

**PODEJŚCIE ONTOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE W OGÓLNEJ TEORII
SYSTEMÓW
ONTOLOGICAL-ENGINEERING APPROACH IN GENERAL SYSTEMS THEORY**

Krzysztof FICOŃ
krzysztof.ficon@wp.pl

Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich

***Streszczenie:** W pracy przedstawiono genezę i podstawowe założenia ogólnej teorii systemów zwracając szczególną uwagę na jej drogę rozwojową, aparat pojęciowy, układy klasyfikacyjne i związki z innymi dyscyplinami i dziedzinami naukowymi. Zaproponowano model operatorowy systemu i specyfikację jego wyodrębnionych cech prakseologicznych. Na zakończenie scharakteryzowano nowoczesną koncepcję inżynierii systemów, będącą uogólnieniem utylitarnych trendów ogólnej teorii systemów.*

***Abstract:** This paper presents the origins and basic assumptions of general systems theory with particular attention to its path of development, conceptual apparatus, systems of classification and relationship with other disciplines and disciplines. Proposes a system operator model and specification of its distinguished features praxiological. At the end we characterized the modern concept of systems engineering, which is a generalization of the utilitarian trends in general systems theory.*

***Słowa kluczowe:** filozofia, inżynieria, model, prakseologia, system.*

***Keywords:** philosophy, engineering, model, praxiology system.*

WPROWADZENIE

Ogólna teoria systemów (*General Systems Theory*), której niekwestionowanym ojcem jest austriacki biolog i filozof Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) jest nauką stosunkowo młodą i wysoce syntetyczną, i interdyscyplinarną. Relatywizuje ona dorobek wielu pokoleń badaczy, w tym przedstawicieli nauk humanistycznych, przyrodniczych i ścisłych i wytycza nowe drogi rozwoju wielu dyscyplin zarówno w zakresie nauk teoretycznych, jak też nauk stosowanych. Podstawowym jej paradygmatem jest całościowe, holistyczne pojmowanie otaczającego nas świata, pełnego rozmaitych systemów, podsystemów i nadsystemów, tak ożywionych (naturalnych), jak też nieożywionych (sztucznych). Całościowe pojmowanie otaczającego świata stało się możliwe dzięki wykorzystaniu dotychczasowego dorobku praktycznie wszystkich dyscyplin naukowych spełniających założenia ontologii systemowej.

Celem poznawczym ogólnej teorii systemów jest analiza i synteza pierwotnych systemów ożywionych (naturalnych) pod kątem usprawnienia i doskonalenia wtórnych, sztucznych systemów nieożywionych. Celem utylitarnym jest projektowanie i budowa systemów sztucznych spełniających określone zadania i funkcje we współczesnej cywilizacji.

Przykładem takiej aplikacji użytecznej są systemy logistyczne wojsk, znane też jako wojskowe systemy logistyczne. Jest to prakseologiczna i obszerna dziedzina aplikacji ogólnej teorii systemów funkcjonująca zarówno w obszarze nauk o zarządzaniu - jako logistyka rynkowa, jak też na gruncie nauk wojskowych, dziś nauk o bezpieczeństwie - jako logistyka wojskowa.

1. FILOZOFICZNE KORZENIE OGÓLNEJ TEORII SYSTEMÓW

W celu właściwej oceny i nowoczesnego spojrzenia na ogólną teorię systemów należy spojrzeć na szersze konteksty historyczne i filozoficzne. Jak wynika z historii nauki w pewnym sensie podejście systemowe (*System Approach*) jest tak stare, jak starożytna filozofia europejska, której najdalsze korzenie sięgają ery przed Sokratesem (VI w p.n.e.). Ówczesne deterministyczne poglądy mówiły o tym, że człowiek został wrzucony przez bogów do wrogiego świata rządzonego przez demonów i siły chaosu i pozostaje na ich łasce i niełasce. Dopiero rozwijająca się racjonalna filozofia grecka właściwie zlokalizowała miejsce człowieka we wszechświecie. Pojawiła się z chwilą, gdy starożytni Grecy na podstawie obserwacji i doświadczenia oraz różnych dedukcji stwierdzili istnienie kosmosu, jako zorganizowanego, uniwersalnego bytu ponadczasowego.

Jednym z badaczy teorii kosmologicznych był Arystoteles, który jako pierwszy stwierdził, że "całość to więcej niż suma części". Stwierdzenie to pozostaje ciągle paradygmatem ogólnej teorii systemów, choć większość poglądów Arystotelesa nie wytrzymała próby czasu i musiała uznać autorytet i kontrargumenty współczesnej nieredukcjonistycznej nauki, opartej w coraz większym stopniu na zasadach termodynamiki i prawach mechaniki kwantowej. Należy podkreślić, że prakseologiczne "podejście systemowe" było zupełnie nieznaną badaczom starożytnym, co wynikało to z niedostatku ówczesnych metod i narzędzi badawczych oraz ograniczonego kręgu zainteresowań tak świata nauki, jak też świata praktyki (Mynarski, 1979).

