Nauka technika systemy
Ossolineum 1981 ISBN 83-04-00731-2

Brian R. Gaines

POSTĘP W BADANIACH OGÓLNOSYSTEMOWYCH

The origin of systems approach has been presented as well as the role of the development of mathematics in systems research. The definition has been discussed of intentional systems approach. Interrelations between systems theory and biological disciplines have been demonstrated. It has been pointed out that up till now the problem of time has been neglected in systems theory. Proper attention has not been given either to some other problems, mostly of the domain of physics. The subjects discussed are closely correlated with the relevant literature.

Представляется происхождение системного подхода, а также влияние прогресса в области математики на системные исследования. Дается интенсиональное определение системного подхода. Выявлены взаимосвязи между теорией систем и биологическими науками. Обращается также внимание на тот факт, что до сих пор проблема времени, а также другие проблемы, главным образом из области физики, не получили соответствующей трактовки в теории систем. Обсуждаемые темы тесно связаны с литературой.

1. Wstęp

Analizowanie postępu we własnej dziedzinie w czasach, w których żyjemy, może być zawodne. Postęp części nie musi być postępem całości. Co powinno być tłem oceny ogólnego postępu?

Jest wiele definicji systemu, o mniejszym lub większym stopniu abstrakcji i ogólności, przy czym żadna nie jest zadowalająca. To właśnie ujęcie systemowe likwiduje bariery dyscyplinarne, dostarcza swobody

w stosowaniu wiedzy i technik nagromadzonych w jednej dziedzinie do problemów innych dziedzin, jej zdyscyplinowany aparat dokumentuje, iż dwie różne dziedziny są w rzeczywistości jedną dziedziną. Raczej więc ujęcie, aniżeli dziedzina przedmiotowa, było źródłem dynamizmu i postępu. Najbardziej chyba wymowną oznaką postępu jest fakt, iż możemy z taką pewnością mówić o wspólnej dziedzinie zainteresowań, wiedząc, iż nie moglibyśmy i nie chcielibyśmy się zgodzić na definicję określającą, czym jest system.

W obfitującym w szybkie zmiany współczesnym świecie byłoby jeszcze mniej właściwe próbować określić, czym jest postęp. Przypuszczalnie istnieją jedynie cykle, a jeden z takich cykli polega na zmianie akcentu ze specjalizacji na generalizację. Cechy rzemiosł rozwijają się oraz narzucają profesjonalizm i zespolenie, ale przez ogromną sztywność powołują do życia niespokojne siły, które je rozbijają. Uchylę się od rozpatrywania tych problemów przez skupienie uwagi na zmiany. Co pozostało ze schematów myślowych i celów sformułowanych przez pionierów? Do jakich innych dyscyplin one przeniknęły i jak te dyscypliny zareagowały na to? Jakie dyscypliny zostały wchłonięte i jaką rolę schematy te spełniły?

Podstawy teoretyczne oparte na badaniu złożoności systemów, ich optymalizacji i identyfikacji; użycie nowych narzędzi matematycznych, takich jak teoria kategorii do wyrażania tych pojęć w postaci formalnej, ale z zachowaniem ogólności, łatwości stosowania i manipulowania; zastosowanie ogólnej teorii systemów do podstawowych problemów biologii i socjologii, jak również do bardziej bezpośrednich, praktycznych aspektów tych nauk – dają jasny obraz postępu.

Wspólnym motywem sesji[1] nie jest ogólna teoria systemów, lecz raczej ujęcie systemowe, rzeczywiste lub wyimaginowane, osiągnięte lub poszukiwane. Ujęcie systemowe przenika współczesną myśl naukową, nawet tę, która wyróżnia się kwestionowaniem istotności ogólnej teorii systemów, pionierzy bowiem przewidzieli i rozpoznali pewien trend, a także go ukształtowali i uzasadnili.

---

[1] Referat wygłoszony na sesji, z której materiały opublikowano [w]: Klir G.J., red., 1978, Applied General Systems Research, New York, Plenum Press (przyp. red.).

2. Ujęcie systemowe: rola matematyki i jej postęp

Rzeczywista definicja ujęcia systemowego przypuszczalnie musi być ekstensjonalna, wyrażona w kategoriach słów kluczowych, za pomocą których zostało ono przyswojone. Każdy z nas znajdował się pod wpływem prac pionierów, niekiedy pod wpływem ich twierdzeń wyrażonych w postaci jawnej, ale częściej - ich niejawnych metodologii. Impulsem dla mnie była praca Wienera "Jestem matematykiem" /1/, następnie praca Ashby'ego "Wstęp do cybernetyki" /2/, szczególnie zaś jego świetne opracowanie: "Konstrukcja mózgu" /3/, w której wskazuje on na kształtowanie nawyków jako na ogólną własność systemów o wielu stanach równowagi. Później zetknąłem się z pracami von Neumanna z teorii automatów i teorii gier /4/; ważną dla dalszego rozwoju tej dziedziny pracą Bertalanffy'ego /5/, sposobem ujęcia przez Rosena systemów biologicznych /6/ za pomocą pojęć teorii kategorii (w 1958 r., a więc ze znacznym wyprzedzeniem); materiałami sympozjum, w 1963 r. w Case, poświęconym poglądom na ogólną teorię systemów /7/, z inspirującą pracą Zadeha na temat abstrakcyjnego pojęcia stanu /8/; eleganckimi wynikami Kalmana na temat sterowalności/obserwowalności /9/, przedstawionymi na Kongresie IFAC w 1960 r., bardzo ciekawą prezentacją Arbiba powiązań między teorią sterowania a teorią automatów /10/ oraz pracami przeglądowymi, takimi jak McNaughtona: "Teorią automatów" /11/, Gibsona: "Od techniki sterowania do nauki o sterowaniu" /12/ i Zadeha: "Od teorii układów do teorii systemów" /13/.

