

2. Myślenie systemowe – drogi rozwoju i stan obecny

*Właściwe myślenie, mówienie i działanie –
to właściwa sekwencja aktywności człowieka*

- 2.1 Wstęp
- 2.2 Techniczno organizacyjna droga rozwoju paradygmatu systemowego
- 2.3 Naukowa droga do podejścia systemowego
- 2.4 Myślenie systemowe w badaniach i pojmowaniu świata
- 2.5 Nowy paradygmat w nauce technologii i gospodarce
- 2.6 Podejście systemowe w inżynierii i gospodarce
- 2.7 Podsumowanie
- 2.8 Problemy

2.1 Wstęp

Myślenie systemowe ukazuje nową perspektywę w badaniach przyrody, człowieka i w tworzeniu techniki (patrz np. [Blanchard90]) i rzeczywistości społecznej (patrz np. [Szymański88]). Stanowi też nowy sposób zorganizowania uzyskanych wyników badawczych przy użyciu nowych pojęć **systemowych**, oraz systemowych własności i relacji. W tym miejscu, zachowując w pełni ważność poprzedniej definicji synergicznej, warto już pokusić się o bardziej abstrakcyjne niż poprzednio określenie systemu. Mówiąc bardziej ogólnie iż poprzednio:

system to byt, będący zorganizowanym zbiorem elementów z określonymi własnościami i relacjami, stanowiący jedną celowościową całość.

Innymi słowy przy badaniu zastanego już systemu (naturalnego, sztucznego, symbolicznego) jak i każdego jego elementu musimy zawsze nawiązywać do własności systemu **jako całości**, do jego **struktury** (organizacji), oraz do jego **funkcji i ewolucji** (przyszłość). Tworząc zaś nowy system musimy rozpatrywać, jego jak i każdy nowo projektowany element i jego funkcję, w nawiązaniu do wpływu na elementy sąsiednie, całość systemu i systemy sąsiednie, we wszystkich etapach życia (ewolucji). Takie systemowe podejście do otaczającego nas środowiska naturalnego i sztucznego (technicznego) ukształtowało się jako **społeczna konieczność** i wypadkowa wielu trendów nauki i zaspokojenia potrzeb w rozwoju techniki i technologii. Stąd też niżej celowym będzie dokonać przeglądu i wartościowania tego rozwoju z punktu widzenia obecnego stanu dziedziny **TEORII SYSTEMÓW i INŻYNIERII SYSTEMÓW**.

2.2 Techniczno organizacyjna droga rozwoju paradygmatu systemowego

Problemy rozwoju i zastosowań nowoczesnej techniki stały się najbardziej niezbędne i palące i warunkujące przetrwanie społeczeństw podczas ostatniej wojny światowej, jak zresztą w każdej sytuacji zagrożenia egzystencji ludzi (katastrofa). W podręcznikach inżynierii systemów [Hicks77], [Blanchard90] na pierwszym miejscu cytuje się dwa klasyczne problemy typu **być – nie być** drugiej wojny światowej, generujące taką konieczność;

- obrona przeciwlotnicza Anglii z zastosowaniem radaru,
- organizacja i obrona konwojów z zaopatrzeniem materiałowym USA dla walczącej Europy.

Z drugiej strony wiadomo z historii rozwoju techniki i cywilizacji, iż rzeczywisty postęp zachodzi wtedy gdy nie ma innego wyjścia, jak to się mówi potocznie **od katastrofy do katastrofy**¹, bo dopiero wtedy widać niedrożność starego, znanego podejścia, który dawał

¹ Ostatnia katastrofa promu kosmicznego jest kolejnym tego dowodem.

zawsze rozwiązanie przy minimum wysiłku.

Pierwszy problem zastosowania nowego wynalazku, **radaru** do obrony Anglii przed inwazją, rozwiązywała grupa pod kierownictwem profesora P.M.S. Blachett'a z Uniwersytetu Manchester (1940), w składzie: oficer armii, jeden fizyk ogólny, dwu fizyków matematycznych, astrofizyk, geodeta, dwu matematyków i dwu fizjologów. Jak widać skład grupy pokrywał całe możliwe spektrum problemów i pytań jakie należało rozwiązać projektując krajowy system obrony przeciwlotniczej. Rok rozpoczęcia prac przez tę grupę (1940) uznaje się za moment powstania nowej dyscypliny efektywnego działania zespołowego nazwanej potem **BADANIA OPERACJI** (lub operacyjne, - operations research).

Podobne grupy naukowców i specjalistów pracowały w USA nad takimi problemami jak dostawy materiałowe statkami do Europy, gdzie przedmiotem prac i ustaleń było; wielkość konwojów, ich trasa, szyk, wsparcie okrętów marynarki, lotnictwa, np.,. Inny palący problem rozwiązywany przez ten zespół to dyslokacja min morskich przeciwko łodziom podwodnym, gdzie przedmiotem prac była optymalizacja w zakresie: środki dyslokacji – okręty, samoloty; gęstość i głębokość dyslokacji, rodzaj min, głębokość ich pływania, wybuchu, np.. Naczelnym miernikiem działania była oczywiście, jak zawsze w inżynierii systemów, efektywność proponowanych rozwiązań.

Te i inne sukcesy zespołowych prac w optymalizacji wysiłku wojennego były tak namacalne i kuszące, że tuż po wojnie w ramach United States Air Force (USAF) utworzono w Santa Monica CA, specjalny instytut badawczy RAND Corporation (Research And Development) , który zajmował się całym spektrum badań, studiów i symulacji na potrzeby armii USA a także strategiczne potrzeby rządu, co czyni do tej pory. Ostatnia słynna symulacja podana do wiadomości publicznej, to próba odpowiedzi na pytanie, ile krajów europejskich musi się zaangażować dla odparcia ewentualnej agresji Rosji (1994).

Nowe **holistyczne, systemowe** podejście do projektowania ogólnego i planowania operacji (operation research), jak widać efektywne, wyróżnia się co najmniej trzema istotnymi cechami różnymi od metod poprzednio stosowanych.