Obowiązujące w okresie średniowiecza "kartezjańskie podejście systemowe" nakazywało dzielić każdy złożony system (organizację) na mniejsze elementy składowe i oddzielnie rozpatrywać ich właściwości. Naiwna teoria Kartezjusza (1596-1650) była słuszną w przypadku bardzo prostych systemów, najczęściej sztucznych zawierających kilka wyodrębnionych elementów, które łączyły zdeterminowane relacje. Nowożytny początek teorii systemowych nawiązuje do filozofii G. Hegla (1770-1831), który przeciwstawiając się

filozofii kartezjańskiej odświeżył teorie starożytne akceptując pogląd Arystotelesa, że "całość to więcej niż suma części". Jednocześnie stwierdził, że całość wyznacza właściwości jej części, a nie odwrotnie. Części nie mogą być analizowane w izolacji od całości oraz, że części są wzajemnie dynamicznie powiązane.

Filozofia i hipotezy G. Hegla były odpowiedzią na dominujące w tamtym okresie podejście mechanistyczne, wylansowane przez I. Newtona (1643-1727). Stosowana wówczas metoda badawcza "od ogółu do szczegółu" zdawała egzamin, gdy chodziło o wyjaśnianie prostych zjawisk fizycznych. Nie mogła sprostać wymaganiom badawczym w sferze systemów naturalnych, biologicznych, społecznych i adaptacyjnych. Metodami mechanistycznymi Newtona nie można badać struktury i organizacji systemu złożonych obejmujących elementy ożywione i nieożywione. Skwantyfikowane metody analityczne nie mogły badać systemów wymagających całościowego traktowania uwzględniającego ogromną różnorodność relacji i związków przyczynowo-skutkowych.

Postępujący rozwój nauk stosowanych, zwłaszcza inżynierskich spowodował, że dostrzeżono pewne analogie między prostymi systemami sztucznymi, a zdecydowanie bardziej złożonymi systemami biologicznymi. Wkrótce podjęto pionierskie próby wypracowania ogólnej teorii funkcjonowania żywych organizmów na podstawie pewnych analogii do znanych od wieków mechanizmów zegarowych oraz rokujących duże nadzieje różnych maszyn cybernetycznych. Daleko posunięte uogólnienia pozwoliły do wypracowania ogólnej koncepcji fizjologii systemów ożywionych oraz modelowania procesów i zjawisk zachodzących w elementarnych komórkach i organizmach biologicznych, czego przykładem jest, np. homeostat W. Ashby'ego czy sztuczny żółw W. Waltera.

W odpowiedzi pojawiło się pojęcie całości, tj. takiego systemu złożonego, którego podział na składniki jest niemożliwy i niecelowy. Samosterujące się systemy głównie przyrodnicze i społeczne - same poszukujące dla siebie celu istnienia i działania, wymagały innych metod niż tradycyjne metody przyczynowo-skutkowe stosowane w fizyce. Na tym gruncie w XIX wieku powstał utopijny nurt vitalistów, którzy dla organizmów żywych poszukiwali nowych, odrębnych metod w postaci "nowej logiki" działania. Nurt ten w pewnym sensie zainicjował (sprowokował) prace na ogólną teorią systemów. W obu teoriach podkreślono wzrost organizacji i złożoności systemów w miarę przechodzenia od systemów prostszych do bardziej złożonych oraz możliwość pojawienia się nowych właściwości systemów w miarę ich rozwoju (Bojarski, 1984).

Aktualnie w ogólnej teorii systemów można wyodrębnić trzy zasadnicze kierunki badawcze (Klir, 1976):

- filozofię systemów formułującą postulaty syntetyzujące i uogólniające, która kładzie duży nacisk na problemy klasyfikacyjne i synergiczne rozpatrywanie każdego systemu z osobna i w pewnym środowisku systemowym.
- matematyczną teorię systemów, zajmującą się formalizacją i kwantyfikacją oraz badaniem izomorfizmu między różnymi systemami, pozwalającą na formułowanie pewnych ogólnych zasad i reguł funkcjonowania systemów,
- technologiczne podejście, zaliczane do nurtu inżynierii systemowej, które rozpatruje systemy z punktu widzenia teorii regulacji, sterowania, a docelowo pod kątem wymagań informatyki.

Prekursorskie podejście filozoficzne dzieli systemy na pewne rozłączne z reguły dychotomiczne kategorie obejmujące, np. systemy ożywione i nieożywione, systemy naturalne i sztuczne, albo rzeczywiste i abstrakcyjne, albo konceptualne i realne. Dychotomiczny podział na systemy ożywione i nieożywione jest główną osią ogniskującą wszystkie teorie i nauki systemowe wokół uniwersalnej koncepcji holistycznej.

2. NOWOŻYTNE KONCEPCJE OGÓLNEJ TEORII SYSTEMOWEJ

Pokonanie filozoficznej bariery dzielącej systemy sztuczne (nieożywione) i naturalne (ożywione) stało się możliwe m.in. dzięki odkrywczemu porównaniu naturalnego porządku i organizacji do działania maszyn skonstruowanych przez człowieka. Jednocześnie zwrócono uwagę na traktowanie problemów porządku i organizacji jako produktów pozornie bezcelowego chaosu. Pewne impulsy i refleksje nasunęła także teoria biologicznej ewolucji gatunków C. Darwina (1809-1882) i słynna zasada "przetrwania" - przypadkowych mutacji i celowej reprodukcji organizmów najsilniejszych, najlepiej przystosowanych do warunków środowiskowych (Ficoń, 2013).