Literatura ta sprzed 15-20 laty ma bezpośrednie zastosowanie do współczesnych problemów i postaw, przez poznanie znaczenia teorii systemów, jej potencjalnych możliwości wywierania dalekosiężnego wpływu na wszystkie aspekty nauki i techniki.

Z słabości jednak aparatu matematycznego zdawali sobie już sprawę pionierzy, dobrze znany jest wkład Wienera i von Neumanna w opracowanie nowych technik matematycznych. W późniejszych latach wiele wysiłku włożył Ashby w zastosowanie i wyjaśnianie technik algebraicznych, opracowanych przez szkołę Bourbaki. Zadeh już w 1962 r. miał wyraźnie na myśli teorię zbiorów rozmytych. Pisał: "... to właśnie biolog Ludwig von Bertalanffy już dawno temu dostrzegł zasadniczą jedność pojęć i tech-

nik systemowych w rozmaitych dziedzinach nauki oraz w swoich pracach i wykładach starał się pozyskać uznanie dla ogólnej teorii systemów jako odrębnej dyscypliny naukowej. Warto jednakże zauważyć, iż praca Bertalanffy'ego i jego szkoły podjęta głównie w związku z problemami, jakie wynikły w badaniach systemów biologicznych, jest w swej istocie znacznie bardziej empiryczna i poświęcona aspektom jakościowym niż prace tych teoretyków-systemowców, którzy otrzymali wykształcenie w naukach ścisłych. W rzeczywistości istnieje obecnie znaczna rozbieżność między teoretykami w dziedzinie systemów nieożywionych a teoretykami w dziedzinie systemów ożywionych i wcale nie jest pewne, że w niedalekiej przyszłości rozbieżność ta się zmniejszy. Niektórzy uważają, iż ta rozbieżność odzwierciedla zasadniczą nieadekwatność matematyki konwencjonalnej - matematyki ściśle określonych punktów, funkcji, zbiorów, miar prawdopodobieństwa itp. - w odniesieniu do zadań stawianych przez analizę systemów biologicznych. Mając do czynienia z tego rodzaju systemami, potrzebujemy matematyki zupełnie innego rodzaju, matematyki wielkości rozmytych i mglistych, które nie dają się opisywać w kategoriach rozkładów prawdopodobieństw. Potrzeba takiej matematyki staje się coraz bardziej oczywista nawet w dziedzinie systemów nieożywionych" /13/.

Prawie w tym samym czasie, w którym zapoznawałem się z literaturą systemową, w całkiem innym kontekście zajęty byłem przerabianiem modeli psychologicznych Clarka Hulla /15/ oraz Lewina /16/. Bezpośrednio po przejściu z matematyki do psychologii znalazłem się pod wrażeniem całkowitej niestosowności użycia przez Hulla mnożenia siły przyzwyczajeń oraz użycia przez Lewina rachunku wektorowego do przedstawiania pól psychologicznych. Wiele moich prac było bezpośrednim tego wynikiem. Inni naukowcy dali wyraz odczuciu, że potrzebne są bardziej stosowne narzędzia matematyczne. W niedawno wydanej pracy przeglądowej /17/ Kohout cytuje wybitnych uczonych z rozmaitych dziedzin:

- Vachek (1966 r.) w kontekście struktur diachronicznych w lingwistyce: "Istnieje powszechna opinia, że w matematyce nie opracowano jeszcze formalnego aparatu, który pozwoliłby wyrazić, co się dzieje w obrębie zmieniającej się struktury. Jednakże jest rzeczą całkiem niewątpliwą, że pewnego dnia aparat taki stanie się dostępny..." /18/.

- Hartmanis i Stearns (1966 r.) w kontekście teorii automatów: "Wiele wyników tej teorii wykazuje znaczne podobieństwo z wynikami uzyskanymi w algebrze uniwersalnej, a niektóre wyniki dają się oczywiście uzyskać przez uwzględnienie tego podobieństwa. Niemniej potrzeby techniki przemawiają za tym, aby rozwój tej teorii następował swoją własną drogą, co stawia wiele problemów wymagających wynalezienia nowych technik matematycznych, nie mających odpowiedników w rozwoju algebry..." /19/.

- Aizermann (1975 r.) w kontekście teorii sterowania: "... nierozwiązane problemy ... stabilności strukturalnej, stabilności bezwzględnej itp. W takich dziedzinach nie mamy odpowiedzi ... matematyka, która powinna być oparta na innym zbiorze aksjomatów, na innym zbiorze reguł wnioskowania, a nade wszystko na innym pojęciu ścisłości..." /20/.