- Podejście całościowe do problemu (systemowe – holistyczne)
- Zastosowanie modeli matematycznych i symulacji ².
- Podejście zespołowe (team approach)

Takie podejście było konieczne dla maksymalizacji efektu zastosowania złożonej techniki wojennej. Okazało się bowiem podczas II wojny światowej – wojny totalnej, że dni podejmowania decyzji strategicznych wysokiego szczebla przez pojedynczych dowódców, przez analogię do poprzednich wojen (Clausewitz, Napoleon), lub do gry w szachy, skończyły się bezpowrotnie.

Po wojnie badania operacyjne przeniosły się na stałe do zaawansowanych gałęzi przemysłu, spełniając rolę niezbędnego narzędzia w optymalizacji istniejących i planowanych operacji i procesów technicznych. Bliskie związki tej dziedziny z szeroko pojętym zarządzaniem (management) nie wymaga tu komentarza. Oficjalnym ukoronowaniem tej dyscypliny było założenie Operations Research Society of America w 1952r, z np. P.M. Morse (znany fizyk matematyczny, akustyk), jako pierwszym przewodniczącym, który był szefem równoważnego zespołu do optymalizacji wysiłku wojennego USA.

² **Model** to uproszczona wersja rzeczywistego systemu w określonym czasie i przestrzeni prowadząca do lepszego zrozumienia rzeczywistości (jedna z definicji).

Symulacja to manipulacja modelem ze zmianą skali czasu i przestrzeni umożliwiającą zrozumienie oddziaływań i zachowania jako całości, co bez tego byłoby niemożliwe.

2.3 Naukowa droga do podejścia systemowego

Z określenia systemu przytoczonego w poprzednim punkcie wynika niezwykle istotna rola relacji systemowych, tzn. relacji między własnościami (**atrybutami**) poszczególnych części, które tworzą celowo zorientowaną całość. Ilość tych relacji i ich skomplikowanie w stanowieniu systemu było najwcześniej rozpoznane w biologii, gdzie najwcześniej zrozumiano ograniczenia paradygmatu redukcjonistycznego. Tutaj na gruncie studiów biologii teoretycznej już w latach trzydziestych (1934) powstało pierwsze **ujęcie organizmu jako systemu**, zaproponowane przez L. Von Bertalanffy [Bertalanffy84]. U podstaw jego koncepcji była idea całościowa organizmów żywych. Oznacza to, że poszczególne części organizmu można określić jedynie przez poznanie ich miejsca w całości. Jest to ujęcie całkowicie przeciwstawne mechanistycznej koncepcji funkcjonowania i poznawania świata. Podsumowaniem dokonań L. Bertalanffy w tej dziedzinie było ogłoszenie drukiem ‘Ogólnej Teorii Systemów’ [Bertalanffy84] w roku 1968. Przedtem jednak wspólnie z innymi naukowcami (Building) założył w roku 1954 **Society for General System Research**. Było to możliwe dzięki całemu szeregowi dokonań, które dziś stanowią podwaliny Ogólnej Teorii Systemów (GST) i innych nauk.

Poza wspomnianymi już badaniami operacji należy tu w pierwszej kolejności wymienić cybernetykę zapoczątkowaną przez N. Wienera (patrz książka *Cybernetics or Control and Communications in Animal and the Machine* –1948), gdzie po raz pierwszy sformułowano pojęcie sprzężenia zwrotnego, zwłaszcza ujemnego, modyfikującego zachowanie się układów i systemów, zarówno fizycznych (np. termostat), socjo technicznych, jak i ożywionych. Koncepcja ta w zastosowaniu np. do zarządzania przedstawiona jest na rysunku 2.1.

Rysunek 2.1: Przedstawienie koncepcji ujemnego sprzężenia zwrotnego w systemie zarządzania i w teorii regulacji [Boordman90].

Rok później po Wienerze, C. E. Shannon opublikował podstawy ilościowej teorii informacji w swej słynnej książce ‘**Mathematical Theory of Communication**’, gdzie po raz pierwszy wprowadzono ilościową miarę informacji³ przesyłanej przez kanał i wprowadzono jej definicję, przez analogię do termodynamicznej ujemnej entropii – negentropii (entropia = statystyczna miara nieuporządkowania). Od tych dwu dat zaczyna się silny prąd badań i myślenia systemowego i cybernetycznego (np. Ashby – homeostat, sztuczny żółw), który później znalazł swe ujście w Ogólnej TS. W tym samym czasie (1947) J. Von Neuman⁴ i P. Morgenstern publikują monografię ‘*Theory of Games and Economic Behaviour*’, zapoczątkowując w ten sposób całą nową dziedzinę zwaną obecnie teorią gier i teorią decyzji.

W tym czasie, w nowo utworzonej RAND Cooperation opracowano metodę wypracowywania decyzji zwaną System Analysis and Policy Planning, która przez swe systematyczne podejście do problemu, **poszukiwanie alternatyw rozwiązań w świetle ich konsekwencji**, pozwala to wypracować optymalną strategię postępowania w problemach pierwotnie nie kwantyfikowalnych, gdzie muszą być uwzględnione, lub nawet wcześniej zdefiniowane i zbadane, preferencje użytkownika lub zamawiającego (klienta), [Findeisen85], [Robertson99]. Porównując zakres zastosowań Analizy Systemowej i Badań Operacji można stwierdzić [Senge98], że pierwsza może określić optymalną politykę (strategię; np. państwa, korporacji) w rozwiązywaniu danego problemu, natomiast Badania Operacyjne mogą

³ Dla porządku dodać trzeba iż jest to miara bardzo prosta, nie odpowiadająca już dzisiejszym potrzebom. Przez analogię do telefonii można powiedzieć iż mierzy ona ilość impulsów w rozmowie, a nie jej treść. Do tej pory nie mamy semantycznej miary informacji, na miarę Shanona.

⁴ v Neuman jest twórcą algorytmów obliczeń szeregowych i równoległych, pierwsze do dziś używane we współczesnych komputerach, a drugie są podstawą działania automatów komórkowych, które obecnie rozwija S. Wolfram.

przynieść optymalną taktykę rozwiązań szczegółowych. A gdzieś między tymi dyscyplinami umożliwiającymi wybór strategii i taktyki leży metoda Cost Effectiveness Study, która zajmuje się wyjawieniem najlepszych alternatyw działania w świetle kosztów i uzyskanych efektów działania.

W dalszym rozwoju Teorii Systemów ważną rolę spełniły również prace Rappaporta [Rappaport86], Klira [Klir76], Mesarowic'a [Mesarowic75], Capry [Capra82], [Capra95], [Capra03], Jantsch'a [Jantsch80], Tofflera [Toffler96], Szymańskiego [Szymański88, Szymański91], a w Inżynierii Systemów prace Hall'a [Hall68, Hall89], Sage'a [Sage95, Sage92], Blancharda i Fabrycky'ego [Blanchard90, Fabrycky92], Wymore'a [Wymore76], Findeisena [Findeisen85], Koniecznego [Konieczny83], Sienkiewicza [Sienkiewicz88], i najnowsze monografie autorów Caposi, Skyttner, Oconnor (patrz najnowsza literatura), by wymienić tylko kilka najbardziej znanych autorów, dla piszącego te słowa.

2.4 Myślenie systemowe w badaniach i pojmowaniu świata

Teoria systemów (TS) lub jak niektórzy nazywają Ogólna Teoria Systemów (OTS) to bardzo młoda (zaledwie 50 lat) dyscyplina wiedzy i umiejętności czyli **potencji działania**, umożliwiająca w zamiarze lepsze rozumienie i harmonijne kształtowanie otaczającej nas rzeczywistości. Naczelną zasadą **paradygmatem** TS jest całościowe czyli **holistyczne** ujmowanie tej rzeczywistości, w przeciwieństwie do ujęcia redukcjonistycznego, które zaczęło panować we współczesnej nauce od czasów Newtona i Kartezjusza (16/17 wiek). Paradygmatem **redukcyjnego** podejścia do rzeczywistości jest podział obiektu, bądź problemu badań, na części składowe i przez kolejne uproszczenia zbadanie własności jego oddzielnych części, by w ten sposób wnioskować o zachowaniu się całości. Ten sposób ujęcia rzeczywistości odnosił, i dziś jeszcze odnosi wielkie triumfy w badania obiektów prostych o małej **złożoności** (o małej liczbie elementów i ich wzajemnych połączeń), takiej jaką spotyka się w mechanice pojedynczych maszyn (ale już nie pojazdów kosmicznych, ani np. maszyn papierniczych – dla przykładu). Stąd też podejście redukcjonistyczne często nazywa się **mechanistycznym**.

Sukcesy redukcjonizmu sprawiły, że wielu ludzi uznało go za uniwersalną drogę do zrozumienia zjawisk. A przecież redukcjonizm wbił klin między naukę i inne aspekty ludzkiego życia. Jak już mówiliśmy w swej naiwnej wersji polega na analizie zjawisk przez rozłożenie ich na najmniejsze możliwe elementy. Jak zauważył A. Toffler [Toffler96],

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

Rozumując w ten redukcjonistyczny sposób to widzimy jak ludzie stają się właściwie **maszynami** służącymi do przenoszenia genów, a przyczyną homoseksualizmu jest homoseksualny mózg, produkt genów homoseksualnych, ... Zaś surowa wizja świata redukcjonistów przyczyniła się do popularyzacji poglądu, że nauka jest czymś odizolowanym od reszty ludzkiej kultury [Coveney97, s 35].

A przecież złożoność jest nieodłączną cechą natury jak i również technologii, a nie skutkiem wielu prostych procesów zachodzących na bardziej elementarnym poziomie. Celem zaś badań całościowych (**holizm**) jest wykrywanie homologii (podobieństw), wyrażających strukturalnie identyczne prawa szerokiej klasy zjawisk i procesów, zwłaszcza takich, które ujawniają stany kwasi – stacjonarne i ekwifinalność⁵. Czynimy to by umożliwić **tworzenie i przenoszenie** wykrytych praw z jednej dziedziny rzeczywistości w drugą, czy też z jednej dyscypliny naukowej do drugiej. Uprawnia do tego fakt powszechnego występowania w

⁵ Ekwifinalność – dojście do tego samego stanu granicznego z różnych warunków początkowych, np. cykl graniczny.

różnych dziedzinach wiedzy i umiejętności podobnych koncepcji ogólnych, i zbliżonych, a nawet identycznych punktów widzenia [Heller82,s53]. Przejście do myślenia systemowego nie ogranicza się tylko do przeciwstawienia holizmu redukcjonizmowi. Zawiera ono również koncepcyjne **odejście od**:

- od myślenia reistycznego na rzecz fenomenologicznego, (rzeczy – zjawiska),
- od myślenia mechanistycznego opartego na koncepcji odwracalności zdarzeń do myślenia w kategoriach procesów nieodwracalnych (strzałka czasu),
- od myślenia dogmatyczno normatywnego do myślenia efektywnościowego (patrz wyżej czym jest prawda),
- od rozmytych pojęć tradycyjnego filozofowania – do dyscypliny holistycznego myślenia logiczno – matematycznego [Heller82,s 43].

Analiza ostatnich propozycji i myśli systemowych uzupełnia ten program prac i zamierzeń TS o konieczność zmiany paradygmatu wielu dziedzin wiedzy, łącznie z medycyną, ekonomią i środowiskiem, jak to postuluje między innymi Capra [Capra87], [Capra95], [Capra03], Szymański [Szymański88], a ostatnio Pogorzelski idąc nawet znacznie dalej.

Paradygmat ten z innej strony charakteryzuje przejście:

- od części – do całości, z uwzględnieniem **roli części** w całości,
- od struktury systemu - do procesów w nim zachodzących,
- od nauki obiektywnej (absolutnej) – do **epistemicznej** t.j. zależnej od układu odniesienia,
- od koncepcji nauki jako ‘budowli’ – do koncepcji ‘**sieci**’ jako metafory naukowej,
- od wiedzy pewnej – do **przybliżonej**, będącej kolejnym etapem aproksymacji widzenia rzeczywistości.,
- od liniowego modelu poznania i wdrożeń: nauki podstawowe – nauki stosowane – prace rozwojowe – nowe technologie (procesowe i produktowe), do **sieciowego modelu interakcji** każdego szczebla z każdym.
- od prawdy absolutnej – do **stwierzeń kontekstowych**.

Jak widać konsekwencje tego przejścia mogą być dla niektórych bardzo brzemiennie; pytają Oni bowiem: jak to, to **nie ma wiedzy pewnej, ani prawdy absolutnej** ?

W roku 1994 minęło 40 lat od daty powstania Towarzystwa Badań Ogólnej Teorii Systemów, trzydzieści od czasu wprowadzenia Ogólnej Teorii Systemów (OTS) i dziedzin pokrewnych do dydaktyki uniwersytetów amerykańskich [Chapman92]. Warto sobie więc zdać sprawę ze stanu wiedzy OTS i jej znaczenia w badaniach, rozumieniu i tworzeniu naszego świata. Trzeba przyznać, że te czterdzieści lat zaowocowało rozszerzeniem się podejścia systemowego na wszystkie dziedziny aktywności ludzkiej z jednej strony i coraz większymi uogólnieniami stosowanej teorii. Nawet w załączonym fragmentarycznym spisie literatury znajdują się cztery pozycje mające w tytule OTS, o zakresie treści od pojęciowo jakościowej [Pogorzelski99], do matematycznej teorii systemów [Rappaport86]. Jedną z prób podsumowania całości może być opublikowana ostatnio praca **Jedenaście Tez OTS** [Waelchli92], przedstawiające abstrakcyjną istotę myślenia i podejścia systemowego. Zastosowania takiego podejścia można przedstawić w dwu nurtach. Pierwszy nurt poznawczy występujący w naukach przyrodniczych, społecznych, ekonomicznych i medycznych widać doskonale w takich pozycjach jak książka F. Capry ‘Punkt Zwrotny’ [Capra82], oraz monografia Wilbera [Wilber97] i ostatnia monografia Capry, The Hidden Connections

[Capra03]. Tutaj autorzy pokazują ten wpływ podejścia systemowego od fizyki poczynając (na przykładzie hipotez: **bootstrap, implicate order, morfogenetic**), przez psychologię, socjologię, holistyczną ekonomię i medycynę aż do ekologii, gdzie ujęcie systemowe jest koniecznością rozumienia naszego świata i nas samych [Wilber97]. Na gruncie takiego spojrzenia na człowieka, społeczeństwo i ludzkość powstała Logika i Inżynieria Społecznych Systemów Działania [Szymański88], [Szymański91], wyjaśniająca rozwój i zachowanie się jednostki i zbiorowości społecznej na gruncie wszystkich zdobyczy OTS. Z badań tych można wyciągnąć wartościowe wnioski co do ewolucji i alternatywnych losów całych społeczności [Szymański02], a nawet całego naszego świata.

Idąc śladem książki Capry podejście systemowe można zastosować badając i rozwijając morfologię naszej wiedzy i umiejętności tak jak na rys. 2.2. Ograniczając się tu do głównych dyscyplin naszego poznania i działania mamy z jednej strony fizykę z jej elementarnymi pytaniami i energiami, do socjologii i filozofii z jej subtelną synergią współdziałania ludzi i grup ludzkich. Z drugiej strony w gałęzi umiejętności i inżynierii możemy rozpocząć od elementów najgrubszych jak w inżynierii budowlanej aż do inżynierii społecznej i inżynierii systemów. Całość jest zasilana ze wspólnych korzeni Ogólnej Teorii Systemów i częściowo filozofii tak jak na Rys. 2.2.

Rysunek 2.2: Główne dziedziny wiedzy i inżynierii w porządku hierarchicznym wyłaniania się.

Ostatni rysunek i jego interpretacja jest to odzwierciedleniem stwierdzenia Hansa SEYLE, twórcy znanej teorii stresu, który stwierdził;

‘W nauce nie ma wąsko ograniczonych dziedzin, są tylko wąsko ograniczeni naukowcy, w przyrodzie zaś wszystkie dziedziny wiążą się ściśle z sąsiednimi i zachodzą na siebie.’

Jakby w ślad za tym zawołaniem jesteśmy obecnie świadkami powstawania dyscyplin inżynierskich zintegrowanych, takich jak **mechatronika** = inżynieria mechaniczna + elektryczna + elektroniczna + informatyczna, **bionika** i **bioinżynieria** = biologia + biotechnologia + mechanika + elektronika + informatyka, **nanotechnologia** = fizyka + chemia + biologia + inżynieria mechaniczna + elektroniczna + informatyczna, i to wszystko w skali nanometra (10^{-9}) i picosekundy (10^{-12}).

Powstaje obecnie pytanie jak doszliśmy do takiego stanu wiedzy i umiejętności w nauce i w technologii, czy istnieje wspólna metoda pozyskiwania tej wiedzy? Sytuację tę wyjaśniają dobrze dwa kolejne rysunki [Natke93]. Pierwszy (rys 2.3 a b) przedstawia wytwarzanie wiedzy w cyklu: **eksperyment – teoria**, znaczy to że eksperyment daje podstawowe fakty, z którego można zbudować model zaś jego rafinacja, ekstrapolacja i interpolacja stawia dalsze pytania jako podstawę do kolejnego eksperymentu i iteracyjnego poznania rzeczywistości. To diadyczne podejście do badania rzeczywistości jest w tej chwili coraz częściej uzupełniane do triady; **eksperyment, teoria, symulacja**. Możliwość symulacji w badaniach jest wynikiem splotu dwu nowych możliwości; coraz dokładniejsze modele zjawisk i systemów z jednej strony, oraz coraz lepsze możliwości obliczeniowe współczesnych komputerów. Symulacja to przede wszystkim środek do **kontrakcji** i/lub **ekspansji** czasoprzestrzeni, tak niezwykle niezbędnej w badaniach i użytkowaniu złożonych systemów. Jednak każdy model zawiera w sobie część wiedzy i część niepewności, co w zależności od rozmiaru problemu / systemu może znaleźć opis w różnych kategoriach logiczno matematycznych (rys 2.3c). Od modelu czysto empirycznego poprzez różne stopnie analityczności modelu, aż do opisu statystycznego czy nawet rozmytego przy dużej

złożoności systemu i problemu.

