

EWOLUCJA BADAŃ SYSTEMOWYCH NA POTRZEBY BEZPIECZEŃSTWA

Piotr SIENKIEWICZ

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

Streszczenie. W artykule przedstawiono ewolucję badań systemowych na tle współczesnych problemów metodologicznych w obszarze bezpieczeństwa systemów społecznych i systemów technicznych. Przyjęto, że współczesne badania systemowe obejmują metodologię holistyczno-systemową, liczne teorie systemów oraz analizę systemową i inżynierię systemów. Uwzględniono doświadczenia badań operacyjnych i RAND Corporation. Stwierdzono, że o wartości współczesnych badań systemowych w obszarze nauk o bezpieczeństwie stanowią zastosowania modeli systemów (sieci) oraz metody i techniki ewaluacyjne i decyzyjne.

Słowa kluczowe: holizm, system, teorie systemów, analiza systemowa, inżynieria systemów.

Istnieją modele, zasady i prawa mające zastosowanie do systemów ogólnych i ich podklas bez względu na ich konkretną postać, charakter elementów składowych i ich relacji, względnie „siły”, jakie między nimi występują. Wydaje się, że jest rzeczą uzasadnioną poszukiwanie teorii nie dla systemów mniej lub bardziej szczegółowych, lecz zasad uniwersalnych odnoszących się do systemów w ogóle.

Ludwig von Bertalanffy

Współczesna nauka tak dobrze sobie radzi z rozkładaniem problemów na części, że często później zapomina złożyć je w całość.

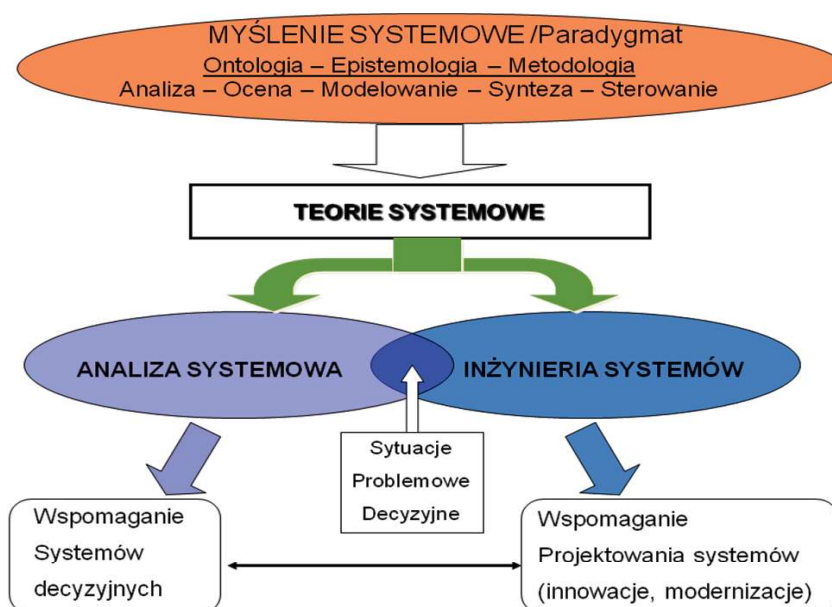
Alvin Toffler

Wstęp

„Zrozumieć współczesny świat może tylko ten, kto rozumie systemy w nim występujące. Otaczający nas świat jest bowiem pełen systemów, wśród których wypadło nam żyć i działać. Rządzą się one swoistymi obiektywnymi prawami, które człowiek współczesny musi poznać, aby być świadomym podmiotem działania w tym świecie systemów”¹. Pogląd ten jest szczególnie aktualny współcześnie, w świecie coraz bardziej złożonych systemów naturalnych i artefaktów, w którym w coraz większym stopniu „wszystko zależy od wszystkiego”. Przełom wieków uświadomił, że żyjemy w „globalnym społeczeństwie ryzyka”, w którym oprócz

¹ Sąd taki wyrażał J. Konieczny w *Inżynierii systemów działania* (1984). Był współtwórcą WCY WAT.

wielu dotychczasowych wyzwań i zagrożeń wystąpiły inne, na miarę czasów globalizacji i postmodernizmu, społeczeństwa informacyjnego i cyberprzestrzeni itp. Aby sprostać nowym wyzwaniom, wykorzystać szanse, a przede wszystkim minimalizować ryzyko zagrożeń bezpieczeństwa w każdej skali i wymiarze, warto sięgać do wiedzy rozwijanej w ramach badań (nauk) systemowych. Współczesne badania systemowe obejmują swoistą filozofię i metodologię, czyli holizm i „systemizm”, oraz liczne teorie systemów, a także podstawy działania systemowego w obszarze techniki i technologii, organizacji i instytucji, wspomagające bezpieczny rozwój cywilizacyjny (rys. 1).



Rys. 1. Ogólna struktura współczesnych badań systemowych

Źródło: opracowanie własne

Przyjęto, że współczesne działania systemowe obejmują m.in.: inżynierię systemów i analizę systemową, ale również np. zarządzanie strategiczne i tzw. globalistykę (modelowanie globalne)². Początki tak pojętego „systemizmu” sięgają lat 40. minionego wieku, potem zaś rozwijały się niejako wielotorowo, raz przenikając się, innym razem oddalając od siebie, pozostawiając jednak wszędzie znaczące „ślady” w postaci nowych modeli systemów rzeczywistych i nowych metod rozwiązywania systemowych sytuacji problemowych (decyzyjnych). Ogarnięcie, chociażby pobieżne, całego obszaru badań i działań systemowych zdecydowanie przekracza

² Należy zauważyć, że zarówno zarządzanie strategiczne (w ujęciu Ansoffa i Chandlera) stanowi „menedżerski” wariant analizy systemowej, jak i globalistyka jest w istocie wariantem teorii systemów wielkich (np. rozwijana przez wybitnych przedstawicieli „systemizmu”, takich jak Mesarović lub Meadows i Forrester). Natomiast z podręcznika Kimballa i Morse’a autor korzystał podczas studiów na WCY WAT.

ramy artykułu³. Możliwa natomiast jest próba syntezy doświadczeń związanych z rozwojem metod analizy systemowej i inżynierii systemów uzyskanych podczas rozwiązywania, z różnym skutkiem, wielu specyficznych problemów praktycznych, politycznych i ekonomicznych, militarnych i technologicznych. Potrzeba podjęcia ogólnej syntezy rozległych badań systemowych wynika z przekonania o istotnych walorach metod systemowych, zwłaszcza że trudno dostrzec obecnie jakąś racjonalną alternatywę metodologiczną⁴. Alternatywą może być natomiast chaotyczny, niespójny i, w istocie, irracjonalny styl myślenia i działania, mający źródło w zjawiskach świadczących niekiedy o istniejącym kryzysie metodologicznym w obszarze badań społecznych.

1. Badania operacyjne

Legenda głosi, że Archimedes oddał swoją wiedzę na usługi wojny. Był zaś nie tylko nauczycielem i wychowawcą Aleksandra Macedońskiego, lecz także doradcą (ekspertem) naukowym podczas jego wypraw wojennych, gdzie wraz z innymi uczonymi tworzył jakby załóżek grupy „badań operacyjnych”. Wielcy matematycy Monge i Fourier towarzyszyli Napoleonowi w jego kampanii włoskiej oraz egipskiej. W latach 1914-1916 W.F. Lanchester opracował modele walki zbrojnej w postaci układu liniowych równań różniczkowych. W 1917 r. T.A. Edison opracował „grę taktyczną” użyteczną w opracowaniu sposobów walki z niemieckimi okrętami podwodnymi, które zagrażały żegludze USA. Od 1908 roku duński inżynier A.K. Erlang stosował modele procesów stochastycznych (łańcuchy Markowa) do projektowania automatycznych central telefonicznych, tworząc podstawy teorii obsługi masowej (teorii kolejek). W 1939 r. L.W. Kantorowicz opublikował pracę poświęconą matematycznym metodom organizacji i planowania produkcji, znaczącą dla rozwoju tzw. programowania liniowego.

Od 1934 r. w dowództwie RAF grupa uczonych pod kierownictwem Lardnera zajmowała się optymalizacją wykorzystania stacji radiolokacyjnych, zainstalowanych na wniosek ich wynalazcy R. Watsona-Watta wzdłuż wybrzeży Wysp Brytyjskich. Po wybuchu II wojny światowej grupa badań operacyjnych przy dowództwie lotnictwa myśliwskiego w Stanmore przyczyniła się do znacznego zwiększenia efektywności systemu obrony przeciwlotniczej. W sierpniu 1940 r. ówczesny szef obrony przeciwlotniczej gen. Pile powołał grupę badań operacyjnych pod kierownictwem laureata nagrody Nobla prof. P.M. Blacketta. Zorganizował on dziesięcioosobową grupę, którą podczas „bitwy o Anglię” nazywano „cyrkiem Blacketta”. Zapoczątkowała ona proces tworzenia podobnych grup niemal we wszystkich dowództwach i sztabach wojsk alianckich.

³ Szerzej w przygotowywanej monografii autora pt. *Badania systemowe*. Autor w 2018 roku został powołany przez Prezesa PAN do rady Fundacji Krzewienia Nauk Systemowych przy Instytucie Badań Systemowych PAN.

⁴ Jako alternatywne koncepcje rozpatrywano między innymi synergetykę, teorię chaosu, teorię złożoności (*complexity theory*), systemy złożone (*system of systems*), myślenie sieciowe (*netism*) itp.

Od października 1943 r. rozpoczęto organizację grup badań operacyjnych w Stanach Zjednoczonych. Profesor fizyki w MIT P.M. Morse i profesor chemii na Uniwersytecie Columbia G.E. Kimball opracowali pierwszy podręcznik wojskowych badań operacyjnych, który – odtajniony w 1951 r. – stał się podstawą nauczania na różnych kursach na całym niemal świecie. Warto wspomnieć, że Winston Churchill w roku 1945, podsumowując wkład nauki w zwycięstwa aliantów, wymienił, „radar, sonar i badania operacyjne”⁵.

Badania operacyjne stanowiły w istocie zastosowanie metod matematycznych (algebry liniowej, rachunku różniczkowego i całkowego, rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej itp.) do rozwiązywania problemów optymalnego wykorzystania sił i środków w procesie kierowania (planowania) złożonymi operacjami (np. transportu i zapasów, rozdziału środków i przydziału zadań itp.). Dzięki temu rozwinęły się np. metody optymalizacji (programowania) liniowej, nieliniowej, dynamicznej, stochastycznej, a także teorii gier i teorii kolejek, analizy sieci itp. W jednym z klasycznych podręczników zauważono, że „badania operacyjne są sztuką umożliwiającą uzyskanie złej odpowiedzi dla problemów, w których inne sposoby dają jeszcze gorsze odpowiedzi”⁶.

2. RAND Corporation

W 1948 roku z funduszy Fundacji Forda powstała szczególna instytucja po to, aby „zdobyć najlepsze umysły i skierować je na zagadnienia przyszłości”. Była to korporacja RAND – trzon jej personelu rekrutował się spośród pracowników Douglas Aircraft Corporation, która użyczyła również pomieszczenia mieszkalne, biurowe i laboratoryjne. Dwupiętrowy budynek, w którym mieściła się centrala RAND, stoi do dziś na pięknym wybrzeżu zatoki naprzeciw ratusza w Santa Monica. Została zorganizowana i subsydiowana na rozkaz gen. Arnolda, dowódcy sił powietrznych z okresu II wojny światowej. W pierwszym dziesięcioleciu istnienia, zatrudniając ok. 800 wybitnych uczonych i analityków, RAND prowadziła długofalowe analizy możliwych i prawdopodobnych zmian w strategii, taktyce i uzbrojeniu lotnictwa. W 1959 r. opracowano także światowy (globalny) system baz lotnictwa strategicznego Stanów Zjednoczonych. W latach pięćdziesiątych wśród pracowników RAND znaleźli się uczeni, których bez wahania można zaliczyć do najwybitniejszych umysłów tamtych czasów, a mianowicie: J. von Neumann (jeden z najwszechstronniejszych umysłów XX wieku), N. Wiener (twórca cybernetyki), J. Nash (noblista z 1994 r., teoria gier), H.A. Simon (noblista z 1978 r., teoria decyzji), R. Bellman (twórca programowania dynamicznego), H. Kahn (prognozowanie, strategia), K. Arrow (noblista z 1972 r., teoria decyzji),

⁵ Nie przeszkodziło to brytyjskiemu premierowi w bezceremonialnym usunięciu Blacketta pod pozorem „wtrącania się do polityki”.

⁶ T. Saaty, *Mathematical methods of operations research*, New York 1959.

J. Williams (teoria gier), P. Samuelson (noblista z 1970 r., ekonomia), H. Kuhn i A. Tucker (programowanie nieliniowe).

RAND z początku lat 50. był oryginalnym instytutem badawczym, którego zadanie polegało na zastosowaniu racjonalnej systemowej analizy i najnowszych metod ilościowych do rozstrzygnięcia problemu, jak wykorzystać najnowsze systemy uzbrojenia, by zapobiec wojnie ze Związkiem Radzieckim – lub wygrać ją, gdyby zawiodły metody odstraszania. Jak twierdził H. Kahn, ludzie z RAND mieli: „myśleć o tym, co jest nie do pomyślenia”. O ówczesnej roli RAND w kształtowaniu nowej strategii USA pisało: „W czasie II wojny światowej talenty uczonych były eksploatowane w bezprecedensowy, niemal ekstrawagancki sposób. Po pierwsze, zastosowano wiele nowych wynalazków – radar, detektory promieniowania podczerwonego, samoloty bombowe, rakiety dalekiego zasięgu, torpedy z ładunkami głębinowymi, no i bomby atomowe. Po drugie, wojsko miało bardzo mętne wyobrażenia, jak wykorzystać te wynalazki. Ktoś musiał opracować nowe metody oceny efektywności tych broni i ich najsukuteczniejszego wykorzystania. To zadanie przypadło uczonym”⁷. Nowe wyzwania bezpieczeństwa podjął RAND Corporation, stosując analizę systemową, będącą w znacznym stopniu rozwinięciem doświadczeń uzyskanych przez grupy badań operacyjnych podczas wojny. Dzięki niezwykłym umysłom badaczy i analityków powstał w Santa Monica ośrodek analizy systemowej, której zastosowania miały z czasem ogarnąć wiele nowych obszarów polityki, ekonomii, techniki. Świadczy o tym obecna struktura RAND obejmująca, między innymi, takie obiekty jak:

- wydział badań (dziedziny: nauki behawioralne, ekonomia, inżynieria i nauki stosowane, nauki o informacji, politologia i nauki systemowe);
- oddział projektów sił powietrznych (programy: narodowe strategie bezpieczeństwa, zatrudnienia, zastosowania technologii, zarządzanie zasobami),
- oddział badań nad bezpieczeństwem narodowym (programy: zastosowania nauki i technologii, zasoby obronne, systemy informacyjne, międzynarodowa polityka ekonomiczna, polityka obrony i bezpieczeństwa międzynarodowego, systemy wspomagania i gotowości, bezpieczeństwo i konflikty lokalne, centrum wartościowania strategii);
- oddział badań „wewnętrznych” (programy: kryminalistyka, edukacja i zasoby ludzkie, polityka energetyczna, polityka zdrowia, gospodarka przestrzenna, praca i zatrudnienie itp.) oraz Instytut Prawa Cywilnego i Wydział Informatyki;
- centrum badań nad terroryzmem.

Obecna struktura RAND dobrze ukazuje ewolucję analizy systemowej: od zastosowań w obszarze bezpieczeństwa narodowego do wszystkich niemal obszarów życia społecznego współczesnego państwa.

⁷ J. Raymond, *Pentagon*, MON, 1966.

3. Szkoła Roberta McNamary

Po II wojnie światowej ppłk Robert S. McNamara, który uczył oficerów wojsk lądowych i lotnictwa metod kontroli statystycznej, i dziewięciu innych oficerów zostało zaangażowanych przez kierownictwo Ford Motor Company. Podczas pracy u Forda McNamara zdążył zmienić strukturę organizacyjną koncernu. Dzień po wyborze Johna F. Kennedy'ego na prezydenta Stanów Zjednoczonych McNamara został mianowany prezesem Forda⁸. Jednak gdy prezydent zaproponował mu stanowisko sekretarza obrony, McNamara przyjął tę propozycję, stawiając warunek, że będzie mógł stworzyć zespół najbliższych współpracowników i doradców spośród analityków z RAND. Dzięki temu w departamencie obrony znaleźli się m.in. Ch. Hitch, H. Rowen, A. Enthoven i P. Whostteter.

Ch. Hitch i R. McKean w 1961 roku opublikowali książkę nazwaną „biblią Pentagonu”, w której przedstawili podstawy nowego podejścia do ekonomiki obrony, wykorzystując doświadczenia RAND w dziedzinie badań operacyjnych i analizy systemowej.

Przyjaciel McNamary, znany menedżer L. Iaccoca, tak go charakteryzuje: „Był jednym z najbardziej błyskotliwych ludzi, jakich kiedykolwiek spotkałem, o fenomenalnym wręcz ilorazie inteligencji i mózgu wybiórczym jak magnes – prawdziwy gigant intelektu. (...) Podczas rozmowy z nim człowiek uświadamiał sobie, że on już zdążył przemyśleć wszystkie istotne szczegóły wszystkich możliwych wariantów scenariuszy rozwoju wydarzeń. Nauczył mnie, żeby nigdy nie podejmować ważnej decyzji, nie mając do wyboru co najmniej dwu równorzędnych wariantów rozwiązań. Kiedy zaś w grę wchodzi sto milionów dolarów, dobrze mieć także trzeci”⁹. Jako sekretarz obrony McNamara mawiał, że po pierwsze należy rozwinąć siły niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa narodowego, nie licząc się z arbitralnym pułapem budżetu, a po drugie osiągnąć to możliwie najmniejszym kosztem¹⁰. Pierwsza część tego wyznania jest polityczna i przypomina oskarżenie rzucone kilka lat wcześniej pod adresem administracji Eisenhowera, że wpełchnęła potrzeby sił zbrojnych w budżetowy kaftan bezpieczeństwa. Druga część jest robocza, dotyczy bowiem największej „wydajności z dolara”, co stało się naczelną dewizą zarządu McNamary. Wyraża to istotę dylematów planowania obrony, do których zespół McNamary postanowił zastosować analizę systemową, opracowując w 1961 r. PPBS (*Planning Programming Budgeting System*). Metoda ta miała na celu: „dać kierującemu polityką obronną ogólne kształty finansowe i nakłady pracy rzeczowej, niezbędne do realizacji każdego systemu uzbrojenia; przedstawić stosunek efektywności nakładów dla tych programów, aby kierownictwo mogło ocenić, czy dodatkowe korzyści, jakich się spodziewa, są warte tych nakładów w porównaniu z innymi sposobami wykonania tego samego zadania;

⁸ McNamara był pierwszym prezesem koncernu spoza klanu Fordów.

⁹ L. Iaccoca, *Autobiografia*, Emka, Warszawa 2007, s. 74.

¹⁰ P. Sienkiewicz (red.), *Wystarczalność obronna*, Bellona, Warszawa 1996.

rozciągnąć na okres pięcioletni ocenę kosztów związanych z tymi programami, dać ocenę siły wojskowej i kosztów jej utrzymania przez zgrupowanie sił strategicznych i sił taktycznych, niezależnie od tego, jaki rodzaj sił zbrojnych nimi dysponuje”. Od roku 1965 PPBS pod wpływem Bureau of the Budget został rozpowszechniony wśród innych urzędów państwowych Stanów Zjednoczonych. Z kolei, pod wpływem amerykańskich doświadczeń, PPBS został przyjęty przez siły zbrojne Francji, a następnie rozpowszechniony dzięki poparciu ministra M. Debré pod nazwą RCB w całej administracji publicznej. Obecnie PPBS jest stosowany jako podstawowy system wspomagania decyzji strategicznych we wszystkich armiach państw NATO, zaś w Polsce jest wdrażany jako budżet zadaniowy.

„Szkoła McNamary” nauczyla kierownictwo posługiwania się zasadą maksymalnej efektywności systemów, która problemy planowania strategicznego sprowadzała do zagadnienia optymalizacji z dwoma głównymi kryteriami¹¹: maksymalnego poziomu wystarczalności obronnej państwa oraz minimalnych kosztów realizacji programów rozwojowych niezbędnych do zapewnienia pożądanego poziomu bezpieczeństwa narodowego. Chodzi zatem o prymat racjonalnego, systemowego myślenia o problemach bezpieczeństwa narodowego i międzynarodowego. Nie oznacza to bynajmniej swoistego „demonizowania” modeli matematycznych, metod ilościowych i komputerów, lecz o rozsądne wspomaganie procesów decyzyjnych w kształtowaniu efektywnego systemu bezpieczeństwa narodowego.

4. Analiza systemowa

Rozwój analizy systemowej przebiegał wielotorowo, albowiem poza jej wariantem opracowanym w RAND i rozwiniętym przez „szkołę McNamary” można wyróżnić jeszcze dwa kierunki, mianowicie:

- *matematyczny* wariant analizy systemowej, niewiele różniący się od badań operacyjnych, czyli akcentujący przede wszystkim potrzebę rozwoju matematycznych modeli decyzyjnych i metod rozwiązywania „ściśle” określonych problemów optymalizacji systemów rzeczywistych;
- *informatyczny* wariant zakładający, że analiza systemowa (raczej „analiza systemów”) jest wstępnym (i zarazem krytycznym) etapem procesu projektowania systemów informatycznych, w którym definiowane są cele i funkcje projektowanego systemu oraz dokonuje się specyfikacji wymagań, jakie spełniać ma system.

O ile analizę systemową w wersji *matematycznej* można połączyć z wersją *pragmatyczną* w ujęciu RAND-u, o tyle jej wariant *informatyczny* zawiera się z pewnością w obszarze inżynierii systemów. A to oznacza, że nakreślenie jakiegóś

¹¹ McNamara obarczany był odpowiedzialnością za kompromitującą interwencję w Zatoce Świń, a także za fiasko wojny w Wietnamie. Głównym zarzutem był technokratyzm – nadmierna wiara w „moc liczb, modeli i komputerów”, także w nieomylność ludzi z RAND i niedocenianie „czynnika ludzkiego”.

granicy między analizą systemową a inżynierią systemów należy uznać za bezcelowe, a raczej może być jedynie umowne.

Istotę analizy systemowej trafnie wyraził jeden z najbliższych współpracowników McNamary, Allan Enthoven: „Analiza systemowa może być najlepiej określona jako stały dialog między decydentem a analitykiem systemów, w którym decydent pyta o różne warianty rozwiązania swoich problemów, analityk zaś stara się wyjaśnić konceptualny układ odniesienia, w którym decyzja musi być podjęta, zdefiniować możliwe alternatywne cele i kryteria oraz określić w możliwie najjaśniejszej formie (skwantyfikowanej) koszty i efektywność tych kierunków działania”¹².

Edward Quade (niegdyś wiceprezes RAND) sformułował ogólne wskazówki poprawnej analizy systemowej, które można sprowadzić do następujących zaleceń¹³:

- (1) Korzystaj z opinii ekspertów.
- (2) Sformułuj właściwy cel analizy.
- (3) Sprawdzaj wrażliwość stosowanych modeli.
- (4) Opracowuj alternatywne warianty rozwiązania problemu i dokonaj ich wielokryterialnej oceny porównawczej.
- (5) Korzystaj z opinii interdyscyplinarnego zespołu ekspertów.
- (6) W przypadku złożonych problemów nie opieraj się na analogii do pojedynczych, prostych zadań.
- (7) Przywiązuj większe znaczenie do częściowych odpowiedzi w ważnych kwestiach niż do pełnego wyjaśnienia nieistotnych (drugorzędnych) problemów.
- (8) Uwzględnij, że oszacowanie kosztów jest szczególnie istotnym czynnikiem przy wyborze wariantu.
- (9) Uwzględnij, że decydent może sam skompensować do pewnego stopnia niepełność analizy.
- (10) Przyjmij jako naczelną zasadę, że nowa koncepcja ma znacznie większą wartość od wielu ocen istniejących już rozwiązań.

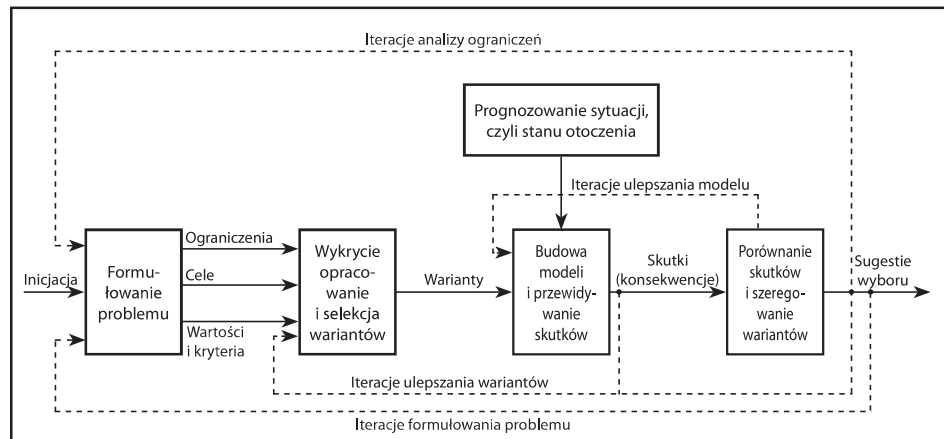
Zasady Quade’a nie mają charakteru dyrektyw metodologicznych, natomiast pozwalają dostrzec pragmatyczne nastawienie i brak dogmatycznej postawy. Analityk systemów przedstawia decydentowi projekty decyzji jako rezultat optymalizacji (albo sortowania lub porządkowania) wariantów, natomiast do decydenta należy ostateczny wybór wariantu i postanowienie jego realizacji, czyli decyzja.

Analiza systemowa w istocie jest zbiorem metod i technik ewaluacyjnych (analitycznych, ocenowych) i decyzyjnych, służących racjonalnemu rozwiązywaniu systemowych sytuacji decyzyjnych, a zarazem badaniem wspomagającym działania osób odpowiedzialnych za decyzje podejmowane w warunkach niepewności i ryzyka¹⁴.

¹² W. Findeisen (red.), *Analiza systemowa*, WNT, Warszawa 1985.

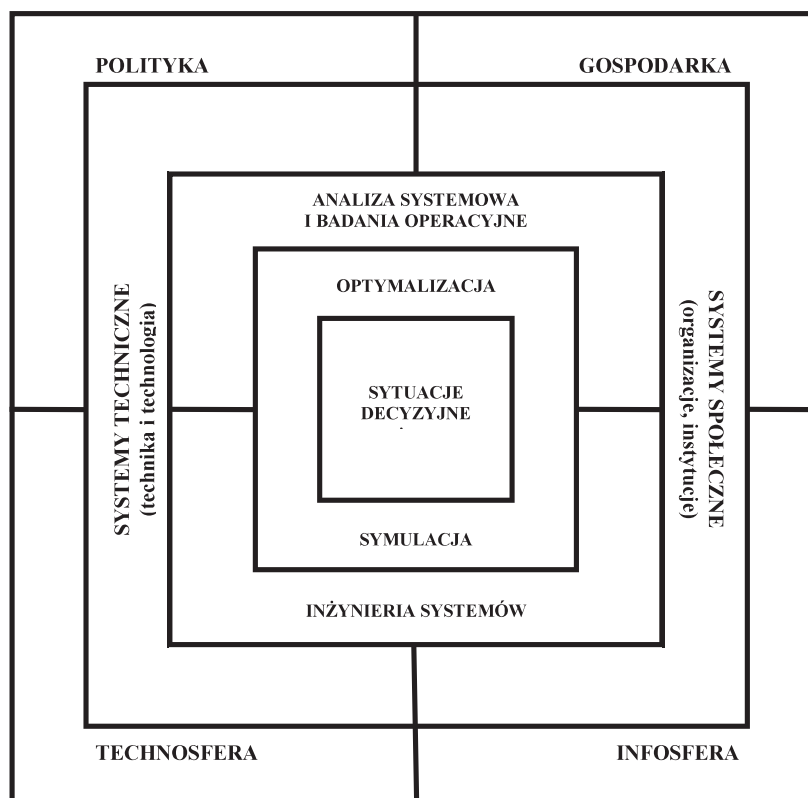
¹³ Ibidem.

¹⁴ P. Sienkiewicz, *Analiza systemowa*, Bellona, Warszawa 1995.



Rys. 2. Ogólny model analizy systemowej

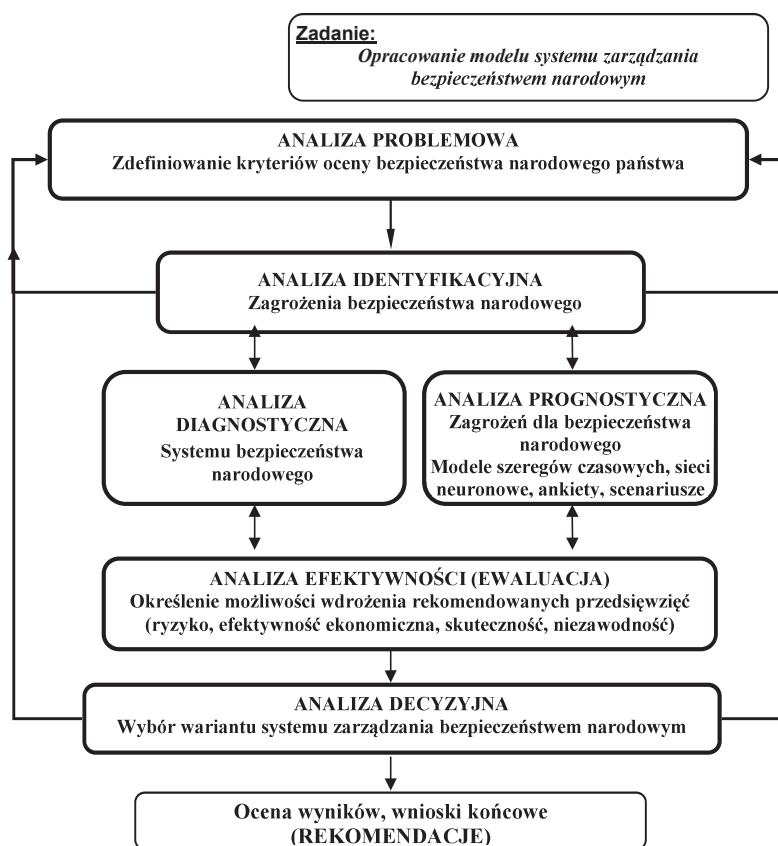
Źródło: W. Findeisen, 1985



Rys. 3. Główne dziedziny stosowanych analiz systemowych

Źródło: opracowanie własne

Pojęcie systemowej sytuacji decyzyjnej oznacza tyle, że problem decyzyjny (wybór wariantu, opcji, linii postępowania) dotyczy określonego systemu (np. organizacji politycznej, militarnej, gospodarczej itp.). Z kolei ewaluacja związana jest z kryteriami oceny takich cech *par excellence* systemowych jak: efektywność rozumiana w sensie ogólnym, tj. skuteczność (zdolność osiągania celów), ekonomiczność (relacja między korzyściami a nakładami), także etyczność, a ponadto niezawodność, gotowość, jakość itp. W praktyce decyzyjnej w zależności od celów, funkcji, zadań itp. stosuje się wiele różnych kryteriów częściowych. Natomiast spotykane jeszcze niekiedy utożsamianie analizy systemowej z analizą typu „koszt – efekt” jest uproszczeniem, choć wśród technik analityczno-ocenowych szczególne znaczenie przypisywane jest miernikom efektywności ekonomicznej (np. metody oceny efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych). Ryzyko, jako kryterium oceny, i analiza ryzyka (*risk analysis*) stanowią w istocie podstawową metodę ewaluacyjną dotyczącą zagrożeń bezpieczeństwa dowolnych obiektów (systemów, procesów).



Rys. 4. Analiza systemowa sytuacji problemowej

Źródło: opracowanie własne

5. Inżynieria systemów

W klasycznym podręczniku A.D. Halla¹⁵ wspomina się, że pierwsze oficjalne próby wykładów z podstaw inżynierii systemów miały miejsce w Massachusetts Institute of Technology w 1950 r., a na początku lat 50. prowadzone były także podobne kursy w Bell Telephone Laboratories. Warto również sięgnąć do doświadczeń związanych z projektowaniem systemów łączności telefonicznej w latach 30. (np. prace Erlanga) albo z realizacją wielkich programów badawczo-rozwojowych takich jak *Manhattan Distric Project*, *Project X* czy późniejsze: *Apollo*, *Sojuz Apollo*, *Polaris* i *ABM*, a także program zagospodarowania doliny Tennessee, japoński projekt szybkiej kolei Shinkansen, francuski program przemysłowego wykorzystania energii słonecznej, francusko-brytyjski program budowy naddźwiękowego samolotu Concorde itp.

Uważa się, że zadaniem inżynierii systemów jest zmniejszenie opóźnienia między odkryciami naukowymi a ich praktycznym (przemysłowym, obronnym) zastosowaniem oraz między pojawieniem się ludzkich potrzeb a budową nowych artefaktów (urządzeń i systemów technicznych) w celu ich zaspokojenia, a niekiedy kreowania nowych potrzeb społecznych.

Współczesna inżynieria systemów obejmuje całokształt zagadnień projektowania i eksploatacji złożonych systemów technicznych i socjotechnicznych, także społecznych (organizacji, instytucji). Do nich należy zaliczyć: metodologię projektowania systemów, zarządzanie projektami systemów, ewaluację (wartościowanie) skutków wdrażania projektów (*technology assessment*), techniki wspomagania projektowania (*computer aided systems engineering*) itp.

Chociaż początki inżynierii systemów związane są niewątpliwie z projektowaniem, budową i eksploatacją systemów technicznych, to – wraz z rosnącą popularnością zastosowań badań operacyjnych i analizy systemowej – nastąpił rozwój zastosowań inżynierii systemów w takich dziedzinach jak: organizacje i systemy zarządzania, systemy informacyjne (informatyczne), ekosystemy, systemy walki i wiele innych. Przykładem rozszerzenia zakresu inżynierii systemów może być rozwój: inżynierii systemów zarządzania, inżynierii systemów informatycznych, inżynierii systemów bezpieczeństwa, inżynierii środowiska (ekosystemów), inżynierii finansowej itp.

W projektowaniu systemów często wyróżnia się dwie podstawowe metody: diagnostyczną i prognostyczną. Istotą pierwszej jest analiza diagnostyczna aktualnego stanu systemu istniejącego, co odpowiada projektowaniu modernizacyjnemu (reinżynieria), natomiast drugiej – model systemu perspektywicznego („idealnego”), co odpowiada projektowaniu innowacyjnemu (inżynieria).

Ewaluacja systemów, a w szczególności tzw. wartościowanie techniki, zakłada, że wprowadzenie nowej techniki (modernizacja lub rozszerzenie skali zastosowań techniki istniejącej), w tym tzw. techniki podwójnego zastosowania, może powodować

¹⁵ A.D. Hall, *Podstawy techniki systemu*, WNT, Warszawa 1968.

różne skutki: ekonomiczne, ekologiczne, zdrowotne, społeczne, organizacyjne, prawne itp. Szczególne znaczenie przypisuje się obecnie analizie ryzyka zagrożeń bezpiecznego, trwałego i zrównoważonego rozwoju realnych systemów. Zakłada się, że ryzyko przedsięwzięcia rośnie wraz ze wzrostem złożoności systemu, nowości stosowanej metodologii i technologii, zaś maleje, gdy przestrzegane są zasady organizacyjne inżynierii systemów bezpieczeństwa. Stosowana obecnie metoda analizy ryzyka polega na jawnej ocenie zagrożeń i korzyści wiążących się z rozważanym projektem, wyrażonych za pomocą wspólnej miary, i obejmuje przykładowo następujące czynności:

- (1) sporządza się listę wszystkich możliwych i prawdopodobnych niepożądanych konsekwencji wdrożenia projektu;
- (2) szacuje się prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych skutków;
- (3) oblicza się szkody, które mogłyby wyniknąć dla społeczeństwa w razie wystąpienia każdego z tych skutków;
- (4) oblicza się oczekiwaną wartość straty związaną z całym projektem (charakterystyki statystyczne, np. wariancję, odchylenie standardowe i wskaźnik zmienności itp.).

Statystyczna analiza ryzyka wykorzystywana jest w wielu technikach ewaluacyjnych, podobnie jak techniki heurystyczne (np. Delphi, brainstorming, scenariusze). Analiza ryzyka *ex ante* oznacza konieczność stosowania metod prognozowania (scenariusze, oceny eksperckie, analiza szeregów czasowych itp.) możliwych i prawdopodobnych stanów rzeczy w bliższej i/lub dalszej przyszłości.

Pośród alternatywnych wariantów projektu systemu (lub alternatywnych systemów przewidywanych do realizacji określonych celów) wybrać należy ten, dla którego ryzyko jest najmniejsze, zaś efektywność ekonomiczna (techniczna) najwyższa lub na pożądanym poziomie, analogicznie jak w przypadku zastosowań analizy systemowej.

Warto także sięgnąć do wniosków płynących z analizy dość szczególnego przypadku, a mianowicie katastrofy promu kosmicznego Challenger w 1986 r. W składzie Komisji Prezydenckiej badającej przyczyny katastrofy znaleźli się m.in. astronauta N. Armstrong, generał D. Kutyna i słynny fizyk noblista R. Feynman. Zgodnie z zaleceniami NASA stosowano jakościową ocenę ryzyka, zaś decyzję o misji podejmowano, gdy zagregowany poziom ryzyka pozostawał na akceptowanym poziomie. Feynman zauważył, że podejmowanie decyzji w NASA: „...przypominało rosyjską ruletkę... prom latał przy erozji pierścieni i nic się nie działo. To sugerowało, że ryzyko nie jest już tak wysokie dla następnych lotów. Można było obniżyć nieco standardy, ponieważ ostatnim razem jakoś się udało... Udało się, ale nie należy tego procesu eksploatować”.

6. Teorie systemów

Trudno dokonać wyboru jednej, „jedynie słusznej”, teorii systemów. Oprócz ogólnosystemowej teorii Ludwiga von Bertalanffy'ego powstało bardzo wiele for-

malnych i matematycznych propozycji teoretycznych, które można traktować jako teorie systemów, niekiedy bardzo różniące się przyjętym językiem opisu obiektów, lecz prezentujące podobne holistyczne ujęcie tych obiektów rozpatrywanych jako systemy¹⁶. Równie liczne koncepcje systemowe powstały w obszarze nauk społecznych: socjologii, ekonomii, politologii, itp.¹⁷ Nie brakuje prac, w których skrzętnie określa się liczbę definicji i określeń „systemu”¹⁸.

George Klir zaproponował następującą klasyfikację teorii systemów:

- I – szczegółowe teorie systemów,
- II – uogólnione teorie systemów,
- III – ogólne teorie systemów,
- IV – matematyczne teorie systemów.

W teorii systemów Klira (typ III) system S jest:

- (1) danym zbiorem wielkości na określonym poziomie rozdzielczości,
- (2) zbiorem wartości przedstawiających zmienność rozważanych wielkości w czasie,
- (3) daną relacją niezmienniczą w czasie, między chwilowymi i/lub przeszłymi i/lub przyszłymi wartościami wielkości zewnętrznych,
- (4) danym zbiorem elementów i ich zachowań stałych oraz zbiorem sprzężeń między elementami i otoczeniem,
- (5) zbiorem stanów i zbiorem przejść między stanami.

Przykładowo, tzw. teoria „spłeciona” A. Wymore’a (typ IV) odznacza się wymyślną notacją, łączącą elementy automatów dyskretnych, systemów ciągłych, teorii informacji, topologii algebraicznej itp.

Najbardziej rozwiniętą teorią systemów jest niewątpliwie aksjomatyczna teoria Mihajlo Mesarovića. Punktem wyjścia jest pojęcie systemu S jako relacji określonej na iloczynie kartezjańskim zbiorów V_i , $i \in I$. I jest dowolnym zbiorem wskaźników zwanych obiektami systemu. Z kolei obiekty systemu podzielono na dwie kategorie: wejścia (bodźce) X oraz wyjścia (reakcje) Y. System jest relacją: $S \subset X \times Y$ lub funkcją $S: X \rightarrow Y$. Jeżeli dane są obiekty: zbiór decyzji (sterowań) U oraz zbiór wartości V, a także dwie funkcje:

- funkcja wyjściowa (proces) $P: X \times U \rightarrow Y$,
- funkcja celu (efektywności) $F: U \times Y \rightarrow V$,

to dla każdego $x \in X$ i $y \in Y$, $(x, y) \in S$ wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje $u^* \in U$ takie, że dla każdego $u \in U$: $F(u^*, P(x, u^*)) \leq F(u, P(x, u))$ oraz $y = P(x, u^*)$.

Z ujęcia Mesarovića wynika, że w zasadzie każdy system może być opisany jako system behawioralny (we-wy) lub jako system celowy (teleologiczny). Można w tym upatrywać próby pogodzenia sprzecznych koncepcji, takich jak np. behawioryzm Skinnera czy strukturalizm Chomsky’ego. Wydaje się jednak, że największą wartością teorii systemów Mesarovića jest rozwinięcie jej do postaci

¹⁶ Ibidem.

¹⁷ M. Fleischer, *Teoria kultury i komunikacji*, TWP Wrocław 2002.

¹⁸ G. Klir (red.), *Ogólna teoria systemów*, WNT, Warszawa 1976.

aksjomatycznej teorii wielopoziomowych hierarchicznych systemów, na gruncie której sformułowano zasadę koordynacji działania elementów (podsystemów) systemu wielkiego¹⁹.

Dobrym uogólnieniem jest natomiast następująca definicja: *system to całość, która tworzy zbiór elementów i relacji między nimi*. A zatem system to uporządkowana para $S = \langle M, R \rangle$, gdzie $M = \{m_i: i \in I = (1, 2, \dots, K), K = 2, 3, \dots\}$ oznacza skończony zbiór elementów, a $R = \{R_j: j \in J = (1, 2, \dots, L), L = 2, 3, \dots, 2^P, P = 2^K\}$ oznacza L-elementową klasę relacji R_j określonych na zbiorze M.

G. Klir, odpowiadając na pytanie: *co nowego wnosi ogólna teoria systemów?*, zwraca uwagę, że ogólną teorię systemów uważa się za np.: teorię formalną (Wymore, Mesarovič), metodologię (Ashby, Klir), sposób myślenia (Bertalanffy, Churchman), sposób spojrzenia na świat (Weinberg), poszukiwanie optymalnego uproszczenia (Ashby, Weinberg), metodykę nauczania (Boulding, Klir, Weinberg), meta-język (Löfgren), zawód (Klir).

Modelowanie systemowe (systemów), które stanowi racjonalne (w sensie metodologicznym) „jądro” licznych teorii systemów, analizy systemowej i inżynierii systemów, jest zawsze procesem odwzorowania określonego oryginału (np. systemu rzeczywistego) w określony jego obraz, czyli model (np. system pojęciowy). Modelowanie jest zatem szczególną relacją między oryginałem a jego obrazem. To, jakim modelem się posługujemy, zależy np. od jego przeznaczenia, ale także przyjętego języka modelowania i kwalifikacji badacza. Model systemu spełnia w analizie systemowej i inżynierii systemów szczególną rolę, bowiem jego cechy, walory w znacznym stopniu przesądzają o powodzeniu przedsięwzięcia. Model jest podstawą zastosowań komputerów, czyli numerycznego rozwiązywania złożonych zadań obliczeniowych lub eksperymentów symulacyjnych.

Za prekursora systemowych koncepcji w obszarze badań społecznych uznaje się Talcotta Parsonsa. Rozpatrywał on system społeczny jako pewną strukturę hierarchiczną, której właściwości wynikają z danych odniesień między żywymi organizmami stanowiącymi jego jednostki²⁰.

Podsumowując rozwój teorii systemów społecznych, wyróżnić można co najmniej pięć koncepcji podstawowych:

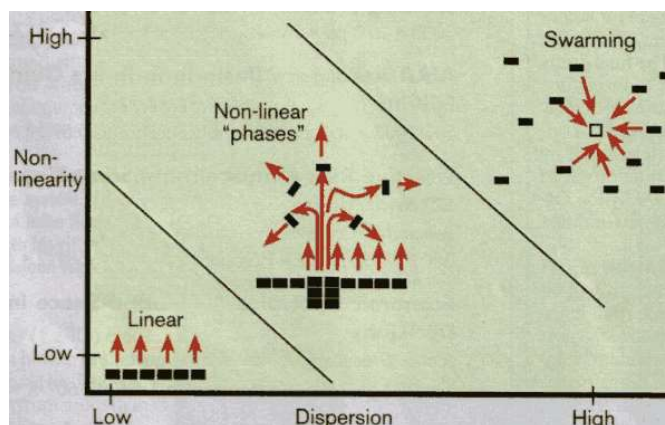
- (1) strukturalno-funkcjonalną teorię systemów opracowaną przez T. Parsonsa,
- (2) koncepcję systemowo-funkcjonalną W. Buckleya i J. Millera,
- (3) koncepcję funkcjonalno-strukturalną M. Luhmana,
- (4) koncepcję funkcjonalno-genetyczną H. Wilkego,
- (5) teorię systemów autoreferencyjnych H. Maturany i F. Vareli.

Systemy autopoietyczne Maturany charakteryzowane są następująco: każdy element jest systemem, czyli „siecią produkcji składników”. Mario Bunge proponuje natomiast zdefiniowanie systemów jako obiektów trójrelacyjnych, bazujących na elementach: budowa, środowisko, struktura. Z kolei system-świat Immanuela

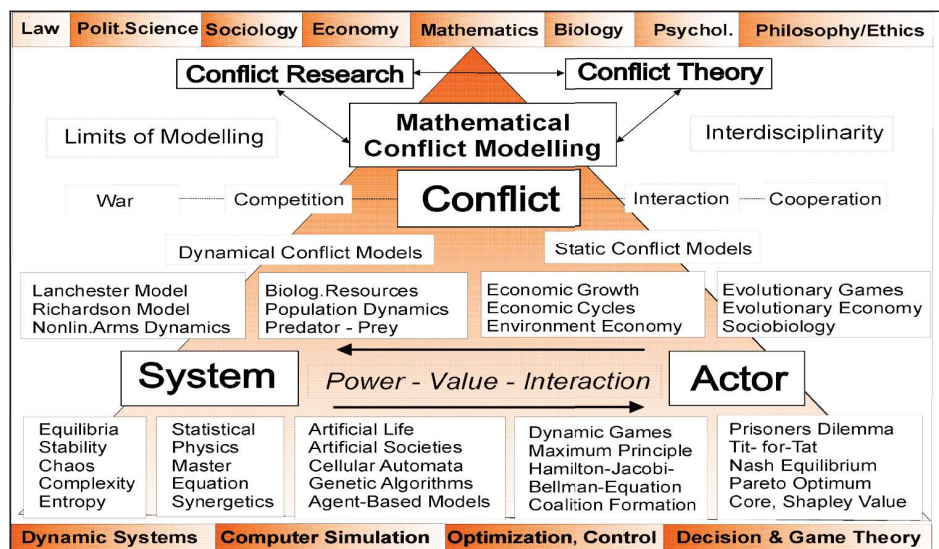
¹⁹ M. Mesarovič, *General Systems Theory: Mathematical Foundations*, New York 1975.

²⁰ M. Fleischer, op. cit.

Wallersteina to pewne uformowane historycznie całości społeczno-ekonomiczne, cechujące się ścisłymi strukturalnymi powiązaniem wewnętrznymi²¹.



Rys. 5. Ewolucja systemowego modelowania walki. Źródło: K. Mainzer, 2007



Rys. 6. Konflikt jako obiekt badań systemowych

Źródło: Booss-Bavnbek, B. Hoyrup (red.), *Matematics and War*, Sztokholm 2003

Ponieważ tedy wszystkie rzeczy są następstwem i przyczyną, doznają i udzielają pomocy, pośredniczą i korzystają z pośrednictwa (...) uważam za niemożliwe znać części, nie znając całości.

Blaise Pascal

²¹ I. Wallerstein, *Analiza systemów-światów*, Dialog, Warszawa 2007.

Ponad półwieczne doświadczenia w obszarze badań systemowych, wcale niewolne od krytycznych ocen, a także kontrowersyjnych opinii, skłaniają jednak do sądu, że nie powstały inne, równie poważne i rozwinięte alternatywne propozycje metodologiczne. W ostatnim ćwierćwieczu modele analizy systemowej i inżynierii systemów ewoluowały, rozwijając na potrzeby badań systemów bezpieczeństwa np. nieliniowe modele walki oraz tzw. modele „rojowe” (*swarming*) i sieciocentryczne (*Network centric warfare*). Na poziomie bardzo ogólnej refleksji metodologicznej można dostrzec udane próby pogodzenia na podstawach holistyczno-systemowych zarówno np. strukturalizmu i funkcjonalizmu, behawioryzmu i teleologizmu, jak i reizmu, ewentyzmu, procesualizmu oraz „netyzmu”, czyli „sieciowości”²² (niekiedy przeciwstawianej systemizmowi).

Zakończenie

Badania operacyjne, analiza systemowa i inżynieria systemów, wykorzystując ogólne modele teorii systemów, tworzą względnie spójny obszar badań systemów, ewoluujący i podobnie jak w minionym stuleciu w znacznym stopniu ukierunkowany na zaspokojenie potrzeb w zakresie bezpieczeństwa i obronności. Można ponadto zauważyć pewne charakterystyczne postawy analityków i inżynierów systemowych. Jedną charakteryzuje koncentrowanie uwagi na zgodności modelu systemów z mniej lub bardziej arbitralnie wybranym fragmentem rzeczywistości, inną zaś – skupianie uwagi przede wszystkim na wewnętrznej poprawności logicznej modelu. Zauważyć można jeszcze inną postawę zorientowaną podmiotowo, czyli dostosowującą model systemu do możliwości i kompetencji jego twórcy.

Nawet najbardziej zaawansowane, „wyrafinowane” modele i metody obliczeniowe mogą okazać się bezużyteczne, gdy niewłaściwie (błędnie) sformułowano problem, błędnie określono cele, niestarannie zdefiniowano warunki (wymagania i ograniczenia) itp. Wiedza metodologiczna oczywiście powinna być równoważona przez wiedzę merytoryczną (przedmiotową). Wiedza i mądrość, zdolności twórczego myślenia wsparte intuicją, także wyobraźnią twórców modeli i metod, decydują o powodzeniu przedsięwzięć podejmowanych w ramach analizy systemowej i inżynierii systemów, wyrażając jednak istotę badań naukowych, zaś badań systemowych w szczególności.

W zakończeniu warto przytoczyć pouczającą przypowieść zaczerpniętą z klasycznego podręcznika Artura D. Halla (1968): „Społeczeństwo może również pobudzać rozwój myślenia twórczego i odpowiednio je ukierunkowywać. We wczesnym średniowieczu głównym celem społeczeństwa było z jednej strony utrzymanie spokoju i ekonomiczne zapewnienie egzystencji, z drugiej zaś zbawienie wiekuiste. Poważna część aktywności twórczej przypadała wówczas na klasztory. Dziś jeszcze Indianie z plemienia Hopi uważają, że jedyną i najważniejszą częścią ich egzystencji

²² Należy zauważyć, że sieć to po prostu system o strukturze sieciowej, a elementami dowolnego systemu mogą być np. rzeczy, zdarzenia, procesy.

są obrzędy religijne i absorbują one bez reszty całą energię młodych ludzi z tego plemienia. Na zachodzie Europy i w Stanach Zjednoczonych w zeszłym stuleciu główną uwagę zwracano na rozwój techniki. Myślenie w tym kierunku doprowadziło do rosnącej lawiny nowych wynalazków. (...) Dziewiętnasty wiek wynalazł metodę dokonywania wynalazków. To, co dotychczas było dziełem przypadku, stało się obecnie zorganizowaną i kultywowaną działalnością. Gdy społeczeństwo Hopi nagradzało człowieka, który najlepiej celebrował obrzędy, świat zachodni oklaskiwał tego, kto przyczyniał się do rozwoju techniki”²³.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANSOFF I., *Zarządzanie strategiczne*, PWE, Warszawa 1985.
- [2] AYRES R., *Prognozowanie rozwoju techniki i planowanie długookresowe*, PWE, Warszawa 1973.
- [3] BEYNON-DAVIES, *Inżynieria systemów informacyjnych*, WNT, Warszawa 1999.
- [4] BOJARSKI W., *Podstawy analizy i inżynierii systemów*, WNT, Warszawa 1984.
- [5] CROZIER M., FRIEDBERG E., *Człowiek i system*, PWE, Warszawa 1982.
- [6] FINDEISEN W. (red.), *Analiza systemowa, podstawy i metodologia*, WNT, Warszawa 1985.
- [7] FLEISCHER M., *Teoria kultury i komunikacji*, TWP, Wrocław 2001.
- [8] HABR J., VEPREK J., *Systemowa analiza i synteza*, PWE, Warszawa 1976.
- [9] HALL A.D., *Podstawy techniki systemów*, WNT, Warszawa 1968.
- [10] HITCH CH., MCKEAN R., *Ekonomika obrony w erze jądrowej*, MON, Warszawa 1965.
- [11] KLIR G. (red.), *Ogólna teoria systemów*, WNT, Warszawa 1976.
- [12] KONIECZNY J., *Inżynieria systemów działania*, WNT, 1984.
- [13] KULCZYCKI P., HRYNIEWICZ O., KACPRZYK J., *Techniki informacyjne w badaniach systemowych*, WNT, Warszawa 2007.
- [14] LUHMAN N., *Systemy społeczne. Zarys ogólnej teorii*, NOMOS, Kraków 2012.
- [15] MAINZER K., *Poznawanie złożoności*, Wyd. UMCS, Lublin 2007.
- [16] QUADE E. (red.), *Analysis for military decisions*, RAND 1964.
- [17] RAYMOND J., *Pentagon*, MON, Warszawa 1966.
- [18] SIENKIEWICZ P. (red.), *Inżynieria systemów bezpieczeństwa*, PWE, Warszawa 2015.
- [19] SIENKIEWICZ P. (red.), *Podstawy analizy i inżynierii systemów*, t. 1-3, AON, 2002.
- [20] SIENKIEWICZ P., *25 wykładów*, AON, 2013.
- [21] SIENKIEWICZ P., *Analiza systemowa*, Bellona, Warszawa 1995.
- [22] SIENKIEWICZ P., *Inżynieria systemów kierowania*, PWE, Warszawa 1988.
- [23] SIENKIEWICZ P., *Inżynieria systemów*, MON, Warszawa 1983.
- [24] SIENKIEWICZ P., MARSZAŁEK M., GÓRNY P., *Ryzyko w zarządzaniu kryzysowym*, Wyd. A. Marszałek, Toruń 2010.
- [25] SIENKIEWICZ P., *Podstawy teorii systemów*, AON, Warszawa 1993.
- [26] SIENKIEWICZ P., ŚWIEBODA H. (red.), *Bezpieczeństwo, efektywność, budżet zadaniowy*, AON, Warszawa 2015.

²³ A.D. Hall, op. cit., s. 590.

- [27] SKYTTNER L., *General systems theory*. World scientific, New Jersey 2005.
- [28] SZTARSKI M., *Wojsko a badania operacyjne*, MON, Warszawa 1963.
- [29] WALLERSTEIN I., *Analiza systemów-światów*, Wyd. DIALOG, Warszawa 2007.
- [30] WEINBERG G., *Myślenie systemowe*, WNT, Warszawa 1979.
- [31] ZIELIŃSKI Z. (red.), *Komplementarność informatyki i nauk społecznych*, WAT, Warszawa 2018.

THE EVOLUTION OF SYSTEMS ANALYSIS FOR SECURITY COMMITMENT

Abstract. The article presents the evolution of systemic research in the area of security of social systems, and technical systems, acknowledging various contemporary methodological problems. It is assumed that the modern systemic studies include holistic-system methodology, numerous systems theories, as well as system analysis, and systems engineering. Operational research and RAND Corporation were taken also into account. It is the understanding that the value of modern systemic research in the area of security sciences is the application of system models (networks), as well as evaluation with decision methods and techniques.

Keywords: holism, system, system theories, system analyses, system engineering.