Te różnice w odniesieniu do wymagań stawianych matematyce przez ogólną teorię systemów, przedstawionych przez wyżej cytowanych autorów w bardzo różnych dyscyplinach, dla których wspólne jest jedynie ujęcie systemowe i matematyka stosowana - można wyraźnie dostrzec w pracach przeglądowych raczej o matematycznej niż teoriosystemowej strukturze. Van der Vaart w swojej pracy o "Roli modeli matematycznych w badaniach biologicznych" /21/ rozważa, jak należy stosować rozmaite równania oraz statystykę w postaci, w jakiej one obecnie istnieją, i w jakim stopniu odpowiadają one potrzebom. Praca przeglądowa Birkhoffa "Matematyka i psychologia" /22/ ma szeroki zasięg i jest inspirująca, lecz fragmentaryczna. Żadne z tych opracowań nie daje integrującej podstawy teoretycznej ani nie domaga się nowych opracowań w matematyce, które stworzyłyby taką podstawę. Birkhoff kładzie akcent na wagę zastosowań dla stymulowania nowych opracowań w matematyce, ale przykłady są wyrażone w kategoriach poszczególnych technik, a nie teorii ogólnych.

Przeciwstawiając ujęcia zawarte w powyższych opracowaniach tym, które spotyka się np. w redagowanej przez Klira pracy zbiorowej: "Kierunki rozwoju ogólnej teorii systemów" /23/, Zeiglera: "Teorii modelowania i symulacji" lub w pracach obecnej konferencji, można sobie wyraźnie uzmysłowić ogromne zaangażowanie ontologiczne ujęcia systemowego. Oczekujemy i poszukujemy podstaw teoretycznych o dużej ogólności w sensie

zasięgu ich zastosowań. Powodzenie jakiejś konkretnej techniki matematycznej cieszy zarówno matematyków, jak i teoriosystemowców, ale dla ogólnej teorii systemów jej znaczenie blednie, jeśli nie może być przykładem aspektów szczególnych teorii globalnej.

Kluczowe pytania są następujące: czy dysponujemy obecnie narzędziami matematycznymi odpowiednimi do stosowanej ogólnej teorii systemów oraz "czy ich używamy". Na pierwsze pytanie odpowiedziałbym "tak", z pewnymi zastrzeżeniami. Opracowania w dziedzinie teorii kategorii /24/, teorii systemów rozmytych /17/, logiki wielowartościowej /26/ i logiki modulnej /27/ dały nam nowe narzędzia o dużej sile i ogólności. Zastrzeżenia wynikają stąd, iż nigdy nie jesteśmy pewni, czy nie ma narzędzi lepszych, które czekają na odkrycie. Odpowiedź na drugie pytanie brzmi "nie", też z zastrzeżeniem. Daleka jest jeszcze droga do pełnego i umiejętnego użycia tych narzędzi.

Ciekawe jest retrospektywne spojrzenie na pracę Dieudonne'a z 1964 r. "Nowe tendencje rozwojowe w matematyce" /28/ i sprawdzenie, jakie kierunki zostały w niej zapowiedziane. Ważne miejsce zajmuje teoria kategorii, ale przeważnie w kontekście homologii. Nie wspomina się o teorii automatów (wzmianka o von Neumannie dotyczy jego pracy o przestrzeniach nieskończeniewymiarowych!). Takie pomijanie teorii automatów jest typowe dla czystej matematyki, co silniej jeszcze podkreśla istotne osiągnięcia Goguena /29/, Arbiba /30/ i Ehriga /31/ w ścisłym zespoleniu teorii automatów i teorii kategorii, dokonanym w ostatnich latach.

Pewne uwagi są zawarte w innych wyżej wspomnianych pracach przeglądowych.

- McNaughton (1961 r.): "Dziedzina zastosowań będzie prawdopodobnie różna: teoria automatów będzie przypuszczalnie przydatna dla konstruowania nowych maszyn i nowych systemów, podczas gdy cybernetyka będzie chyba przydatna dla analizy układu nerwowego zwierząt i bardzo dużych maszyn, jakie się obecnie buduje. Nie widać jednak żadnego powodu, dla którego te dwie teorie nie miałyby się zespolić w jedną, prócz tego, iż jest niewielu naukowców, którzy posiadają biegłość zarówno w logice, jak i statystyce, aby stanowić siłę niezbędną dla dokonania takiego połączenia. Tym samym daje się także objaśnić, dlaczego do tej pory nie opracowano teorii automatów probabilistycznych" /11/.

- Gibson (1965 r.): "Czy technika sterowania w ciągu najbliższych pięciu lat będzie kroczyć tylko po tych ścieżkach, które zostały już poprawnie zdefiniowane? Moim zdaniem, jeśli ograniczymy przedmiot naszej uwagi do tych problemów, które są "poprawnie zdefiniowane" z punktu widzenia matematyki, to włączymy się w proces samowyjałowienia. Powinniśmy kłaść nacisk na nowsze dziedziny, takie jak badanie systemów samoorganizujących się i uczących się oraz przejść do badań w dziedzinach niezbyt jasnych, takich jak sterowanie biologiczne. Musimy dążyć do uogólnień w naszych dziedzinach, prowadząc badania ogólnosystemowe z punktu widzenia technicznego, a nie tylko z punktu widzenia matematycznego ... czy jest możliwe sformułowanie naszej polityki pomocy dla zagranicy jako podstawy dla sterowania ze sprzężeniem zwrotnym?" /12/.

Podczas sesji poświęconej teorii systemów autopojetycznych Maturana i Varela /32/ mogliśmy się przekonać, że sprawdza się pierwsza z wyżej przytoczonych przepowiedni McNaughtona. Jej przedmiotem były: teorioautomatowa konstrukcja sztucznych i naturalnych struktur autopojetycznych, analiza cybernetyczna aspektów teleologicznych zachowania autopojetycznego, wyrażona w kategoriach równoważności behawioralnej, oraz, co ma największe znaczenie dla samej teorii systemów ogólnych, integracja tych dwóch punktów widzenia w jedną całość.

Drugą uwaga McNaughtona dotycząca logiki, statystyki i teorii automatów probabilistycznych wskazuje na to, co niedawno stanowiło strefę słabości. Na przykład Goguen w 1974 r. zauważył, iż "maszyny stochastyczne i niedeterministyczne zdają się być bardzo ubogo wyposażone w wyniki teoretyczne, które mogłyby cieszyć" /33/. Od tego czasu sytuacja znacznie się zmieniła w związku z zastosowaniem teorii złożoności obliczeniowej do problemów identyfikacji systemów ogólnych. Spoglądając wstecz, odnoszę wrażenie, że znaleźliśmy się w pułapce, zasugerowani poglądem statystyka na teorię prawdopodobieństwa (to właśnie oni uczą inżynierów teorii prawdopodobieństwa!). Natomiast o wiele bardziej owocne podstawy logiczne i algebraiczne były niedostatecznie znane, były pomijane zarówno w teorii, jak i w praktyce. Książka Fine'a: "Teoria prawdopodobieństwa" /34/ wyraźnie wpłynęła na połączenia tych podstaw, co umożliwiło powiązanie szerokiego zakresu wyników technicznych i filozoficznych w spójny system /35/. Postęp, jaki się dokonał w tych dziedzi-

nach, zostanie przedstawiony na sesjach poświęconych modelowaniu i złożoności systemów.

Osobiście odnoszę wrażenie, iż teoria obliczeń stochastycznych /36/, którą opracowaliśmy wraz z Poppelbaumem w połowie lat sześćdziesiątych, powinna jeszcze znaleźć swoje miejsce w ogólnej teorii systemów. Podczas gdy opracowania techniczne wynikające z tej teorii miały istotne znaczenie dla szybkich obliczeń analogowych z użyciem elementów cyfrowych /37/, to ich ewentualne następstwa dla modelowania obliczeń prowadzonych na wielką skalę w naukach biologicznych przy dość małej szybkości tych obliczeń z użyciem prostych elementów – nie zostały jeszcze w pełni zbadane. Prace na temat układów nerwowych, nawet z ostatnich czasów (1976 r.) sprawiały wrażenie, że mają na nowo wynaleźć obliczenia stochastyczne /38/. Przypuszczalnie realnym celem na najbliższe dziesięciolecie będzie wprowadzenie systemów niedeterministycznych, probabilistycznych i rozmytych do dziedziny teorii systemów ogólnych z wynikami, które dadzą się porównać pod względem jasności, skuteczności i sfery zastosowań z wynikami uzyskiwanymi obecnie w dziedzinie automatów deterministycznych i systemów liniowych ciągłych. Istotny postęp zauważyć można w kierunku teorii systemów niepewnych.

Wracając do uwag Gibsona można powiedzieć, iż były naprawdę prorocze w odniesieniu do dziesięciolecia, jakie nastąpiło: sztuczna inteligencja sama stała się ważną nową dyscypliną, zastosowania biologiczne teorii sterowania, zarówno kliniczne, jak i modelowe, okazały się płodne. Uniwersyteckie wydziały techniki sterowania rozwinęły się w wydziały techniki systemowej oraz wniosły istotny wkład w rozwój nauk ekonomicznych i nauki o zarządzaniu.

3. Ujęcie systemowe: definicja intensjonalna

Przypuszczalnie nie jest trudno osiągnąć zgodę co do tego, w jakiej pracy zostało zastosowane ujęcie systemowe, a w jakiej nie, definicja ekstensjonalna jest w miarę prosta. Jednakże nie tylko wątpię, czy udałoby się osiągnąć taką zgodę w odniesieniu do definicji intensjonalnej, ale wyrażam opinię, iż jest to właśnie organiczna i ważna cecha ogólnej teorii systemów.

Były podejmowane próby podania definicji intensjonalnej ogólnej teorii systemów. Rozwinę tu myśl w kategoriach bardzo jasnej definicji podanej przez Klira w jego przedmowie do "Pewnego ujęcia ogólnej teorii systemów" /39/. To, co zamierzam uczynić, polega na umotywowaniu tezy, że zasadniczo ogólna teoria systemów znajduje się w stanie dynamicznego napięcia, jest raczej metodą dialektyczną niż dyscypliną, przy czym jej główną cechą charakterystyczną jest swoboda, z jaką asymiluje zmiany na wszystkich poziomach swojej struktury.

Klir podaje sześć wymagań w odniesieniu do ogólnej teorii systemów:

(A) Teoria ta musi być oparta na precyzyjnie zdefiniowanych pojęciach. Pojęcia mgliste nie są akceptowane. Biorąc pod uwagę znaczenie pionierskiego ataku Zadeha /40/ na przesadną precyzyjność w nauce o systemach, przytoczone wyżej stwierdzenie wymaga wyjaśnienia. Klir miał chyba na myśli metafizyczne i lingwistyczne sformułowania, na przykład w pewnych partiach literatury cybernetycznej. Obecnie możemy dostrzec, iż nie jest właściwe przypisywanie tych cech głównie brakowi precyzji. W rzeczywistości bowiem taki sam brak umiaru występuje w postaci nieuzasadnionej, nadmiernej precyzyjności w znacznej części nauki klasycznej: zjawisko gorsze z uwagi na wpływ, jaki wywiera, ponieważ problemy, które rodzi, nie są oczywiste, a ujęcie uchodzi za nieskazitelne pod względem naukowym.

Widzimy tu heglowską dialektykę w działaniu. Teza (Klir): brak precyzji prowadzi do niedbalstwa w myśleniu - bądź precyzyjny! Antyteza (Zadeh): nadmierna precyzja prowadzi do złożonych, pozbawionych treści teorii - używaj właściwego poziomu precyzji! Należy zauważyć, iż syntezą nie jest, jak sugerowano w literaturze, rozmyte rozumowanie jako ścisłe przedstawienie mglistości. Jest to pierwszy krok odwrotu, a nie synteza, stajemy bowiem wobec problemu sztucznej precyzji na metapoziomie, podczas gdy trudności pozostają nieprzezwyciężone. Nie, syntezą jest raczej dopasowanie dopuszczalnych wzorców rozumowania do istoty danego problemu. (W szczególności nie należy wtłaczać wszystkich dziedzin problemowych w Prokrustowe łoże klasycznego rachunku zdań!).

Jest właśnie istotą ujęcia systemowego, iż możemy zaakceptować ten pierwszy postulat Klira w duchu zamierzonym. Nie czynić z niego dogmatu, a jednocześnie opracować aparat pozwalający radzić sobie z brakiem

precyzji i mglistością. To, co mogłoby się okazać dogmatyczne, staje się źródłem dynamicznego napięcia: czy w każdym poszczególnym badaniu nie wznosimy z jednej strony sztucznych tworów nadmiernej precyzyjności lub z drugiej - czy nie wykazujemy lenistwa umysłowego, nie wyjaśniając naszego aparatu pojęciowego. Co gorsze, czy nie dokonujemy równocześnie jednego i drugiego.

(B) Nie należy nakładać żadnych ograniczeń na zastosowanie teorii, z wyjątkiem systemów o nieskończonej liczbie wielkości lub nieskończonej liczbie elementów. Konkretniej, teoria musi dać się zastosować w nauce doświadczalnej, w technice, w dyscyplinach formalnych, a także w takich dziedzinach specjalnych jak historia.

To jest właśnie myślą przewodnią teorii systemów i cybernetyki, w postaci wyrażonej przez głównych twórców tych dziedzin. Żadnych ograniczeń! - von Neumann był równie dobrze obznajmiony z wartościami komputera ENIAC, jak z matematyką geometrii ciągłej, biologią reprodukcji komórkowej, ekonomiką wolnego rynku itp. Wiener w swojej definicji cybernetyki akcentował jedność człowieka i maszyny w ramach tej dziedziny. Dominującym przedmiotem zainteresowań Bertalanffy'ego były spójne analogie leżące u podstaw wszystkich nauk. Szerokość zastosowań ogólnej teorii systemów nie poddaje się rozgraniczaniu. A także jej głębokość: bez sztucznych zabiegów i w ramach tej samej pracy pionierzy i późniejsi autorzy przenoszą się z poziomów abstrakcji filozoficznej na poziomy konkretnych szczegółów fizycznych i anatomicznych.

W tej pełnej swobodzie ruchu intelektualnego tkwią też niebezpieczeństwa: sztuczności, zaciemniania, posuwania analogii zbyt daleko. Są to rzeczywiste niebezpieczeństwa, można by podać wiele przykładów z literatury. Jednakże, i chyba jest to jeszcze jednym znamieniem postępu, znajomość ujęcia ogólnosystemowego i jego zastosowań jest obecnie szeroko rozpowszechniona, na przekór tym oczywistym niebezpieczeństwom.

Istnieje pewien nurt uboczny w tym drugim postulacie Klira, który zasługuje na uwagę. Jeszcze raz zaznacza różnicę między matematyką samą w sobie, także matematyką stosowaną, a ogólną teorią systemów. Jest to rozróżnienie ontologiczne, polegające na tym, że ogólna teoria systemów dostarcza nie tylko technik, lecz również modeli. Żadne "rzeczywi-

ste" obserwacje lub konstrukcje nie obejmują nieskończonej liczby elementów. Stąd systemy o nieskończonej liczbie elementów nie muszą być objęte tą teorią. Brak ograniczeń rozciąga się na dziedzinę rzeczywistości fizycznej, ale nie na dziedzinę wyobraźni matematycznej.

Można zrozumieć wagę tego argumentu dla tych, którzy zajmują się ogólną teorią systemów, orientacja na zastosowania i na rzeczywistość jest właśnie tym, co sprawia, iż jest to dyscyplina różna od matematyki. Położono wyraźny nacisk raczej na teorię systemów dyskretnych, na przykład na automaty, niż na teorię systemów ciągłych. Jednakże również i tu występuje pewne źródło dynamicznego napięcia: czym jest rzeczywistość, w jaki sposób można odróżnić to, co jest wyimaginowane, od tego, co jest rzeczywiste. Czy pojęcie nieskończoności nie wynikło w sposób naturalny z prostych i ścisłych aksjomatów? Jest oczywiste, iż pojęcie "potencjalnie nieskończonego", czyli nieskończenie rozszerzalnego, powstało w ten sposób, itp.

Również i tu nie ma dogmatu, nakaz wynika z postawy, ale jest zaakceptowane jako idea przewodnia dla filozofii, która leży u podstaw tej teorii. Zaczyna się dostrzegać metodologię rozprzestrzeniającą się w ujęciu systemowym: "przeciwieństwo każdego ważnego stwierdzenia jest także ważne - synteza danego stwierdzenia i jego przeciwieństwa ma większe znaczenie niż każde z nich z osobna".

Ilustruje to trzecie wymaganie Klira:

(C) Teoria podstawowa powinna być wspólna zarówno dla systemów dyskretnych, jak i ciągłych, nawet jeśli poszczególne procedury muszą być opracowane oddzielnie dla każdej z tych klas systemów.

Okazało się to płodne i było źródłem opracowań systemowych, na przykład w postaci prac Wymore'a /41/, /98/, jednak do tej pory nie uzyskano podstawowej syntezy systemów dyskretnych i ciągłych. Jak dotąd zasadniczy postęp dokonał się raczej w matematyce, na przykład w postaci analizy niestandardowej Robinsona /42/, niż w ogólnej teorii systemów. Być może w czasie następnej konferencji, będziemy mieli odpowiednią teorię automatów niestandardowych, w której zostanie zawarta prawdziwa synteza. Mimo różnicy w filozofii i celach postęp ogólnej teorii systemów jest w dużym stopniu zależny od rozwoju matematyki.

(D) Teoria ta musi dać się zastosować zarówno do opisu własności systemowych, jak i do rozwiązywania problemów systemowych, czyli musi dać się zastosować zarówno jej aspekt opisowy, jak i operacyjny.

Jest to oś wiążąca opis z przepisem, wzajemne oddziaływanie pomiędzy identyfikacją a sterowaniem, pomiędzy nauką a techniką, które w ciągu długiego czasu było źródłem dynamicznego napięcia. A więc jest dezyderatem, aby adekwatna teoria systemów odpowiadała obu tym wymaganiom. Jest to jednak również taki problem systemowy, którego rozwiązanie w rzeczywistości nigdy nie jest osiągalne. Każdy taki problem bowiem wiąże się z innym, musimy identyfikować, aby sterować oraz musimy sterować, aby identyfikować.

(E) Powinno być możliwe formułowanie za pomocą ogólnej teorii systemów wszystkich problemów, jakie dotyczą systemów. Problemy te muszą albo dać się rozwiązać, albo musi być możliwe dowiedzenie, iż nie dają się one rozwiązać.

Są tu wyrażone dwa wymagania tego ujęcia. Po pierwsze, teoria systemów ogólnych musi zawierać swój własny metajęzyk, nie może być żadnej innej dyscypliny nie zawartej w tej teorii, która mówiłaby o niej więcej niż ona sama. Nie ma żadnej części tej teorii, która sama nie podlegałaby analizie, kwestionowaniu i badaniu, jest ona organicznie rekurencyjna. Już przedtem obszernie przedstawiłem, że to właśnie jest ważnym źródłem ciągłego postępu.

Po drugie, teorię tę należy formułować w taki sposób, aby była rozstrzygalna lub nierozstrzygalnie rozstrzygalna. Można to chyba uważać za bardziej stosowne sformułowanie pierwszego nakazu Klira, które odnosi się do mglistości. Przy szerokim potencjalnym zasięgu teorii systemów potrzebne są kryteria określające istotność treści: rozstrzygalność lub raczej podatność poszczególnej teorii na badanie jej rozstrzygalności, w celu dostarczenia odpowiedniego kryterium, które z kolei również podlega badaniom ogólnosystemowym.

(F) Nie jest potrzebna klasyfikacja a priori wielkości systemowych na wejściowe i wyjściowe. Ta klasyfikacja (jeśli w ogóle jest możliwa) musi na ogół wynikać z innych cech systemu.

Jest to jeszcze jedno wyrażenie wymagania ogólności i braku uprze-

dzeń tak charakterystycznych dla ujęcia systemowego. Jest ono istotne, choć specyficzne, gdyż charakteryzuje sposób, w jaki myślenie systemowe dąży do przełamywania nie tylko sztucznych barier pomiędzy dziedzinami przedmiotowymi, lecz również eliminowania tego, co przez wielu praktyków jest traktowane jako podstawowe cechy wyróżniające. Jednakże przełamywanie barier nie jest niszczącą analizą Hume'owskiego sceptyka, lecz raczej konstruktywnym rozwinięciem rozumowania matematycznego, w którym wielkości stałe stają się zmiennymi. Nie niszczymy cech wyróżniających, lecz raczej staramy się je określić. Nie objawiamy ich, lecz raczej próbujemy analizować, jakie miałoby to następstwa.

Ufam, iż te wariacje na temat Klira posłużą nam do przypomnienia istoty ujęcia systemowego oraz właściwego dla niego zakresu postępu. Samo to ujęcie nie jest nowe, można znaleźć jego przykłady w całej pisanej historii. Jest widoczne w pracach Arystotelesa (jeśli nie w pracach jego późniejszych uczniów!), Leonarda da Vinci, Eddingtona itp. To, co jest charakterystyczne dla naszej epoki, nie sprowadza się do czynników intelektualnych, lecz raczej do obecnie dostępnej techniki. Mamy komputery, a ci, którzy byli przed nami, ich nie posiadali. Ogromne zafascynowanie komputerami u pionierów ogólnej teorii systemów i cybernetyki nie jest przypadkowe. To, co jest podatne, użyteczne, a stąd i przydatne w teoriach matematycznych, uległo od 1945 r. poszerzeniu o nowe wartości, chociaż nie zostało jeszcze zdefiniowane w sposób poprawny. Dzięki naszej intelektualnej symbiozie z komputerem mamy taki zakres zastosowań, badań, a zatem i możliwości rozwijania teorii systemów, jaki w innym razie byłby całkiem niemożliwy.

4. Teoria systemów i nauki biologiczne

Dokonanie w ramach jednego referatu przeglądu całokształtu postępu osiągniętego w badaniach ogólnosystemowych jest zadaniem niemożliwym. Skupię się więc na zastosowaniach w naukach biologicznych, zarówno dlatego, iż zostały one uznane przez pionierów jako wyjątkowo ważne, jak i dlatego, iż dokonał się w nich postęp mający tak istotne znaczenie dla naszej epoki, dla zrozumienia samych siebie i naszych instytucji społecznych.

Przyjmę tu może nieco dziwną postawę, gdyż nie będę się zajmował pracami, które odegrały zasadniczą rolę w rozwoju ogólnej teorii systemów. Takie przykłady, jak prace Bertalanffy'ego, które przyczyniły się do rozwoju psychiatrii, są już należycie udokumentowane /43/, a obecny stan rozwoju w dziedzinie zastosowań biologicznych i społecznych zostanie ujęty szczegółowo przez innych. Podam natomiast przykłady świadczące o zakresie, w jakim ujęcie systemowe przyczyniło się do osiągnięcia postępów w naukach biologicznych i społecznych. Obecnie ma jedynie historyczne znaczenie, kto lub co ponosi "odpowiedzialność" za przeniknięcie ogólnej teorii systemów do tych nauk. Ruch ogólnosystemowy zarówno wywierał wpływ na wydarzenia, jak i znajdował się pod ich wpływem: pionierzy byli zarówno przywódcami, jak i stronnikami, wrażliwymi na ducha epoki i na otwierające się nowe możliwości. Rzadko możemy być bogami zmieniającymi kształt świata. Umiejętnością, która się liczy, jest przewidywanie: być pierwszym, który przewidział i zrozumiał to, co ma nadejść.

4.1. Genetyka, przypadek i konieczność

Prace rozwojowe w biologii molekularnej i ich wpływ na genetykę stanowią bardzo ważny, współczesny przykład interakcji ujęcia systemowego w ramach pewnej specjalistycznej dyscypliny naukowej. Pierwotnego odkrycia mechanizmu i kodu genetycznego nie można uważać za specyficznie teoriosystemowe. Jednakże argumenty Monoda przytoczone w jego pracy "Le Hasard et la Necéssité" /44/ są przykładem charakterystycznej roli myślenia systemowego w pokonywaniu dystansu między postępem osiągniętym w określonej dyscyplinie a jego implikacjami dla wielu dziedzin poza tą dyscypliną.

Sam Monod nie życzy sobie jednak, aby go wiązano z teorią systemów, zwłaszcza zaś z ogólną teorią systemów: "Za całkowicie jałową uważam na przykład postawę Bertalanffy'ego, który od lat obnosi się wszędzie z twierdzeniem, iż cała nauka analityczna i biologia molekularna w istocie rzeczy nie prowadziły do żadnych ciekawych wyników; trzeba mówić kategoriami ogólnej teorii systemów... Nie może być niczego takiego, jak ogólna teoria systemów, to jest niemożliwe. Lub gdyby nawet coś takiego istniało, byłoby ono pozbawione treści" /45/.

Jeśli zna się to stwierdzenie, to jakie usprawiedliwienie można by znaleźć dla opinii, iż w pracy Monoda jest zawarte ujęcie teoriosystemowe? Istotnym wszakże wymiarem jest wyraźny łańcuch logiczny, od precyzyjnego mechanizmu atomowego, poprzez ewolucję życia, do natury świadomości. Jest to wymiar głębi, gotowości do uzyskiwania wyjaśnień dla wyjaśnień, wznoszenia struktur wyższego rzędu, których elementami są też struktury. W ujęciu systemowym używa się interpolacji matematycznej przy przechodzeniu od aksjomatów do twierdzeń, ale poza matematykę wychodzi się pytając, skąd biorą się aksjomaty i dokąd prowadzą twierdzenia.