Rysunek 2.3: Pozyskiwanie wiedzy ze świata rzeczywistego (a, b) i możliwe modele rozwiązywanych problemów – c, [Natke93].

Systemowe ujęcie świata z pewnością nam pomoże w odpowiedzi na ciąg pytań poznawczych, użytkowych, a nawet egzystencjonalnych, takich jakie każdy myślący (twórczy) człowiek stawia sobie od czasu do czasu, a oto one.

Pytania poznawcze – NAUKA ⁶

1. Co to jest ? – wyróżnienie z uniwersum
2. Jak to jest ? – zgrubny (przybliżony) opis
3. Jak to działa ? – model (czarna, szara, lub biała skrzynka)
4. Jak to wykorzystać ? – możliwe zastosowania

Pytania aplikacyjne – INŻYNIERIA ⁷

1. Co, jest potrzebne ? – artykulacja użyteczności
2. Czym to zaspokoić ? – koncepcja zaspokojenia potrzeby
3. Jak to skonstruować ? – projektowanie (alternatywy)
4. Jak i gdzie to wyprodukować ? – technologia i koszty
5. Gdzie i jak to sprzedać ? – rynek – marketing
6. Jak to użytkować ? – eksploatacja (cele, metody), obsługa
7. Jak to re-użytkować ? – recykling (energia, materiał), 'odpady to pożywienie'.

2.5 Nowy paradygmat w nauce, technologii i gospodarce

Zanim przejdziemy do prezentacji materiału tego kursu Teorii i Inżynierii Systemów warto, w skrócie przedstawić przeciwstawne tezy starego i nowego paradygmatu systemowego i płynące stąd implikacje technologiczne i gospodarcze. Tradycyjny paradygmat myślenia w nauce można nazwać kartezjańskim (Rene DESCARTES), newtonowskim lub baconowskim [Capra95], gdyż jego główne założenia sformułowane zostały przez Kartezjusza, Newtona i Bacona. Współczesny zaś paradygmat można nazwać holistycznym, ekologicznym, systemowym, ale żaden z tych przymiotników nie oddaje całkowicie jego natury. Bowiem myślenie według współczesnego paradygmatu kieruje się pięcioma kryteriami, z których dwa pierwsze odnoszą się do naszego rozumienia natury, a trzy pozostałe do epistemologii, jak to przedstawiono niżej.

1. Zwrot od pojęcia Części ku pojęciu Całości

Myślenie wedle tradycyjnego paradygmatu zakładało, że w wypadku jakiegokolwiek złożonego systemu dynamikę całości można zrozumieć na podstawie cech poszczególnych części składowych tejże całości. We współczesnym paradygmacie następuje odwrócenie relacji części do całości. Cechy części składowych mogą być rozumiane tylko na podstawie dynamiki całości. Stąd części składowe przestają istnieć. To, co nazywamy częścią jest po prostu fragmentem nierozzerwalnej sieci relacji.

⁶ **Nauka** - usystematyzowany zbiór wiedzy o świecie i metod badania i gromadzenia, niektórzy definiują naukę jako proces.

⁷ **Inżynieria** to oparta na podstawach naukowych metoda (technologia) przekształcania rzeczywistości dla dobra człowieka i jego otoczenia.

2. Zwrot od pojęcia Struktury ku pojęciu Procesu

Tradycyjny paradygmat zakładał, że istnieją struktury pierwotne oraz siły i mechanizmy powodujące ich interakcję, dzięki czemu powstają procesy. W myśl współczesnego paradygmatu każda struktura rozumiana jest jako przejaw procesu, który w sobie kryje. Sieć relacji jest z natury dynamiczna.

3. Zwrot od pojęcia nauki Obiektywnej ku pojęciu nauki Epistemicznej

Tradycyjny paradygmat zakładał że opisy naukowe są obiektywne, a więc niezależne od obserwatora i od procesu poznania. Współczesny paradygmat zakłada że epistemologię, a więc rozumienie procesu powstawania wiedzy, należy bezpośrednio włączyć w opis badanych zjawisk naturalnych. Do tej pory jednak nie ma zgody na temat właściwego charakteru epistemologii, ale powstaje powszechne przekonanie, że epistemologia musi być integralną częścią każdej teorii naukowej.

4. Zwrot od pojęcia Budowli ku pojęciu Sieci jako metafory wiedzy

Metafora wiedzy jako budowli, składającej się z fundamentalnych i absolutnych prawd, zasad, cegiełek konstrukcyjnych, np., dominowała w nauce i filozofii Zachodu od tysięcy lat. W okresach zmiany paradygmatu uważano, że załamują się fundamenty wiedzy. W ujęciu współczesnego paradygmatu metafora budowli zastąpiona zostaje **metaforą sieci**. Postrzegamy rzeczywistość jako sieć wzajemnych relacji, a opisując ją także tworzymy sieć wzajemnych relacji zachodzącymi między obserwowanymi zjawiskami. W sieci takiej nie występują absolutne hierarchie ani absolutne fundamenty. Zwrot od metafory budowli ku metaforze sieci zakłada **porzucenie rozumienia fizyki** jako ideału służącego ocenie i modelowaniu innych nauk oraz jako głównego źródła metafor naukowego opisu.

5. Zwrot od pojęcia Prawdy ku pojęciu Przybliżonego Opisu

Paradygmat kartezjański oparty był na przekonaniu, że wiedza naukowa zdolna jest nam dać absolutną i ostateczną pewność. W kontekście współczesnego paradygmatu uważa się, że wszelkie pojęcia, **teorie i odkrycia są ograniczone i przybliżone**. Nauka nigdy nie zapewni całościowego i ostatecznego zrozumienia rzeczywistości. **Naukowcy nie zajmują się prawdą** (w sensie całkowitej zgodności między opisem a opisywanym zjawiskiem), ale ograniczonymi i przybliżonymi opisami rzeczywistości, które w ślad za Popper'em [Popper95] należy poddawać ciągłej **falsyfikacji**⁸. Falsyfikowalność jest to wg niego naczelnym wymóg naukowości danej dziedziny wiedzy.

2.6 Myślenie systemowe w inżynierii i gospodarce

Drugi nurt obecnego podejścia systemowego **inżyniersko – organizacyjny** znalazł swą kulminację w Inżynierii i Analizie Systemów (Systems Engineering and Analysis) – patrz np. [Blanchard90]), gdzie znajdują zastosowania i egzemplifikację wszystkie omówione poprzednio metody dochodzenia do optymalnych rozwiązań w projektowaniu, wytwarzaniu i użytkowaniu systemów w całym cyklu ich życia z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych i ekologicznych. Stosuje się tu całą gamę metod i technik artykułowania i wartościowania potrzeb i ich możliwych rozwiązań, jak np. Quality Function Deployment (QFD) [Chapman92], Total Quality Management (TQM) [Blanchard90], [Hamrol98], które obiektywizują żądania i preferencje użytkownika i pozwalają optymalizować drogi dojścia do preferowanych cech i rozwiązań[Findeisen85]. Dobrym przykładem zakresu zastosowań

⁸ Falsyfikacja – próba dowiedzenia fałszywości danego stwierdzenia.

Inżynierii i Analizy Systemów jest Rys. 2.4 przedstawiający systemowe problemy Zarządy Kolei Brytyjskich [Chapman92]. Widać tu wyraźnie, że podejście systemowe trzeba stosować nawet przy produkcji i użytkowaniu układów scalonych, a nie tylko jak dawniej sądzono przy projektowaniu wielkich systemów antropo technicznych związanych z astronautyką i obronnością.

Rysunek2.4: Zakres zastosowań inżynierii systemów na przykładzie Kolei Brytyjskich [Chapman92].

W technologii i gospodarce zmiana paradygmatu zachodzi znacznie szybciej, zwłaszcza ostatnio. Według Freemana [Freeman95], **pierwszy paradygmat** technologii i gospodarki oparty był na siłach przyrody w szczególności mięśni ludzkich, zwierzęcych, a potem siły wiatru i wody. Siła parowa jako drugi paradygmat wkroczyła z wolna na arenę gospodarki w XVII wieku. Siłę elektryczną jako trzeci paradygmat wprowadzono w XIX wieku gdy pod jego koniec opanowano już generowanie i przesyłanie dużych mocy elektrycznych. Zasady masowej produkcji – czwarty paradygmat – stosowano w przemyśle pakowania żywności i samochodowym dziesiątki lat, zanim przemysły te zdobyły dominację. Obecny piąty paradygmat gospodarki, technologie informacyjne, są rozwijane od drugiej wojny światowej (wg Freemana), a dopiero teraz widać, że stały się one motorem napędowym badań, technologii i gospodarki.

Obecnie wyłaniający się **paradygmat środowiskowy** mówi: **Środowisko nie jest częścią gospodarki, lecz gospodarka jest częścią środowiska**. Nie jest zatem zbyt wcześnie wg Freemana by już teraz zastanowić się nad technologiami i instytucjami generującymi przyszłościowy szósty paradygmat, który musi być przyjazny środowisku ‘environment friendly’. A jak pisze Braun w Eco Economy [Braun01,s23] jest do zrobienia znacznie więcej. Do tej pory ekonomiści uważali iż środowisko jest częścią gospodarki, natomiast chcąc się utrzymać jako gatunek na Ziemi musimy uznać gospodarkę jako część środowiska. Dla zilustrowania powagi tego wymogu cytuję diagnozę v-prezesa Esso na Norwegię;

Socjalizm upadł bo nie pozwolił cenom powiedzieć prawdy ekonomicznej. Kapitalizm upadnie jeśli nie pozwoli cenom powiedzieć prawdy ekologicznej.

Inne widzenie zmiany paradygmatów przedstawia w ślad za raportem OECD [], tabela 3.1. Jest ona samo wyjaśniająca, zwróćmy więc jedynie uwagę na fakt, iż również zdaniem autorów w obecnym paradygmacie systemowym na czoło wybija się technologia intelektualna, wg innych informacyjna, a wg A. Toffler’a [Toffler96], to cywilizacja wiedzy.

Tabela 2.1 Etapy ewolucji, paradygmaty i technologie w rozwoju ludzkości [Freeman95].

Wróćmy jednak do obecnego piątego paradygmatu **technologii informacyjnych**. Co najmniej od połowy lat siedemdziesiątych motorem tworzenia nowego paradygmatu techniczno – gospodarczego są technologie związane z komputerami, mikroelektroniką, mechatroniką. W miarę jak przenikają one do gospodarki zmienia się jej oblicze, gdyż umożliwiają one między innymi.

1. Szybkie i częste zmiany w projektowaniu nowych produktów i procesów technologicznych.
2. Znacznie większe różnicowanie produktów i łatwiejsze dostosowanie ich do potrzeb indywidualnego klienta.
3. Prowadzenie dokładnego monitoringu i kontroli stanu (jakości) procesów i obiektów, zużycia energii i materiałów.

4. Redukcję liczby i wagi składników mechanicznych wielu produktów.
5. Zmniejszenie znaczenia ekonomiki skali, opartej na kapitałochłonnych technologiach produkcji masowej.
6. Ścisłejsze powiązanie funkcji Badań i Rozwoju (ang. RTD) z projektowaniem produkcją, zaopatrzeniem i marketingiem.
7. Tworzenie znacznie lepiej zintegrowanych sieci (mimo odległości geograficznej) dostawców, kooperantów, zakładów montażu, konsultantów i klientów.
8. Wprowadzenie elastycznych systemów produkcji i spłaszczonych systemów zarządzania 'holonic manufacturing'.
9. Szybki wzrost wielu małych firm (SME - Small and Medium Enterprise) innowacyjnych świadczących usługi producentom przemysłowym w zakresie hardware, software, bioware, humanware, projektowania, informacji i doradztwa.

Dobre porównanie paradygmatów techniczno ekonomicznych między gospodarką produkcji a gospodarką innowacji (czytaj, informacji, wiedzy) przedstawia tabela 2.2, w ślad za Freemanem [Freeman95].

Tabela 2.2. Porównanie paradygmatów działania w przemyśle wg modelu Forda i Toyoty [Freeman95].

Dyfuzyja technologii informacyjnych przekształca zatem wszystkie rodzaje przemysłu i usług, nie tylko produkty i procesy technologiczne, ale także wszystkie funkcje wewnątrz firm, przekształca bowiem:

1. projektowanie – zwłaszcza przez projektowanie wsparte informatycznie (komputerowo) – CAD, i inżynierię wirtualną,
2. produkcję – przez informatycznie zintegrowane wytwarzanie – CIM,
3. zarządzanie i rachunkowość przez systemy zarządzania informacją.

Dzięki powiązaniu z systemami telekomunikacji (telematyka), możliwe jest rozwijanie lokalnych i globalnych sieci informatycznych (komputerowych), INTERNET, możliwe jest wyszukiwanie, przesyłanie i przetwarzanie i użytkowanie informacji pomiędzy 'klientami' znajdującymi się na antypodach. Jest to potężny bodziec rozwoju, który między innymi dostrzegła słynna RAND Corporation zalecając prezydentowi Clintonowi zakup 10 mln komputerów podłączonych do Internetu dla wydobywania z biedy najbardziej potrzebujących i jeszcze chcących działać, a nie być na zapomódze socjalnej rządu USA. Takie podejście i obecne inwestycje rządu USA w Internet, jest niewątpliwie wynikiem myślenia systemowego – lub też '**systems approach**'.

Teoria Systemów (TS) od samego początku wykorzystywała i włączała w swoje ramy koncepcje istniejące w innych naukach szczegółowych i dziedzinach inżynierii, nie wyłączając nauk humanistycznych. Dotyczy to zwłaszcza koncepcji metodologicznych i zasad badania i wyjaśniania struktury złożonych zjawisk i procesów, tzw. Złożoności zorganizowanej.

Samą zaś naukę o systemach, czyli TS, traktuje się jako uporządkowany zasób wiedzy uzyskany w wyniku badania systemów w dającym się zaobserwować świecie oraz **zastosowanie tej wiedzy do projektowania systemów** tworzonych przez człowieka

[Blanchard90]. Projektowanie to nosi zaś nazwę INŻYNIERII SYSTEMÓW [Boordman90]. Ponieważ zaś możliwe do zaobserwowania i kreowania przez człowieka systemy rozciągają się od systemów naturalnych przez techniczne, materialne i symboliczne, antropotechniczne i socjotechniczne (organizacje, przedsiębiorstwa), to kurs

WSTĘP DO TEORII I INŻYNIERII SYSTEMÓW

jest niezbędny w każdej dziedzinie studiów wyższych, zwłaszcza w studiach wszelkiego typu dziedzin inżynierii, włączając w to zarządzanie. Celem zaś wprowadzenia tego przedmiotu jest z jednej strony lepsze zrozumienie otaczającej nas rzeczywistości - coraz bardziej tworzonej przez nas, a z drugiej nauczenie myślenia systemowego (Metodologii Systemowej), co pozwoli na **opracowanie projektów koncepcyjnych** maszyn, urządzeń, programów prac i usług oraz organizacji, harmonijnie i efektywnie współdziałających z otoczeniem, w realizacji zadanej funkcji celu systemu.

Ilustracją tego celu wprowadzenia kursu na wydziałach inżynierskich szkół wyższych jest rysunek 2.5 zaczerpnięty z książki A. P. Sage Inżynieria Systemów [Sage92]. Jak widać z niego korzystając z istniejącej wiedzy i zdobywając nową we wzajemnym procesie uczenia się projektujemy pożądany system, ale oprócz tego dla systemów innowacyjnych projektujemy system zarządzania, system technologiczny i informacyjny. Inżynierię systemów można także postrzegać jako kierowanie i zarządzanie zasobami nauki, organizacji i środowiska, jak to również pokazuje Sage na rysunku 2.6. Nie są to proste zagadnienia warto więc im poświęcić mu trochę czasu.

Rysunek 2.5: Inżynieria Systemów w tworzeniu innowacyjnych produktów i usług w stałym sprzężeniu z kształceniem, [Sage92].

Rysunek 2.6: Inżynieria Systemów jako kierowanie i zarządzanie zasobami; ludzie, organizacja, technologia, w określonym środowisku i metodzie zarządzania, [Sage92].

W Politechnice Poznańskiej jak i w skali kraju, jest to rzadki kurs z tego zakresu w minimalnej ilości godzin. Ponieważ zaś inżynierom potrzebna jest OTS jak i IS to przedmiot ten nazwałem **TEORIA I INŻYNIERIA SYSTEMÓW** – zasady i zastosowania myślenia systemowego. Celem zaś tego przedmiotu jest ukazanie nowego paradygmatu systemowo – holistycznego patrzenia na świat w świetle konsekwencji poznawczych i użytecznych jakie niesie ze sobą to spojrzenie. Jest to możliwe gdyż na gruncie poznawczym holizm połączony z całym bagażem technik analitycznych i kreatywnych umożliwia lepsze zrozumienie i artykulację świata i siebie. Na gruncie zaś Inżynierii Systemów (IS) spojrzenie to umożliwia specjalizację inżynierską (bez której nie ma rozwiązywania problemów technicznych), lecz bez izolacji specjalistów jaka jest powszechna w ujęciu redukcjonistycznym, gdzie fizyk nie rozmawia z inżynierem, mechanik tylko ze swoim kolegą, podobnie jak psycholog i lekarz. Dzięki teorii i inżynierii systemów możemy ujrzyć projektowany przez nasz wyrób / proces w całym cyklu życia, od pomysłu do recyklingu, zdając sobie przy tym sprawę z wszelkich możliwych alternatyw i długoterminowych wpływów na otoczenie socjotechniczne.

Jeszcze lepiej ujmuje ten problem Blanchard [Fabrycky92] mówiąc. W wieku systemów (**systems age**) optymalne osiągnięcie celów technicznych wymaga kombinacji wiedzy systemowej i szerokiego podejścia ekspertowego. Inżynieria w wieku systemów musi być zatem działalnością zespołową (**team approach**), gdzie różni uczestnicy posiadają znajomość relacji między swoją specjalnością i czynnikami ekonomicznymi, środowiskowymi, społecznymi i politycznymi. Dzisiejsze decyzje techniczne wymagają rozpatrzenia wszystkich czynników na wczesnym etapie projektowania i rozwoju systemów. Rezultaty zaś takich

decyzji mają znaczący zwrotny wpływ na te czynniki, **a jednocześnie są one źródłem znacznych ograniczeń lub więzów projektowania.** Budując np. dom lub gmach trzeba rozpatrzyć w otoczeniu stosunki wodne, glebę, wiatr, opady, a również to, że sam gmach zakłóci te zjawiska. Tak więc wiedza inżynierska musi uwzględniać nie tylko wiedzę podstawową danej specjalizacji, ale wiedzę szeroko rozumianego kontekstu systemu powoływanego do życia. Zatem hasłem wykształcenia współczesnego inżyniera (i nie tylko) musi być

SPECJALIZACJA BEZ IZOLACJI.

Dla zarysowania chociażby takich możliwości w rozdziale trzecim przyjrzymy się systemom jako takim, patrząc na ich rodzaje, własności, relacje i funkcje. Dojdziemy tam do wniosku, że w każdym systemie możemy wyróżnić trzy płaszczyzny jego istnienia, czyli STRUKTURA – PROCES – REGULACJA (przyczynowość). W rozdziale czwartym zapoznamy się z cyklem życia systemów, zwłaszcza tworzonych przez człowieka. Prześledzimy z lotu ptaka wszystkie fazy istnienia, od koncepcji systemu aż do jego recyklingu. Taką procedurę postępowania winniśmy stosować niezależnie od tego co projektujemy [Blanchar90], czy to będzie urządzenie do łupania drzewa na kominek [Eide79], czy też projekt łącza radiowego przez Amerykę [Hall68], czy też wprowadzenie TQM lub QFD do organizacji⁹.

Jedną z istotnych cech systemów jest ich ewolucja, stąd też w rozdziale ósmym przedstawiono niektóre ich modele ewolucyjne. Od modeli równowagowych popytu i podaży począwszy, przez model zużywania się obiektów technicznych, wyścigu zbrojeń, i mikromodelach świata Forstera, Klubu Rzymskiego, i innych skończywszy. Daje to pojęcie projektującemu system z jakim zakresem problemów może się spotkać i musi je sukcesywnie rozwiązać.

Metody koncepcyjnego projektowania systemów to niezwykle ważne zagadnienie, dlatego też poświęcono jemu cały rozdział piąty, gdzie w sposób zwarty omówiono twórcze metody poszukiwania rozwiązań aż do definicji systemu i próby jego werbalizacji znakowej. Punktem wyjścia jest badanie potrzeb i uwarunkowań, a potrzeby te dobrze jest widzieć w świetle naczelných potrzeb człowieka, zdefiniowanych po raz pierwszy przez Maslova (patrz np. [Hall89]).

Projektując system generujemy na ogół całą gamę rozwiązań, które należy następnie poddać ocenie i optymalizacji. Dlatego też rozdział siódmy przedstawia w sposób zwarty metody oceny **użyteczności** i optymalizacji rozwiązań systemów.

.....

Materiał skryptu kończy **rozdział ?(jeszcze się pisze)!** gdzie podsumowano całość istotnych zagadnień i zawarto wskazówki do dalszych studiów tego nowego szybko rozwijającego holistycznego spojrzenia na rzeczywistość.

Jako zachętę do dalszych studiów teorii i inżynierii systemów warto przeanalizować Rys. 2.7 zaczerpnięty z książki A.W. Wymore'a [Wymore76], a pokazujący zakres zagadnień jakie rozwiązuje inżynieria systemów; od projektu pasa przenośnika taśmowego, przez działanie promu i jego pasażera, projekt drogi szybkiego ruchu, wydziału na uniwersytecie, służby zdrowia w mieście, aż do banku o pełnym serwisie.

Rysunek 2.7 Zakres zagadnień rozwiązywanych metodami inżynierii systemów [Sage92].

⁹ Patrz rozdział 5.

Na tym tle dobrze będzie pokazać związki jakie wg. Blanchard'a [Blanchard90], zachodzą między poszczególnymi rodzajami inżynierii tak jak na Rys. 2.8. Widzimy tu główne dyscypliny inżynierskie jak inżynieria mechaniczna, budowlana, chemiczna i jej pomocnicze obszary takie jak niezawodność, analiza ryzyka, np., mające zastosowania w każdej dyscyplinie inżynierskiej, od projektowania stadionu, telewizora do platformy wiertniczej i rakiety Ariadne, dla umieszczania systemu satelitów (Astra) na orbicie.

Rysunek 2.8 Inżynieria systemów i jej związki z poszczególnymi specjalizacjami inżynierskimi [Blanchard90].

2.7 Podsumowanie

Przedstawiono drogi rozwoju ogólnej teorii systemów oraz podstawowe cele i paradygmat Teorii Systemów i Inżynierii Systemów. Scharakteryzowano też wpływ nowego paradygmatu na badania, technologie i gospodarkę, zwłaszcza w zestawieniu z silnym rozwojem technologii informatycznych i globalizacją całego życia.

2.8 Problemy

1. Implikacje podejścia systemowego w badaniach
2. Wpływ podejścia systemowego i technologii informatycznych na gospodarkę
3. Trendy rozwoju cywilizacyjnego i gospodarczego
4. Zasadnicza różnica między aktywnością naukowca i inżyniera
5. Opisz główne składniki inżynierii systemów.