Burzliwie kształtujący się rozwój nauk przyrodniczych i ścisłych na początku XX wieku oraz powyższe przesłanki sprawiły, że w roku 1920 Ludwig von Bertalanffy ogłosił swoją rewolucyjną ogólną teorię systemów integrującą organizmy ożywione i świat przyrody nieożywionej. Ludwig von Bertalanffy najszerzej rozumiane pojęcie systemu określał jako „nową filozofie przyrody” lub „organizmalny pogląd na świat jako wielką organizację”. Zdaniem L. von Bertalanffy'ego (1984) system w szczególności organizmy biologiczne charakteryzujące się określonym poziomem organizacji muszą być badane całościowo na

wszystkich szczeblach tej organizacji. Obiekty żywe nie są zlepkami atomów, lecz systemami hierarchicznie uporządkowanymi, a świat jest strukturą wielopoziomową. Zastosowanie teorii zarówno redukcjonistycznych, jak i organizmalnych, umożliwia wyjaśnienie wielu zjawisk zarówno biologicznych i przyrodniczych, jak też społecznych, gospodarczych, a także kosmicznych czy cywilizacyjnych (Weinberg, 1979).

Formalnie podstawy ogólnej teorii systemów L. von Bertalanffy ogłosił dopiero w roku 1930 definiując takie pojęcia jak: całość, suma, elementy, zróżnicowanie, centralizacja, hierarchiczność, celowość itp. Aby uogólnić rozważania L. von Bertalanffy'ego preferowane przez niego pojęcie "organizm" należało zastąpić pojęciem nowym, bardziej uniwersalnym, np. "zorganizowana całość" lub "system", aby wykorzystać tą teorię wprost jako fundament ogólnej teorii systemów. Wśród prekursorów ogólnej teorii systemów należy wymienić W. Koehlera (1928), R. Radfielda (1942), F.A. Singera (1946), a przede wszystkim L. von Bertalanffy'ego (1950) uznawanego powszechnie za ojca ogólnej teorii systemów.

Ze względu na kryterium witalistyczne i hierarchię przetwarzania informacji systemy te można podzielić na dwie rozłączne klasy: systemy ożywione i nieożywione. Do systemów nieożywionych zalicza się struktury statyczne (*Frameworks*), dynamiczne (*Clockworks*) i cybernetyczne (*Termostaty*). Do systemów ożywionych należą: samotrzymujące się komórki biologiczne, organizmy z małymi możliwościami przetwarzania informacji np. plankton, organizmy z rozwiniętymi możliwościami przetwarzania informacji np. zwierzęta, organizmy charakteryzujące się refleksyjnością, inteligencją i rozwiniętym systemem zachowań, a także złożone systemy społeczne czy transcedentalne systemy będące aktualnie poza możliwościami jakiegokolwiek analizy. Należy podkreślić, że ogólna teoria systemów zajmuje się wszystkimi rodzajami systemów (Weinberg, 1979).

Koncepcja hierarchii odgrywa zasadniczą rolę w ogólnej teorii systemów, gdyż służy do budowania większych systemów z mniejszych i odwrotnie. Jest wykorzystywana przy podziale systemów większych na mniejsze i służy do badania złożoności i hierarchii systemów. Podstawowa zasada hierarchii systemów mówi o tym, że każdy system jest zbudowany z innych systemów niższego rzędu (Kulikowski, 1974).

Zasadniczym wyróżnikiem nauk systemowych jest badanie pewnych zorganizowanych całości, działających celowo i racjonalnie (efektywnie). Sprawnie działające sztuczne wielkie systemy techniczne czy społeczne były podstawą rozwoju cywilizacyjnego świata w poszczególnych epokach i erach cywilizacyjnych. Już w

zamierzchłych czasach funkcjonowały wielkie imperia państwowe, których podstawą istnienia i rozwoju czy ekspansji były zdobycze i osiągnięcia głównie nauk systemowych (Ficoń, 2011). Aby sprawnie zarządzać i kierować wielkimi systemami polityczno-społecznymi czy gospodarczo-ekonomicznymi należało po pierwsze, rozpoznać i opanować podstawowe prawa regulujące działanie tych systemów, a po drugie, dysponować odpowiednio wysoką techniką i technologią gwarantującą skuteczność działań praktycznych, przebiegających w sferze kultury materialnej (Kowalska-Napora, 2014).

Kluczowe dla ogólnej teorii systemów pojęcie "systemu" jest traktowane jako "zorganizowana złożoność", w której centralnym problemem jest informacja i entropia i informacja. Informacja oznacza niematerialne medium za pomocą którego systemy otwarte kontaktują się ze światem zewnętrznym i wymieniają sygnały sterownicze-adaptacyjne i stabilizujące. Według *Słownika informatycznego* (2003, s.96) informacja to "...wiadomość dotycząca fragmentu rzeczywistości lub go zastępująca, czynnik fizyczny powodujący taką wiadomość, możliwy do utrwalenia i podatny na przetwarzanie". Natomiast *Leksykon naukowo-techniczny* (1984, s.306) pojęcie informacji określa jako: "...każdy czynnik, dzięki któremu obiekt odbierający go (człowiek, organizm żywy, organizacja, urządzenie automatyczne) może polepszyć swoją znajomość otoczenia i bardziej sprawnie przeprowadzić celową działalność". Entropia informacyjna symbolizuje systemowe nieuporządkowanie, które można zmienić za pomocą dodatkowej informacji pobieranej z otoczenia. Jest ona ściśle związana z ilością informacji zawartej w odebranym komunikacie. Według *Słownika cybernetycznego* (1973, s.105) entropia informacyjna to "...miara nieokreśloności zdarzeń stanowiących źródła informacji przy określonym stanie niewiedzy o tych zjawiskach".

3. OPERATOROWA DEFINICJA SYSTEMU

Kardynalne znaczenie dla ogólnej teorii systemów ma pojęcie "systemu" które w literaturze, a także w świecie nauki i praktyki jest bardzo uniwersalne i interdyscyplinarne, a przede wszystkim występuje masowo i powszechnie, co implikuje ogromną mnogość różnych koncepcji definicyjnych. W tradycyjnej mechanistycznej analizie systemowej system jest albo zorganizowaną prostotą, albo niezorganizowaną złożonością, a centralnym problemem jest masa, siła i energia. Zdaniem D.J. Klira (1976, s.73) "...system ogólny jest w istocie rzeczy modelem abstrakcyjnym jakiegoś już istniejącego systemu (materialnego lub pojęciowego), w którym znajdują odbicie (w stopniu, w jakim sobie tego życzymy wszystkie główne lub

podstawowe cechy oryginału". Według S. Mynarskiego (1979) 1) "...system to celowo określony zbiór elementów, oraz relacji zachodzących między tymi elementami i ich własnościami". 2) "...system to każda celowo wyodrębniona zbiorowość elementów powiązanych zależnościami lub oddziaływaniem". Z kolei P. Sienkiewicz (1983, s.27) pojęcie systemu definiuje jako: "... każdy złożony obiekt wyróżniony z badanej rzeczywistości stanowiący całość tworzony przez zbiór obiektów elementarnych (elementów) i powiązań (relacji) między nimi". Adekwatną dla nurtu badań systemowych definicję systemu formułuje Z. Bubnicki (1993, s.38): "...system jest pewną całością, w której współdziałają wyodrębnione części składowe, a funkcjonowanie systemu zależy od funkcji części składowych i związków między nimi, natomiast powiązania części składowych określają strukturę systemu". Z zaprezentowanych definicji i wynikających z nich wniosków wynika, że definicje te posiadają cechy wspólne takie jak: zorganizowana całość, zbiór elementów, kanały informacyjne, sprzężenia (relacje) między tymi elementami, współzależność, wzajemne uwarunkowania, a także celowość i efektywność działania (Bojarski, 1984).

Uogólniając liczne definicje dla dalszych potrzeb przez system S będziemy rozumieć zespół celowo powiązanych elementów przetwarzających zasoby wejściowe (X) na produkty wyjściowe (Y) przy aktywnych zakłóceniach (Z) płynących z pewnego otoczenia systemowego. Zbiór zasobów wejściowych X obejmuje: zasoby niematerialne (informację) i zasoby materialne (materię i energię). Natomiast produkty wyjściowe Y to informacje przetworzone oraz produkty materialne - materia i energia. Każdy system charakteryzuje określony poziom efektywności odnoszony do relacji ponoszonych nakładów wejściowych relatywizowanych względem uzyskanych efektów wyjściowych. Wykorzystując aparat rachunku operatorowego system S można zapisać jako (Ficoń, 2006):

$$S: X \xrightarrow{Z} Y \quad (1)$$

gdzie:

S - operator transmisyjny systemu,

X - przestrzeń wejść systemowych,

Y - przestrzeń wyjść systemowych,

Z - strumień zakłóceń systemowych.

Operator S każdemu elementowi wejściowemu $x \in X$ przyporządkowuje określony element wyjściowy $y \in Y$:

$$y = S(x) \in Y \quad (2)$$

Przestrzeń wyjść systemowych Y można zdefiniować jako:

$$Y = S(X) \quad (3)$$

Spośród różnych operatorów S , które opisują rozmaite systemy na szczególną uwagę w ogólnej teorii systemów zasługuje klasa tzw. operatorów liniowych. Operator S nazywamy liniowym jeśli jest on addytywny i jednorodny, co oznacza, że dla dowolnych elementów $y_i, y_j \in Y$ oraz liczb rzeczywistych $a, b \in R^+$ spełniona jest relacja:

$$S(ay_i + by_j) = aS(y_i) + bS(y_j) \quad (4)$$

Szczególną rolę w ogólnej teorii systemów odgrywają systemy stacjonarne, które charakteryzują się tym, że chwilowe wartości sygnału wyjściowego $y(t) \in Y$ zależą tylko od bieżących wartości sygnału wejściowego $x(t) \in X$, co zapiszemy jako:

$$y(t) = F(x(t)) \quad (5)$$

gdzie:

F - funkcja liniowa (addytywna i jednorodna).

Znacznie trudniejsze w badaniach są systemy nieliniowe i niestacjonarne, których klasa jest bardziej obszerna od systemów liniowych i stacjonarnych. Systemy nieliniowe i

niestacjonarne obrazują przede wszystkim dynamikę systemów otwartych pozostających w bezpośrednim kontakcie z otoczeniem systemowym, gwarantującym ich trwanie i rozwój (Kulikowski, 1974).

Stosunkowo sformalizowaną teorię systemów przedstawił M.D. Mesarovic, w której własności i zachowanie systemu jest badane metodami analitycznymi. Dzięki temu teoria znajduje zastosowanie w systemach podejmowania decyzji, a także w systemach opisanych przez topologiczne przestrzenie wejść i wyjść. M.D. Mesarovic zakłada, że teoria systemów zajmuje się objaśnianiem zjawisk lub struktur pojęciowych w kategoriach przetwarzania informacji i procesu podejmowania decyzji. W teorii tej istotny jest sposób przepływu informacji oraz tryb osiągnięcia celów postawionych systemowi (Sienkiewicz, 1994).

4. CECHY PRAKSEOLOGICZNE SYSTEMÓW

Wszystkie systemy rozpatrywane w ramach ogólnej teorii systemów posiadają pewne charakterystyczne właściwości prakseologiczne (W), takie jak:

$$S(W): W = \{W_i; i = \overline{1, I}\} \quad (6)$$

gdzie:

W_1 - cele i funkcje systemu,

W_2 - strukturę organizacyjno-funkcjonalną,

W_3 - repertuar wejść i wyjść systemowych,

W_4 - sposób transmisji sygnałów wejściowych na wyjściowe,

W_5 - rozmaite stany i procesy systemowe,

W_6 - otoczenie systemowe i interakcje z tym otoczeniem,

W_7 - podrzędne podsystemy robocze,

W_8 - nadrzędny system kierujący.

Tradycyjnie pojęcie systemu jest definiowane na gruncie topologii matematycznej za pomocą iloczynu kartezjańskiego jako:

$$S = \langle E, E \times E \rangle = \langle E, R \rangle \rightarrow C \quad (7)$$

gdzie:

$E = \{E_i; i = \overline{1, I}\}$ - zbiór elementów składowych systemu,

$R = E \times E$ - zbiór relacji systemowych,

C - funkcja celu, np. użyteczność systemu.

Cele i funkcje systemu (W_1) wynikają z jego systemowych i indywidualnych uwarunkowań lub prakseologicznych zadań, do których został powołany. Zależą od rodzaju i przeznaczenia systemu oraz jego celowościowo zorientowanej struktury organizacyjno-funkcjonalnej.

$$C \equiv W_1 = \{W_{1i}; i = \overline{1, I}\} \in W(S) \quad (8)$$

Strukturę organizacyjną systemu (W_2) determinują jego elementy składowe, czyli wyodrębnione podsystemy i występujące między nimi powiązania, np. informacyjne, hierarchiczne. Struktura funkcjonalna jest zdeterminowana przez cele, zadania i funkcje jakie ma realizować dany system.

$$W_2: E \times E \rightarrow f(C) \quad (9)$$

Każdy system posiada skończony zbiór wejść i wyjść systemowych (W_3), które w ogólności dzielą się na informacyjne i nieinformacyjne, np. materialne, energetyczne. Wejścia informacyjne odnoszone są tradycyjnie do danych wejściowych, natomiast wyjścia informacyjne symbolizują wyniki i efekty przetwarzania danych wejściowych. Dane wejściowe są przetwarzane w systemie na wyniki wyjściowe według pewnych zasad i określonych reguł, w szczególności mogą to być algorytmy, scenariusze albo rozmaite wskazówki i zalecenia.

$$W_3 = W_{31} \cup W_{32} = X \cup Y \quad (10)$$

przy czym:

$W_{31} = X = \{X_i; i = \overline{1, I}\}$ - dane wejściowe,

$W_{32} = Y = \{Y_j; j = \overline{1, J}\}$ - wyniki wyjściowe.

Sposób transmisji wejść systemowych w jego wyjścia (W_4) stanowi istotę działania systemu i najczęściej jest ściśle związany z jego celowością i funkcjonalnością działania (istnienia).

$$W_4: W_{31} \times W_{32} \rightarrow S = X \times Y \quad (11)$$

Każdy system można opisać za pomocą określonych właściwości (cech) jakościowych i ilościowych (W_5), które charakteryzują przykładowo jego zdolność do samodzielnego działania, stabilność i niezawodność realizowanych procesów, elastyczność i uniwersalność działań systemowych, a także wymagane nakłady i koszty działania, czy zasady konserwacji i aktualizacji.

$$S(W_5) = \{P_I, P_J\} \quad (12)$$

przy czym:

$P_I = \{P_{Ii}; i = \overline{1, I}\}$ - parametry ilościowe systemu,

$P_J = \{P_{Jj}; j = \overline{1, J}\}$ - parametry jakościowe systemu.

Każdy system otwarty funkcjonuje w pewnym otoczeniu systemowym (W_6), z którym wchodzi on w określone interakcje informacyjne, zasileniowe, energetyczne, materiałowe. Wymiana pewnych mediów pomiędzy badanym systemem a jego otoczeniem jest istotą otwartości systemu i stanowi o malejącej entropii, co skutkuje naturalnym wzrostem jego samoorganizacji i prowadzi do samodoskonalenia.

$$W_6: W_2 \times W_3 \rightarrow \{Q^I, Q^M, Q^E\} \quad (13)$$

gdzie:

$Q^I = \{Q_k^I; k = \overline{1, K_I}\}$ - zasoby informacyjne systemu,

$Q^M = \{Q_k^M; k = \overline{1, K_M}\}$ - zasoby materiałowe systemu,

$Q^E = \{Q_k^E; k = \overline{1, K_E}\}$ - zasoby energetyczne systemu.

Hierarchiczna struktura systemu wymaga, aby pozostawał on w pewnej podległości (W_7) w stosunku do nadrzędnego nadsystemu kierowania, np. pełniącego rolę regulatora. Jednocześnie może on pełnić podobne relacje w stosunku do innych podrzędnych podsystemów (W_8) należących do pewnego otoczenia systemowego.

$$W_7 \supseteq S \supseteq W_8 \quad (14)$$

przy czym:

$W_7 \in S$: $W_7 = \{W_{7i}; i = \overline{1, I}\}$ - podsystemy należące do systemu S ,

$S \in W_8$: $W_8 = \{W_{8i}; i = \overline{1, I}\}$ - nadsystemy zawierające system S .

Do podstawowych cech konstytutywnych podejścia systemowego W. Gasparski (1985, s.143) zalicza:

- holizm, czyli rozpatrywanie systemów (zjawisk, obiektów, procesów, zdarzeń itp.) jako całości,
- kompleksowość, czyli ujmowanie różnorodności sprzężeń i relacji wewnętrznych i zewnętrznych rozpatrywanych systemów,
- esencjonalizm, czyli koncentrowanie się na cechach istotnych (esencjonalnych) z punktu widzenia badanego systemu,
- strukturalizm, czyli określanie właściwości rozpatrywanych zjawisk na podstawie ich zdeterminowanej i niezmiennej struktury,
- kontekstowość, czyli badanie systemów ze względu na ich miejsce w pewnym, bliższym i dalszym otoczeniu systemowym,
- teleologizm, czyli rozpatrywanie systemów zorientowanych celowo na wykonywanie pewnych funkcji i realizację określonych zadań.

Są to najważniejsze cechy charakteryzujące podejście systemowe, których wyczerpanie gwarantuje pełną koherencję z założeniami ogólnej teorii systemów, a tym samym możliwość posługiwania się jej aparatem pojęciowym dla różnych celów teoretycznych i utylitarnych (Brzeziński, 2010).

5. KIERUNEK - INŻYNIERIA SYSTEMÓW

Efektom burzliwego rozkwitu ogólnej teorii systemów było powstanie i rozwój inżynierii systemów, jako realnej sztuki adaptacji teoretycznych osiągnięć teorii systemów do praktycznej działalności w wielu obszarach rzeczywistych zastosowań. Inżynieria systemów to dziś awangardowa dziedzina wiedzy systemowej, która uogólnia i integruje dorobek wielu innych nauk systemowych i nauk stosowanych dla potrzeb utylitarnych aplikacji inżynierskich (Ficoń, 2010).

Najogólniej inżynieria (*Engineering*) – to sztuka tworzenia rzeczy (wizji, koncepcji, projektów) nowych i jednocześnie pragmatyczna działalność intelektualna i eksperymentalna

(badawcza), polegająca na modelowaniu, projektowaniu, konstruowaniu, modyfikacji i utrzymaniu użytecznych i efektywnych rozwiązań dla rozwiązania praktycznych problemów. W opinii W. Bojarskiego (1984, s.47) "... zadaniem inżynierii systemów jest tworzenie oraz organizowanie takich obiektów systemowych i systemów nominalnych, które są zadawalająco bliskie systemom maksymalnym".

Inżynieria jako prakseologiczna sztuka działania celowego i skutecznego jest szczególnie intensywnie rozwijana na gruncie logistyki i licznych jej aplikacji tak teoretycznych jak też utylitarnych. M. Brzeziński (2014, s.23) przez inżynierię systemów (logistycznych) rozumie "... interdyscyplinarną dziedzinę nauki i praktycznej działalności, której celem jest dostarczenie wiedzy przydatnej do identyfikowania i analizowania systemów istniejących oraz modelowania i projektowania nowych systemów, a także zarządzania procesami w nich realizowanymi". Według J. Korczaka (2013, s.54) "...inżynieria procesów (logistycznych) standaryzuje zbiory pojęciowe, konstruuje narzędzia i instrumenty badawcze oraz generuje wymierne rozwiązania zidentyfikowanych problemów funkcjonalnych".

Inżynieria systemów (wiedzy) (*System Engineering, Knowledge Engineering*), która należy do grupy nauk systemowych zajmuje się projektowaniem niematerialnych koncepcji, struktur i reguł działania różnych organizacji (systemów) oraz wdrażaniem tych projektów do praktyki. Kryterium wyboru w procesie projektowania jest odpowiednia sprawność i efektywność działania projektowanego systemu czy organizacji, które są rozpatrywane przykładowo w płaszczyźnie ekonomicznej, społecznej i ekologicznej. Określenie „systemowa” ma uświadomić i sygnalizować, że przedmiot inżynierskich zabiegów czyli organizacja traktowana jest jako całościowy i docelowo powinien funkcjonować jako prakseologiczny system sprawnego działania. Samo pojęcie systemu na gruncie inżynierii systemów oznacza złożony zespół powiązanych wzajemnie i różnych jakościowo zmiennych, których związki mają charakter częściowo deterministyczny, a częściowo probabilistyczny (Sienkiewicz, 1983).

Inżynieria systemów jako kategoria nauk systemowych stara się badać rozmaite systemy w ich całościowym ujęciu holistycznym. Jest więc odpowiedzią na zgłaszaną przez praktyków potrzebę dysponowania skutecznymi technikami i procedurami oddziaływania na rzeczywistość, w ramach której nasileniu ulegają takie cechy, jak złożoność struktury organizacji, wielość oddziaływających na siebie elementów oraz niemożność określenia jednoznacznych relacji przyczynowo-skutkowych między tymi elementami. Racjonalne i skuteczne rozwiązanie tych problemów wymaga dysponowania pewnym potencjałem wiedzy,

opartym na aktualnym poziomie nauki, techniki i technologii. Stąd zamiennie operuje się pojęciem inżynierii wiedzy, podkreślając naukowy charakter kreatywnej sztuki inżynierskiej. W tym sensie produkty i wytwory inżynierii wiedzy mają charakter projektów, czyli takich obiektów, których dotychczas nie było, które najczęściej wnoszą nową jakość do świata teorii, a także do praktyki społecznej czy gospodarczej (Traczyk, 2010).

Z punktu widzenia potrzeb i zastosowań inżynierii systemów nauki systemowe można podzielić na podstawowe nauki systemowe i stosowane nauki systemowe. Do podstawowych nauk systemowych zaliczamy teorię systemów, teorię organizacji, cybernetykę, prakseologię, badania operacyjne oraz ekonomię. Potrzeby gwałtownie rozwijających się gospodarek świata spowodowały, że najstarsza z nich ekonomia organizowała życie gospodarcze już w drugiej połowie XVIII wieku. Historycznie długi rodowód posiada naukowa teoria kierowania i organizacji. Znacznie młodsze są cybernetyka, badania operacyjne, teoria systemów oraz prakseologia.

Każda z podstawowych nauk systemowych pełni funkcję pomocniczą w strukturze inżynierii systemów stymulując jej rozwój, stosownie do aktualnego stanu wiedzy. Ekonomia jako nauka o racjonalnym (efektywnym) działaniu pozwala na racjonalne funkcjonowanie danego systemu w sensie przyjętego ilościowego wskaźnika jakości, którym z reguły jest maksymalizacja efektów ekonomicznych (finansowych). Teoria kierowania i organizacji pozwala na racjonalne zarządzanie optymalnie zbudowaną organizacją (systemem). Teoria systemów zajmuje się naukowym kierowaniem systemami o złożonym działaniu, któremu towarzyszy złożona struktura funkcjonalno-organizacyjna. Cybernetyka jest nauką o sterowalnym informacyjnie układzie, niekoniecznie technicznym, zorientowanym na realizację wyznaczonego celu. Prakseologia zajmuje się nauką o użytecznym, sprawnym i celowym działaniu dowolnego systemu, zarówno materialnego jak też abstrakcyjnego. Teoria badań operacyjnych dostarcza użytecznych ścisłych narzędzi do podejmowania optymalnych decyzji (Konieczny, 1983).

Szczególnym przypadkiem inżynierii systemów, a konkretnie inżynierii wiedzy jest inżynieria zarządzania funkcjonująca w naukach społecznych jako *Engineering Management*. Pod pojęciem inżynierii zarządzania będziemy rozumieć określony zasób specjalistycznej wiedzy i umiejętności oraz potencjał do praktycznego działania wykorzystywany do osiągnięcia zamierzonych celów w zakresie sprawnego i efektywnego kierowania i zarządzania złożonymi systemami organizacyjno-funkcjonalnymi (Ficoń, 2007, s.14). Inżynieria zarządzania to przede wszystkim szeroka wiedza menedżerska i praktyczne

umiejętności do budowania sprawnych i użytecznych systemów organizacyjno-funkcjonalnych oraz skutecznego kierowania ich działaniem w kontekście realnych uwarunkowań i ograniczeń płynących z pewnego otoczenia systemowego. Inżynieria zarządzania jako kategoria wywodząca się z nurtu *know-how* w dużej części korzysta z dorobku klasycznych nauk o zarządzaniu i na bazie ogólnej teorii systemowej wypracowuje specjalistyczne procedury badawcze i użyteczne narzędzia projektowania i optymalizacji rzeczywistych systemów kierowania i zarządzania (Gomółka, 2000).

Uniwersalne podejście proponowane przez inżynierię systemów integruje wszystkie podstawowe nauki systemowe w jeden metodologicznie dojrzały i praktycznie użyteczny system metodologiczny zawierający: analizę i diagnozę stanu faktycznego, teoretyczną koncepcję usprawnień i rozwoju, sprawne procedury działania, konkretne rozwiązania projektowe oraz standardy i wymagania wdrożeniowe (Bojarski, 1984). Jednocześnie inżynieria systemów scala cząstkowe podejście ekonomiczne, organizacyjne, prakseologiczne i cybernetyczne w jeden spójny system działania, realizujący określoną misję w sposób racjonalny i efektywny z punktu przyjętego kryterium oceny. W tym kontekście można powiedzieć, że narzędziowa inżynieria systemów jest nauką o racjonalnym, zorganizowanym, sterowalnym i celowym działaniu odpowiednio złożonego (wielkiego) systemu.

PODSUMOWANIE

Na zakończenie nasuwa się refleksja, że pomimo bardzo znaczących postępów ogólna teoria systemów jest nie tylko teorią i narzędziem poznawania systemów realnych - ożywionych i nieożywionych, ale także ontologią wszelkich systemów (bytów). Niestety aspekt ontologiczny ogólnej teorii systemów jest ciągle stosunkowo słabo opracowany i wymaga jeszcze wielu prac teoretycznych oraz licznych dyskusji naukowych. Należy także zauważyć, że nauka jest całościowym, względnie stabilnym, samoorganizującym się otwartym systemem przetwarzającym ogromne strumienie informacji w celu systemowego i synergicznego potęgowania wiedzy teoretycznej i dokonań praktycznych. Dynamiczny rozwój postępu naukowo-technicznego na przełomie wieków doskonale świadczy o słuszności podejścia systemowego, a realnym wymiarem tych dokonań są ogromne osiągnięcia inżynierii systemów w obszarze użytecznych aplikacji niemal we wszystkich dziedzinach życia społeczno-gospodarczego. Szczególnie obficie z dorobku ogólnej teorii systemów korzysta logistyka we wszystkich swoich wcieleniach.

LITERATURA

1. Bertalanffy L.; *Ogólna teoria systemów*. PWN Warszawa 1984.
2. Bojarski W.; *Podstawy analizy i inżynierii systemów*. PWN Warszawa 1984.
3. Brzeziński M.; *Inżynieria systemów logistycznych*. WAT Warszawa 2014.
4. Brzeziński M.; *Podejście systemowe w logistyce*. ZN SLW WAT nr 38/2010.
5. Bubnicki Z.; *Podstawy informatycznych systemów zarządzania*. Wyd. PW Wrocław 1993.
6. Ficoń K.; *Sztuczna inteligencja. Nie tylko dla humanistów*. BEL Studio Warszawa 2013.
7. Ficoń K.; *Inżynieria szanse i wyzwania XXI wieku*, Kwartalnik BELLONA, nr 2(661)/2010.
8. Ficoń K.; *Badania operacyjne stosowane. Modele i aplikacje*. BEL Studio Warszawa 2006.
9. Ficoń K.; *Elementy potencjałowej analizy bezpieczeństwa wielkich systemów prakseologicznych*. ZN AMW Nr 3 (186) 2011.
10. Ficoń K.; *Inżynieria zarządzania kryzysowego. Podejście systemowe*. BEL Studio Warszawa 2007.
11. Gasparski W.; *Ujęcie systemowe jako styl. Projektowanie i systemy*. T. 7. Ossolineum Wrocław 1985.
12. Gomółka Z. *Cybernetyka w zarządzaniu. Modelowanie cybernetyczne sterowanie systemami*. AW Placet Warszawa 2000.
13. Gościński J., *Projektowanie systemów zarządzania*. 1971,
14. Hall A.D., *Podstawy techniki systemów*, PWN Warszawa 1968.
15. Kempisty M. (red.); *Mały słownik cybernetyczny*. WP Warszawa 1973.
16. Klir D.J. (red.); *Ogólna teoria systemów*. WN-T Warszawa 1976.
17. Konieczny J.; *Inżynieria systemów działania*. WN-T Warszawa 1983.
18. Korczak J.; *Inżynieria procesów logistycznych*. WSG Bydgoszcz 2013.
19. Kowalska-Napora E.; *Inżynieria systemów i analiza systemowa w zarządzaniu*. M. Derewiecki Kęty 2015.
20. Kulikowski R., *Sterowanie w wielkich systemach*. WN-T Warszawa 1974.
21. *Leksykon naukowo-techniczny*. WNT Warszawa 1984.
22. Mynarski S.; *Elementy teorii systemów i cybernetyki*. PWN Warszawa 1979.
23. Płoski Z.; *Słownik informatyczny*. Wyd. Europa Wrocław 2003.

24. Sienkiewicz P.; *Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania*. Wyd. Bellona Warszawa 1994.
25. Sienkiewicz P.; *Inżynieria systemów*. PWE Warszawa 1983.
26. Traczyk W.; *Inżynieria wiedzy*. AOW EXIT Warszawa 2010.
27. Weinberg G.M.; *Myślenie systemowe*. WNT Warszawa 1979.