Drugim wymiarem w pracy Monoda jest jej zupełność, gdyż znajduje miejsce zarówno dla fizyki, jak i dla natury ludzkiej. Jest to wymiar szerokości: gotowość do znajdowania naturalnej niszy dla zjawisk nieporównywalnych pod względem wymiarowym, fizycznym, epistemologicznym itp. Właśnie to spekulatywne przechodzenie od biologii molekularnej do filozofii życia stanowiło przedmiot szerokiej krytyki pracy Monoda /45/. Jest ciekawe, że znaczna część tej nietechnicznej krytyki dotyczy wyraźnie ograniczających aspektów jego pracy. Chiari /47/ w zasadzie nie utrzymuje, iż struktura pracy Monoda jest zła, ale że jest w niej miejsce dla Boga, i w tym ma rację. Właściwym argumentem byłoby, iż Wszechświat może być organizacyjnie zupełny również bez udziału Teilharda de Chardin, ale jest też miejsce dla niego i dla jego rozumowania.

Ujęcie Monoda nie jest redukcjonistyczne: całość jest daleko większa niż suma jej części, nie jest też witalistyczne: mamy logiczne i spójne wyjaśnienie całości bez uciekania się do dodatkowych czynników "magicznych", celu ani nie odrzuca się jako fikcji, ani nie przyjmuje jako czynnika działania przyczynowego: ma on swoje naturalne miejsce i rolę. Nie jest to równoznaczne z twierdzeniem, iż ujęcie systemowe musi być wszechogarniające. Praca Monoda nie stałaby się lepszą ilustracją przez to, że znalazłby ucieczkę w Bogu. Można osiągnąć organizacyjną zupełność, rozsądny stopień domkniętości, nie będąc zmuszonym do rozwijania wszelkich możliwych dziedzin.

Co więc Monod ma do zarzucenia ogólnej teorii systemów? Cytat z Bertalanffy'ego rzuca na to pewne światło: "Ogólna teoria systemów byłaby ścisłą doktryną całościowości jako "czysta nauka przyrodnicza...,

to znaczy, jest hipotetyczno-dedukcyjnym systemem tych zasad, które wynikają z definicji systemu i są skutkiem wprowadzenia warunków mniej lub bardziej szczególnych. W tym znaczeniu teoria systemów jest aprioryczna i niezależna od jej interpretacji w kategoriach zjawisk empirycznych, ale daje się ona zastosować do wszelkich empirycznych dziedzin, zajmujących się systemami. Jej pozycja jest podobna na przykład do pozycji zajmowanej przez teorię prawdopodobieństwa, która sama jest formalną doktryną matematyczną, ale daje się ona zastosować, drogą empirycznej interpretacji jej pojęć, do rozmaitych dziedzin..." /48/.

Właśnie pojęcie bycia ogólną teorią systemów jest na pewno przyczyną sprzeciwu. Wiele prac o kierunku biologicznym zajmuje pozycje i postawy bardzo przypominające postawę Monoda. Nie ma jednak żadnej ogólnej teorii systemów, która stanowiłaby podstawę do tych wszystkich prac, tym, co jest dla nich wspólne, jest właśnie ujęcie systemowe. Czy więc Bertalanffy nie miał racji mówiąc o ogólnej teorii systemów, czy my wszyscy nie mamy racji? Oto analogia: Rycerze Okrągłego Stołu króla Artura dokonywali wiele wspaniałych i zdumiewających czynów w poszukiwaniu Świętego Graala, chociaż nigdy go nie znaleźli! Gdy się odczuwa potrzebę więzów zespalających, metodologii o znaczeniu podstawowym, ujęcia ogólnego, wówczas szuka się pewnych wspólnych wzorców myślowych, wspartych przez podstawowy dla nich język o ogólnym zastosowaniu, i tym jest właśnie ogólna teoria systemów. Ona nie musi istnieć, cel jakim jest jej poszukiwanie, może okazać się jednak bardzo płodny.

Wybrałem dla ilustracji pracę Monoda z powodu jego wielkiej antypatii do ogólnej teorii systemów. Twierdzę, iż ujęcie systemowe szeroko się rozprzestrzenia nie tylko z powodu prowadzonych badań systemowych, ale często na przekór nim. Praca Monoda jest przykładem ujęcia systemowego w najlepszym tego pojęcia znaczeniu. Używa on argumentów, które przedtem zostały już sformułowane w kontekście biocybernetyki, jednakże chce zaprzeczyć stosowalności teorii systemów. Odnoszę wrażenie, że linia jego rozumowania jest właściwa i bardzo ważna, że jego teoria rozwija się, wychodząc organicznie ze specjalistycznej dziedziny genetyki, a nie jest wynikiem metodologii zewnętrznej, narzuconej spoza genetyki. Z drugiej strony odnoszę wrażenie, iż dokładne odczytanie Bertalanffy'ego

pokazałoby, że nie poddawał on krytyce tej linii rozumowania, wręcz odwrotnie. