemów, cybernetykę, teorię automatów, teorię informacji, teorię zbiorów, grafów i sieci, teorię decyzji itp.;
2. technologię systemową, która obejmuje wszelkie zagadnienia współczesnej techniki, jak automatyzacja i komputeryzacja, a także zastosowania teorii systemowych do problemów społecznych, ekologicznych, ekonomicznych itp.;
3. filozofię systemową jako reorientację myślenia wynikającą z wprowadzenia (i stosowania) systemu jako nowego paradygmatu.

Ponadto Bertalanffy sformułował program badawczy w dziedzinie ogólnej teorii systemów, obejmujący:

- badanie izomorfizmu pojęć, praw i modeli w różnych dziedzinach do innych;
- zachęcanie do rozwoju adekwatnych modeli teoretycznych w dziedzinach, które tego wymagają;
- zredukowanie do minimum powtarzania się tych samych prac teoretycznych w różnych dziedzinach;
- sprzyjanie jedności nauki przez usprawnienie wzajemnego komunikowania się specjalistów.

Znaczenie prac Bertalanffy'ego dla rozwoju współczesnej nauki jest z pewnością doniosłe, a to ze względu na dokonany przełom metodologiczny w biologii i ich inspirujący charakter, który doprowadził do ukształtowania się nowego nurtu myślenia naukowego w ogóle. Istotna wartość tych prac polega także na podejmowaniu problematyki stricte filozoficznej (Bertalanffy mówi np. o ontologii systemów i epistemologii systemowej) jako ogólnoteoretycznej podstawie badań systemowych. Wartości tej nie umniejsza fakt, że filozoficzne poglądy Bertalanffy'ego mogą stanowić (i stanowią) przedmiot dyskusji prowadzonych na gruncie współczesnej epistemologii i metodologii.

4.9. Ontologia „świata systemów” M. Bunge

Przedstawicielem filozofii systemów jest Mario Bunge, zaś przedmiotem jego ontologii „świata systemów” jest ta część teorii systemów, którą określa mianem systemizmu¹¹. Systemizm Bungego powstał w rezultacie krytyki holizmu i atomizmu. Podstawą tej filozofii jest uznanie istnienia rzeczy materialnych, zaś system konceptualny ontologii Bungego został skonstruowany zgodnie z regułami filozofii naukowej. Do reguł tych należą:

- stosowanie języka matematyki;
- precyzyjne definiowanie pojęć;
- eliminowanie subiektywizmu;
- unikanie reifikacji tworów konceptualnych;
- weryfikacja poprawności konstrukcji pojęciowych i badanie, czy nie są sprzeczne w obrębie proponowanego systemu;
- zgodność z wynikami uzyskanymi w naukach ścisłych.

Bungego interesuje perspektywa ogólnej teorii systemów jako swoistej metateorii w odniesieniu do szczegółowych teorii systemów oraz perspektywa ontologii "świata systemów", która jest obrazem świata jako systemu otrzymanego przez zastosowanie jej aparatu pojęciowego do badania systemów na kolejnych, genetycznie z sobą powiązanych poziomach w strukturze wszechświata.

Przyjęto założenia, że (1) każdy system z wyjątkiem wszechświata jest podsystemem jakiegoś innego systemu oraz (2) wszechświat jest systemem takim, że każda rzecz jest komponentem tego systemu.

Podstawowe aspekty każdego SYSTEMU to: SKŁAD (C), OTOCZENIE (E) i STRUKTURA (S), czyli sieć relacji występujących pomiędzy poszczególnymi elementami składu systemu oraz pomiędzy elementami systemu i jego otoczeniem.

- (1) System można określić tylko wtedy, gdy znana jest jego kompozycja, tj. zbiór jego części, otoczenie i struktura
(< C; E; S >).
- (2) Agregat nie jest systemem, ponieważ między jego komponentami nie zachodzą interakcje (agregat nie ma struktury systemowej, choć może mieć strukturę przestrzenną).

¹¹ Bunge M., *Treatise on Basic Philosophy*, t. 3 (1977), t. 4 (1979). Dordrecht, Reidel.

- (3) Elementem kompozycji systemu może być system tak, jak elementem systemu nadrzędnego też może być system (systemy mogą tworzyć struktury "zagnieżdżone", np. biosfera składa się z ekosystemów, te zaś z populacji, organizmów itd.).
- (4) Wzajemne oddziaływania między rzeczami konkretnymi znajdują odbicie w ich własnościach i zachodzących w nich procesach (o systemie konkretnym można mówić tylko wtedy, gdy zbiór własności rzeczy danego systemu jest systemem własności oraz zbiór procesów zachodzących w tym systemie jest systemem funkcjonalnym).
- (5) Systemy mogą powstawać wtedy, gdy tworzą się trwałe połączenia między różnymi obiektami (gdy przebiegają one spontanicznie, wtedy mamy do czynienia z systemami naturalnymi, gdy tworzone są przez inne czynniki, określa się je jako systemy sztuczne lub techniczne).

Bunge zajmuje się systemami konkretnymi, bowiem stanowią one byty, na których świat systemów buduje swą ontologię. Wiązą się z tym dwa istotne pytania¹². Czy rzeczywiście świat konkretny jest światem systemów, czy też światem rzeczy, które wchodzą z innymi w interakcje konceptualizowane przez nas jako systemy? Czy system jest kategorią ontologiczną, czy metodologiczną?

4.10. Koncepcja: P.K. M'Phersona

Koncepcja P.K. M'Phersona¹³ zawiera wiele interesujących rozważań i propozycji. Rozważania dotyczą głównie początków myśli holistycznej oraz jej krytyki, a także historycznych źródeł filozofii systemów (rysunek 27). Interesująco prezentuje się propozycja typów i klas systemów. Autor twierdzi, że głównym przedmiotem zainteresowania teoretyka systemów są tworzone przez człowieka systemy behawioralne i celowe.

Ogólne ich potraktowanie umożliwiają trzy konstrukcje pojęciowe:

1. Cały system - takie połączenie systemów specjalnych, które wpływa na zdolność całego systemu do skutecznego działania, rozwoju i przetrwania.
2. Systemy specjalne obejmują:

¹² Gasparski W. (red.), *Projektowanie*, WNT, Warszawa 1988.

¹³ P.K. M Pherson, *Nauka o systemach ...*,jw.

- system procesowy, który zapewnia zdolność całego systemu do funkcjonowania, czyli do realizacji procesów umożliwiających osiągnięcie swoich celów;
- system sterowania, który służy do kierowania i koordynacji działalności pozostałych systemów celem realizacji zadań całego systemu;
- system informacyjny, służący do organizacji przetwarzania i dystrybucji informacji zgodnie z potrzebami sprawnego działania pozostałych systemów specjalnych;
- system logistyczny, służący do utrzymywania i zaopatrywania pozostałych systemów specjalnych (i siebie samego), aby działanie całego systemu przebiegało w sposób sprawny.

3. System ogólny behawioralny określany jako rodzina zbiorów:

$$S = (N, M, O, X, Y, Z, F(N, O, M), F(M, Z, X), F(N, O, Z), T)$$

gdzie:

N – zbiór stanów otoczenia,

M – zbiór bodźców (sterowaniem zakłócenia),

O – wymagania operacyjne (cele, kryteria),

X – zbiór stanów wejściowych (funkcjonalnych),

Y – zbiór stanów wyjściowych,

Z – zbiór stanów wewnętrznych (operacyjnych),

F – funkcje opisujące zachowanie systemu,

T – zbiór chwil czasu.

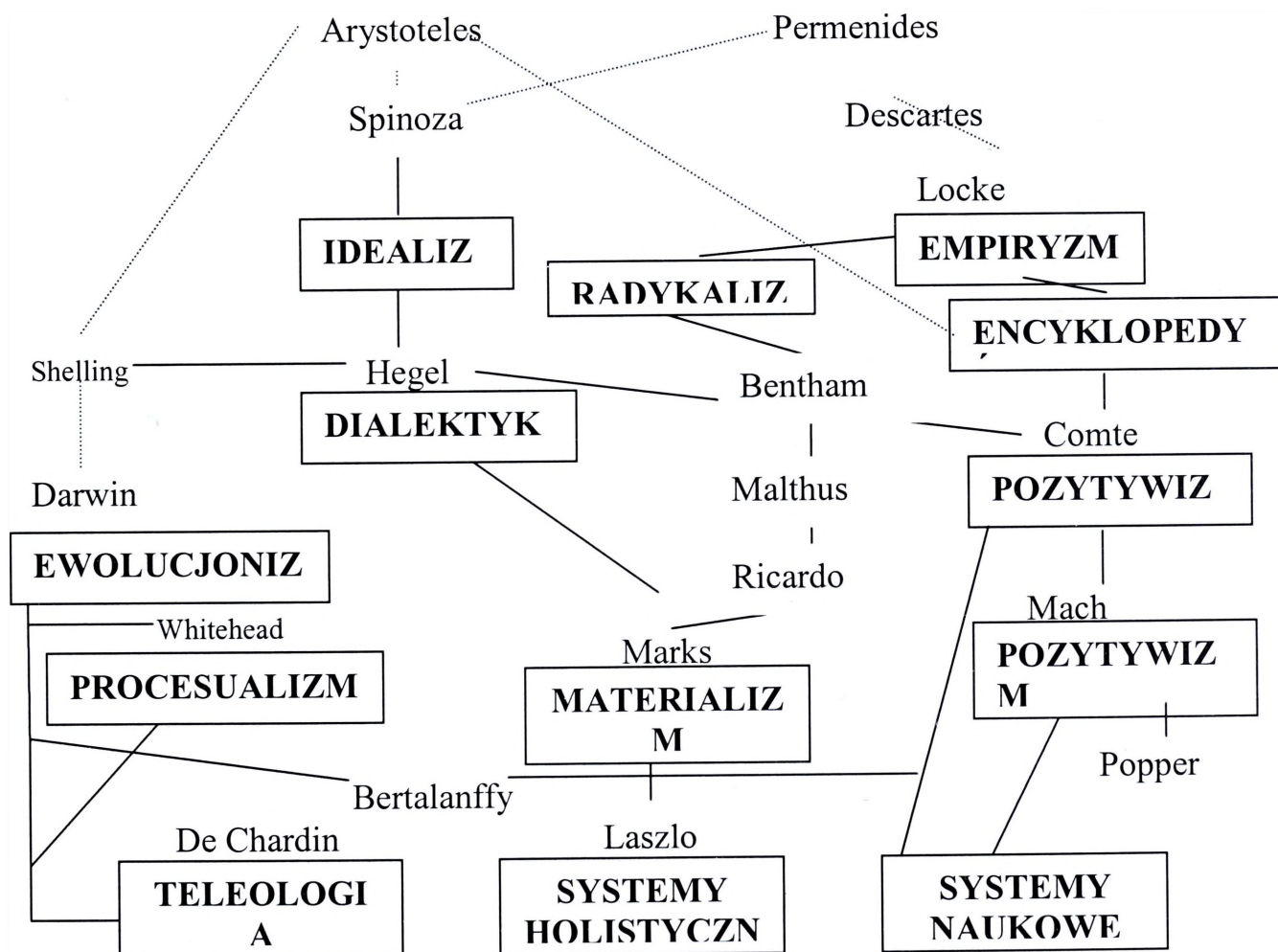
Poglądy M'Phersona wydają się mieć różnorakie źródła, a mianowicie: w sferze podziału dziedziny systemowej nawiązują do poglądów Bertalanffy'ego, w dziedzinie języka opisu korzystają z osiągnięć cybernetyki (ściślej - cybernetyki technicznej, zaś w kwestii podstawy filozoficznej sięgają do poglądów E. Laszlo¹⁴. W związku z zastrzeżeniami niektórych filozofów należy dodać, że Laszlo przedstawił opinię, według której wspólną podstawą filozoficzną ruchu systemowego są:

- holizm jako metodologia i ontologia;
- integracja poznania naukowego jako ideał dający się praktycznie zrealizować;

¹⁴ E. Laszlo, *Systemowy obraz świata*, Warszawa 1978.

- jedność przyrody jako credo filozoficzne;
- humanizm jako zadanie i odpowiedzialność nauki.

Ponadto M'Pherson twierdzi, że znajdujący się na rzeczy teoretyk systemów i filozof są zarówno redukcjonistami, jak i holistami. Wydaje się, że jest to teza, która może być zaakceptowana tylko w ograniczonym stopniu, a więc nie może być przyjmowana jako generalna zasada.



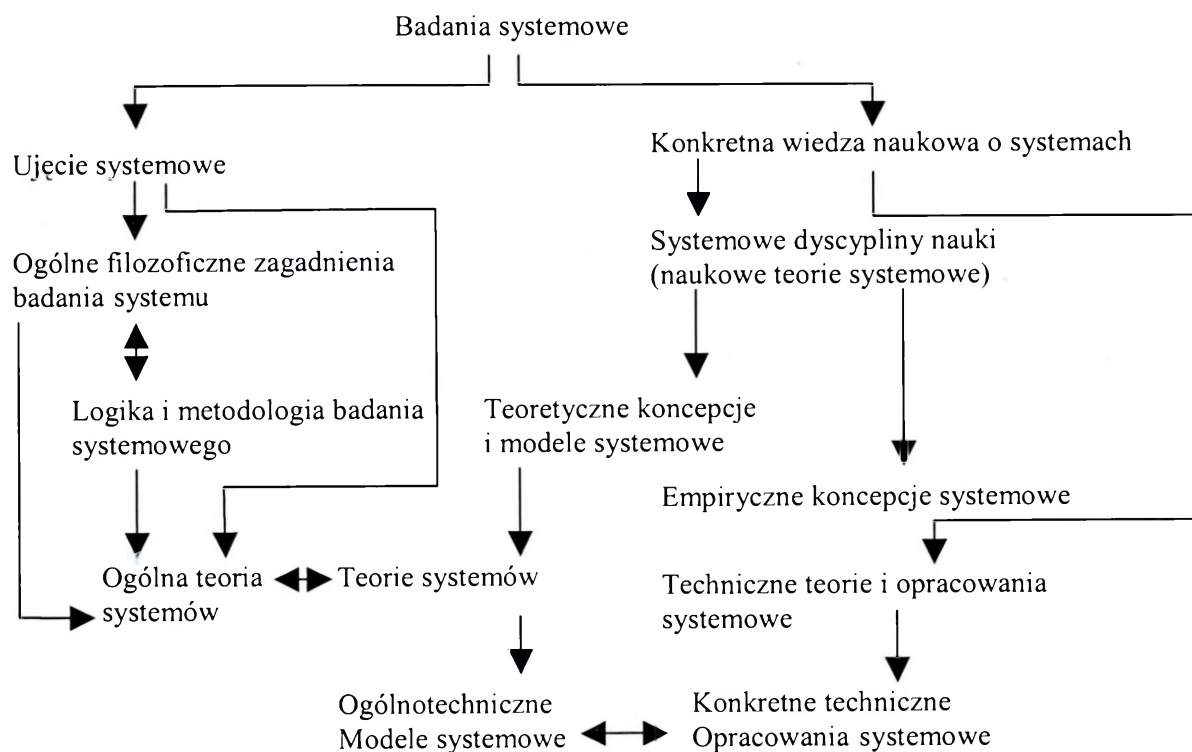
Rys.27. Morfogeneza filozofii systemów. Źródło: P.K. M'Pherson, *Nauka o systemach i filozofia systemowa*, „Zagadnienia naukoznawstwa” 1974, nr 4.

4.11. Koncepcja W.N. Sadowskiego i A.I. Ujemowa

Koncepcje dwóch filozofów - logików i metodologów, aczkolwiek nie pretendujące do miana teorii, są jednak charakterystyczne dla pewnego nurtu myślenia systemowego ze względu na ambicje systematyzujące i porządkujące dotychczasowe osiągnięcia badań systemowych.

Szczególnie celna wydaje się być przedstawiona przez Sadowskiego klasyfikacja badań systemowych (rysunek 28), w której dokonano ogólnego ich podziału na ujęcie

systemowe i konkretną wiedzę naukową o systemach. Autor podkreśla istotny fakt, że rozwój badań zmierzających do uzasadnienia i uogólnienia nauk matematycznych i logicznych poszedł w XX w. w kierunku tworzenia metateorii - metamatematyki i metalogiki¹⁵. W związku z powyższym uważa, że analogiczne zbudowanie metateorii systemowej w najwyższym stopniu odpowiada zadaniom i celom ogólnej teorii systemów.



Rys.28. Klasyfikacja badań systemowych.

Źródło: W.N. Sadowski, *Podstawy ogólnej teorii systemów*, Warszawa 1978.

Sformułowany więc został następujący postulat - zadanie metateorii systemowej polega na analizie poszczególnych języków systemowych w terminologii metajęzyka systemowego, zaś jakościowy metajęzyk systemowy powinien być dostatecznie bogaty po to, aby za jego pomocą można było opisać nie tylko odpowiednie, systemowe dziedziny empiryczne i ich teoretyczne opracowania w formie różnych wariantów wyspecjalizowanych teorii systemów, lecz również formy współzależności zachodzących między empirią systemową i różnymi wariantami teorii systemów. Uważa się jednak, że metateoria systemowa nie może pretendować do wszechstronnej analizy stosunku gnozeologicznego: przedmiot - podmiot.

Ujemow dokonał ciekawej analizy samego pojęcia systemu, zauważając, że kierunek myślenia polegający na zdefiniowaniu zbioru obiektów jako systemu jest przeciwstawny

¹⁵ Przypomnieć tu należy prace D. Hilberta i grupy Bourbaki.

temu, który zakłada, zgodnie z rozpowszechnionym określeniem, systemu jako zbiór z relacjami. Wiąże się to z tym, że potoczne określenie nie rozróżnia systemu od niesystemu, ponieważ w każdym zbiorze są jakieś relacje¹⁶. Jednak przy danej własności można odróżnić system od niesystemu, ponieważ tylko w niektórych zbiorach występują relacje posiadające daną cechę. W związku z powyższym Ujemow proponuje następujące uogólnione określenie: *"System to zbiór obiektów, w którym zachodzi relacja posiadająca z góry zadane własności (cechy)"*. Ujemow jest również autorem wielce oryginalnej propozycji podstawowych cech systemowych, do których zalicza jednorodność, elementarność, minimalność, niezupełność, uporządkowanie, immanentność, autonomiczność.

Przyjęcie tych cech pozwala na wyróżnienie następujących typów systemów:

- system jednorodny, czyli system składający się z elementów jednorodnych;
- system elementarny, czyli system, którego żaden element nie jest w danym systemie rozpatrywany jako system;
- system minimalny, czyli system, który przestaje być systemem po zlikwidowaniu choćby jednego elementu;
- system niezupełny, czyli system, do którego można dołączyć nowe elementy nie powodując jego przekształcenia w inny;
- system zupełny, czyli system, który nie pozwala na przyłączenie nowych elementów;
- system uporządkowany, czyli system, dla którego istotne jest uporządkowanie jego elementów;
- system immanentny, czyli system, w którym relacja systemotwórcza może występować tylko między elementami danego systemu;
- system nieimmanentny, czyli system, w którym relacja systemotwórcza może występować także między elementami nie należącymi do danego systemu;
- system autonomiczny, czyli system, w którym każdy element wykazuje wszystkie podstawowe cechy systemu jako całości.

Dokonana analiza 500 dowolnie wybranych systemów z punktu widzenia powyższej typologii pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- żaden system minimalny nie jest systemem o elementach autonomicznych;
- każdy system o elementach autonomicznych jest jednocześnie systemem niezupełnym;
- żaden system minimalny i niezupełny nie jest systemem autonomicznym.

¹⁶ por. podstawowe dla teorii mnogości twierdzenia Zermelo, że każdy zbiór można dobrze uporządkować.

Wydaje się, że powyższe wnioski można śmiało zaliczyć do kategorii praw systemowych, co z kolei uznać należy za wartościowe osiągnięcie ich autorów i całego omówionego nurtu badań systemowych.

4.12. Teoria M. Mazura

Teoria cybernetyczna systemów autonomicznych¹⁷ stanowi niewątpliwy wkład M. Mazura do rozwoju cybernetyki i badań systemowych, zwłaszcza, że stała się ona podstawą cybernetycznej teorii charakteru¹⁸ oraz interesujących koncepcji określanych mianem „cybernetyka społeczna” i „cybernetyka kultury”¹⁹. Teoria Mazura niewątpliwie wpłynęła na rozwój badań w dziedzinie psychologii, socjologii kultury i nauk politycznych (szczególnie interesujące, bowiem niosące nowe wartości i rozszerzające zakres stosowania dotychczasowych metod są takie zagadnienia, jak cybernetyczny model ruchów społeczno-politycznych, cybernetyczna analiza walki politycznej i cybernetyczny model społecznego oddziaływania propagandy).

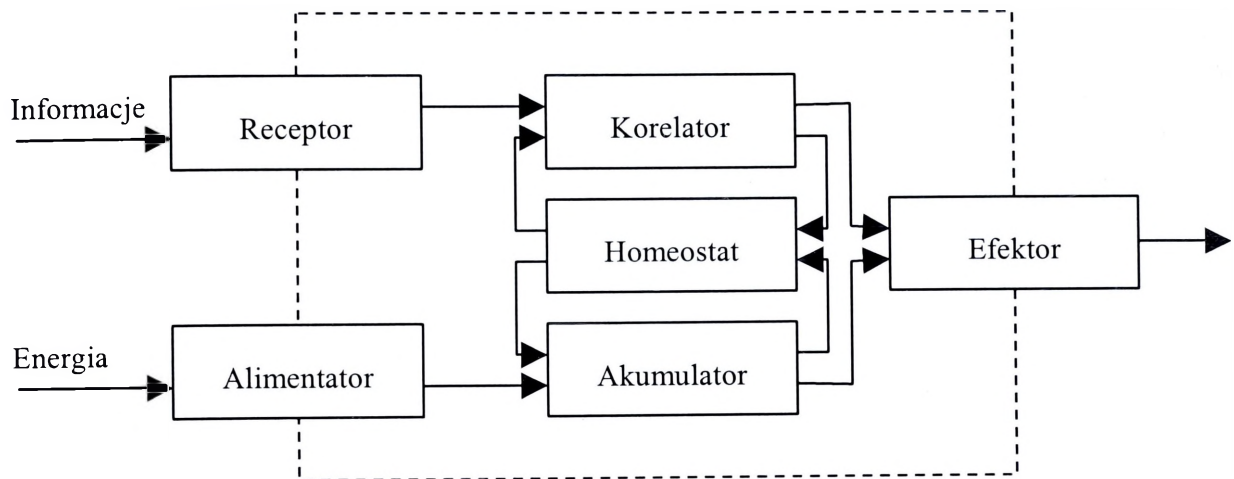
System autonomiczny (rysunek 29) według M. Mazura to system mający zdolność sterowania oraz zdolność przeciwdziałania utracie zdolności sterowania. Wobec tego musi zawierać jako podsystemy:

- efektory, czyli organy do oddziaływania na otoczenie;
- receptory, czyli organy do pobierania informacji z otoczenia; - korelator, czyli organ do przetwarzania i przechowywania informacji;
- alimentatory, czyli organy do pobierania energii z otoczenia;
- akumulator, czyli organ do przetwarzania i przechowywania energii;
- homeostat, czyli organ do przeciwdziałania przepływowi informacji i energii zmniejszającym możliwość oddziaływania systemu na otoczenie.

¹⁷ M. Mazur, *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*, Warszawa 1967.

¹⁸ M. Mazur, *Cybernetyka a charakter*, Warszawa 1975.

¹⁹ J. Kossecki, *Cybernetyka społeczna*, Warszawa 1975 oraz tegoż autora *Cybernetyka kultury*, Warszawa 1974.



Rys. 29. System autonomiczny

Aczkolwiek Mazur zdecydowanie włącza teorię systemów do cybernetyki, podkreśla jednak bezsprzeczne zalety metody systemowej, do których zalicza uniemożliwienie dowolności interpretacyjnej w toku rozwiązywania problemów (głównie dzięki rygorom stosowania pojęcia systemu) oraz nadawanie się jej do rozwiązywania problemów dotyczących tzw. systemów wielkich (np. organizmów, miast, społeczeństw). Mazur szczególnie wskazuje na fakt, że cybernetykę (a więc i teorię systemów) interesuje klasa problemów decyzyjnych, których celem – w odróżnieniu od „konstatujących” problemów poznawczych – jest wywoływanie pożądanych zmian w rzeczywistości, a tym samym określa aktywny charakter badań systemowych.

4.13. Teoria M. Mesarovića

Teoria wielopoziomowych hierarchicznych systemów M. Mesarovića należy z pewnością, z powodu swojej pełności i spójności, do największych osiągnięć w matematycznym nurcie ogólnej teorii systemów²⁰. Należy także niewątpliwie do najpopularniejszych i cieszących się powszechnym uznaniem teorii matematycznych, gdzie podstawowe pojęcia są wprowadzane w sposób aksjomatyczny, a właściwości systemu i jego zachowanie bada się ścisłymi metodami. Teoria Mesarovića dotyczy zarówno podejmowania decyzji czy sterowania, jak i identyfikacji (opisu zależności wejść i wyjść).

Przyjęto pojęcie ogólnego systemu jako relacji między abstrakcyjnymi zbiorami:

$$S \subset X \{V_i : i \in J\}$$

²⁰ M. Mesarović, Y. Takahara, *General Systems Theory: Mathematical Foundations*, New York 1975.

a gdy J jest zbiorem skończonym:

$$S \subset V_u, x \dots x V_n$$

Jeżeli zostaną wyróżnione zbiory wejść (bodźców) systemu $X = X\{V_i : i \in J_x\}$ i wyjść (reakcji) $Y = X\{V_i : i \in J_y\}$, gdzie $J = J_x \cup J_y$ to system przyjmuje się jako relację między wejściami i wyjściami:

$$S \subset X \times Y$$

Jeżeli np. założymy, że oprócz X i Y dane są: zbiór decyzji M i zbiór wartości efektów V , to zachowanie systemu opisują dwie funkcje:

- funkcja wyniku (procesu)

$$P: X \times M \rightarrow Y$$

- funkcja realizacji

$$G: M \times Y \rightarrow V$$

Jeżeli V będzie takie, że każdy podzbiór posiada minimum, to dla każdego $x \in X$ i $y \in Y$, $(x, y) \in S$ wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje $m^* \in M$ takie, że dla każdego $m \in M$

$$G(m^*, P(x, m^*)) \leq G(m, P(x, m))$$

oraz $y = P(x, m^*)$

Powyższy model stanowi przykład charakterystycznego ujęcia zagadnienia prezentowanego przez Mesarovića. Sam Mesarović uważa, że w zasadzie każdy system może zostać opisany jako przyczynowy (układ wejście - wyjście) lub też jako system celowy, co w konsekwencji może stanowić punkt wyjścia do prób pogodzenia wielu sprzecznych koncepcji (takich jak np. behawioryzm Skinnera i strukturalizm Chomsky'ego). Najpoważniejsze osiągnięcia Mesarovića wiążą się z systemami o hierarchicznej strukturze sterowania. Dla nich to zostały sformułowane (i udowodnione) zasady koordynacji (zasada predykcji interakcji, zasada estymacji interakcji, zasada równowagi interakcji).

Prace teoretyczne Mesarovića stanowią w chwili obecnej najpoważniejsze osiągnięcie poznawcze ogólnej teorii systemów i stały się podstawą modeli, których realizacja przyniosła II Raport dla Klubu Rzymskiego²¹.

²¹ M. Mesarović, E. Pestel *Ludzkość w' punkcie Zwrotnym*, Warszawa 1977.

4.14. Teorie L. Zadeha

Z wielu prac L. Zadeha za szczególnie wartościowe dla metodologii badań systemowych należy uznać dwie: pierwsza dotyczy wariantu ogólnej teorii systemów²², druga przedstawia oryginalną teorię zbiorów rozmytych²³. Zadeh stosując pojęcie systemu (dynamicznego) opiera się na wynikach prac z dziedziny współczesnej fizyki i matematyki (algebry topologicznej i analizy funkcjonalnej). Reprezentuje nurt, który można określić jako matematyczny, mający swe źródła w zagadnieniach fizyki.

W celu określenia pojęcia stanu dla systemów dynamicznych i automatów skończonych Zadeh, podobnie jak Kalman, posługuje się pojęciem systemu dynamicznego, jako pewnej grupy określonej w przestrzeni metrycznej, lub też korzysta ze zdefiniowanego pojęcia zorientowanego obiektu abstrakcyjnego (rozumianego jako rodzina uporządkowanych par funkcji czasu). Samo pojęcie stanu wprowadza jako sposób parametryzacji zbioru par wejście - wyjście, zapewniających w jednoznacznej zależności sygnałe wyjściowego od wejściowego i stanu id systemu. Podejście prezentowane przez Zadeha znajduje rozległe zastosowanie w zagadnieniach analizy i syntezy liniowych i nieliniowych systemów.

Jako punkt wyjścia sformułowanej teorii zbiorów rozmytych Zadeh przyjął założenie, że nieostrość jest cechą trwale wbudowaną w język nauk społecznych. Chodzi mianowicie o to, że przedmioty stosunkowo rzadko dają się ująć w zbiory dychotomiczne, a mianowicie takie, że do jednego zbioru należą wszystkie i tylko takie przedmioty, które mają - daną cechę, do drugiego natomiast wszystkie pozostałe cechy tej nie mające. Ponadto w obrębie zbiorów zachodzi zróżnicowanie stopnia posiadania danej cechy przez poszczególne przedmioty. Chodzi bowiem o to, że na ogół rzeczywistość badana (głównie w naukach społecznych) jest taka, że między zupełnym należeniem i zupełnym nienależeniem do zbioru istnieje wiele form pośrednich. Propozycję rozwiązania powyższego problemu zawiera teoria Zadeha, określająca zbiór rozmyty jako pewną klasę obiektów, w której nie ma ostrej granicy między obiektami należącymi i nie należącymi do zbioru.

Jeśli $U = \{u\}$ oznacza pewien zbiór obiektów, to podzbiór rozmyty A zbioru $U (A \subset U)$ jest zbiorem uporządkowanych par

$$A = \{\mu_A(u), u\}$$

²² L. Zadek, E. Pollak, *System Theory*, New York 1969.

²³ L. Zadek, *Fuzzy Sets*, „Information and Control” 1965, nr 8.

przy czym $\mu_A(u)$ nazywa się stopniem przynależności u do A ; $\mu_A(u)$ może przyjmować wszystkie wartości z przedziału $[0,1]$. Jeśli A nie jest zbiorem rozmytym to $\mu_A(u)$ jest identyczne z jego funkcją charakterystyczną i przyjmuje wartości 0 lub 1. Podparciem $S(A)$ zbioru rozmytego A nazywamy zbiór:

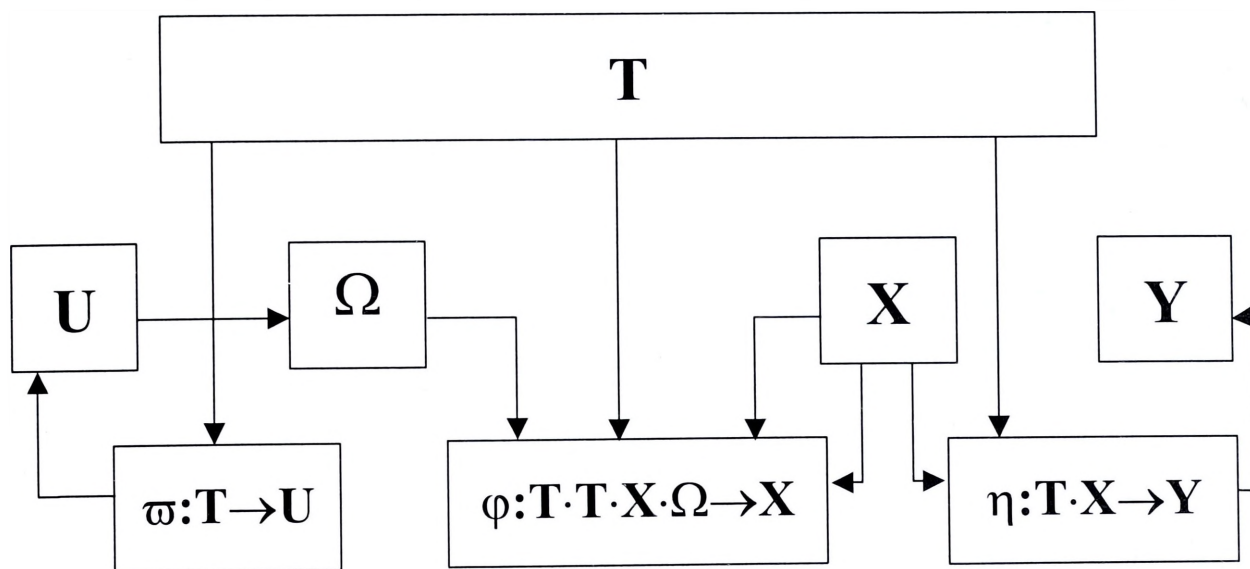
$$S(A) = \{u : \mu_A(u) > 0; u \in U\}$$

Obecnie jest to rozwinięta teoria, obejmująca podstawowe własności zbiorów rozmytych i definicje podstawowych operacji na tych zbiorach. Między innymi sformułowano pojęcie systemu rozmytego, znajdujące już zastosowanie w teorii sterowania, teorii automatów, zarządzaniu i teorii decyzji, ekonomii i socjologii.

Teoria Zadeha proponuje efektywny aparat pozwalający na rozwiązywanie wielu klasycznych problemów decyzyjnych w warunkach „rozmytych”. Z tego powodu wydaje się być szczególnie użyteczna w badaniach systemowych. Zamiast sztywnego i często niestosownego pojęcia klasycznego należenia do zbioru, otrzymujemy w postaci teorii L. Zadeha daleko bardziej operatywne pojęcie stopniowanego należenia przedmiotu do zbioru, a więc dopuszczającego rozmaite formy pośrednie.

4.15. Teoria systemów dynamicznych

Do najpopularniejszych teorii matematycznych systemów ogólnych należy niewątpliwie teoria systemów dynamicznych prezentowana przez M. Arbiba, F. Falba i R. Kalmana. Wykazuje ona w pewnych punktach zbieżność z teorią M. Mesarovića (Mesarović udowodnił, że każdy ogólny system czasowy $S \subset A^T \times B^T$, gdzie A i B są zbiorami abstrakcyjnymi traktowanymi jako alfabet a T jest liniowo uporządkowanym zbiorem czasowym; może być przedstawiony jako system dynamiczny), w innych zaś z teorią automatów skończonych.



Rys.30. Ogólny schemat systemu dynamicznego

System dynamiczny (rysunek 30) stanowi zbiór wzajemnie powiązanych elementów spełniających następujące warunki:

1. dane są: zbiór chwil czasu T , zbiór stanów systemu X , zbiór chwilowych wartości sygnałów wejściowych U , zbiór ich dopuszczalnych wartości:

$$\Omega = \{\omega : T \rightarrow U\}$$

zbiór chwilowych wartości wielkości wyjściowych Y i zbiór ich dopuszczalnych wartości:

$$\Gamma = \{\eta : T \times X \rightarrow Y\}$$

2. zbiór T jest pewnym uporządkowanym podzbiorem zbioru liczb rzeczywistych $T \subset R$;
3. zbiór sygnałów wejściowych spełnia warunki:

- zbiór $\Omega \neq \emptyset$,
- sygnały wejściowe na odcinku (t_1, t_3) mają własność:

jeśli $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \in \Omega$, i $t_1 < t_2 < t_3 \in T$

to

$$\omega_3 = \omega_1 \quad \text{dla} \quad t_1 < t_2 \leq t_3$$

$$\omega_3 = \omega_2 \quad \text{dla} \quad t_1 < t_2 \leq t_3$$

4. istnieje funkcja przejścia stanów:

$$\Phi = \{\varphi : T \times T \times X \times \Omega \rightarrow X\}$$

której wartościami są stany systemu:

$$x(t) = \varphi[t; t_0, x(t_0), \omega] \in X$$

5. dane jest przekształcenie wejściowe:

$$\Gamma = \{\eta : t \times x \rightarrow y\}$$

określające wartości wyjściowych wielkości systemu:

$$Y(T) = \eta[T; X(T)] \in y$$

Teoria systemów dynamicznych umożliwia formułowanie i rozwiązywanie problemów optymalnego sterowania (szczególnie dla tzw. systemów liniowych) oraz tzw. zadań ciągłej liniowej filtracji, co pozwala widzieć jej podstawowe znaczenie dla zastosowań związanych z systemami technicznymi. W kontekście prowadzonych rozważań teoria zasługuje na uwagę ze względu na ścisły, aksjomatyczny charakter.

4.16. Koncepcje J. Forrestera

Koncepcje badawcze J. Forrestera formułowane dla różnych systemów rzeczywistych (systemy gospodarcze, system - miasto, system - świat) dotyczą w zasadzie jednego charakterystycznego podejścia, polegającego na zastosowaniu metody symulacji komputerowej do badania szczególnie złożonych systemów²⁴. Istotą koncepcji, niezależnie od zakresu jej wykorzystania, jest rozpoznanie przedmiotu badań jako systemu, skupienie uwagi na jego dynamice oraz dążenie do poprawy sterowania tym systemem.

Metoda stanowiąca podstawę koncepcji Forrestera służy przede wszystkim do wyjaśniania, opisu, badań, projektowania i przewidywania zachowań systemów społecznych. Istnieją także przykłady jej zastosowania do projektowania gier kierowniczych wspomaganych komputerowo. Metoda Forrestera służy do badania charakterystycznych informacyjnych sprzężeń zwrotnych w działaniu gospodarczym. Pomocna jest w poznaniu, jaka jest interakcja struktury organizacyjnej, wzmocnień (w zakresie wytycznych) i opóźnień (w zakresie decyzji i współdziałań), od których wzajemnego oddziaływania zależy efektywność systemu. W typowym modelu w ujęciu Forrestera wyróżnia się trzy podstawowe elementy:

- 1) poziom - określający stan wyróżnionego elementu systemu; wielkość chwilowa poziomu równa się zakumulowanej różnicy strumieni dopływu i odpływu środków;
- 2) strumień - określający szybkość, z jaką uzupełniają lub uszczuplają zawartość przyporządkowanych im poziomów;
- 3) stanowisko decyzyjne - regulujące wielkość strumienia w zależności od informacji o chwilowych stanach zawartości poziomów systemu.

²⁴ Na przykład J. Forrester, *Industrial Dynamics*, Massachusetts 1961.

Za pomocą tych elementów połączonych pętlami sprzężenia zwrotnego tworzone są ikonograficzne modele badanego systemu, stanowiące podstawę budowy modelu matematycznego i badania symulacyjnego.

Koncepcje Forreстера wydaje się cechować znaczna użyteczność praktyczna, pozwalająca także na badanie symulacyjne systemów kierowania. Należy podkreślić, że metoda Forreстера była podstawą budowy tzw. modelu globalnego, opracowanego w ramach Klubu Rzymskiego I, za pomocą którego analizowano przyszłe zachowanie się systemu światowego²⁵.

4.17. Podsumowanie

W celu dokonania diagnozy i próby oceny aktualnego stanu badań systemowych autor wybrał najbardziej znane prace w sposób cokolwiek arbitralny, tzn. kierując się z pewnością odczuciami subiektywnymi, na które wpłynęły jego wieloletnie multidyscyplinarne zainteresowania. Dążył do wyboru prac tych autorów, którzy reprezentują poza szczegółową wiedzą i osiągnięciami merytorycznymi również znaczące elementy wiedzy metodologicznej i wyraźnie sprecyzowane założenia epistemologiczne i ontologiczne. Zadanie, jakie postawiliśmy sobie w tym rozdziale, nie należało do najłatwiejszych z dwóch powodów. Po pierwsze - brak jest dotychczas syntetycznego ujęcia całokształtu badań systemowych, uwzględniającego aspekty metodologiczne tej dziedziny; po drugie - poza różnorodnością, niekiedy także sprzecznych poglądów i opinii, daje się zaobserwować brak jednoznacznego stanowiska wobec rozwoju metodologii badań systemowych ze strony przedstawicieli metodologii nauk. Istniał jeszcze powód trzeci - bardzo subiektywny - przekonanie o wielkiej wartości systemowego nurtu współczesnego myślenia połączone z obawą, aby nurt ten nie podzielił losów strukturalizmu.

Formułując ogólne wnioski warto zwrócić uwagę na następujące fakty:

- badania systemowe stanowią wyraz ciągłości rozwoju wiedzy naukowej;
- badania systemowe znajdują się w obszarze materializmu holistycznego;
- nie istnieją żadne zasadnicze sprzeczności między metodą naukową a metodą systemową, przy czym pierwsza z wymienionych jest nadrzędna w stosunku do drugiej;

²⁵ D. Meadows, *Granice wzrostu*, Warszawa 1974

- badania systemowe ukierunkowane są na zaspokojenie określonych potrzeb społecznych;
- w badaniach systemowych rozwijają się i wzajemnie się uzupełniają trzy podstawowe nurty: opisowy (np. Bertalanffy, M, Pherson), formalny (np. Greniewski, Mazur), matematyczny (np. Mesarović, Jaroń, Klir), zaś równoległe z nimi rozwijany jest nurt pragmatyczny (np. Fleiszman, Drużynin, Kontorow, Forrester);
- badania systemowe stanowią wyraz postępującej matematyzacji i jednoczesnej humanizacji nauki;
- rozwój metodologii badań systemowych wraz z cybernetyką jest jedną z istotnych cech rewolucji naukowo-technicznej.

5. Cybernetyczna teoria systemów rozwijających się

5.1. Podstawowe pojęcia

Zagadnienie rozwoju systemów zajmuje szczególne miejsce we współczesnych badaniach systemowych, albowiem problem rozwoju w przyrodzie i społeczeństwie jest zapewne jednym z najważniejszych, najbardziej złożonych i interesujących. Świadczy o tym chociażby pobieżna analiza idei ewolucji i rozwoju w biologii, socjologii, ekonomii i filozofii. Cybernetyka i teoria systemów wniosły do badań nad procesami rozwoju złożonych obiektów biologicznych, społecznych i technicznych nowe wartości, dzięki proponowanym modelom systemów i metodom badania ich działania (zachowania, funkcjonowania).

W rozległym obszarze badań cybernetyczno - systemowych można wyróżnić taką dziedzinę, jak teoria systemów, których rozwój jest procesem obserwowalnym i sterowalnym. Celem badań prowadzonych w tym obszarze jest opracowanie modeli procesów rozwoju systemów, pozwalających na efektywne sterowanie tymi procesami.

W ostatnich latach zwracają uwagę osiągnięcia w takich dziedzinach, jak: termodynamika nieliniowa J. Prigogine'a, synergetyka H. Hakena, teoria katastrof R. Thoma. Uważa się, że cybernetyka rozszerzyła pojęcie sterowania i informacji na biologiczną i społeczną formę materii, a synergetyka pojęcie informacji i samoorganizacji – na wszystkie formy ruchu materii. Obserwuje się kolejny raz zjawisko przejawiania się we współczesnej nauce tendencji integracyjnych, swoistej „pojęciowo – metodologicznej symbiozy”. Czynnikiem integrującym jest pojęcie systemu jego ruch i rozwoju.

Do podstawowych kategorii charakteryzujących rzeczywistość przyrodniczą i społeczną należą:

- **RUCH** rozumiany jako wszelka zmiana;
- **ROZWÓJ** rozumiany jako przemiana kierunkowa, uporządkowana w jakiś sposób, nieodwracalna w danych warunkach;
- **POSTĘP** rozumiany jako doskonalenie organizacji, przechodzenie od stanów niższych do wyższych (wyróżnionych ze względu na przyjęte kryteria).

Zwraca się uwagę na to, że o ile kategorie ruchu i rozwoju można uważać za obiektywne, o tyle kategoria postępu nastrocza pewnych trudności. Jeśli mówimy o sterowaniu rozwojem systemów, to mamy na uwadze takie oddziaływanie na podstawowe procesy realizowane przez system, które zapewni postępowanie, wyrażany za pomocą określonych mierzalnych

kryteriów. Rozwój systemów może przynieść zarówno postęp, czyli wzrost szeroko rozumianej efektywności, jak i stagnację lub regres.

Rozwój systemu jako proces ukierunkowanych zmian jest procesem, w którym można wyróżnić następujące po sobie fazy rozwojowe systemu, wykazujące różnicowanie się tego systemu pod określonym względem. Jej procesem dialektycznym, tj. procesem, w którym sprzeczności zachodząc w systemie powodują jego bezustanny ruch i rozwój (O. Lange). Jest procesem ilościowych i jakościowych zmian, na skutek, których zmian się całkowita liczba elementów systemu i jego struktura (S. Węgrzyn,). Rozwój ma charakter progresywny, jeżeli w jego wyniku powstaje w systemie nowa wyższa jakość (np. nowa struktura, nowy typ reakcji i zmiany w otoczeniu). Podstawowymi charakterystykami procesu rozwoju są: poziom rozwoju i dynamika. Poziom rozwoju to poziom określony za pomocą przyjętych cech systemowych (strukturalnych, funkcjonalnych), na jaki przebiega ruch systemu. Dynamikę określa tempo i rytmiczność rozwoju systemu. Tempo rozwoju to wielkość zmian badanych cech strukturalnych funkcjonalnych systemu przypadająca na określoną jednostkę czasu. Rytmiczność rozwoju to zjawisko różnego tempa rozwoju w poszczególnych fazach rozwojowych systemu.

Dla rozwoju systemów istotne znaczenie ma zjawisko kanalizacji rozwoju, co oznacza, że rozwój przebiega według własnego szlaku rozwojowego w określonym dla danej klasy systemów kanale rozwojowym. Wynika stąd różnorodność przebiegu torów rozwojowych oraz uzyskiwania przez systemy różnicowanych wartości końcowych cechy strukturalnej i/lub funkcjonalnej, limitowanych potencjałem i wyposażeniem systemów, tempem rozwoju oraz czasem wyhamowania tempa rozwoju.

Rozwój systemu jest w każdej chwili czasu systemowego funkcją czynników wewnętrznych (endogennych), środowiskowych (egzogennych) i czasu, jaki upłynął od czasu ostatniej zmiany systemu.. Determinatorami rozwoju są czynniki określające poziom i dynamikę rozwoju, wśród których wyróżnia się stymulatory rozwoju, czyli czynniki wymuszające zmiany poziomu i dynamiki oraz modyfikatory, które wywołują zmiany sposobu działań (zachowania, funkcjonowania) systemu.

Adaptabilność jest zjawiskiem kształtowania cech systemowych zapewniających systemowi przetrwanie w warunkach zmieniającego się otoczenia. Norma adaptacyjna jest zakresem zmienności systemu dostosowującego się do otoczenia. Z kolei, rezystancja systemu jest oporem stawianym przez rozwijający się system stosunku do czynników środowiska, które zmierzają do wywołania zmian strukturalnych systemu.

Podstawowe, ogólne prawa rozwoju systemów można przedstawić:

[1] $C.E \geq P$, gdzie P - potrzeby egzystencjalne systemu, C – zasoby środowiska, E - wskaźnik dostępności, określający zdolność eksploatacyjną systemu;

[2] $D_s A \approx D_0$ – gdzie D_0 dynamika zmian otoczenia (środowiska),

D_s - dynamika zmian systemu, A - wskaźnik dostosowania, określający zdolności adaptacyjne systemu.

Pierwsze z ogólnych praw określa warunki, jakie powinny być spełnione, aby system po trafili zdobyć i zużytkować na swoje potrzeby określone zasoby znajdujące się w jego otoczeniu. Drugie z praw określa warunki koniecznego dla rozwoju dostosowywania się systemu do zmian:jego otoczenia.

Wśród cech systemowych szczególne znaczenie mają:

- a) homeostaza, czyli zjawisko polegające na utrzymywaniu stanu równowagi dynamicznej - w ramach normy reakcji systemu - między:, czynnikami wewnętrznymi a ciągle zmieniającymi się czynnikami środowiska;
- b) samoregulacja, czyli zdolność utrzymywania lub odzyskiwania przez system stanu równowagi w wyniku działań wewnętrznych, mimo zmienności warunków otoczenia i zmian wewnętrznych systemu zmniejszających jego efektywność.

W odróżnieniu od systemów naturalnych, które dążą do osiągnięcia stanu najbardziej prawdopodobnego, tj. stanu równowagi termodynamicznej, czemu towarzyszy wzrost entropii systemu, rozwój systemów o celowym działaniu nie zmierza do wzrostu entropii, bowiem zadaniem sterowania jest utrzymywanie systemów w stanach pożądanym (zamierzonym), dalekich od stanów termodynamicznej równowagi. Systemy te cechuje nieodwracalność i stochastyczność rozwoju oraz przemiany jakościowe, mające charakter skokowy, W rezultacie nagromadzenia się zmian ilościowych stan systemu zmienia się skokowo („ilość przechodzi w jakość”), a cały proces powtarza się, lecz na nowym poziomie jakościowym. Wskutek narastania zmian ilościowych w systemie i jego otaczaniu, mechanizmy systemowe słabną nie mogą zapewnić stabilnego funkcjonowania systemu. Zaistniały niestabilny stan równowagi należy zastąpić innym, stabilnym stanem. Jakościowa zmiana stanu systemu, spowodowana utratą stabilności stanu równowagi, nazywa się katastrofą (R. Thom.).

J. Prigogine przyjął założenie, że systemy otwarte w pewnych warunkach rozwijają się w coraz bardziej złożone struktury. Warunkami tymi są: oddalenie od punktu równowagi i występowanie nieliniowości. Struktury tworzące się w tych warunkach nazwano strukturami dysypatywnymi, gdyż pobierają one z otoczenia i rozpraszają energię i materię. Kolejne turbacje i fluktuacje prowadzą do coraz bardziej skomplikowanych struktur (od struktur dysypatywnych do porządku przez fluktuację).

Systemy, które cechuje taki proces rozwoju są systemami otwartymi na przepływ energii i materii, znajdują się w stanie odległym od równowagi i charakteryzują się występowaniem w nich nieliniowości.

Podstawą sterowania rozwojem systemów jest określona strategia rozwoju. Zależy ona w dużym stopniu, od typu otoczenia systemu, które może być: względnie ustabilizowane, o znacznej zmienności i turbulentne z nieregularnymi skokami. Najczęściej wyróżnia się trzy podstawowe strategie: strategię przetrwania, strategię dostosowania i strategię ekspansji. Charakteryzują one formę zachowania się systemu wobec otoczenia i mogą być bierne, antycypacyjne i czynne. Z kolei, strategiami sterowania, które umożliwiają opanowanie wielkiej złożoności i probabilizmu systemów są: strategia nadmiaru, strategia izolacji i strategia hierarchizacji. Przejawem- pierwsze jest dążenie do stworzenia w systemach społeczno-gospodarczych nadmiaru zasobów, drugiej – tendencje autarkiczne, dążenie do izolacji od zakłóceń z otoczenia (np., konkurencji), trzeciej - wielopoziomowa i hierarchiczna struktura systemu, sprzyjająca redukowaniu różnorodności i swoistej segmentacji otoczenia.

Rozwój systemu jest pojęciem postępowym, gdyż odznacza się doskonaleniem struktury i funkcji. Każde jednakże doskonalenie bez jego ilościowych miar prowadzi do ujęć subiektywnych.

Do podstawowych rodzajów kryteriów postępu w systemie można zaliczyć następujące:

- [1] kryteria strukturalne (np. wzrost stopnia i uporządkowania struktury, jej zróżnicowania lub integracji);
- [2] kryteria funkcjonalne (np. zdolność do pełnienia większej liczby i bardziej złożonych funkcji);
- [3] kryteria energetyczne (np. wzrost aktywności, aktywnych związków z otoczeniem)
- [4] kryteria termodynamiczne (np. wzrost negentropii);
- [5] kryteria informacyjne (np. zwiększenie zasobu wykorzystywanej informacji o otoczeniu, wzrost operatywności informacyjnej);
- [6] kryteria środowiskowe (np. wzrost autonomii, homeostazy, kontroli środowiska).

5.2. Modelowanie rozwoju systemów

5.2.1. Ogólny model systemu

Model rozwoju systemów jest wyrazem ujęcia prognostycznego podstawowych procesów realizowanych przez systemy. Stosowany jest w badaniach systemowych, podczas których istotne znaczenie ma uzyskanie odpowiedzi na pytania:

- w jakim kierunku przebiegać będą zmiany w strukturze i /lub zmiany w organizacji procesów realizowanych w systemie;
- w jaki sposób zmiany strukturalne wpływają na zmiany funkcjonalne oraz, w jaki sposób zmiany dynamiki procesów wpływają na zmiany strukturalne w systemie;
- jak należy sterować rozwojem systemu, aby zmiany struktury i procesów przebiegały w pożądanym (z określonego punktu widzenia) kierunku itp. Rozwojowy opis systemu charakteryzuje przede wszystkim dążenie do odwzorowania zdarzeń wywołujących zmiany w systemie oraz przewidywanie struktur i procesów, które charakteryzować będą system w przyszłości.

Systemy, których elementy (podsystemy), struktury, funkcje i procesy ulegają zmianom wskutek wzrostu, rozbudowy, starzenia się, ewolucji itp. nazywać będziemy systemami rozwijającymi się.

Proponuje się wyróżnić następujące typy dynamiki rozwoju systemów:

- a) postępowy rozwój typu ewolucyjnego, gdy system stopniowo przyjmuje cechy (stany) korzystniejsze niż cechy (stany) pierwotne;
- b) wsteczny rozwój typu ewolucyjnego, gdy system stopniowo przyjmuje cechy (stany) mniej korzystne niż cechy (stany) pierwotne;
- c) rozwój, typu katastroficznego, gdy następuje gwałtowny spadek -wartości pozytywnie ocenianych (korzystnych) cech systemowych;
- d) rozwój typu eksplozywnego, gdy następuje gwałtowny wzrost w systemie, czyli przejście do dominacji pewnych pozytywnych cech;
- e) rozwój typu fluktuacyjnego, gdy występują w systemie fluktuacje wartości podstawowych cech systemowych wokół pewnych wartości średnich. Ponadto w systemie rozwijającym się mogą zachodzić zjawiska konwergencji i dywergencji. W pierwszym przypadku rozwój systemu polega na dążeniu do zaniku zróżnicowania pewnych cech wewnętrznych (np. specjalizacji funkcjonalnej elementów), zaś w drugim - rozwój systemu wywołuje zjawisko przeciwne, czyli wzrost zróżnicowa-

nia w systemie. Rozwój systemów społeczno-gospodarczych związany jest z zaspokajaniem określonych potrzeb, przy czym może występować normalny lub nadmierny rozwój systemu w stosunku do potrzeb, albo nienadążanie rozwoju systemu za potrzebami.

Modelem rozwoju systemu nazywać będziemy:

$$s_R \equiv \langle X_R, T; (S_0, S_K), \delta(t_0, t_K), \Delta E(t_0, t_K); F(x, u, t) = 0 \rangle$$

gdzie:

X_R - zbiór wejść - czynników stymulujących rozwój (wymuszających określone tendencje rozwojowe w systemie),

T - analizowany okres rozwoju systemu,

S_0 - stan początkowy systemu (w chwili $t_0 \in T$),

S_K - zamierzony (pożądany) stan końcowy (docelowy) systemu (w chwili $t_K \in T$),

$\delta(t_0, t_K)$ - przyjęta strategia rozwoju w okresie $[t_0, t_K]$,

$\Delta E(t_0, t_K)$ - przyrost wartości przyjętego wskaźnika efektywności systemu w wyniku procesów rozwojowych,

$F(x, u, t) = 0$ - równania ruchu systemu.

Wyróżniono następujące przypadki typów rozwoju systemu:

- [1] $\Delta E=0$, czyli w systemie ma miejsce stagnacja;
- [2] $\Delta E>0$, czyli w systemie zachodzi postęp;
- [3] $\Delta E<0$, czyli w systemie zachodzi regres.

Model rozwoju systemu powinien stanowić podstawę do opracowania programu i planu rozwoju systemu w celu przyspieszania rozwoju – dla zjawisk pozytywnych – oraz racjonalnego wykorzystania jego skutków, oraz opóźniania lub likwidowania rozwoju negatywnych w systemie zabezpieczenie systemu przed ich skutkami.

5.2.2. Wybrane modele rozwoju systemów

Rozpatrzono podstawowe modele rozwoju systemów, które nie wyczerpują zagadnienia, lecz z określonych powodów modele te wydają się być charakterystyczne dla pewnej postawy metodologicznej.

5.2.3. Wyjściowy model R. Kulikowskiego

Procesem rozwoju określa się kompleksowy proces dynamiczny opisany wektorem

$$X \equiv \langle X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t) \rangle$$

który zależy od wektora $Y \equiv \langle Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_m(t) \rangle$ czynników rozwoju $Y_i(t)$, $i=1, \dots, m$. Typowym przykładem takiego procesu jest n - sektorowa ekonomika z wyjściem X zależnym od czynników produkcji: pracy i kapitału.

Przyjęto założenie, że ogólna zależność $X Y$ może być opisana przez n funkcji rozwoju

$$F_i[X, Y, t] = 0, \quad i=1, \dots, n$$

Ze względu na trudności z rozwiązaniem układu zastosowano technikę linearyzacji, przyjmując, że wokół punktu (X_0, Y_0, t) funkcje (1) są ciągle różniczkowalne, tak, że (1) można zastąpić równością

$$\sum_{j=1}^n F'_{ixj} \dot{X}_j + \sum_{v=1}^m F'_{iyv} \dot{Y}_v + F'_{it} = 0, \quad i=1, \dots, n$$

gdzie $F'_{ixj}, F'_{iyv}, F'_{it}$ są różniczkami cząstkowymi F_i .

Następne założenie polega na tym, że wokół punktu (X_0, Y_0, t_0) wyrażenia

$$F'_{ixj} X_j = a_{ji}, \quad F'_{iyv} Y_v = b_{vi}, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad v = 1, \dots, m$$

nie zmieniają się znacznie, tak, że (1) można aproksymować równaniami liniowymi

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \zeta_{xj} + \sum_{v=1}^m b_{iv} \zeta_{yv} + F'_{it} = 0, \quad i=1, \dots, n$$

gdzie: $\zeta_{xj} = \dot{x}_j / x_j$, $\zeta_{yv} = \dot{y}_v / y_v$ są zwane współczynnikami wzrostu. Gdy wyznacznik a_{ij} jest różny od zera, układ (3) można rozwiązać ze względu na $\zeta_{xi}, i=1, \dots, n$, to jest

$$\zeta_{xi} = \frac{x_i}{x_i} \mu_i(t) + \sum_{v=1}^m \beta_{vi} \frac{Y_v}{Y_v}, \quad i=1, \dots, n$$

gdzie: β_{vi} – dane liczby, $\mu_i(t)$ – dane funkcje.

Przyjmując $X_i(0)$ jako dane, można zinterpretować układ (4) i uzyskać

$$X_i(t) = K_i \exp\left(\int_0^t \mu_i(\tau) d\tau\right) \prod_{v=1}^m [Y_v(t)]^{\beta_{vi}}$$

$$K_i = X_i(0) \prod_{v=1}^m [Y_v(0)]^{-\beta_{vi}}, \quad i=1, \dots, n$$

Funkcje (5) rozważane są jako aproksymacje ogólnych zależności (1), jednak wyrażają one zależność między Y a X w formie jawnej.

Są to jawne formy funkcji rozwoju systemu.

5.2.4. Model: „drapieżniki – ofiary”

Interakcja między drapieżnikami i ofiarami była jednym z pierwszych matematycznych modeli zjawisk biologicznych. Jest on związany przede wszystkim z pracami V. Volterra. Ten typ modeli rozwoju znajduje zastosowanie w analizie rozwoju systemów biologicznych, ekologicznych, także społecznych i modeli walki (modele W.L. Lanchestera).

Zasadnicza idea polega na opisie matematycznym następujących współzależności:

- im więcej drapieżników, tym większa śmiertelność w populacji ofiar;
- im mniej ofiar, tym większa śmiertelność w populacji drapieżników.

W 1936 r. A.N. Kołmogorow przedstawił model dynamiki systemu „drapieżniki – ofiary” w następującej postaci:

$$\frac{dN_1}{dt} = N_1 g_1(N_1, N_2), \quad \frac{dN_2}{dt} = N_2 g_2(N_1, N_2)$$

gdzie:

N_1 – liczność populacji drapieżników,

N_2 – liczność populacji ofiar

g_1 – funkcja malejąca ze wzrostem drapieżników

g_2 – funkcja rosnąca z maleniem ofiar.

Kolejny model Kołmogorowa miał postać:

$$\frac{dN_1}{dt} = g_1(N_1)N_1 - L(N_1)N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} = g_2(N_1)N_2$$

W tabeli 1 przedstawiono postać funkcji stosowanych w różnych modelach.

Tabela 1

PODSTAWOWE MODELE ROZWOJU SYSTEMÓW „DRAPIEŻNIKI – OFIARY”

$g_1(N_1)$	$L(N_1)$	$g_2(N_1, N_2)$
ε_1	$a_{12}N_1$	$-\varepsilon_2 a_{21}N_1$
$\varepsilon_1 - a_1 N_1$	$a_{12}N_1$	$\varepsilon_2(1 - e^{-\gamma N_1})$
ε_1	$a_{12}N_1$	$\varepsilon_2 - a_{21} \frac{N_2}{N_1}$
ε_1	$\frac{\alpha N_1}{1 + \alpha h N_1}$	$\varepsilon_2 - a_{21} \frac{N_2}{N_1}$
ε_1	$b(1 - e^{-\gamma N_1})$	$\varepsilon_2 - a_{21} \frac{N_2}{N_1}$
ε_1	$\frac{\alpha(N_1)N_1}{1 + \alpha(N_1)hN_1}$	$\varepsilon_2 - a_{21} \frac{N_2}{N_1}$
$1 - \frac{N_1}{K_1}$	$\frac{\alpha N_1}{1 + \alpha h N_1}$	$1 - \frac{N_2}{K_1} N_1$
$\varepsilon_1 - a_1 N_1$	$a_{12}(1 - e^{-\gamma N_1})$	$\varepsilon(1 - a_{21} e^{-\mu N_1})$

Należy wspomnieć o znacznie bardziej złożonych, modelach stochastycznych. Do nich należy np. model R. Bartoszyńskiego mający postać dwuwymiarowego procesu stochastycznego $\{X(t), Y(t), t \geq 0\}$, gdzie $X(t)$ jest interpretowane jako liczebność populacji ofiar w chwili t , a $Y(t)$ – jako liczebność populacji drapieżników. Przykładowo, wykazano, że w okresach między rozmnożeniami, $\{X(t)\}$ jest czystym liniowym procesem śmierci o intensywności wymierania zależnej od realizacji procesu $Y(t)$, natomiast proces $\{Y(t)\}$ jest procesem liniowym urodzin i śmierci o stałych intensywnościach i zmiennej intensywności imigracji.

5.3. Podsumowanie

W powyższych rozważaniach dokonano ogólnego wprowadzenia do cybernetycznej teorii systemów rozwijających się jako dziedziny modelowania procesów rozwoju systemów fizycznych, biologicznych, ekologicznych, społecznych, technicznych. Dążono do zasygnalizowania podstawowych problemów związanych porządkowaniem pojęć oraz formułowaniem ogólnych zasad modelowania rozwoju systemów i sterowania rozwojem. Większość problemów została jedynie zasygnalizowana, zaś spośród licznych modeli matematycznych rozwoju

systemów przedstawiono te, które można zaliczyć niejako do klasyki. Prezentacja innych, to temat dalszych prac i rozważań.

Przedstawiona problematyka należy do wiece znaczącej, gdyż wpływa zarówno na postęp w dziedzinie modelowania systemowego, jak i na postęp w dziedzinie praktycznych zastosowań analizy systemowej i inżynierii systemów.

CZĘŚĆ 2 MODELOWANIE SYSTEMOWE

1. Zasady opisu systemów

Określenie dziedziny badań systemowych wymaga sprecyzowania:

- 1) „sfery pozajęzykowej”, którą identyfikuje się z całokształtem systemów rzeczywistych (empirycznych);
- 2) „sfery językowej”, którą identyfikuje się z całokształtem systemów pojęciowych;
- 3) metod powiązania (przechodzenia, przekształcania, odwzorowywania) obu wyżej wymienionych „sfer”.

Opis dowolnego systemu rzeczywistego wymaga ustalenia cech parametrów charakteryzujących obiekt z określonego punktu widzenia, czyli dokonania *konceptualizacji*. Określonej konceptualizacji odpowiada zawsze pewien obserwator realizujący cel badań. Precyzując zasady opisu systemów należy wyróżnić aspekty charakterystyczne dla badań systemowych. Istotne znaczenie we wstępnej fazie opisu systemów ma *eksplikacja pojęć pierwotnych*, czyli nadawanie pojęciom powszednim powszechnie używanym rangi ścisłych pojęć matematycznych. Jest to zabieg często stosowany w badaniach systemowych. W tym miejscu celowe jest przytoczenie opinii J.A. Szrejdera: „... należy przestrzec przed nieostrożnym przenoszeniem rozważań przeprowadzonych dla konkretnego uściślenia, czyli eksplikacji danego pojęcia na przypadek ogólny, w którym pojęcie to ma charakter intuicyjny. Badanie eksplikacji dowodzi, że jedno i to samo pojęcie może mieć różne uściślenia o różnych własnościach. Zmusza to do szczególnej ostrożności wobec wywodów nieścisłych lub przenoszenia wywodów ścisłych na przypadki, w których występują pojęcia intuicyjne. W istocie działa tu zasada proporcjonalności między ścisłością wywodu i dokładnością stwierdzenia”²⁵.

Dyskusja nad poprawnością, adekwatnością itp. opisu ma sens, gdy uwzględnia przyjęty aspekt badań oraz właściwości zastosowanego języka i metody opisu. Powyższa uwaga pozwala uniknąć wielu nieporozumień formalnych. Z ogólnej interpretacji twierdzenia K. Goedla o niepełności wynika, że w języku odwzorowującym dany system, jeżeli jest on niesprzeczny, istnieją wypowiedzi, o których nie potrafimy orzec, czy trzeba je przyjąć czy odrzucić (tj. nie można ich w tym języku ani udowodnić, ani uznać za fałszywe).

²⁵ J.A. Szrejder, *Równość, podobieństwo, porządek*, Warszawa 1975, s. 7.

Do ich oceny potrzebny jest metajęzyk, którego obiektem jest dany język. Formą reprezentacji badanych systemów są modele stosowane do opisu, wyjaśniania i przewidywania zachowania się systemów w różnych warunkach.

Między systemem pojęciowym przyjętym jako model danego systemu rzeczywistego a oryginałem (tj. systemem rzeczywistym) musi zachodzić, co najmniej *relacja homomorfizmu*, czyli relacja jednoznaczna-dwuczłonowa, przeciwsymetryczna, wyrażająca większe lub mniejsze podobieństwo (strukturalne, funkcjonalne) modelu i oryginału.

Istnieją różnorakie klasyfikacje modeli stosowanych w badaniach (por. tablicę 2).

Tabela 2
Klasyfikacja modeli badawczych

Forma Warstwa	Modele Opisowe	Modele formalne	Modele matematyczne
Modele zjawiskowe	MOZ	MFZ	MMM
Modele ocenowe	MOO	MFO	MMO
Modele decyzyjne	MOD	MFD	MMD

Źródło: J. Konieczny, „Podstawy eksploatacji urządzeń, Warszawa 1975, s.71

W celu dokonania klasyfikacji podstawowych modeli stosowanych w badaniach systemowych organizacji przyjęto trzy kryteria podziału. *Pierwsze kryterium* wyraża cel poznawczy (rezultat modelowania) i pozwala na wyróżnienie:

- modeli desygnujących (wyjaśniających), których celem jest uzyskanie pożądanego wyjaśnienia istoty cech (zjawisk) systemu;
- modeli ocenowych, których celem jest uzyskanie ocen, czyli wypowiedzi wyrażających aprobatę lub dezaprobatę dla stanu (przeszłego, bieżącego, przyszłego) systemu;
- modeli decyzyjnych, których celem jest uzyskanie określonych decyzji, niezbędnych do zapewnienia stanu systemu pożądanego z uwagi na przyjęte kryterium.

W badaniach systemowych organizacji stosowane są wszystkie wymienione rodzaje modeli, przy czym modele desygnujące są podstawowym narzędziem w teorii systemów rzeczywistych i pojęciowych, natomiast modele ocenowe i decyzyjne w analizie systemowej i inżynierii systemów.

Ze względu na *drugie kryterium* podziału, wyrażające formę przekazu (język modelowania), rozróżniamy:

- modele opisowe wyrażone w języku naturalnym,
- modele formalne wyrażane w języku logiki, głównie logiki matematycznej,
- modele matematyczne wyrażone w języku matematyki (np. teorii mnogości, algebry, analizy funkcjonalnej, probabilistyki).

Trzecie kryterium wiążemy z przyjmowanym aspektem badań systemowych.

Wyróżniamy trzy podstawowe aspekty:

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

Powiemy więc, że dowolny system może być rozpatrywany pod względem morfologicznym, funkcjonalnym i rozwojowym.

Wyróżnione aspekty 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. Możemy więc mówić o odpowiednich rodzajach opisu (modelu) systemu takich, jak:

- opis morfologiczny (strukturalny);
- opis funkcjonalny;
- opis rozwojowy.

W tablicy 3 przedstawiamy szczegółową klasyfikację modeli systemów ze względu na przyjęte kryteria.

Poszczególne poziomy poznania systemu wyrażają swoiste ujęcie obiektu: opis parametryczny charakteryzuje ujęcie jakościowe; opis morfologiczny – strukturalne; opis funkcjonalny – procesualne; opis rozwojowy - prognostyczne. Przyjętą klasyfikację modeli systemów można rozszerzyć, jeżeli w klasie modeli matematycznych rozpatrzymy charakter stosowanych kategorii matematycznych. Wtedy możemy mówić o modelach ciągłych i

dyskretnych, liniowych i nieliniowych, statycznych i dynamicznych, deterministycznych i probabilistycznych itp..

Z kolei ze względu na metodę komputerowej realizacji modeli możemy mówić o modelach normatywnych i symulacyjnych.

Omawiając kolejno aspekty - rodzaje opisu systemów ograniczymy się do klasy modeli matematycznych użytecznych przede wszystkim w rozwiązywaniu zadań analizy, oceny i syntezy systemów, a więc do *modeli ocenowych i decyzyjnych*.

Na rysunku 31 przedstawiamy ogólny schemat pełnego cyklu modelowania systemów, które ze względu na przedmiot i metodę odwzorowywania nazywać będziemy *modelowaniem systemowym*. Modelowanie systemowe jest procesem twórczym i stanowi taki ciąg czynności, w wyniku których uzyskujemy np. matematyczny model ocenowy (decyzyjny) systemu. Jeżeli uzyskany model dotyczy tylko wybranego aspektu badań, to można mówić o modelu cząstkowym (jednoaspektowym), jeśli zaś wszystkich, to - o modelu kompleksowym (wieloaspektowym). Należy zwrócić uwagę, że prezentowany schemat modelowania systemowego jest uściślony o aspekty badań ogólnego schematu metody abstrakcji i stopniowej konkretyzacji.

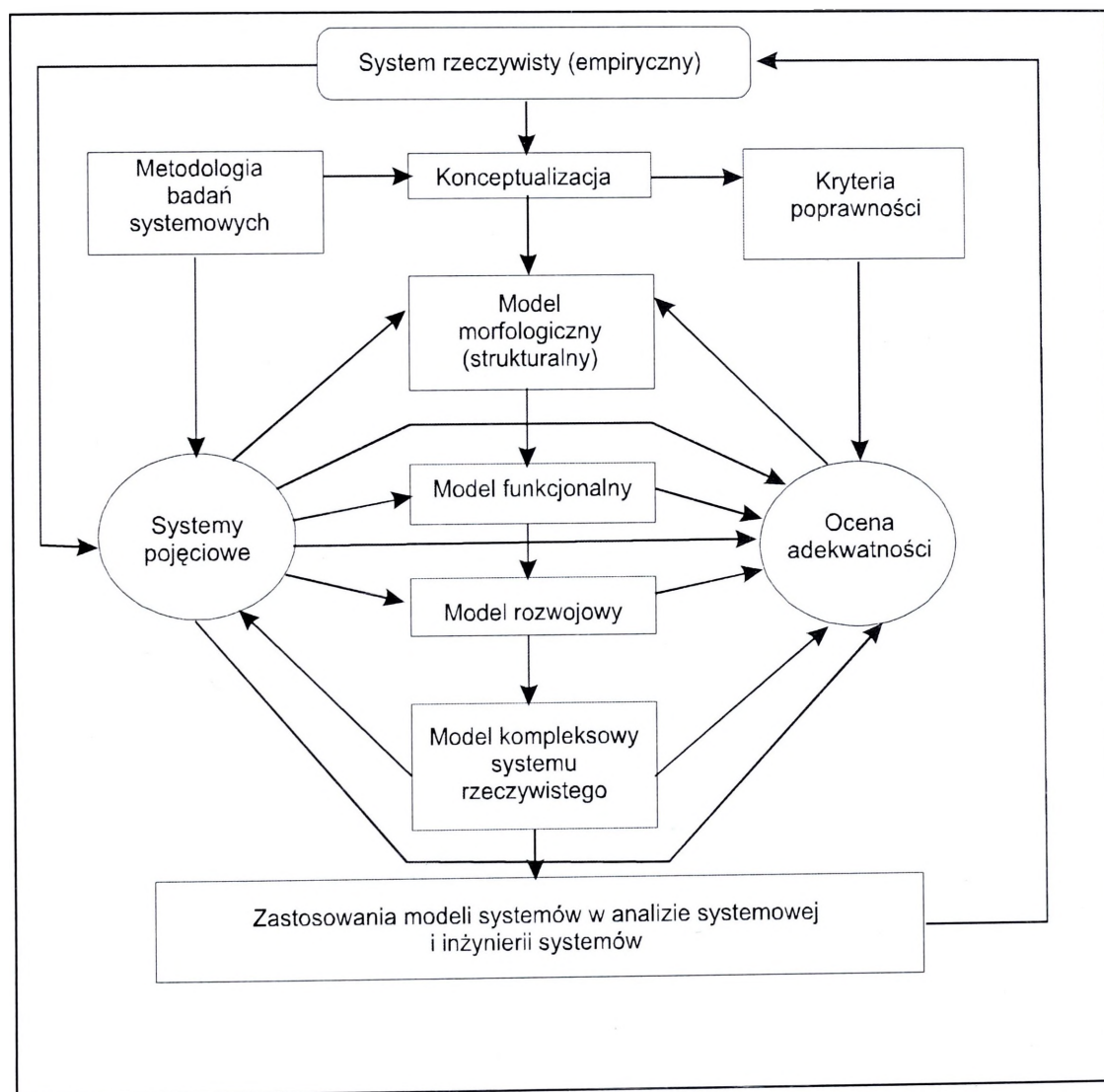
Tablica 3
KLASYFIKACJA MODELI SYSTEMÓW

Aspekt badań systemowych Cel poznawczy	MORFOLOGIA			Funkcjonowanie			Rozwój		
	FORMA MODELU			FORMA MODELU					
	OPISOWA	FORMALNA	MATEMATYCZNA	OPISOWA	FORMALNA	MATEMATYCZNA	OPISOWA	FORMALNA	MATEMATYCZNA
Desygnacja	MOWM	MFWM	MMWM	MOWF	MFWF	MMWF	MOWR	MFWR	MMWR
Ocena	MOOM	MFOM	MMOM	MOOF	MFOF	MMOF	MOOR	MFOR	MMOR
Decyzja	MODM	MFDM	MMDM	MODF	MFDF	MMDF	MODR	MFDR	MMDR

MMDF – matematyczny model decyzyjny funkcjonalny itp.

Warto podkreślić, iż korzyści z formalizacji i modelowania w dziedzinie systemologii mogą być różnorakie, a mianowicie: uzyskanie jednoznaczności pojęć i sprecyzowanie reguł wnioskowania prowadzących do obiektywizacji danej teorii empirycznej oraz uzyskanie nowych, istotnych informacji o badanych systemach rzeczywistych. Ponadto

na gruncie ogólnej teorii systemów rozwój formalizacji i modelowania związany jest z rozwojem idei izomorfizmu matematycznego, która z jednej strony łączy się z „czystą” matematyką, z drugiej zaś z budową modeli matematycznych rozpatrywanych niezależnie od ich treści.



Rys.31. Ogólny schemat modelowania systemowego

W rozważaniach na temat modelowania systemowego dość łatwo ulec „magii modeli”, co jest swoistą ucieczką w świat systemów abstrakcyjnych. A zatem należy poświęcić więcej uwagi systemom empirycznym stanowiącym przedmiot modelowania. W niniejszych rozważaniach tym przedmiotem są systemy działania należące do klasy systemów społecznych. Twarzą je ludzie, którzy - wyposażeni w określone środki materialne, energetyczne i informacyjne - realizują zamierzone cele społeczne. Tak rozumiane pojęcie systemu działania identyfikować będziemy z pojęciem organizacji (w sensie rzeczowym).

Zgodnie z porządkującą propozycją metodologiczną L. Krzyżanowskiego przez

organizację rozumieć będziemy zorientowany na realizację celów system realny stanowiący kolektywny, uporządkowany zbiór elementów, między którymi zachodzą więzi współdziałania²⁶.

U podstaw tworzenia, funkcjonowania i rozwoju wszelkiego rodzaju organizacji leży zjawisko synergii (efekt synergiczny). Przez *efekt synergiczny* rozumiemy dodatkową różnicę między efektem uzyskanym przez system, złożony ze współdziałających ze sobą elementów, a sumą efektów osiąganych przez elementy nie związane współdziałaniami.

Systemy działania obejmujące zorganizowane grupy ludzi mają nadzwyczaj skomplikowaną strukturę z uwagi na ich dużą różnorodność, a ponadto nie działają w izolacji, gdyż zachodzą różnorodne sprzężenia (interakcje), zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne (z otoczeniem). P.K. M. Pherson zwraca uwagę na to, że: „*Warunki egzystencji ludzkiej są w zasadzie uzależnione od wyników rzeczywistych i wyimaginowanych interakcji między systemem a jego środowiskiem kulturowym, ekonomicznym, technicznym i naturalnym. Struktura modelu służącego do reprezentacji takiego systemu będzie bardzo złożona wielofunkcyjna, wielopoziomowa i wieloobwodowa, zachowanie zaś modelu będzie wynikiem parametrów normatywnych i dynamicznych zawartych w tej strukturze. Należyte zrozumienie takiego systemu, dające wystarczającą pewność potrzebną do opracowania problemów związanych z doskonaleniem struktury, zachowania i układów regulacji wymaga znacznego wysiłku skierowanego na złożone modelowanie matematyczne i dokonywanie obszernych analiz z zastosowaniem elektronicznych maszyn cyfrowych*”²⁷.

Należy się więc zgodzić z opinią, iż modelowanie systemów społecznych a zwłaszcza organizacji gospodarczych i wojskowych, dalekie jest od stanu przynoszącego istotne wartości poznawcze i praktyczne. J.W. Forrester posunął się do twierdzenia, że: „*Umysł ludzki nie jest przygotowany do tego, by interpretować zachowanie się systemów społecznych. Nasze systemy należą do kategorii tak zwanych nieliniowych systemów sprzężeń zwrotnych z wieloma pętlami. Od początku ewolucji aż do niedawnych czasów rozumienie tych systemów nie było człowiekowi potrzebne. Procesy ewolucyjne nie wyrobiły w nas zdolności umysłowych, pozwalających prawidłowo interpretować dynamiczne zachowania systemów, których część obecnie stanowimy*”²⁸.

²⁶ L. Krzyżanowski, *Podstawy nauki zarządzania*, Warszawa 1985

²⁷ P.K. M'Pherson, *Systemy i nauka o systemach. Próba odpowiedzi na niektóre kwestie ontologiczne i epistemologiczne*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 1981, nr 3-4.

²⁸ Cyt. za R. Dubos, *Pochwała różnorodności*, Warszawa 1986, s. 197.

2. Opis morfologiczny

Opis morfologiczny systemu jest wyrazem ujęcia strukturalnego, w którym wykorzystywane są takie kategorie, jak element, skład, relacje, struktura, morfologia itp. Opis ten stosowany jest w rozwiązywaniu zadań, w których istotne znaczenie ma uzyskanie odpowiedzi na pytania:

- jakie elementy tworzą system i jakie między nimi występują różnice;
- jakiego typu powiązania między elementami systemu tworzą jego strukturę (struktury);
- jaki powinien być najbardziej pożądaný skład tworzonego systemu ze względu na określone kryterium efektywności;
- jakie powinny być najbardziej pożądane relacje między elementami systemu (struktury) ze względu na określone kryterium efektywności;
- w jaki sposób dana struktura systemu wpływa na realizowane funkcje;
- w jakim kierunku przebiegać będą przemiany struktur systemu itp.

Opis morfologiczny charakteryzuje przede wszystkim dążenie do odwzorowania organizacji wewnętrznej systemu, przestrzennego rozmieszczenia elementów oraz sposobów ich wzajemnych powiązań. W badaniach systemowych wyróżnimy dwa rodzaje wewnętrznych powiązań w systemie:

- sprzężenia między obiektami (elementami systemu);
- oddziaływania między procesami zachodzącymi w obiektach.

Pierwszy rodzaj powiązań stanowi zasadniczy przedmiot opisu morfologicznego, drugi natomiast jest przedmiotem opisu funkcjonalnego. Tak więc w opisie morfologicznym nie będą nas interesowały związki czasowe występujące między obiektami. Nie jest to równoznaczne z założeniem o istnieniu struktur diachronicznych, tj. takich, które trwają bez zmiany niezależnie od biegu czasu. Możemy jednak przyjąć, że w okresie badania (opisu) systemu jego struktury nie ulegają zasadniczym zmianom.

Zakładamy, że wszystkie systemy rzeczywiste (empiryczne) rozpatrywane w systemologii mają struktury synchronistyczne, tj. zmieniające się w czasie zarówno w zależności od czynników rozwojowych systemów, jak i od rozwoju człowieka badającego te systemy, jego sposobu myślenia, narzędzi badawczych itp.

Ze względu na własności sprzężeń między elementami systemu wyróżniamy następujące rodzaje *sprzężeń*:

- lokalizacyjne, czyli sprzężone są elementy, które muszą pozostawać we wzajemnych

relacjach ze względu na reprezentowane cechy systemowe;

- energetyczne, czyli istnieją sprzężenia między elementami, gdy jeden z nich stanowi podstawę do powstania drugiego;
- egzystencjonalne, czyli sprzężone są elementy, których istnienie jako elementów systemów określone jest przez relacje z innymi elementami, co najmniej niedestruktywnie nań wpływającymi;
- koegzystencjonalne, czyli sprzężone są elementy, między którymi istnieją relacje odpowiadające ich potrzebą (np. relacja współdziałania);

Zakładamy ponadto, że każdy opis danego systemu dotyczy reprezentanta określonej klasy systemów, czyli ograniczony jest do obiektu pewnej klasy.

Dowolny system danej klasy przedstawiamy jako uporządkowaną parę:

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

w której:

$$M = \{m_i : i \in I = \{1, 2, \dots, I\}, \quad I = 2, 3, \dots\}$$

oznacza skrócony zbiór elementów,

$$R = \{R_j : j \in J = \{1, 2, \dots, J\}, \quad J = 2, 3, \dots, 2^{2^I}\}$$

oznacza skończoną (J -elementową) klasę relacji R_j określonych na zbiorze M .

Zakładamy, że zbiór M opisujący skład systemu spełnia następujące warunki:

$$M = \{m : p(m, c)\}$$

gdzie:

$p(m, c)$ traktujemy jako pewną formę zdaniową, element m charakteryzuje cechę $c \in C$,

C jest zbiorem cech (własności) rozpatrywanego systemu, przy czym:

$$p(m, c) \Rightarrow m \in M \wedge c \in C$$

$$\{m : p(m, c)\} \subset \{m : q(m, c)\} \Leftrightarrow [p(m, c) \Rightarrow q(m, c)]$$

Ponadto zawsze spełnione są następujące podstawowe reguły prawidłowego opisu morfologicznego systemu:

- 1) dla każdego systemu określone jest jego otoczenie systemowe, takie że:

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

$$M \cap \overline{M} = \phi$$

czyli dokładnie zostały wyznaczone obiekty, które należą do systemu, oraz te, które do niego nie należą, lecz są z nim w określony sposób związane;

2) każdy system może być podzielony na podsystemy (np. ze względu na odmiennosc realizowanych funkcji), np.:

$$S = \{S_1, \dots, S_f, \dots, S_F\}$$

gdzie:

$$S_f = \langle M_f, R_f \rangle, \quad f = \overline{1, F},$$

przy czym spełnione są warunki:

- zupełność

$$\bigcup_{f=1}^F M_f = M$$

- rozłączność

$$\bigwedge_{\substack{f', f'' \in (1, \dots, F) \\ f' \neq f''}} M_{f'} \cap M_{f''} = \emptyset$$

Klasa relacji R na zbiorze elementów systemu tworzy strukturę systemu wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje co najmniej jedna relacja będąca równoważnością na zbiorze M . Relacja będąca równoważnością stwierdza, że elementy pozostające w tej relacji mają wspólną cechę; są pod pewnym względem jednakowe.

Zbiór tych wszystkich elementów, które należą do zbioru M i pozostają z danym elementem $m \in M$ w relacji R będącej równoważnością, nazywamy klasą abstrakcji wyznaczoną przez element m i relacją R .

Możemy więc powiedzieć, że dla każdego elementu ze zbioru M dowolnego systemu istnieje klasa abstrakcji wyznaczona przez ten element i relację równoważności na zbiorze M . Spełnione jest także twierdzenie:

1) jeśli relacja R w zbiorze M jest zwrotna, symetryczna i przechodnia, to istnieje podział zbioru M

$$M = \{M_1, \dots, M_l, \dots, M_L\}$$

$$M = \bigcup_{l=1}^L M_l$$

$$M_{l'} \cap M_{l''} = \emptyset \quad l' \neq l''$$

taki, że zależność $m R n$ jest prawdziwa wtedy i tylko wtedy, gdy m, n należą do tej samej klasy podziału,

2) jeżeli zadany jest podział zbioru M i R jest relacją binarną indukowaną przez ten podział, to relacja R jest zwrotna, symetryczna przechodnia.

Podział M zbioru elementów zbioru S równoważny jest rodzinie podsystemu systemu:

$$S = \{S_1, \dots, S_f, \dots, S_F\}$$

i określa organizację systemu, czyli $M \equiv S$.

System S nazywamy uporządkowanym, jeśli istnieje relacja R porządkująca zbiór M .

System S nazywamy domkniętym, jeżeli zbiór M jest domknięty ze względu na relację R , czyli każdy element przyporządkowany dowolnemu elementowi $m \in M$ przez relację R należy do tego zbioru.

Najczęściej w opisie morfologicznym systemów stosowane są grafy jako matematyczne (topologiczne) modele struktur systemów. Graf $G = \langle W, C \rangle$ jest modelem struktury systemu S wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje funkcja $f_G: M \rightarrow W$ (gdzie W jest zbiorem wierzchołków - węzłów - grafu), taka że dla każdego $m \in M$ istnieje dokładnie jeden element $w \in W$ zbiór U określa zbiór łuków grafu: $U \subset W \times W$.

Innym modelem struktury systemu może być graf definiowany jako multigraf:

$$G = \langle W, U, \varphi \rangle$$

$$\varphi: U \rightarrow W \times W$$

albo

$$G = \langle W, \Gamma \rangle$$

$$\Gamma: W \rightarrow 2^W$$

Przedstawione powyżej grafy są tzw. grafami nieobciążonymi i wyrażają „jakościowe” własności struktury systemu. natomiast własności „ilościowe” wyrażać będą grafy obciążone:

$$G = \langle W, U, f_w, f_u \rangle$$

$$f_w: W \rightarrow R$$

$$f_u: U \rightarrow R$$

gdzie R jest zbiorem liczb rzeczywistych.

Ponadto struktury systemów mogą być przedstawione w postaci macierzowej jako przestrzenie metryczne²⁹ itp.

Ze względu na rodzaj grafów odwzorowujących strukturę systemu można wyróżnić

²⁹ Opis struktury w postaci przestrzeni metrycznej jest szczególnie użyteczny, gdy interesuje nas organizacja przestrzeni fizycznej, charakterystyki ilościowe relacji między dwoma elementami (np. odległość, czas niezbędny na pokonanie odległości, koszty pokonania odległości).

odpowiadające im rodzaje struktur:

- 1) Struktura spójna charakteryzuje system, dla którego graf ją odwzorowujący jest grafem spójnym, czyli każde dwa $W_{r_1}, W_{r_s} \in W$ są połączone łańcuchem:

$$L(W_{r_1}, W_{r_s}) = \{ \langle W_{r_1}, W_{r_{i+1}} \rangle, \langle W_{r_{i+1}}, W_{r_{i+2}} \rangle, \dots, \langle W_{r_{s-1}}, W_{r_s} \rangle \}$$

gdzie:

$$(\langle W_{r_l}, W_{r_{l+1}} \rangle \in U) \vee (\langle W_{r_{l+1}}, W_{r_l} \rangle \in U)$$

$$l = \overline{1, s-1}$$

- 2) Struktura regularna określa system, dla którego graf ją odwzorowujący jest grafem regularnym, tzn. spójnym. dla którego istnieje uporządkowanie regularne spełniające warunek:

$$\bigwedge_{w \in W} \Gamma_w^{-1} \subset W_{i-1}; \quad i = \overline{2, m}$$

$$\Gamma_w^{-1} = \{z \in W : \bar{R}w\}$$

gdzie:

\bar{R} - dowolna relacja dwuargumentowa W ,

$$W = \bigcup_{i=1}^m W_i, \quad W_i \cap W_j = \emptyset, \quad i, j = \overline{1, m}$$

jeżeli

$$\bigwedge_{w \in W} \Gamma_w = \Gamma_w^{-1}, \quad \Gamma_w = \{y \in W : w\bar{R}y\}$$

to mamy graf symetryczny. a wtedy możemy mówić odpowiednio o systemie ze strukturą symetryczną.

- 3) Struktura prosta wyznacza system, dla którego graf ją odwzorowujący jest grafem prostym, czyli spójnym bez pętli oraz takim, że istnieje jeden i tylko jeden wierzchołek $w_0 \in W$ zwany wejściem, że dla każdego $y \in W$ mamy $y \bar{R} w_0$, oraz jeden i tylko jeden wierzchołek $z \in W$ zwany wyjściem, że dla każdego $y \in W$ mamy $z \bar{R} y$. Jedną z charakterystyk ilościowych grafu jest liczba cyklomatyczna grafu $G = \langle W, R \rangle$ będąca liczbą cykli liniowo niezależnych grafu $Or(G) = \langle W, \bar{R} \rangle$ oznaczona przez $\nu(G)$.

Z punktu widzenia przedmiotu rozważań istotne znaczenie mają; dwa twierdzenia związane z liczbą cyklomatyczną.

Jeżeli graf $G = \langle W, R \rangle$, jest spójny a liczby n, m są odpowiednio rzędem (liczbą

wierzchołków) i stopniem (liczbą krawędzi) tego grafu, to $v(G) = m - n + 1$.

Każdy graf, $G = \langle W, R \rangle$; płaski można przedstawić na płaszczyźnie w postaci grafu topologicznego T ; płaskiego, w ten sposób, że liczba ścian (części płaszczyzny, na które ten graf T , ją rozspaja) jest równa $v(G) + 1$ ³⁰.

4. Struktura dendrytowa (drzewiasta) charakteryzuje system, dla którego graf ją odwzorowujący jest spójny, ostro:, skierowany, bez pętli i nie zawiera prostych, czyli:

$$\bigwedge_{w, y \in W} w \bar{R} y \Rightarrow y \bar{R} w$$

$$\bigwedge_{w, y \in W} \bar{L}_{(w, y)} \Rightarrow w \neq y$$

Nie istnieje cykl $c = [w_1, \dots, w_m; l_1, \dots, l_{m-1}]$

gdzie $l_i = [w_{i+1}, w_i]$ taki, że jeżeli $m > 3$

oraz $w_i = w_j$ pociąga $i = 1, j = m$

bądź $i = m, j = 1$.

W badaniach systemów rzeczywistych, takich jak systemy działania, szczególnie duże znaczenie ma badanie systemów o strukturach dendrytowych, a zwłaszcza o strukturze hierarchicznej. Ważną własnością systemów tak zwany izostrukturalizm, czyli taka własność dowolnych dwóch systemów, która polega na izomorfizmie ich struktury. O systemach tych będziemy mówić jako o izostrukturalnych.

Niech dane będą systemy:

$$S^{(i)} = \langle M^{(i)}, R^{(i)} \rangle$$

$$\text{ i } S^{(j)} = \langle M^{(j)}, R^{(j)} \rangle$$

Systemy $S^{(i)}, S^{(j)}$ są izostrukturalne jeżeli relacje $R^{(i)}, R^{(j)}$ są izomorficzne.

Lemat

Relacje $R^{(i)}, R^{(j)}$ są izomorficzne wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje relacja stwierdzająca izomorfizm tych relacji:

$$\bigwedge_{R_i \in R^{(i)}} \bigwedge_{R_j \in R^{(j)}} R_i \text{ iz } R_j \Leftrightarrow \bigvee_p R_i \text{ iz }_p R_j$$

Jeśli relacja stwierdza izomorfizm relacji R_i, R_j , to stwierdza równoliczność pól tych relacji oraz

³⁰ Przy badaniu struktur wygodnie jest posługiwać się geometryczną ilustracją grafu. Graf topologiczny T jest zbiorem zakończonych punktów przestrzeni połączonych nieprzecinającymi się łukami homeomorficznymi z odcinkiem $(0,1)$

$$mpn \wedge m' pn' \Rightarrow (mR_i m' \Leftrightarrow nR_j n')$$

W wielu przypadkach wielkości charakteryzująca graf odwzorowujący strukturę systemu są zmiennymi losowymi. Model taki opisuje graf losowy. Jeżeli przyjmiemy opis grafu w postaci takiej macierzy kwadratowej $X = [x_{ij}]$, że:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{gdy } w_i \bar{R} w_j \\ 0, & \text{gdy } \sim w_i \bar{R} w_j \end{cases}$$

$$i, j = \overline{1, m}$$

to dla grafu losowego elementami tej macierzy są zmienne losowe przyjmujące wartości 0 lub 1.

Z punktu widzenia zagadnienia struktury systemu podstawowe znaczenie ma wtedy określenie warunków spójności grafu losowego.

Dla przypadku, gdy:

$$P_r \{x_{ij} = 1\} = p \quad \text{dla } i > j, x_{ii} = 0, x_{ij} = x_{ji}$$

oraz $\{x_{ij}\}_{i \geq j}$ są wzajemnie niezależne, a prawdopodobieństwo nie pojawienia się krawędzi wynosi $q = 1 - p$ udowodniono następujące własności:

- prawdopodobieństwo, że graf o n wierzchołkach, jest spójny określa wzór:

$$P_{n,p} = 1 - \sum_{k=1}^{n-1} \binom{n-1}{k-1} P_{k,p} q^{k(n-k)}$$

- prawdopodobieństwo, że dwa dowolne, ale ustalone wierzchołki są połączone drogą określa wzór:

$$R_{n,p} = 1 - \sum_{k=1}^{n-1} \binom{n-2}{k-1} P_{k,p} q^{k(n-k)}$$

5. Struktura losowa określa system, dla którego graf ją odwzorowujący jest stale grafem losowym. Podstawową charakterystyką struktury losowej jest prawdopodobieństwo spójności grafu losowego odwzorowującego strukturę systemu.

Rozpatrzmy inną interesującą charakterystykę struktury systemu. Niech będzie dany graf $G \langle W, U \rangle$ bez pętli, gdzie $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$.

Permutację Π , elementów zbioru W , nazywamy automorfizmem grafu G ; jeżeli dla każdego $i, j = \overline{1, n}$

$$w_i R w_j \Leftrightarrow \Pi(w_i) R \Pi(w_j)$$

Zbiór automorfizmów danego grafu tworzy grupę.

Orbitą A_i , $1 \leq i \leq h$ nazywamy podzbiór wierzchołków grafu, mających jednakowy stopień i należących do grupy jego automorfizmów. Dla pełnej grupy zdarzeń tworzymy następujący jej opis probabilistyczny:

$$p_w = \begin{bmatrix} A_1, A_2, \dots, A_h \\ p_1, p_2, \dots, p_h \end{bmatrix}$$

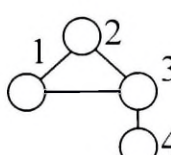
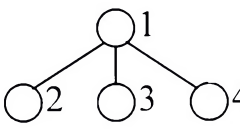
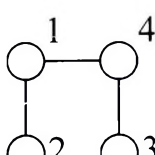
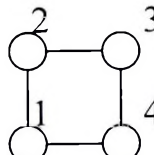
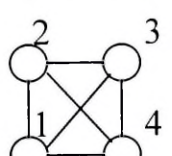
gdzie:

$$p_i = \text{card } A_i / h \quad i = \overline{1, h}$$

Dla tak opisanego grafu określa się informacyjną charakterystykę struktury systemu, wymagającą następujące ilości informacji „strukturalnej”:

$$J(G) = -\sum_{i=1}^h p_i \log p_i$$

Tablica 4
Ocena ilości informacji strukturalnej systemu

Graf	Orbity	Ilość informacji strukturalnej
	$A_1 = \{1, 2\}$ $A_2 = \{3\}$ $A_3 = \{4\}$	1,5
	$A_1 = \{2, 3, 4\}$ $A_2 = \{1\}$	1,19
	$A_1 = \{1, 4\}$ $A_2 = \{2, 3\}$	1,0
	$A_1 = \{1, 2, 3, 4\}$	0
	$A_1 = \{1, 2, 3, 4\}$	0

Ilość informacji strukturalnej (topologicznej) nie jest pełnym odpowiednikiem ilości informacji w sensie C. Shannona. Nietrudno wykazać, że wartość $J(G)$ rośnie ze wzrostem różnorodności w strukturze. Tak więc, maksymalna ilość informacji strukturalnej jest wtedy, gdy liczba orbit jest równa liczbie wierzchołków grafu, minimalna zaś, gdy wszystkie wierzchołki tworzą jedną orbitę. W tabelicy 4 przedstawiamy kilka przypadków wyznaczania ilości informacji strukturalnej dla różnych grafów za pomocą ilości i informacji strukturalnej odcenia się stopień „różnorodności” - struktury systemu, dzięki czemu wielkość ta służyć może do porównywania struktur systemów nie ze względu na liczbę elementów w strukturze, lecz ze względu na sposoby powiązań elementów.

Reasumując powiemy, że do pełnego opisu morfologicznego systemu konieczne jest:

- odwzorowanie, struktury systemu w postaci grafu płaskiego lub topologicznego T ;
- określenie stopnia i rzędu grafu, liczby cyklochromatycznej, pełnej liczby chromatycznej itp.;
- wykazanie spójności grafu lub określenie prawdopodobieństwa spójności grafu;
- określenie ilości informacji strukturalnej w systemie;
- określenie rodzaju struktury.

3. Opis funkcjonalny

Opis funkcjonalny jest wyrazem ujęcia funkcjonalnego (procesualnego, dynamicznego) systemu, w którym znajdują zastosowanie takie kategorie, jak czas, stan, zdarzenie, funkcja, proces itp. Opis ten stosuje się podczas rozwiązywania zadań, w których istotne znaczenie na uzyskanie odpowiedzi na pytania:

- jakie funkcje i procesy realizowane są w systemie?
- jakie jest zachowanie się systemu w danych warunkach?
- jaka jest organizacja realizacji procesów (funkcji) przez system?
- jaki powinien być najbardziej pożądanym przebieg procesów w systemie?
- czy struktury systemu odpowiadają realizowanym procesom w sensie przyjętego kryterium efektywności?
- w jaki sposób cechy elementów systemu wpływają na efektywność procesów itp.?

Opis funkcjonalny wyraża dążenie do odwzorowania funkcji i procesów systemu, przestrzenno- czasowej organizacji funkcjonowania systemu oraz jego dynamiki. Ponieważ

celem badań funkcjonalnych jest ustalenie związku przyczynowego „stanów, funkcji i procesów w poszczególnych połączonych ze sobą elementach lub podsystemach danego systemu. to - ogólnie biorąc - opis funkcjonalny charakteryzuje oddziaływania między procesami zachodzącymi w obiektach. Związki wyrażające te oddziaływania możemy podzielić na:

- związki współdziałania, czyli powiązania obiektów (ich cech), przy czym mogą one mieć charakter kooperacyjny lub konfliktowy;
- związki funkcjonalne, zapewniające właściwy przebieg procesów (realizację funkcji);
- związki energetyczne, wyrażające oddziaływania energetyczne (energomaterialne) obiektów;
- związki informacyjne, wyrażające oddziaływania informacyjne (informacyjno-decyzyjne) obiektów.

Jednym z podstawowych pojęć niezbędnych do tworzenia matematycznych modeli funkcjonalnych jest pojęcie *przestrzeni*. W związku z tym poczynimy pewną formalną uwagę wprowadzającą do ogólnych zagadnień modelowania. Większość ze stosowanych w dalszych rozważaniach przestrzeni traktować będziemy jako przestrzenie metryczne, bowiem stanowią one naturalne uogólnienie n - wymiarowych przestrzeni euklidesowych ($n > 1$). Obejmują klasy przestrzeni funkcyjnych, przestrzeni Hilberta, Banacha itp. Ponadto liczne własności przestrzeni euklidesowych przysługują wszystkim przestrzeniom metrycznym. Rozpatrywane przestrzenie metryczne uważać będziemy równocześnie za przestrzenie topologiczne z topologiami indukowanymi przez ich metryki.

Duże znaczenie dla opisów funkcjonalnych systemów mają przestrzenie unormowane, które z kolei mogą być uważane za przestrzenie metryczne (z metryką indukowaną przez normę) i za przestrzenie topologiczne (z topologią indukowaną przez normę).

3.1. Czas systemowy

Zakładamy, że dany jest opis morfologiczny systemu $S = \langle M, R \rangle$ oraz, że „istnienie systemu w czasie” charakteryzuje przestrzeń czasu systemowego T ; będąca sumą czasów własnych elementów systemu (podsystemów):

$$T = \bigcup_{m \in M} T_m \quad T_m = \{t_n^m : n \in \{0, 1, \dots\}\}$$

Czas systemowy określamy jako zbiór momentów(chwil), w którym system istnieje (trwa w czasie) lub zachowanie systemu jest interesujące dla obserwatora z określonych powodów. Uwaga ta dotyczy również czasów własnych elementów (podsystemów).

Czas, który daje się określić za pomocą *continuum* liczb rzeczywistych, będziemy nazywać *ciągłym*. Czas wyznaczany przez liczby naturalne nazywamy *dyskretnym*, a system badany przy założeniu dyskretności czasu - systemem *dyskretnym*. Czas ciągły można traktować jako ograniczony przypadek ciągu czasów dyskretnych, które uzyskuje się przyjmując do wyznaczenia momentów coraz to mniejsze odstępy czasu. Zbiór momentów składających się na czas ciągły.

Tak rozumiany czas jest zbiorem, który po wprowadzeniu metryki stanie się przestrzenią metryczną. Istnieje więc liczba nieujemna:

$$d_t(t_i, t_j) = |t_j - t_i|, \quad t_i, t_j \in T$$

zwana odległością t_i, t_j , spełniająca aksjomaty metryki:

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

Jak wiadomo, różne metryki prowadzą na ogół do różnych topologii. Ponadto metryka przestrzeni czasu jest dowolna o tyle, o ile prowadzi do topologii euklidesowej (przestrzeń ma topologię euklidesową, czyli jest homomorficzna z przestrzenią euklidesową).

3.2. Stan systemu

Każdy element (podsystemu, systemu) charakteryzuje wektor cech (własności):

$$\bigwedge_{m \in M} C^{(m)} = \langle C_1^m, \dots, C_k^m, \dots, C_{K_m}^m \rangle, \quad K_m \geq 1$$

będących wielkościami, czyli cechami mierzalnymi. Wartości cech ulegają zmianie w czasie.

Dla każdej cechy określony jest zbiór jej możliwych wartości:

$$Z_k^{(m)} \subset R, \quad k = \overline{1, K_m}$$

gdzie R jest zbiorem liczb rzeczywistych. Ponadto dana jest funkcja jakościowa charakterystyka elementu - która dla każdej chwili czasu własnego elementu przyporządkowuje wartości jego cech:

$$\bigwedge_{m \in M} \omega_m : T_m \rightarrow Z^{(m)}$$

gdzie:

$$Z^{(m)} = Z_1^{(m)} \times Z_2^{(m)} \times \dots \times Z_{K_m}^{(m)}$$

czyli

$$\omega_m(t) = \langle Z_1^{(m)}, Z_2^{(m)}, \dots, Z_{K_m}^{(m)} \rangle$$

$$m = \overline{1, M_0}; \quad M_0 = \text{card}M$$

Stanem wewnętrznym elementu systemu nazywamy wektor wartości poszczególnych cech elementu w danej chwili czasu własnego elementu, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu:

$$\eta_m : \omega_m(t) \rightarrow N_m$$

lub

$$\eta_m : Z^{(m)} \times T_m \rightarrow N_m$$

gdzie:

$$N_m = \{0, 1, 2, \dots, n_m\} \subset N$$

$n_m \geq 2$ – liczba wyróżnionych stanów elementu,

N – zbiór liczb naturalnych.

Stanem wewnętrznym systemu nazywamy wektor wartości poszczególnych cech systemu w danej chwili czasu systemowego, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna określająca numer stanu wewnętrznego systemu:

$$\eta : \omega(t) \rightarrow N_0$$

lub

$$\eta : Z \times T \rightarrow N_0$$

gdzie

$$Z = Z^{(1)} \times \dots \times Z^{(m)} \times \dots \times Z^{(M)}$$

$$\omega : T \rightarrow Z$$

$$N_0 = \{0, 1, 2, \dots, n_0\} \subset N$$

$n_0 \geq 1$ – liczba stanów wewnętrznych systemu.

Dla każdego elementu wyróżnimy zbiór tzw. organów brzegowych, czyli wejść i wyjść. Przyjęto, że *wejściem* elementu nazywa się „drogę” oddziaływania otoczenia (innego elementu) na dany element, a *wyjściem* - „drogę” oddziaływania elementu na otoczenie (inny element). Zbiór wejść elementu określamy następująco:

$$X_m = \{x_{mi} : i \in J^{(m)}\}, \quad m \in M$$

$$\bigwedge_{m \in M} (X_m \neq 0) \Leftrightarrow \left(\bigvee_{m \in M} nR^*m \vee \bigvee_{m \in \bar{M}} m'R^*m \right)$$

gdzie R^* jest dwuczłonową relacją „oddziaływania” (współdziałania), tzn. nR^*m oznacza, że element n oddziałuje na element m . Wyróżnimy zbiór wejść wewnętrznych tj. pochodzących od innych elementów systemu:

$$X_m^w = \{x_{mi}^w : i \in J_w^{(m)}\}$$

$$\bigwedge_{m \in M} \left[(X_m^w \neq 0) \Leftrightarrow \left(\bigvee_{m \in M} nR^*m \right) \right]$$

oraz zbiór wejść zewnętrznych, tj. pochodzących od otoczenia systemu:

$$X_m^z = \{x_{mi}^z : i \in J_z^{(m)}\}$$

$$\bigwedge_{m \in M} \left[(X_m^z \neq 0) \Leftrightarrow \left(\bigvee_{m \in \bar{M}} m'R^*m \right) \right]$$

Zbiór wejść elementu określamy następująco:

$$X_m = X_m^w \cup X_m^z$$

czyli

$$X_m = \{x_{mi} : i \in J_w^{(m)} \cup J_z^{(m)}\}$$

Zbiór wejść systemu określamy analogicznie jak w przypadku elementu:

$$X = X_1 \times \dots \times X_m \times \dots \times X_M$$

lub

$$X = X^w \times X^z$$

gdzie

$$X^w = X_1^w \times \dots \times X_m^w \times \dots \times X_M^w$$

$$X^z = X_1^z \times \dots \times X_m^z \times \dots \times X_M^z$$

Analogicznie określimy zbiór wyjść elementu:

$$Y_m = \{y_{mj} : j \in J^{(m)}\}, \quad m \in M$$

$$\bigwedge_{m \in M} \left[(Y_m \neq 0) \Leftrightarrow \left(\bigvee_{m \in M} mR^*n \vee \bigvee_{m' \in \bar{M}} mR^*m' \right) \right]$$

oraz zbiór wyjść wewnętrznych, tj. będących „drogami” oddziaływania na inne elementy systemu:

$$Y_m^w = \{y_{mj}^w : j \in J_w^{(m)}\}$$

$$\bigwedge_{m \in M} \left[(Y_m^w \neq 0) \Leftrightarrow \left(\bigvee_{m \in M} mR^*n \right) \right]$$

a także zbiór wyjść zewnętrznych, tj. będących „drogami” oddziaływania na otoczenie systemu:

$$Y_m^z = \{y_{mj}^z : j \in J_z^{(m)}\}$$

$$\bigwedge_{m \in M} \left[(Y_m^z \neq 0) \Leftrightarrow \left(\bigvee_{m' \in \bar{M}} mR^*m' \right) \right]$$

Wtedy zbiór wyjść elementu jest sumą zbiorów wyjść wewnętrznych i zewnętrznych:

$$Y_m = Y_m^w \cup Y_m^z$$

czyli:

$$Y_m = \{y_{mj} : j \in J_w^{(m)} \cup J_z^{(m)}\}$$

Zbiór wyjść systemu określamy następująco:

$$Y = Y_1 \times \dots \times Y_m \times \dots \times Y_M$$

lub

$$Y = Y^w \times Y^z$$

$$Y^w = Y_1^w \times \dots \times Y_m^w \times \dots \times Y_M^w$$

$$Y^z = Y_1^z \times \dots \times Y_m^z \times \dots \times Y_M^z$$

Zbiór $B = X \times Y$ nazywać będziemy *zbiorem organów brzegowych systemu*.

Dla każdego organu brzegowego określony jest zbiór stanów, czyli każde wejście i wyjście może się znajdować w określonym stanie. W szczególnym przypadku zbiór stanów składać się może z dwóch elementów. Wtedy jeden stan oznaczać będzie, że organ jest aktywny w danej chwili (oddziałuje), drugi - że organ jest pasywny (brak oddziaływania). Wejścia (wyjścia) mogą być wyrażone w określonych jednostkach miary lub poprzez wartości intensywności oddziaływania.

Stanem elementu systemu nazywamy wektor określający: stan wewnętrzny elementu, stan wejść i stan wyjść w danej chwili czasu własnego elementu, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna (numer stanu):

$$\alpha_m : X_m \times Y_m \times Z_m \times T_m \rightarrow \Omega(m)$$

gdzie:

$$\Omega(m) = \{S_0^{(m)}, S_1^{(m)}, \dots, S_{K_m}^{(m)}\}$$

K_m - liczba wyróżnionych stanów elementu.

Stanem systemu nazywamy wektor określający: stan wewnętrzny systemu, stan wejść i stan wyjść w danej chwili czasu systemowego, któremu przyporządkowana jest liczba naturalna (numer stanu):

$$\alpha_m X \times Y \times Z \times T \rightarrow \Omega$$

gdzie:

$$\Omega = \{S_0, S_1, \dots, S_K\},$$

$K = 1 > 2, 3 \dots$, - liczba wyróżnionych stanów systemu

Na zbiorze stanów systemu Ω wyróżniamy podzbiory takich stanów: zamierzonych (docelowych) Ω^* , krytycznych (niepożądanych) Ω^0 , „normalnych” Ω' , że:

$$\Omega^* \cup \Omega^0 \cup \Omega' = \Omega, \Omega^* \cap \Omega^0 \cap \Omega' = \emptyset$$

Możemy więc powiedzieć, że celem funkcjonowania systemu może być zrealizowanie określonych procesów (funkcji), doprowadzenie w zamierzonym czasie do pewnego wyróżnionego stanu (stanów) lub zapobieżenie temu, by system osiągnął jakiś niepożądany z określonego punktu widzenia stan (stany). Jeżeli system osiąga powyższe cele, to nazywamy go *osiągalnym (realizowanym)*.

3.3. Zdarzenia

Jednym z charakterystycznych ujęć natury czasu jest tzw. ewentyzm **B. Russela**, dla którego kategorią podstawową jest *kategoria z zdarzenia*. Poniżej przedstawiamy propozycję wykorzystującą pojęcie zdarzenia i będącą konsekwencją wcześniej wprowadzonych założeń i pojęć. Niech będą dane funkcje:

- 1) stanów systemu;

$$\alpha T \rightarrow \Omega$$

przypisująca każdemu momentowi numer stanu, w którym znajduje się aktualnie system: $\alpha(t) = s = s(t) \in \Omega$

- 2) zmiany stanów systemu:

$$\tau : \Omega \times T \rightarrow T,$$

która określa, że jeżeli system w momencie $t' \in T$ znajdował się w stanie $s = s(t')$, to pozostanie on w nim do chwili $t = \tau(s, t') \equiv t(s) \in T$. Załóżmy, że interesuje nas zachowanie się systemu w momentach określonych zbiorem T oraz że zbiór T jest uporządkowany, czyli istnieje relacja R_T spełniająca warunki:

- 1). $T \subset P(R_T)$
- 2). $\bigwedge_{t', t'' \in T} [(t' \neq t'') \Rightarrow (t' R_T t'' \vee t'' R_T t')]$
- 3). $\bigwedge_{t', t'' \in T} [t' R_T t'' \Rightarrow \sim t'' R_T t']$
- 4). $\bigwedge_{t', t'', t''' \in T} t' R_T t'' \wedge t' R_T t''' \Rightarrow t' R_T t'''$

Wyrażenie $t' R_T t''$ określa, że moment t' jest wcześniejszy od momentu t'' .

Zbiór T jest ograniczony z góry i dołu, tzn. istnieje kres górny zbioru T : $t^0 = \sup T$ oraz kres dolny zbioru T : $t^k = \inf T$.

System rozpatrywany jest w czasie

$$\Delta_T = t^0 - t^k > 0$$

lub w przedziale czasu $[t^0, t^k] \subseteq T$

Zbiór wszystkich stanów, w jakich znajdował się system w czasie T , oznaczmy następująco:

$$\Omega_T = \{s(t) : t \in T\}$$

a zbiór wszystkich chwil zmian stanów systemu:

Określone są przy tym: najwcześniejsza chwila zmian stanów $t^o(s) = \inf T_\tau$ oraz najpóźniejsza $t^k(s) = \sup T_\tau$. Chwilom tym odpowiadają: stan początkowy S^o i stan końcowy S^k .

Dany jest iloczyn kartezjański zbiorów:

$$E = S_T \times T_\tau = \{\langle s, t \rangle : s \in S \wedge t \in T_\tau\}$$

Zdarzeniem elementarnym w systemie nazywamy każdy element zbioru E :

$$e_i = \langle s_i, t(s_i) \rangle \in E$$

Zdarzenia elementarne spełniają warunki:

- 1). $\bigwedge_{e_i, e_j \in E} e_i \neq e_j \Leftrightarrow t(s_i) \neq t(s_j)$
- 2). $\bigwedge_{e_i, e_j \in E} e_i \neq e_j \Leftrightarrow s_i = s_j \wedge t(s_i) = t(s_j)$

Między zdarzeniami elementarnymi istnieją następujące związki czasowe:

- 1) zdarzenie e_i jest wcześniejsze od zdarzenia e_j :

$$\bigvee_{e_i \in E} \bigvee_{e_j \in E} e_i R_{ew} e_j \Leftrightarrow t(s_i) R_T t(s_j)$$

- 2) zdarzenie e_i jest równoczesne ze zdarzeniem e_j :

$$\bigvee_{e_i \in E} \bigvee_{e_j \in E} e_i R_{er} e_j \Leftrightarrow t(s_i) = t(s_j)$$

3) zdarzenie e_i jest późniejsze od zdarzenia e_j :

$$\bigvee_{e_i \in E} \bigvee_{e_j \in E} e_i R_{ep} e_j \Leftrightarrow [(\sim t(s_i) R_T t(s_j)) \wedge (t(s_j) \neq t(s_i))]$$

Strukturę zdarzeniową (ewentystyczną) systemu nazywamy strukturą relacyjną:

(E, R_T)

gdzie:

$$R_T = \{R_{ew}, R_{er}, R_{ep}\}$$

Struktura zdarzeniowa pozwala na opis funkcjonalny systemu, w którym czynnikiem interesującym obserwatora są zdarzenia, czyli wszystkie momenty zmiany stanów. Opis jest szczególnie użyteczny w symulacyjnym badaniu systemów.

3.4. Związek przyczynowo-skutkowy

Analiza zdarzeń w systemie badania dynamiki systemów prowadzi często do badania przyczyn i/lub skutków określonych zdarzeń. Określenie *związków przyczynowo - skutkowych* między zdarzeniami elementarnymi ma na celu bądź odtworzenie zachowania się systemu, bądź jego przewidywanie. Poniżej przedstawimy model związku przyczynowo - skutkowego w systemie.

Niech będzie ustalony zbiór zdarzeń elementarnych E oraz binarna niepusta „relacja kauzalna” $R_k \subset E \times E$, określająca związek przyczynowo - skutkowy. Wyrażenie $e_i R_k e_j$ oznacza: zdarzenie e_i jest przyczyną zdarzenia e_j lub zdarzenie e_j jest skutkiem zdarzenia e_i . „Relacja kauzalna” spełnia warunki formalne:

$$1) \bigwedge_{e_i, e_j \in E} e_i R_k e_j \Rightarrow \sim e_j R_k e_i$$

$$2) \bigwedge_{e_i, e_j, e_k \in E} e_i R_k e_j \wedge \sim e_j R_k e_k \Rightarrow e_j R_k e_k$$

z których wynika, że³¹:

$$3) \bigwedge_{e_i \in E} \sim e_i R_k e_i$$

³¹ Warunek ten wyraża zasadę *nihil est causa sui*. Por. J. Pogonowski, J. Wiśniewski, *Kilka propozycji dotyczących formalnego modelu związku przyczynowego*, „Studia filozoficzne” 1977, nr11.

Wiążąc relację R_k z wcześniejszym określeniem zdarzeń elementarnych, wprowadzimy dodatkowy warunek:

$$4) \bigwedge_{e_i, e_j \in E} \bigvee_{k, l \in T} [e_i R_k e_j \Leftrightarrow (s(l) = s_j \wedge (t_i < l \leq t_j)) \wedge (s(k) = s_i \wedge (k \leq t_i))]$$

$$5) \bigwedge_{e_i, e_j \in E} e_i R_k e_j \Rightarrow \sim e_i R_{ep} e_j \vee t_i R_T t_j$$

Na zbiorze E wyróżnimy podzbiór wszystkich zdarzeń, które są przyczynami:

$$E^{(p)} = \left\{ e \in E : \bigvee_{e' \in E} e R_k e' \right\}$$

oraz podzbiór wszystkich zdarzeń, które są skutkami:

$$E^{(s)} = \left\{ e \in E : \bigvee_{e'' \in E} e'' R_k e \right\}$$

W podobny sposób dla dowolnego zdarzenia $e \in E$ określamy zbiór przyczyn wywołujących to zdarzenie:

$$E_e^{(p)} = \{ e' \in E : e' R_k e \}$$

oraz zbiór skutków wywołanych przez to zdarzenie:

$$E_e^{(s)} = \{ e'' \in E : e R_k e'' \}$$

Wprowadźmy następnie topologiczną przestrzeń zdarzeń $(E, \pi(E))$ z tzw. topologią dyskretną, gdzie $\pi(E)$ oznacza rodzinę wszystkich podzbiorów.

Zdarzeniem złożonym E nazywamy każdy podzbiór rodziny $\pi(E)$ wszystkich podzbiorów zbioru zdarzeń elementarnych E .

Każde zdarzenie E spełnia następujące warunki:

$$1) E \neq \emptyset, E \subset \pi(E), \text{card} E \geq 2$$

$$2) E^{(p)} \cup E^{(s)} \subseteq E$$

Wynika stąd, że zdarzenie złożone tworzą co najmniej dwa zdarzenia elementarne, między którymi zachodzi związek przyczynowo - skutkowy.

Na zbiorze E można wyróżnić zdarzenie najwcześniejsze:

$$e^0 = \{ e_i \in E^{(p)} : t(s_i) = \inf T_r \}$$

oraz zdarzenie najpóźniejsze:

$$e^k = \{ e_j \in E^{(s)} : t(s_j) = \sup T_r \}$$

Odosobnionym zdarzeniem elementarnym będziemy określać takie zdarzenie $e \in E$, dla którego:

$$E_e^{(p)} = \emptyset \text{ oraz } E_e^{(s)} = \emptyset$$

lub gdy $e \in E \setminus E^{(p)} \cup E^{(s)}$ jeśli $E \neq E^{(p)} \cup E^{(s)}$.

Oznacza to, że zdarzenie odosobnione nie jest skutkiem żadnego innego zdarzenia ani nie istnieje takie zdarzenie, które jest jego przyczyną.

Ogólnym modelem zdarzenia złożonego, a więc i związku przyczynowo - skutkowego jest graf typu:

$$G_E = \langle E, U, \varphi \rangle$$

gdzie:

E - zbiór węzłów (zdarzeń elementarnych),

U - zbiór łuków (powiązań między węzłami),

$$\varphi : U \rightarrow ExE.$$

Jeżeli założymy, że charakterystyki zdarzenia opisanego grafem G_E są zmiennymi losowymi, to dla zdarzenia tego można określić takie charakterystyki probabilistyczne, jak np.

- prawdopodobieństwo tego, że w chwili t_j nastąpi zmiana stanu S_j (charakterystyka węzła - zdarzenia $e_j \in E$);
- prawdopodobieństwo tego, że system będzie znajdował się w stanie S_j przez okres czasu równy $T_j = t_j - t_i$ (charakterystyka łuku $u_{ij} = (e_i, e_j) \in U$).

Do opisu zdarzenia złożonego (dla dyskretnego zbioru stanów i czasu teoria łańcuchów Markowa i semi - Markowa dostarcza szczególnie użyteczny aparat formalny pozwalający na rozwiązywanie zadań ujmowanych w kategoriach procesów stochastycznych.

W każdym systemie rzeczywistym można wyróżnić jako sposoby oddziaływania następujące typy przyczyn:

- przyczyny energetyczne, czyli oddziaływania dostarczające energii niezbędnej do powstania skutku;
- przyczyny informacyjne, czyli oddziaływania dostarczające informacji o strukturze skutku;
- przyczyny interakcyjne, czyli oddziaływania elementów w przypadku, gdy uważa się przyczynę za „siłę napędową” szczególnie różnicującą rozwój systemu;
- przyczyny tensyjne, czyli napięcia (związane z różnicą potencjałów) jako przyczyna procesu wyrównawczego;

- przyczyna-realizator, czyli bodziec uruchamiający którąś z przyczyn poprzednich rodzajów.

Procesy

Funkcjonowanie każdego elementu systemu otwartego opisują funkcje³²:

- 1) funkcja stanów elementów:

$$\varphi : XxYxZxT \rightarrow Z$$

taka że:

$$\begin{aligned} z(t) &= \varphi[x(t), y(t), z(t'), t] = \\ &= \varphi[x(t), y(t), \varphi x(t'), z(t_0), t'] \\ t &\geq t' \geq t_0 \end{aligned}$$

- 2) funkcja wyjść:

$$\psi : XxYxZxT \rightarrow Y$$

taka, że:

$$y(t) = \psi[x(t), y(t'), z(t), t]$$

- 3) funkcja zmiany stanów:

$$\tau : XxYxZxT \rightarrow T$$

taka, że:

$$t = \tau[x(t'), y(t'), z(t'), t']$$

- 4) funkcja efektów:

$$q : XxYxZxT \rightarrow V$$

taka, że:

$$v(t) = q[x(t), y(t), z(t), t]$$

gdzie V jest zbiorem wartości efektów funkcjonowania elementu.

Procesem elementarnym nazywamy obiekt określony zbiorem:

$$P_k^m = \{X_{mk}, Y_{mk}, Z_{mk}, V_{mk}, T_{mk}; \varphi_{mk}, \psi_{mk}, \tau_{mk}, q_{mk}\}$$

gdzie:

$$m \in M, k = \overline{1, K_m},$$

$$\bigcup_k X_{mk} = X_m, \bigcup_k Y_{mk} = Y_m,$$

$$\bigcup_k Z_{mk} = Z_m, \bigcup_k T_{mk} = T_m, \bigcup_k V_{mk} \subset V_m.$$

³² W opisie opuszczamy indeks *m* przy odpowiednich wielkościach.

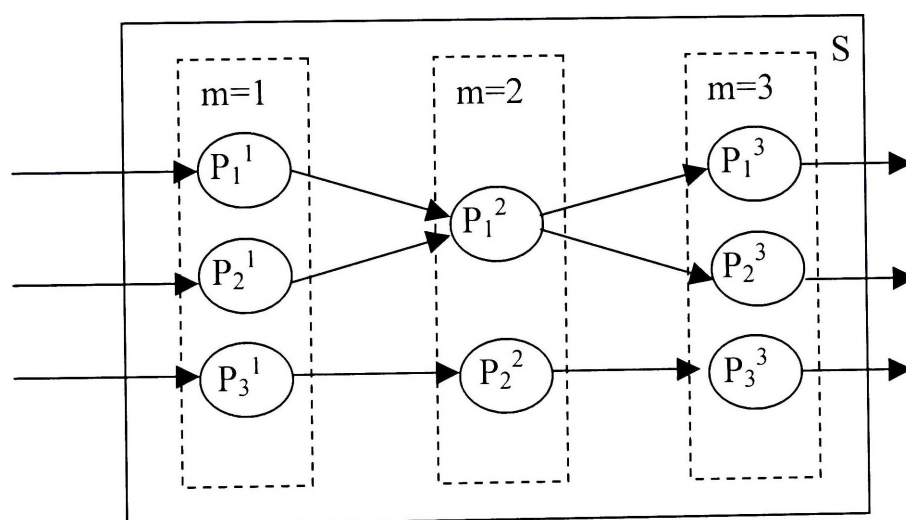
Funkcjonowanie dowolnego elementu systemu określa zbiór realizowanych w nim procesów elementarnych:

$$\bigwedge_{m \in M} P_m = \{P_k^m : k : \overline{1, K_m} \neq 0\}$$

Niech dany będzie zbiór wszystkich procesów elementarnych realizowanych w systemie:

$$P = \{P_k^m : k = 1, k_m, m \in M\}$$

Oznaczając przez $\pi(P)$ rodzinę wszystkich możliwych podzbiorów zbioru P , otrzymamy topologiczną przestrzeń procesów elementarnych $(P, \pi(P))$.



Rys. 32. Struktura funkcjonalna systemu (przykład)

Procesem nazywamy każdy nietrywialny podzbiór rodziny $\pi(P)$ wszystkich podzbiorów zbioru P procesów elementarnych, którego elementami są sprzężone procesy elementarne.

Dla każdego procesu elementarnego tworzącego proces:

- 1) istnieje co najmniej jeden proces elementarny taki, że istnieje sprzężenie ich organów brzegowych;
- 2) istnieje co najmniej jeden proces elementarny, dla którego: istnieje co najmniej jedno wejście zewnętrzne, oraz istnieje co najmniej jeden proces elementarny, dla którego istnieje co najmniej jedno wyjście zewnętrzne;
- 3) nie istnieją dwa takie procesy, między którymi elementami (procesami elementarnym) zachodziłaby relacja sprzężenia ich organów brzegowych.

Istotą wyróżniania różnych procesów w systemie jest ich niezależność funkcjonalna (brak sprzężeń między ich elementami).

Niech będzie dany zbiór wszystkich procesów realizowanych w systemie:

$$P^H = \{P_h : h \in \{1, 2, \dots, H\}\}$$

gdzie $H \geq 1$ oznacza liczbę procesów w systemie oraz dla każdego procesu P_h określony jest zbiór elementów realizujących ten proces:

$$M^h = \{m : \bigwedge_k P_k^m \in P_h\}$$

$$\bigcup_{h=1}^H M^h = M$$

Otrzymamy wtedy rodzinę zbiorów:

$$M^H = \{M^h : h \in \{1, 2, \dots, H\}\}$$

przy czym dla dowolnych zbiorów tej rodziny nie musi być spełniony warunek rozłączności.

Strukturą dynamiczną systemu nazywamy parę zbiorów:

$$(P^H, R_H), R_H \subset P^H \times P^H$$

gdzie liczba H określa stopień złożoności struktury dynamicznej systemu (zamiast P^H można stosować w opisie M^H).

Jeżeli $H = 1$, to mówimy o minimalnej strukturze dynamicznej systemu, jeśli natomiast $H = M$, to mówimy o strukturze maksymalnej. O zbiorze $M_f, f = \overline{1, F}$ mówimy, że jego elementy realizują f -tą funkcję systemu, jeżeli elementy te realizują procesy elementarne tego samego typu.

F oznacza liczbę różnych procesów elementarnych realizowanych w systemie. W ten sposób otrzymujemy podział zbioru M na podzbiory funkcjonalne:

$$M^F = \{M_f : f = \overline{1, F}\}$$

$$\bigcup_{f=1}^F M_f = M, M_{f'} \cap M_{f''} = \emptyset$$

Załóżmy ponadto, że istnieje relacja R_F ; oddziaływania między podsystemami

$$\bigvee_f \bigvee_{f'} M_f R_f M_{f'} \Leftrightarrow \bigwedge_{m \in M_f} \bigwedge_{n \in M_{f'}} m R^* n$$

Strukturą funkcjonalną systemu nazywamy strukturę:

$$S_F = (M^F, R_F), R_F \subset M^F \times M^F$$

Jeżeli $F = 1$, to mówimy o minimalnej strukturze funkcjonalnej, czyli o maksymalnej koncentracji funkcji w systemie.

Jeżeli $F = M$, to mówimy o maksymalnej strukturze funkcjonalnej, czyli o maksymalnej dekoncentracji (specjalizacji) funkcji w systemie. *Izofunkcjonalizmem*

nazywamy taką własność dowolnych dwóch systemów, że ich struktury funkcjonalne są izomorficzne. O systemach tych będziemy mówić jako o izofunkcjonalnych.

Formalnie systemy $S^{(i)}$, $S^{(j)}$ są izofunkcjonalne, czyli relacje $R_F^{(i)}$, $R_F^{(j)}$ są izomorficzne wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje relacja stwierdzająca ich izomorfizm.

Będziemy mówić także o ilości informacji funkcjonalnej systemu.

Wtedy dynamikę systemu opiszemy za pomocą grafu:

$$G_F = \langle M, U \rangle \equiv \langle P, U \rangle$$

gdzie łuk:

$$u_{mn}(m, n) \Leftrightarrow mR^* \vee nR^* m$$

R^* - relacja oddziaływania między elementami.

Wyznaczając, analogicznie jak w przypadku ilości informacji strukturalnej, grupę automorfizmów grafu oraz orbity, otrzymamy wyrażenie dla $I(G_F)$. Wartość $I(G_F)$ rośnie wraz z różnorodnością powiązań funkcjonalnych w systemie, przyjmuje zaś wartość minimalną, gdy wszystkie elementy, systemu (procesy elementarne) tworzą jedyną orbitę ze względu na powiązania funkcjonalne - oddziaływania elementów (por. tablica).

Do powyższych uwag dodajmy jeszcze jedną, która w istocie stanowi sens kierowania, a ściślej - organizacji współdziałania elementów realizujących określony proces.

Założmy, że system działania, którego elementy określa zbiór M , realizuje pewien proces P . Z każdym sposobem realizacji procesu związany jest określony nakład środków działania wyrażony w jednostkach pieniężnych.

Zgodnie z propozycją S. Piaseckiego³³ przyjmujemy:

$K_0(P')$ - ogólny koszt realizacji procesu P w warunkach, gdy elementy systemu wykonują zadania niezależnie od siebie (np. losując numer zadania);

$K_{min}(P)$ - ogólny koszt realizacji procesu P w warunkach „idealnego” współdziałania elementów systemu;

$K(P)$ - ogólny koszt realizacji procesu P w warunkach „realnego” współdziałania elementów systemu, a wtedy stopień doskonałości współdziałania w systemie podczas realizacji procesu P określa następujący wskaźnik:

$$\xi(P) = \frac{K_0(P) - K(P)}{K_0(P) - K_{min}(P)}$$

taki że:

³³ S. Piasecki, *Teoria organizacji w świetle analizy systemowej jako teoria języka problemowo zorientowanego*, "Prace IBS PAN", Warszawa 1982.

$0 \leq \xi(P) \leq 1$ dla współdziałania,

$\xi(P) < 0$ dla „przeciwdziałania”.

3.5. Wnioski

Sformułujemy niektóre podstawowe zasady funkcjonowania systemów. Ze względu na rodzaj funkcji wyjścia i funkcji stanów wyróżnimy dwa typy systemów: prospektywny i retrospektywny.

Mówimy, że system jest *prospektywny*, jeżeli wielkości wyjść wyznaczane są przez wartości wcześniejszych wejść³⁴.

Mówimy, że system jest *retrospektywny*, jeśli wartość wyjść wyznaczają z góry wartości wejść³⁵.

Uzupełniając rozważania o funkcjonowaniu systemów o wnioski H. Greniewskiego³⁶ dotyczące determinizmu i paradeterminizmu lokalnego sformułujemy pewien wniosek ogólny: istnieją systemy, które ze względu na charakter funkcjonowania (własności struktury dynamicznej) są zarazem systemami prospektywnymi i retrospektywnymi.

Rozważania dotyczące struktur stosowanych w opisach funkcjonalnych systemów uogólnimy w postaci twierdzeń dotyczących równoważności opisów systemu.

Twierdzenie

Dla każdej struktury funkcjonalnej opisującej funkcjonowanie systemu istnieje równoważna struktura dynamiczna:

$$\langle M^F, R_F \rangle \equiv \langle P^H, R_H \rangle$$

Twierdzenie

Dla każdej struktury funkcjonalnej opisującej funkcjonowanie systemu istnienia równoważna struktura zdarzeniowa:

$$\langle M^F, R_F \rangle \equiv \langle E, R_T \rangle$$

³⁴ W tym przypadku mówimy o *determinizmie lokalnym*.

³⁵ W tym przypadku mówimy o *paradeterminizmie lokalnym*.

³⁶ H. Greniewski, *Cybernetyka niematematyczna*, Warszawa 1971.

Twierdzenie

Dla której struktury dynamicznej opisującej funkcjonowanie systemu istnieje równoważna struktura zdarzeniowa:

$$\langle P^H, R_H \rangle \equiv \langle E, R_T \rangle$$

Z powyższych twierdzeń wynika następujący ogólny wniosek: funkcjonowanie każdego systemu można opisać za pomocą struktury funkcjonalnej, dynamicznej lub zdarzeniowej.

Z funkcjonowaniem systemów związane jest sterownie, czyli oddziaływanie na system prowadzące do uzyskania określonych zmian przebiegu procesów w nich zachodzących, czyli pożądanego Funkcjonowania (zachowania się, działania) systemu. Dla względnej kompletności rozważań dotyczących funkcjonowania systemu konieczne jest określenie pojęcia sterowalności systemu.

System nazywamy *sterowalnym*³⁷, jeżeli:

$$\bigwedge_{t \in T} y(t) = \psi[x, y, \varphi(\cdot), t]$$

gdzie:

$$y(t) \in Y, \quad x \in X, \quad \varphi(\cdot) \in Z, \quad t \in T$$

Punkty $y_0 \in Y$ nazywamy *punktem sterowalności* systemu, jeżeli:

$$y_0 = \psi[x, y, \varphi(\cdot), t]$$

oraz

$$\bigvee_{x \in X} \psi[x, y, \varphi(\cdot), t] = y_0$$

Reasumując powiemy, że do pełnego opisu funkcjonalnego systemu konieczne jest:

- zidentyfikowanie rodzajów oddziaływań zachodzących w systemie;
- określenie przestrzeni cech systemowych oraz przestrzeni możliwych stanów wewnętrznych systemu;
- określenie przestrzeni organów brzegowych systemu (wejść i wyjść) oraz wyróżnienie organów zewnętrznych;
- określenie związków przyczynowo-skutkowych w systemie;
- określenie wszystkich procesów zachodzących w systemie i wyznaczenie struktury dynamicznej systemu;

³⁷ Na przykład w pracy S. Rolewicza, *Analiza funkcjonalna i teoria sterowania*, Warszawa 1974 sformułowano warunki istnienia sterowalności oraz optymalizacji i obserwowalności tzw. systemów liniowych określanych jako zespół trzech rzeczywistych przestrzeni Banacha (przestrzeni: wejść, wyjść i trajektorii) i dwuoperatorów

- zidentyfikowanie funkcji realizowanych przez system i wyznaczenie struktury funkcjonalnej systemu;
- zbadanie podstawowych cech funkcjonalnych systemu.

4. Opis rozwojowy

Przyjęto, że dla każdego systemu rzeczywistego podstawowe znaczenie mają trzy cechy systemowe wyrażane przez kategorie: struktura, zachowanie, rozwój.

Jak wiadomo rozwój stanowi podstawową kategorię dialektyki. W świetle dotychczasowych wniosków sformułowanych na gruncie badań systemowych stwierdza się, że rozwój niejako zawiera w sobie dwa pozostałe pojęcia. Zakładamy więc, że *rozwój systemu* może dotyczyć rozwoju struktury systemu i/lub rozwoju procesów.

Opis rozwojowy systemu jest wyrazem ujęcia prognostycznego, w którym korzysta się z takich pojęć, jak rozwój, ewolucja, postęp i wzrost. Opis ten stosowany jest w rozwiązywaniu zadań, w których istotne znaczenie ma uzyskanie odpowiedzi na pytania:

- w jakim kierunku przebiegać będą zmiany w strukturze systemu i/lub zmiany w strukturze dynamicznej systemu?
- w jaki sposób wpływają zmiany strukturalne na procesy i funkcje systemu?
- w jaki sposób wpływają zmiany procesów i funkcji na struktury systemu?
- jak należy sterować rozwojem systemu, aby zmiany struktury i procesów przebiegały w pożądanym kierunku itp.

Opis rozwojowy charakteryzuje przede wszystkim dążenie do odwzorowania wszystkich zdarzeń wywołujących zmiany oraz przewidywania struktur i procesów, które charakteryzować będą system w przyszłości.

Wszystkie systemy, których struktury, elementy, procesy i funkcje ulegają zmianom w czasie wskutek wzrostu, starzenia się, rozbudowy, ewolucji itp., nazywamy *systemami rozwoju (rozwijającymi się)*. Rozwój systemu charakteryzować będziemy typem dynamiki rozwoju. Wyróżniono następujące typy *dynamiki rozwoju*:

- postępowy rozwój typu ewolucyjnego, gdy system stopniowo przyjmuje cechy (stany) korzystniejsze niż cechy (stany) pierwotne;
- wsteczny rozwój typu ewolucyjnego, gdy system stopniowo przyjmuje cechy (stany) mniej korzystne (mniej pożądane) niż cechy (stany) pierwotne;

liniowych ciągłych (operatora odwzorowującego przestrzeń wejść w przestrzeń trajektorii i operatora odwzorowującego przestrzeń trajektorii w przestrzeń wyjść).

- rozwój typu katastroficznego, gdy następuje gwałtowny spadek wartości pozytywnych (korzystnych) cech systemowych;
- rozwój typu eksplozywnego, gdy następuje gwałtowny wzrost w systemie i przejście do dominacji pewnych pozytywnych cech systemowych;
- rozwój typu funkcjonalnego, gdy występują fluktuacje wartości podstawowych cech systemowych wokół pewnych wartości średnich. Każda zmiana w systemie wywołująca jego rozwój ma określone przyczyny i skutki. Zasadnicze typy przyczyn i skutków rozwoju przedstawiamy w tabelicy 5.

Podstawą opisu rozwojowego systemu jest znajomość jego opisu morfologicznego i funkcjonalnego. Przyjmujemy, że dane są opisy w postaci:

$$S_M = \langle M, R \rangle \quad S_F = \langle (P^H, M^H), R_H \rangle$$

Wprowadźmy oznaczenia:

- rozwoju strukturalnego systemu

$$rozS_M \equiv roz(M, R);$$

Tablica 5
Klasyfikacja związków przyczynowych

Skutki			Przyczyny	
typ	podtyp	odmiana	Wewnętrzne	zewnętrzne
Zmiana energii				Energetyczna
Zmiana struktury	Zniszczenie struktury (gwałtowny wzrost entropii)	Egzogeniczna		Energetyczna
		Endogeniczna	Energetyczny	Realizator
	Proces wyrównawczy (stopniowy wzrost entropii)		Tensyjna	Ewentualnie realizator
	Komplikacja struktury (stopniowy spadek entropii)	Egzogeniczna		
Endogeniczna (spontaniczne zróżnicowanie, rozwój)		Interakcyjna Informacyjna Lub realizator		Energetyczna

rozwoju funkcjonalnego systemu

$$rozS_F \equiv roz((P^H, M^H)R_H)$$

pełnego rozwoju systemu;

$$roz(S_M, S_F) \equiv roz(rozS_M, rozS_F)$$

Powyższe rodzaje rozwoju zdefiniujemy następująco:

$$1') \quad \bigwedge_T \bigvee_{t_0 \in T} \bigvee_{t_k \in T} roz_T S_M : S_M(t_0) \rightarrow S_M(t_k)$$

$t_0 < t_k$

gdzie:

$$S_M(t) \equiv (M(t), R(t))$$

oraz

$$roz_T S_M \Rightarrow M(t_0) \neq M(t_k) \wedge R(t_0) \neq R(t_k)$$

dla

$$t_0 < t_k, \quad t_0, t_k \in T$$

$$1'') \quad \bigvee_{t_0 \in T} \bigvee_{t_k \in T} M(t_0) \neq M(t_k) \Rightarrow R(t_k) \neq R(t_0)$$

czyli zmiany składu systemu (np. liczby lub rodzaju elementów) wywołały zmiany w strukturze systemu;

$$1''') \quad \bigvee_{t_0 \in T} \bigvee_{t_k \in T} R(t_0) \neq R(t_k) \Rightarrow M(t_k) \neq M(t_0)$$

czyli zmiany struktury systemu nie spowodowały zmian w składzie systemu (zmianie uległa liczba i/lub charakter powiązań między elementami).

$$2') \quad \bigwedge_T \bigvee_{t_0 \in T} \bigvee_{t_k \in T} roz_T S_F : S_F(t_0) \rightarrow S_F(t_k)$$

gdzie:

$$S_F(t) \equiv ((P^H(t), M^H(t)), R_H(t))$$

$$roz_T S_F \Rightarrow P^H(t_0) \neq P^H(t_k) \wedge M^H(t_0) \neq M^H(t_k) \wedge R_H(t_0) \neq R_H(t_k)$$

$$2'') \quad P^H(t_0) \neq P^H(t_k) \Rightarrow M^H(t_0) \neq M^H(t_k) \wedge R_H(t_k) \neq R_H(t_0)$$

$$2''') \quad R_H(t_0) \neq R_H(t_k) \Rightarrow P^H(t_0) \neq P^H(t_k) \vee M^H(t_0) \neq M^H(t_k)$$

Warunki 1 i 2 wyznaczają pełny rozwój struktury i pełny rozwój procesów. Warunki 1'', 1''' i 2''' określają rozwój częściowy.

Twierdzenie

Każda zmiana składu systemu powoduje pełny rozwój strukturalny systemu.

Twierdzenie

Każda zmiana składu procesów w systemie powoduje pełny rozwój funkcjonalny systemu.

Twierdzenie

Każdy pełny rozwój strukturalny systemu wywołuje rozwój funkcjonalny systemu.

Powyższe twierdzenia wynikają bezpośrednio z własności struktur i procesów systemu.

Systemem rozwoju (rozwijającym się) nazywamy system, dla którego spełniony jest warunek:

$$\bigwedge_{t_0 \in T} \bigvee_{t_k \in T} S_M(t_0) \neq S_M(t_k) \vee S_F(t_0) \neq S_F(t_k)$$

przy czym

$$[(S_M(t_0) \neq S_M(t_k)) \Rightarrow (S_F(t_0) \neq S_F(t_k))]$$

W rozwoju funkcjonalnym systemu wyróżnimy dwa charakterystyczne przypadki, a mianowicie gdy zmiany w czasie wywołują integrację funkcjonalną w systemie lub dezintegrację funkcjonalną:

1) mówimy, że w systemie zachodzi zjawisko *konwergencji (integracji)*, jeżeli dla

$$t_0 \rightarrow t_k, \quad t_0 < t_k$$

$$S_{F_0}(t_0) \rightarrow S_1(t_k)$$

czyli

$$F_0 \rightarrow 1 \quad \text{dla} \quad 1 < F_0 \leq M$$

2) mówimy, że w systemie zachodzi zjawisko *dywergencji (dezintegracji)*, jeżeli dla

$$t_0 \rightarrow t_k, \quad t_0 < t_k$$

$$S_{F_0}(t_0) \rightarrow S_M(t_k)$$

czyli:

$$F_0 \rightarrow M \quad \text{dla} \quad 1 \leq F_0 < M$$

W przypadku konwergencji rozwój systemu polega na dążeniu do zaniku specjalizacji w systemie, czyli w wyniku rozwoju wszystkie elementy systemu realizują procesy elementarne tego samego typu. W przypadku dywergencji rozwój systemu wywołuje zjawisko przeciwne, czyli wszystkie elementy systemu realizować będą procesy różnych typów. Zarówno dywergencja, jak i konwergencja systemów wiąże się ze zmianami ilości informacji funkcjonalnej, lecz w przeciwnych kierunkach.

Interesujące wnioski z badania prawidłowości rozwoju systemu określonej klasy przedstawił R. Staniszewski³⁸, który stwierdził, że w zależności od występowania potrzeb rozwój systemu może dotyczyć tylko procesów organizujących działanie lub tylko procesów roboczych a także jednych i drugich. Z porównania potrzeb i rozwoju wynikają trzy charakterystyczne przypadki: przypadek rozwoju systemu normalnego w stosunku do potrzeb i przypadek nie nadążania rozwoju systemu za potrzebami. Wnioski te mogą być również sformułowane na podstawie modelu prezentowanego w niniejszym rozdziale pod warunkiem, że wprowadzimy pojęcie potrzeby jako przyczyny zmian.

Strukturą rozwojową systemu nazywamy:

$$S_R \equiv (X^*, T; (S(t_0), S(t_k)), \Delta(t_0, t_k))$$

Opis rozwojowy systemu może być równoznaczny z określeniem jego struktury rozwojowej S_R , którą tworzą następujące elementy:

X^* - zbiór wejść - czynników (stymulatorów) rozwoju;

T - okres rozwoju systemu $t_0 < t_k; t_0, t_k \in T$;

$$S(t_0) \equiv (S_M(t_0), S_F(t_0))$$

$$S(t_k) \equiv (S_M(t_k), S_F(t_k))$$

$$\Delta(t_0, t_k) = v(t_k) - v(t_0)$$

$$v(t_0), v(t_k) \in V$$

W opisie rozwojowym zawierają się takie pewne charakterystyki jakościowe systemu. jak np.:

- jeżeli $X^* \subset Y$, to rozwój wymuszany jest przez oddziaływanie otoczenia;
- jeżeli $X^* \subset Y$ to w systemie występuje samorozwój;
- jeżeli $X^* \subset Y \times \bar{Y}$, to rozwój systemu wymuszany jest przez oddziaływanie otoczenia i samorozwój.

Ze względu na efekty będące rezultatem rozwoju wyróżniamy następujące przypadki:

- jeżeli $\Delta(t_0, t_k) = 0$, to rozwój systemu nie przynosi efektów, czyli następuje *stagnacja*;
- jeżeli $\Delta(t_0, t_k) > 0$, to rozwój systemu przynosi efekty, tj. w systemie zachodzi *postęp*;
- jeżeli $\Delta(t_0, t_k) < 0$, to rozwój systemu przynosi ogólny spadek efektywności, tzn. w systemie zachodzi *regres*.

Ponadto, jak wcześniej stwierdziliśmy, w systemie może zachodzić rozwój typu

³⁸ R. Staniszewski, *Cybernetyka systemów projektowania*, Warszawa 1981.

eksplozywnego, tzn. istnieje taki moment t^* :

$$\Delta(t_0, t^*) \ll \Delta(t^*, t_k), \quad t_0 < t^* < t_k$$

oraz katastroficznego, gdy:

$$\Delta(t, t^*) \gg \Delta(t^*, t_k)$$

Dla badań rozwoju charakterystyczne jest pojęcie prognozy rozwoju systemu. Najczęściej uważa się, że *prognoza* to wynik opartego na podstawach naukowych przewidywania przebiegu i stanu możliwych (prawdopodobnych) zdarzeń (rzeczy, faktów, zjawisk) wyrażony w formie informacji prognostycznej. W opisie rozwojowym będziemy korzystać z tzw. prognoz rozwojowych systemu.

Prognozą rozwojową systemu nazywamy wypowiedź opracowaną na podstawie prospektywnego badania zachowania się systemu, zawierającą miarę zdarzenia losowego opisującego rozwój systemu w określonych warunkach i określonym czasie.

Obecnie poświęcimy uwagę niektórym przykładom prognoz rozwojowych, przy czym nie będą interesować nas techniki wyznaczania prawdopodobieństw określonych zdarzeń losowych.

1. Załóżmy, że dany jest wektor stanów początkowych systemu $s(t_0) = s_0 \in \Omega$, określone są czynniki stymulujące rozwój $x^0 \in X^*$, a interesuje nas zachowanie się systemu w chwili $t_k > t_0; t_0, t_k \in T$

Prognozą rozwojową systemu nazywamy prawdopodobieństwo zdarzenia, że w chwili t_k system znajdzie się w którymś z pożądaných stanów $\Omega_k \subset \Omega, p_s(t_k)$.

2. Załóżmy, że dany jest wektor $s(t_0) = s_0 \in \Omega, x^0 \in X^*$ oraz $v(t_0) = v_0 \in V$, a interesuje nas, jakie efekty może przynieść rozwój systemu w chwili $t_k < t_0$.

Prognozą rozwojową systemu nazywamy prawdopodobieństwo zdarzenia, że w chwili t_k system przyniesie efekty o wartości $v(t_k) = v_k \in V_k$, czyli $p_v(t_k)$.

Prognozy określone w punktach 1 i 2 mają charakter ilościowy, dotyczą bowiem prawdopodobieństw określonych realizacji funkcji losowych $s(t), v(t)$.

3. Prognoza rozwojowa o charakterze jakościowym jest wypowiedzią określającą prawdopodobieństwo tego, że w okresie T nastąpi rozwój systemu określonego typu (strukturalny, funkcjonalny, pełny), czyli $p_A(T)$.

Ilościowe prognozy rozwojowe wyznaczane są na podstawie matematycznych modeli rozwojowych i modeli symulacyjnych, natomiast jakościowe prognozy rozwojowe określa się najczęściej za pomocą technik heurystycznych, wśród których technika ocen

ekspertów ma nadal podstawowe znaczenie. Wnioski dotyczące typu rozwoju systemu mogą być opracowywane na podstawie symulacyjnego badania rozwoju systemu. Uważamy, że w najbliższej przyszłości symulacyjne badania rozwoju systemów będą mieć podstawowe znaczenie dla analiz rozwojowych i badań prognostycznych.

Powiemy, że została określona prognoza rozwojowa systemu, gdy:

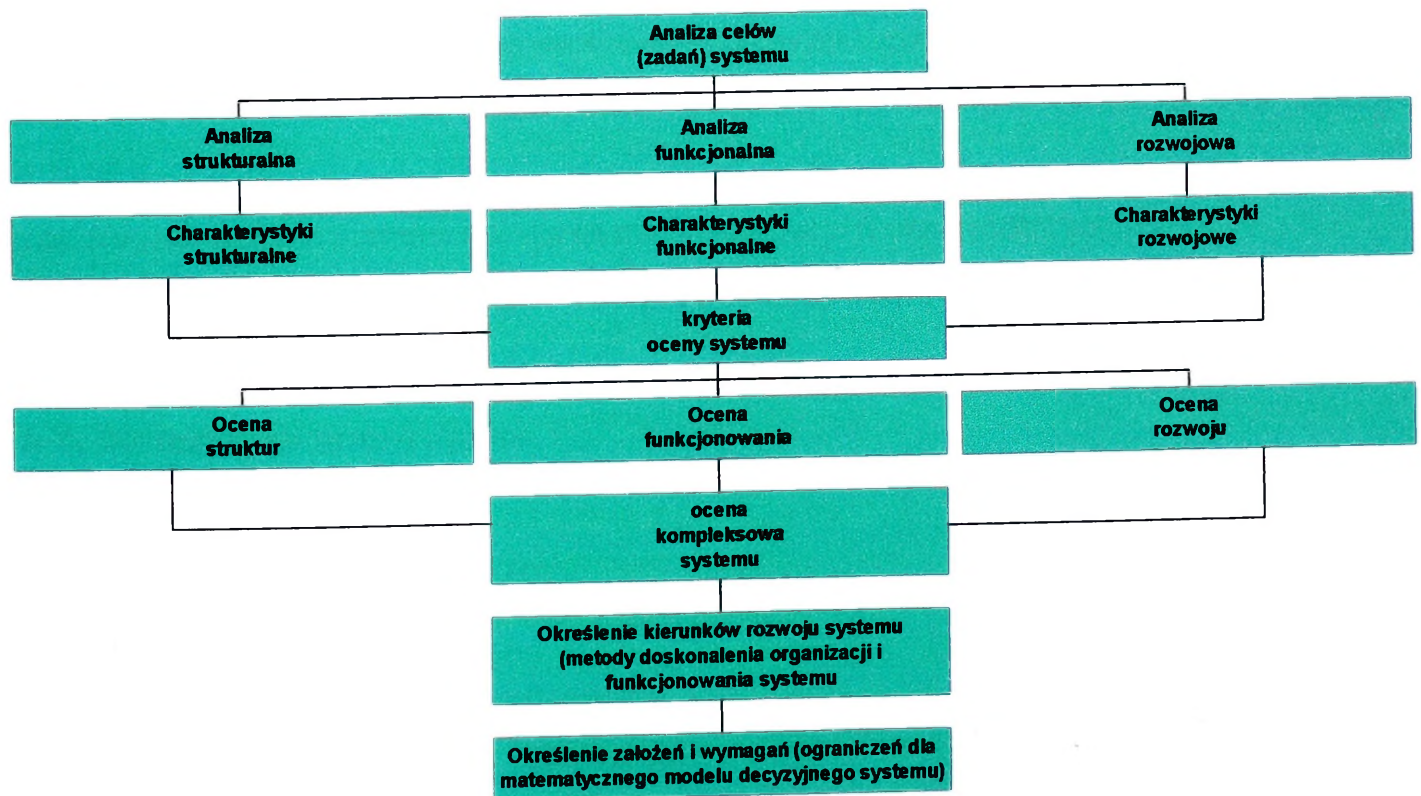
$$prog(S, T) = ((p_s(\cdot) \vee (p_v(\cdot) \vee p_A(T)))$$

Opisem (modelem) rozwojowym systemu nazywamy parę:

$$\langle S_R, prog(S, T) \rangle$$

Reasumując powiemy, że w celu uzyskania pełnego opisu rozwojowego należy:

- zweryfikować model strukturalny i model funkcjonalny;
- opracować listę możliwych przyczyn i skutków rozwoju systemu;
- ustalić podstawowe cechy i charakterystyki rozwoju systemu;
- określić możliwości sterowania rozwojem;
- wyznaczyć strukturę rozwojową systemu;
- zweryfikować model rozwojowy oraz określić stopień pewności prognozy (rysunek 33).



Rys.33. Istotne czynniki kompleksowego modelowania systemów

5. Sterowanie w systemach wielopoziomowych

Wielopoziomowymi systemami sterowania określa się takie systemy, w których nastąpił podział zadania lub funkcji sterowania między pewne poziomy (szczeble), różniące się określonymi cechami (np. zakresem zadań, częstością interwencji, złożonością metod podejmowania decyzji i przetwarzania informacji). Mamy zatem do czynienia z pewną wielopoziomową strukturą, w której można wyróżnić:

- szczebel funkcji kierowania koncepcyjnego lub strategicznego, zwany niekiedy szczeblem nadrzędnym (tzw. centrum);
- szczeble kierowania koordynacyjnego, operacyjnego lub taktycznego (szczeble pośrednie);
- szczebel i jednostki organizacyjne liniowe realizujące zawijania.

W procesie kierowania następuje wymiana informacji między szczeblem nadrzędnym (centrum) a podsystemami; zlokalizowanymi na niższych szczeblach. Priorytet działania lub prawo do interwencji mają przede wszystkim podsystemy wyższych szczebli. Działanie podsystemów na danym poziomie znajduje się pod bezpośrednim wpływem podsystemów z poziomów wyższych. Rozwiązanie problemu decyzyjnego na wyższym szczeblu wyznacza pewne nieokreślone dotychczas parametry na poziomie niższym. Działanie podsystemów wyższych szczebli zależy od efektów działania podsystemów niższych szczebli.

Założmy, że zadanie systemu polega na maksymalizacji funkcji efektywności:

$$F(x) \rightarrow \max \text{ dla warunków } x \in Q = \{x : h'(x) \leq 0, h''(x) = 0\}$$

5.1. Metoda parametryczna

Dany jest taki wektor $x = (v, d)$, że:

$$d = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_w)$$

$$v \in V = \{v : h'_0(v) \leq 0, h''_x(v) = 0\}$$

$$d \in D_v = \{d : h'_x(v, d) \leq 0, h''_x(v, d) = 0\}$$

a wtedy zadanie optymalizacji przyjmuje następującą postać:

$$\max_{x \in Q} F(x) = \max_{(v, d) \in Q} F(v, d) = \max_v \left[\max_d F(v, d) \right]$$

W ten sposób otrzymujemy zadanie dla dwóch szczebli:

Zadanie podsystemów

Dla danego $v \in V$ należy określić taki wektor $d^*(v) \in D_v$, że dla każdego $d \in D_v$, spełniony jest warunek:

$$F(v, d^*(v)) = \max_{d \in D_v} F(v, d)$$

Zadanie centrum

Znaleźć $v^* \in V_0$, gdzie V_0 jest takim zbiorem dopuszczalnym V ; że dla każdego $v \in V_0$ spełniony jest warunek:

$$F(v^*, d^*(v^*)) = \max_{v \in V_0} F(v, d^*(v))$$

5.2. Metoda ceny

Rozpatrywany jest przypadek funkcji:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N f_i(v_i, d_i)$$

przy czym:

$$Q = Q_0 \cap Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_N$$

gdzie:

$$Q_i = \{(v_i, d_i) : h'_i(v_i, d_i) \leq 0, h''_i(v_i, d_i) = 0\}$$

$$Q_0 = \{(v_1, d_1; \dots; v_N, d_N) : Av = 0\}$$

Zadanie polega na znalezieniu punktu siodłowego funkcji Lagrange'a zgodnie z twierdzeniem Kuhna - Tuckera:

$$L = L(v_1, d_1; \dots; v_N, d_N; \lambda) = \sum_{i=1}^N f_i(v_i, d_i) + \lambda^T A_v$$

Zadanie podsystemów

$$\text{Niech, } f_i^*(v_i, d_i; \lambda) = f_i(v_i, d_i) + \sum_{j=1}^M \lambda_j A_{ji} v_i$$

Należy znaleźć $(v_i^*, d_i^*) \in Q$ taki wektor, że dla każdego $(v_i, d_i) \in Q_i$ spełniony jest warunek:

$$f_i^*(v_i^*(\lambda), d_i^*(\lambda), \lambda) = \max_{(v_i, d_i) \in Q_i} f_i(v_i, d_i; \lambda)$$

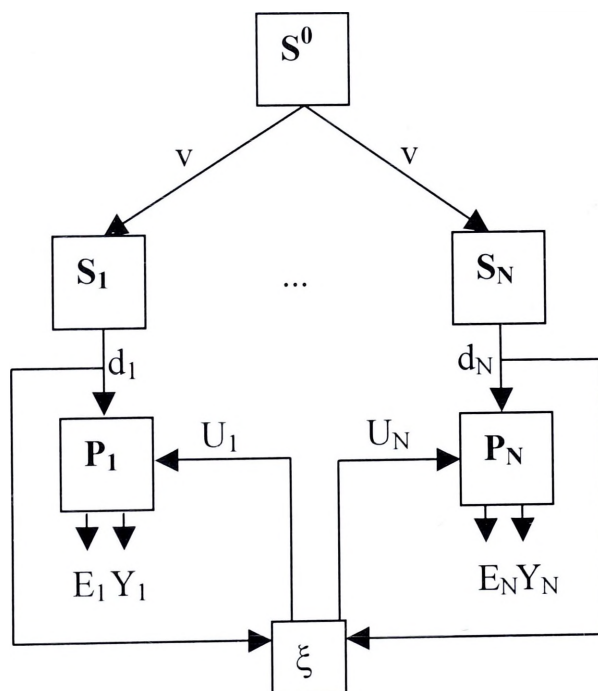
Zlecenie centrum

Należy określić taką wartość i , która minimalizuje funkcję Lagrange'a:

$$\min_{\lambda} \sum_{i=1}^N f_i^*(v_i^*(\lambda), d_i^*(\lambda), \lambda)$$

5.3. Zasada koordynacji

Na przykładzie dwupoziomowego systemu kierowania przedstawimy *zasadę koordynacji* sformułowaną przez M. Mesarovića, pozwalającą określić optymalne działanie centrum w warunkach występowania interakcji między układami wykonawczymi (podsystemami).



Rys.34. Schemat koordynacji w dwupoziomowym systemie kierowania

Dana jest hierarchiczna struktura kierowania (rysunek 34). Danych jest N podsystemów realizujących procesy robocze:

$$P_n : D_n \times U_n \rightarrow Y_n \quad n = \overline{1, N}$$

gdzie:

D_n - zbiór decyzji n -tego podsystemu kierowania lokalnego.

Y_n - zbiór wyników n -tego procesu roboczego,

U_n - zbiór interakcji związanych z procesem P_n ,

przy czym dana jest funkcja $\xi_n : D \rightarrow U_n, D = D_1 \times \dots \times D_n$.

Zakładamy, że:

-globalnym celem systemu jest minimalizacja funkcji:

$$F : D \times Y \times V \rightarrow E$$

gdzie:

E - zbiór wartości efektów działania,

U - zbiór decyzji koordynujących,

przy ograniczeniu danym przez funkcję P ;

- lokalnym celem podsystemów jest minimalizacja funkcji:

$$f_n : D_n \times Y_n \rightarrow E_n$$

dla dowolnej decyzji nadrzędnej $v \in V$, czyli wybór optymalnych wartości $(d_n^*(v), u_n^{*(v)})$;

- działanie koordynacyjne centralnego decydenta (zwane „równowagą sprzężeń”) wymaga, by każdy lokalny decydent podejmował taką decyzję, aby:

$$u_n^*(u) = u_n(v), u_n^*(v) = \xi_n(d^*(v)), \quad d \in D$$

Jeżeli istnieje taka decyzja koordynacyjna $v \in V$, że równowaga jest osiągana, powiemy, że system daje się skoordynować za pomocą zasady równowagi sprzężeń.

Twierdzenie

Równowaga sprzężeń $u^*(v) = u(v)$ powoduje uzyskanie ogólnego optimum zawsze wtedy, gdy:

4) istnieje taka funkcja:

$$\psi : \underbrace{E \times \dots \times E}_{N \text{razy}} \rightarrow E$$

że dla wszystkich $d \in D$

$$\psi(F_1(d_1, P_1(d_1, u_1), v), \dots, F_N(d_N, d_N, u_N), u)) = F(d, P(d))$$

zawsze wtedy, $u = \xi(d)$;

5) funkcja ξ jest funkcją monotoniczną.

Twierdzenie

Niech będą spełnione warunki 1 i 2 z poprzedniego twierdzenia.

System daje się skoordynować, tzn. istnieje optymalna koordynacja v^* dająca w efekcie stan równowagi tylko wtedy, gdy:

$$\max_v \min_{D \times U} \psi = \min_D F$$

Twierdzenie

Niech będą spełnione warunki 1 i 2, a ponadto niech ψ będzie ściśle monotoniczne.

Warunek ten jest konieczny i wystarczający dla istnienia optymalnej koordynacji v^* .

Załóżmy, że dla danego działania koordynującego centralny układ decyzyjny przewiduje wartość interakcji $\tilde{u}(v)$. Wtedy wartość błędu prognozy dla danego v wyniesie $\varepsilon = \tilde{u}(v) - u(d(v))$. Wynika stąd, że nowa decyzja koordynująca powinna uwzględniać wielkość popełnionego błędu, czyli, $v' = v + T(\varepsilon)$, gdzie T jest zadany operator.

5.4. Kierowanie w systemie dwupoziomowym

Rozpatrzmy kilka charakterystycznych przypadków kierowania w systemie dwupoziomowym, tj. takim, w którym wyróżnia się centrum oraz N podsystemów kierowania lokalnego, kierujących N procesami roboczymi (wykonawczymi).

Załóżmy, że globalna funkcja efektywności działania systemu jest funkcją addytywną:

$$F(d) = \sum_{i=1}^N f_i(d_i, v)$$

Dla rozłączności zbiorów decyzji D_i istnieje możliwość dwupoziomowej optymalizacji:

$$\max_{d_1, \dots, d_N, v} F(d, v) = \max_v \left[\max_{d_1} f_1(d_1, v) + \dots + \max_{d_N} f_N(d_N, v) \right]$$

W kierowaniu lokalnym, tj. $\max_{d_i} f_i(d_i, v)$, wielkość koordynująca v odgrywa rolę

parametru, a zatem optymalizacja odbywa się dla pewnych wartości narzuconych z góry. W problemie tym ograniczenia globalne typu $d \in D$ muszą zostać rozdzielone tak, aby powstały ograniczenia lokalne niezależne lub zależne co najwyżej od wielkości koordynacyjnych:

$$d_1 \in D_1(v), \dots, d_N \in D_N(v), \quad v \in V$$

a zatem:

$$\max_{d \in D} F(d) = \max_{\substack{d_1 \in D_1(v) \\ \dots \\ d_N \in D_N(v) \\ v \in V}} F(d, v)$$

Określmy warunki stosowalności metody dwupoziomowej maksymalizacji:

$\max \{F(v, d) = \psi[f_1(v, d_1, \dots, f_N(v, d_N))]\}$ przy czym dane są zbiory:

$$W = \{(v, d_1, \dots, d_N) : h'_0(v) \leq 0, h''_0(v) = 0, h'_i(v, d_i) \leq 0, h''_i(v, d_i) = 0, i = \overline{1, N}\}$$

$$V_0 = \{v : h'_0(v) \leq 0, h''_0(v) = 0, \alpha(v) \leq 0\} \subset V$$

Zadanie lokalne

$$\max f_i(v, d_i)$$

gdzie:

$$D_{iv} = \{(v, d_i) : h_i'(v, d_i) \leq 0, h_i''(v, d_i) = 0\}$$

Warunki wystarczające do rozwiązania każdego z N zadań metodą numeryczną są następujące:

- a) $f_i(v, d_i)$ jest wklęsłą i ciągłą funkcją d_i dla każdego $v \in V_0$;
- b) $h_i'(v, d_i)$ jest wypukłą i ciągłą funkcją względem d_i dla każdego $v \in V_0$;
- c) $h_i''(v, d_i)$ jest liniową funkcją d_i dla każdego $v \in V_0$;
- d) zbiór D_{iv} jest ograniczony dla każdego $v \in V_0$.

Zadanie nadrzędne (centrum)

z ograniczeniem typu $v \in V_0$.

Warunki wystarczające do rozwiązania nadrzędnego metodą numeryczną są następujące:

- a-d jak dla zadania lokalnego;
- e) $F(v, d_1^*(v), \dots, d_N^*(v))$ jest wklęsłą i ciągłą funkcją $v \in V_0$;
 - f) zbiór V_0 jest wypukły, domknięty i ograniczony.

Do rozwiązania zadań dwupoziomowej optymalizacji stosowane są procedury iteracyjne (gradientowe i bezgradientowe), w których

- centrum określa wartość w kolejnych krokach jako $v^{(0)}, v^{(1)}, \dots, v^{(k)}, \dots$ na podstawie kolejnych wartości $F^{(k)} = F(u^{(k)}, d^*(u^{(k)}))$;
- podsystem lokalnego kierowania rozwiązuje zadanie lokalne przy zadanej wartości $v^{(k)}$, znajdując $d_i^{*(k)} = d_i^{*(k)}(v^{(k)})$ oraz $f_i^{*(k)} = f_i(v^{(k)}, d_i^{*(k)}(v^{(k)}))$.

Stosując metodę tzw. funkcji kary, zadanie lokalne można sformułować następująco:

$$\max [f_i(v_i, d_i) - k_i(v^{(k)} - v_i)^2]$$

$$d_i \in D_{iv} = \{d_i : h_i'(v_i, d_i) \leq 0, h_i''(v_i, d_i) = 0\}$$

natomiast zadanie nadrzędne jako:

$$\max \psi [f_1^*(v), \dots, f_N^*(v)]$$

gdzie: $f_i^*(v) = f_i(v_i^*(v), d_i^*(v)) - k_i(v - v_i^*(v))^2$

Niech celem globalnym systemu będzie maksymalizacja funkcji:

$$F(d_1, d_2, \dots, d_N) \rightarrow \max$$

zaś celem lokalnym podsystemu maksymalizacji funkcji $f_n(d_n) \rightarrow \max$ dla $n=1, 2, \dots, N$. Cel n -tego podsystemu można przedstawić w postaci:

$$E_n = \varphi[f_n(d_n), F(d_1, d_2, \dots, d_N)]$$

na przykład $E_n = \min\{f_n(d_n), \lambda_n F(d_1, d_2, \dots, d_N)\}$ lub $E_n = f_n(d_n) + \mu_n F(d_1, \dots, d_N)$ gdzie λ, μ są współczynnikami wagowymi.

Twierdzenie

Niech podsystemy wydzielają z posiadanych zasobów X_n pewną część równą d_n przeznaczoną na zwiększenie globalnego celu F oraz część $(X_n - d_n)$ na zwiększenie celu lokalnego f_n .

Jeżeli funkcje F i $f_n, n = \overline{1, N}$ są monotonicznie wzrastające, to istnieje stabilne rozwiązanie problemu (punkty równowagi sensie Nasha), spośród których jedno jest efektywne (w sensie przynależności do zbioru Pareto).

Problem $F \rightarrow \max$ sprowadza się wtedy do paretońskiego kompromisu między celami lokalnymi $\{f_n\}$ a celem globalnym F .

Jeżeli dla przedstawionej sytuacji w systemie kierowania przyjmiemy, że:

$$E_n = \min\{f_n(d_n); \lambda_n F(X_1, X_2, \dots, X_N)\}$$

gdzie λ_n określa stopień zainteresowania podsystemu osiągnięciem celu globalnego, to możliwe staje się określenie dwóch ogólnych zasad kierowania:

1. Zasada efektywności

Rozwiązanie X_1^*, \dots, X_N^* nazywamy efektywnym, jeśli nie istnieje inne rozwiązanie X_1, \dots, X_N które byłoby „lepsze” chociaż dla jednego podsystemu, czyli dla wszystkich $n = 1, 2, \dots, N$ spełniony jest warunek:

$$E_n(X_1, \dots, X_N) \geq E_n(X_1^*, \dots, X_N^*)$$

oraz chociażby dla jednego n :

$$E_n(X_1, \dots, X_N) > E_n(X_1^*, \dots, X_N^*)$$

2. Zasada stabilności stan równowagi Nasha)

Rozwiązanie X_1^*, \dots, X_N^* nazywamy równoważnym, jeśli chociaż dla jednego n spełniony jest warunek:

$$E_n(X_1^*, \dots, X_{n-1}^*, X_n^*, X_{n+1}^*, \dots, X_N^*) = \max_{x_n} E_n(X_1^*, \dots, X_{n-1}^*, X_n, X_{n+1}^*, \dots, X_N^*)$$

Z powyższych zasad wynika, że rozwiązania efektywne nie są równoważnymi, a

rozwiązania równoważne nie są efektywnymi.

Wnioski te sformułowano na podstawie modelu, w którym centrum (I) i układ lokalny (II) są uczestnikami pewnej gry kooperacyjnej. Gracze proponują działania i drogą arbitrażu dokonują „transakcji”, która im najlepiej odpowiada. Wyróżnimy zbiór możliwych działań $V \times D$, przy czym istnieje jednak wyróżniona transakcja (v_0, d_0) , która stanowi punkt wyjścia negocjacji między graczami. Preferencje graczy można odzwierciedlić za pomocą ilościowego wskaźnika użyteczności:

$$\pi : V \times D \rightarrow E_v \times E_d$$

czyli każdej transakcji (v, d) przyporządkowana jest para użyteczności (e_v, e_d) . Użyteczność dla transakcji (v_0, d_0) oznaczmy przez (e_{v_0}, e_{d_0}) przyjmując, że jest to wynik gry niekooperacyjnej między I a II. Każda transakcja przedstawiona jest jako punkt na pewnej płaszczyźnie określonej przez zbiór U punktów przedstawiających transakcje i ich randomizację. Zbiór U jest ograniczony, wypukły i domknięty. Dla każdej tak określonej gry wyróżniamy jedną wypłatę (e_v^*, e_d^*) , która byłaby „sprawiedliwym” wynikiem dla graczy. Punkt (e_v^*, e_d^*) obszaru U jest rozwiązaniem w sensie gry Nasha $[U, (e_{v_0}, e_{d_0})]$ czyli:

$$(e_v^* - e_{v_0})(e_d^* - e_{d_0}) \geq (e_v - e_{v_0})(e_d - e_{d_0})$$

dla wszystkich $(e_v, e_d) \in U$ i takich, że $e_v \geq e_{v_0}, e_d \geq e_{d_0}$.

Rozwiązanie gry (e_v^*, e_d^*) nazywamy kompromisowym (arbitrażowym). Wynik kompromisowy (e_v^*, e_d^*) spełnia warunek optymalności w sensie Pareto, jeżeli:

$$e_v^* \geq e_{v_0} \quad i \quad e_d^* \geq e_{d_0};$$

w obszarze U nie istnieje taki punkt (e_v, e_d) różny od (e_{v_0}, e_{d_0}) , że $e_v \geq e_v^* \quad i \quad e_d \geq e_d^*$.

Wielopoziomowe ujęcie systemów kierowania obejmuje następujące problemy poznawcze:

- problemu dekompozycji, czyli rozbicia systemu na mniejsze podsystemy, a przede wszystkim dekompozycja procesu roboczego P ;
- problemy lokalnej optymalizacji, czyli optymalizacja decyzji podejmowanych przez jednostki (podsystemy) podrzędne kierujące podległymi im procesami;
- problemy koordynacji, czyli optymalizacja decyzji podejmowanych przez jednostkę nadrzędną kierującą podsystemami.

Od wielu lat modele kierowania w systemie o wielopoziomowych, hierarchicznych strukturach znajdują się w centrum uwagi cybernetyków, teoretyków systemów i

automatyków. Z rozwojem tych modeli należy wiązać szczególne nadzieje. Od niego bowiem zależy w znacznej mierze postęp w dziedzinie inżynierii systemów kierowania.

Struktury funkcjonalne rzeczywistych systemów kierowania są z reguły wielopoziomowe, hierarchiczne. Jako przykład takiej właśnie struktury może służyć system kierowania nowoczesnego przedsiębiorstwa, w którym można wyróżnić następujące *warstwy kierowania*:

- warstwa zarządzania - cel: długofalowe planowanie produkcji i remontów;
- warstwa kierowania operatywnego - cel: osiągnięcie zadanej wielkości dobowej (zmianowej) przy możliwie małych stratach;
- warstwa kierowania nadrzędnego - cel: osiągnięcie zadanej jakości produkcji;
- warstwa regulacji bezpośredniej - cel: stabilizacja zasobów masy i energii w urządzeniach oraz koordynacja strumieni masy i energii za pomocą wielkości wiodącej;
- warstwa sterowania grup maszyn i urządzeń - cel: zapewnienie pożądanej dyspozycyjności (gotowości) maszyn i urządzeń;
- warstwa sterowania napędów - cel: doprowadzenie napędów do pożądanego stanu pracy, zabezpieczenie i blokada napędów.

Opis przykładowej rzeczywistej struktury funkcjonalnej systemu kierowania bez trudu można „przełożyć” na język teorii wielopoziomowych systemów kierowania. Nie o zabiegi typu translatorskiego jednak chodzi. Tworzenie modeli matematycznych staje się obecnie koniecznością i to nie tylko na poziomie sterowania procesami technologicznymi. W tym nurcie działania systemowego mieści się także tzw. dynamika systemów J. Forrestera, popularyzowana w Polsce m.in. przez R. Łukaszewicza³⁹ Zainteresowanie wielopoziomowymi, hierarchicznymi strukturami wynika z wielowiekowych doświadczeń ludzkości w stosowaniu tych struktur do kierowania wielkimi organizacjami społecznymi, gospodarczymi i militarnymi.

6. Kierowanie w systemach aktywnych

Termin „system aktywny” do określenia systemu z funkcjami celu zaproponował w 1968 r. W. Burkow⁴⁰. Od tego czasu w literaturze przez pojęcie *aktywności systemu* rozumie się, że system:

³⁹ R. Łukasiewicz, *Dynamika systemów zarządzania*, Warszawa 1975.

⁴⁰ W. Burkow, *Osnovy matematycznej teorii aktywnych sistem*, Moskwa 1977.

- działa we własnym interesie, czyli stara się osiągnąć własne cele;
- ma zdolność prognozowania;
- zna swoje możliwości lepiej niż organ kierujący wyższego poziomu;
- jest informowany o zasadach podejmowania decyzji na wyższych poziomach i korzysta z tej informacji podczas swego działania.

O dowolnym systemie powiemy, że jest aktywny, gdy działa lub jest gotowy do działania, a zwłaszcza do intensywnych wysiłków zmierzających do urzeczywistnienia przedsięwziętych celów. Odpowiada to powszechnie przyjętemu pojęciu aktywności⁴¹. Taki jest jednak sens każdego dowolnego działania. W niniejszych rozważaniach przyjmujemy, że cecha aktywności wynika z własności podmiotu działania i własności obiektu, na którym zostały zlokalizowane cele podmiotu. Oznacza to, że w analizie systemowej jako system aktywny traktowany będzie dany system działania (organizacja) i system, w którym wywołanie określonych zmian jest celem wyróżnionego w badaniach obiektu. W związku z tym, systemy te (co najmniej dwa) traktowane będą jako podsystemy *aktywnego systemu działania* (ASD).

Przyjmijmy tezę, że dowolny system jest celowy wtedy i tylko wtedy, gdy jest aktywny. Wynika stąd, że celowe działanie zakłada zdolność istoty działającej do przewidywania zarówno przybiegu, jak i skutków działania. Działanie jest celowe, gdy jego kierunek i sposób wyznaczone są przez uprzednio powzięty cel. Istotą celowego zachowania systemu jest jego ukierunkowany przebieg zmierzający do osiągnięcia określonego stanu końcowego. Zachowanie celowe zmierza więc do przekształcenia pewnej sytuacji początkowej w zamierzoną sytuację końcową. Ukierunkowany przebieg zachowania systemu jest związany z antycypacją, zarówno sytuacji końcowej, jak i działania prowadzącego do niej. Antycypowana sytuacja końcowa określona wyróżnionym stanem rzeczy (lub zbiorem stanów) jest celem systemu, natomiast antycypowane działania - programem systemu.

Załóżmy, że dane są systemy *A* i *B*, przy czym jako interesujący nas przedmiot analizy przyjmujemy system *A*. Powiemy, że cel systemu *A* jest zlokalizowany na systemie *B*, jeżeli antycypowana przez *A* sytuacja końcowa obejmuje stan (stany), których osiągnięcie oznacza zmianę potencjału (efektywności potencjalnej) systemu *B*. Każda zmiana oznacza bądź wzrost, bądź spadek wartości potencjału.

Jeżeli działanie systemu *A*, którego cel jest zlokalizowany na systemie *B*, jest skutkiem wcześniejszego działania *B* na *A*, to powiemy, że system *A* charakteryzuje

⁴¹ T. Pszezołowski, *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*, Warszawa 1978.

reaktywność. Jeżeli natomiast działanie systemu *A*, którego cel jest zlokalizowany na systemie *B*, podejmowane jest bez względu na zachowanie się systemu *B* względem niego, to powiemy, że system *A* charakteryzuje *aktywność sprawcza*.

System działania nazywamy *aktywnym*, jeżeli utworzony jest przez co najmniej dwa systemy działania, które charakteryzuje reaktywność lub aktywność sprawcza ukierunkowana.

Dodajmy, że w psychologii mówi się, że zachowanie się celowe jest zorganizowane jednocześnie według trzech zasad:

- według mniej lub bardziej przypadkowego dopływu aktualnych bodźców (obiekt charakteryzują „odruchy”;
- według doświadczenia z przeszłości odpowiadającego sytuacjom powtarzalnym (obiekt charakteryzują „nawyki”);
- według antycypacji przyszłości (obiekt charakteryzują „zadania”).

Powyższe zasady mogą znaleźć zastosowanie także w analizie działania organizacji, przy czym systemy społeczne charakteryzuje przede wszystkim trzecia z wymienionych wyżej zasad. Antycypację traktować będziemy jako najwyższą formę prospekcji systemu, rozumianej jako zdolność ekstrapolacji aktualnych bodźców na przyszłość.

Specyficzność ASD pozwala na wyróżnienie następujących cech kierowania w systemie A:

- celem kierowania jest projektowanie struktur, procesów, rozwoju i zachowań (postaw) pozwalających na osiągnięcie celów zlokalizowanych na systemie B, ocenianych zgodnie z przyjętymi kryteriami oceny efektywności ASD;
- zapewnienie odpowiedniego poziomu wrażliwości na działanie systemu B i określonego poziomu aktywizacji (gotowości) systemu A;
- zapobieganie konfliktom w systemie lub usuwanie ich przyczyn (skutków);
- koordynacja współdziałania w ASD (szczególnie uzgadnianie planów);
- zdolność samoregulacji i uczenia się.

Podstawowa różnica między modelem kierowania w dowolnym systemie a kierowaniem w ASD (zwłaszcza w systemach konfliktowych) polega na silniejszym występowaniu w ASD mechanizmów utrzymujących w stanie wewnętrznej stabilności poszczególne jego podsystemy oraz mechanizmu adaptacyjnego służącego do utrzymania równowagi dynamicznej (w systemach kooperacyjnych) lub uzyskania przewagi (w systemach konfliktowych). Ponadto w ASD silniej występować będą sprzeczności:

- między koniecznością kooperacji z innymi podsystemami oraz związaną z tym

koniecznością podporządkowania się sterowaniu centralnemu a potrzebą zachowania własnej autonomii (w systemach kooperacyjnych);

- między potrzebą uzyskania przewagi a koniecznością zachowania poczucia bezpieczeństwa - zapewnienia określonego poziomu gotowości (w systemach konfliktowych).

Wymienione wyżej cechy charakteryzują systemy typu „przedsiębiorstwo produkcyjne (usługowe) - rynek (klienci)” lub systemy w pewnych obszarach działalności współpracujące, w innych zaś konkurujące (rywalizujące), kierowane przez jeden ośrodek decyzyjny (np. centrum).

W modelach kierowania systemami aktywnymi przyjmowane są następujące założenia:

- każdy z podsystemów dysponuje subiektywnym opisem ASD, tzn. opisem dokonany z jego punktu widzenia i wyrażającym jego cele działania;
- dla określenia decyzji każdy podsystem powinien mieć pewne hipotezy (formułowane w kategoriach przynależności) o wyborach dokonanych przez partnera (kooperanta, konkurenta);
- interesy podsystemów wyrażone funkcjami celów mogą być ich partnerom (kooperantom, konkurentom) mniej lub bardziej dokładnie (np. w sensie Zadeha) znane lub nie znane.

Rozpatrzmy kilka charakterystycznych modeli formalnych⁴² zakładając, że ASD tworzą systemy A i B o odpowiednich funkcjach celu E_A i E_B oraz dopuszczalnych decyzjach $u_A \in U^A$ i $u_B \in U^B$

Model I

Niech A określa wartość u_A , przy czym B znając tę decyzję skorzysta z tej informacji tak, aby:

$$E_B(u_A, u_B) \rightarrow \max$$

A oczekuje, że decyzja systemu B będzie następująca: $u_B = u_B(u_A)$, czyli cel systemu A : $E_A(u_A, u_B(u_A)) \rightarrow \max$ będzie osiągnięty dla takiego działania u_A , które zagwarantuje osiągnięcie celu:

$$E_A(u_A, u_B(u_A)) = E_A(u_A) \rightarrow \max$$

⁴² Zob. N. N. Moisejew, *Elementy teorii systemów optymalnych*, Warszawa 1983.

Model II

System A informuje system B o postaci funkcji decyzji $u_A(u_B)$. Oznacza to, że działanie A będzie zależeć od działania B . System A oczekuje więc, że system B wybierze taką decyzję u_B że spełniony będzie warunek:

$$E_B(u_A(u_B), u_B) \rightarrow \max$$

Rozwiązaniem problemu jest więc działanie określone za pomocą następującej funkcji:

$$u_B = u_B[u_A(u_B)]$$

System A mając możliwość określenia działania B stwarza warunki wyboru swojego działania, tzn. wyboru $u_A(u_B)$ takiego, aby rozwiązać problem:

$$E_A(u_A(u_B), u_B[u_A(u_B)]) \equiv E_A(u_A(u_B)) \rightarrow \max$$

Model III

System A określa funkcję decyzji w postaci $u_A = u_A[u_B(u_A)]$, czyli przyjmuj, że wielkość działania A zależeć będzie od działania B . Z warunku:

$$E_B(u_A[u_B(u_A)], u_B) \rightarrow \max$$

A zakłada, że B podejmie działanie u_B czyli określi rozwiązanie problemu w postaci $u_B = u_B(u_A[u_B(u_A)])$. System A dokonuje wtedy wyboru działania:

$$u_A = u_A[u_B(u_A)]$$

z warunku:

$$E_A(u_A[u_B(u_A)], u_B(u_A[u_B(u_A)])) \rightarrow \max$$

Model IV

Niech w ASD realizowane jest kierowanie nadrzędne i lokalne i niech dane będą:

u_A, u_B - planowane działania systemów A i B otrzymane z nadrzędnego układu kierowania

$$(u_A \in U^A, u_B \in U^B);$$

$u = \langle u_A, u_B \rangle$ - plan ASD;

v - wektor koordynujący;

$E_A(u_A, v), E_B(u_B, v)$ - lokalne funkcje celu;

$E_{AB}(u, v)$ - globalna funkcja celu ASD.

Każdy z podsystemów zna zbiór działań dopuszczalnych (U^A, U^B) oraz swoją funkcję celu. Układ kierowania nadrzędnego ASD zna funkcję celu: E_{AB} , zbiór dopuszczalnych decyzji $V=[v]$ oraz zbiór planów dopuszczalnych $U = U^A \times U^B$.

Problem polega na wyznaczeniu planu u , czyli decyzji u , które spełnią warunki lokalne:

$$E_A(u_A, v) \rightarrow \max$$

$$E_B(u_B, v) \rightarrow \max$$

i zapewnią maksymalną wartość globalnej funkcji celu ASD:

$$E_{AB}(u, v) \rightarrow \max$$

Jeżeli oznaczymy:

E_{AB}^0 - wartość maksymalna funkcji celu E_{AB} nie spełniająca jednak warunków lokalnych;

E_{AB}^* - wartość maksymalna globalnej funkcji celu spełniająca warunki lokalne, przy

czym w ogólnym przypadku $E_{AB}^0 \geq E_{AB}^*$, to stosunek $\varpi = \frac{E_{AB}^*}{E_{AB}^0}$ nazwiemy *współczynnikiem*

uzgodnienia w ASD. Współczynnik ten pokazuje, w jakim stopniu zostały uzgodnione cele poszczególnych podsystemów z celem całego ASD. Pełne uzgodnienie występuje wówczas, gdy $\varpi = 1$, co może być spełnione tylko w systemach kooperacyjnych.

Rozwiązanie optymalne problemu kierowania w systemie aktywnym w warunkach decyzji $v \in V$ oznaczmy przez $u(v)$, a zatem problem kierowania w ASD sprowadza się do wyznaczenia takiego $v \in V$, dla którego spełniony jest warunek:

$$E_{AB}(u(v), v) \rightarrow \max$$

Model V

Załóżmy, że system A działa w warunkach braku informacji o zachowaniu systemu B . Wtedy każdemu działaniu $u_A \in U^A$ odpowiada pewien zbiór:

$$U^B(u_A) = \{u_B \in U^B : E_B(u_A, u_B) = \max_{u_B \in U^B} E_B(u_A, u_B)\}$$

a maksymalny gwarantowany efekt A wynosi:

$$\max_{u_A \in U^A} \min_{u_B \in U^B} E_A(u_A, u_B)$$

Gdy A przewiduje zachowanie, B formułuje swoje działanie jako funkcję $u_A = \tilde{u}(u_B)$, określoną na zbiorze U^B z wartościami ze zbioru U^A , to każdej funkcji u odpowiada pewien podzbiór.

$$U^B(\tilde{u}) = \left\{ u_B \in U^B : E_B(\tilde{u}(u_B), u_B) = \max_{u_B \in U^B} E_B(\tilde{u}(u_B), u_B) \right\}$$

a maksymalny gwarantowany efekt A wyniesie:

$$\max_{\tilde{u}(u_B)} \min_{u_B \in U^B(\tilde{u})} E_A(\tilde{u}(u_B), u_B)$$

a ponadto

$$\tilde{u}^*(u_B) = \begin{cases} u_A^\varepsilon & \text{dla } u_B = u_B^\varepsilon, \quad K > M \\ u_A^a & \text{dla } u_B \in \varepsilon, \quad K \leq M \\ u_A^K & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

i wynosi $\max\{K, M\}$

gdzie:

$$K = \begin{cases} \sup E_A(u_A, u_B), & \text{jeżeli } D \neq \emptyset \\ -\infty, & \text{jeżeli } D = \emptyset \end{cases}$$

$$D = \left\{ (u_A, u_B) \in U^A \times U^B : E_B(u_A, u_B) > \max_{u_B \in U^B} \min_{u_A \in U^A} E_B(u_A, u_B) \right\},$$

$$\{(u_A^\varepsilon, u_B^\varepsilon) : E_A(u_A^\varepsilon, u_B^\varepsilon) = K - \varepsilon; (u_A^\varepsilon, u_B^\varepsilon) \in B\}$$

$$M = \min_{u_B \in \varepsilon} \max_{u_A \in U^A} E_A(u_A, u_B),$$

$$\varepsilon = \left\{ u_B \in U^B : \max_{u_A \in U^A} E_B(u_A, u_B) = \max_{u_B \in U^B} \min_{u_A \in U^A} E_B(u_A, u_B) \right\},$$

$$u_A^a = \tilde{u}(u_B) : E_A(u_A^a, u_B) = \max_{u_A \in U^A} E_A(u_A, u_B),$$

$$u_A^K = \tilde{u}^K(u_B) : E_B(u_A^K, u_B) = \min_{u_A \in U^A} E_B(u_A, u_B).$$

Model VI

Rozpatrzmy grę o sumie zerowej między systemami A i B . Gracze dysponują określonymi środkami: K_A oraz $K_B = K - A$. Gra jest realizowana w dyskretnych momentach czasu $t = 1, 2, \dots$, w których systemy podejmują działania $u_A \in U^A$ i $u_B \in U^B$ za pomocą pewnego mechanizmu losowego, określonego prawdopodobieństwami $p_A(u_A)$ i $p_B(u_B)$. Dana jest funkcja wypłaty gry $M(u_A, u_B)$ określająca „porcję” otrzymaną przez A , gdy w systemach podjęto decyzje u_A, u_B . Stan gdy w t -tym kroku charakteryzuje stan środków A posiadanych

po t-1 krokach:

$$K_{At-1} = K_A + \sum_{i=1}^{t-1} M(u_{A_i}, u_{B_i})$$

Działania systemów określają t- wymiarowe wektory

$$u'_A = \langle u_{A1}, \dots, u_{At} \rangle$$

$$u'_B = \langle u_{B1}, \dots, u_{Bt} \rangle$$

a ponadto wprowadzona została globalna funkcja wygranej A w postaci:

$$M_t(u'_A, u'_B, K_A) = P_t(u'_A, u'_B, K_A) - \frac{1}{2}$$

gdzie:

$P_t(\cdot)$ oznacza prawdopodobieństwo wygranej A po t krokach, przy czym odpowiednio prawdopodobieństwo wygranej B wynosi: $1 - P_t(\cdot)$.

Wartość oczekiwana globalnej funkcji wygranej A wynosi:

$$\bar{M}(u'_A, u'_B, K_A) = P(P_{At}, P_{Bt}, K_A) - \frac{1}{2}$$

gdzie:

$$P(P_{At}, P_{Bt}, K_A) = \sum_{u'_A, u'_B} P_t(u'_A, u'_B, K_A) P_{At}(u'_A) P_{Bt}(u'_B)$$

W celu określenia optymalnych strategii mieszanych P_{At} i P_{Bt} , skorzystano z równania:

$$f_t(K) = \max_{P_{At}} \min_{P_{Bt}} \bar{M}_t(u'_A, u'_B, K_A)$$

Stosując zasadę optymalności Bellmana otrzymujemy równanie rekurencyjne:

$$f(K_A) = \max_{P_{At}} \min_{P_{Bt}} \left\{ \sum f[K_A - M(u_A, u_B)] p(u_A) p(u_B) \right\}$$

przy założeniu, że istnieje granica: $\lim_{t \rightarrow \infty} f_t(K) = f(K)$ Jeżeli $|M(u_A, u_B)| \ll K_A$ i funkcja $f(K)$

posiada niezerową pochodną $f'(K) \neq 0$, to można przyjąć, że:

$$f[K_A - M(u_A, u_B)] \approx f(K_A) - M(u_A, u_B) f'(K_A)$$

a wtedy równanie pozwalające wyznaczyć działanie optymalne przyjmie następującą postać:

$$\max_{P_{At}} \min_{P_{Bt}} \left\{ \sum_{u_B, u_B} M(u_A, u_B) p(u_A) p(u_B) \right\}$$

i nie będzie zależało od postaci funkcji $f(\cdot)$.

Przedstawiony wyżej model działania pozwolił B.S. Fleiszmanowi⁴³ na sformułowanie „prawa przeżycia” systemu A .

Prawdopodobieństwo „przeżycia” systemu A w warunkach antagonizmu z systemem B określa wyrażenie:

$$P(t) = \begin{cases} 1 - e^{-Ht+0(\ln t)} & \text{dla } H > 0 \\ e^{-|H|t+0(\ln t)} & \text{dla } H < 0 \end{cases}$$

gdzie w warunkach gry z racjonalnym przeciwnikiem: $|H| \ll |C|$ przy czym

$$C = \max_{P_{At}} \min_{P_{Bt}} \left\{ \sum_{u_A, u_B} M(u_A, u_B) p(u_A) p_B(u_B) \right\}$$

W przytoczonych ogólnych modelach działania-kierowania w systemach aktywnych zastosowano ogólne zasady teorii sterowania, teorii gier i teorii decyzji. Ich zaletą jest niewątpliwa ogólność, która jednocześnie - gdyby potraktować je jako pewne narzędzia „praktyczne” - stanowi ich poważny mankament. Mogą jednak stanowić punkt wyjścia analizy i syntezy systemów kierowania. Dodajmy, że w zasadzie pominięto dość dobrze już znane modele W. Burkowa⁴⁴.

Modele organizacji i systemów kierowania stanowią narzędzia badacza, analityka systemów i projektanta systemów kierowania. Aczkolwiek trudno przypuszczać, aby w najbliższych latach formalne (matematyczne) modele systemów w pełni zastąpiły doświadczenie i intuicję, wiedzę empiryczną, która dominuje w badaniach nad systemami kierowania, to jednak nietrudno dostrzec rosnące znaczenie tych modeli i zainteresowanie nimi także ze strony praktyków organizacji i kierowania. Modele powoli zaczynają wspomagać proces badania rzeczywistych organizacji i systemów kierowania, jak też proces ich doskonalenia i projektowania. A te procesy tworzą dziedzinę postulowanej w niniejszej pracy inżynierii systemów kierowania.

Modelom poświęciliśmy wiele uwagi. Przyjęliśmy, że wyróżnionym rodzajom opisów systemów realnych odpowiadają określone aspekty badań systemowych reprezentowane przez cele obserwatora systemowego (lub „racjonalizatora” czy projektanta systemów, a także nauczyciela). Jednocześnie zaproponowaliśmy pewną hierarchię badań systemowych, u

⁴³B.S. Fleiszman, *Elementy teorii potencjalnoji efektywnosti složnych sistem*, Moskwa 1971; *Osnowy sistimologii*, Moskwa 1982.

⁴⁴V.N. Burkow, *Osnowy matematycznej...jw.; Teorija aktywnych sistem i sowierszezenstwowanie chozajstwiennogo miechanizma*, Moskwa 1984.

podstaw której znajduje się poznanie cech systemowych i struktur systemów, prowadzące, poprzez poznanie procesów i funkcji ogólnie - zachowania się systemów, do poznania praw rozwojowych.

Strukturalny, funkcjonalny i rozwojowy - to podstawowe aspekty badani każdego systemu, a szczególnie organizacji i systemów kierowania. Tym aspektem badań systemowych odpowiadają trzy podstawowe klasy modeli systemów. Ich prezentacja stanowiła treść niniejszego rozdziału. Użyto przy tym aparatu matematycznego nie wykraczającego w zasadzie poza język teorii mnogości.

Nie oznacza to postulatu redukcji języka systemowego do pojęć logiki formalnej i teorii mnogości. Coraz powszechniejsze staje się korzystanie z teorii kategorii i funktorów (zwłaszcza w opisie morfologiczny np. analizy funkcjonalnej i teorii prawdopodobieństwa (zwłaszcza w opisie funkcjonalnym i rozwojowym)). Rozległe perspektywy aplikacyjne rysują się przed teorią zbiorów rozmytych, teorią katastrof i synergetyką. Zwłaszcza dwie ostatnie z wymienionych dziedzin przynoszą nadzieję na przełamanie pewnego impasu w formalnym opisie wielu rzeczywistych zjawisk społeczno-ekonomicznych. Wynika to z dążenia do stworzenia aparatu pozwalającego na modelowanie stochastycznych systemów nieliniowych, przed czym do niedawna broniono się dość skutecznie, koncentrując uwagę na modelach nie tylko deterministycznych, lecz również liniowych. Oczywiście badania były wspierane różnymi technikami symulacji komputerowej. Przynosiło to bardzo często interesujące rezultaty w postaci niekiedy bardzo złożonych, lecz także praktycznie użytecznych modeli kierowania ekonomicznego.

Powyższe uwagi pozwalają na sformułowanie tezy o celowości stosowania w badaniach systemowych organizacji i kierowania różnorodnego i wszechstronnego aparatu matematycznego. Nie oznacza to „matematycznego eklektyzmu” badań systemowych, lecz to, że każde zawężenie do wąskiego repertuaru pojęć, metod i technik jest równoznaczne z ograniczeniem zakresu tych badań.

Ogólność przedstawionych propozycji odpowiadała ogólności celów metodologicznych, a mianowicie dokonaniu opisu na tyle ogólnego, aby obejmował szeroki zakres rzeczywistego przedmiotu badań różnorodnych rodzajów systemów kierowania.

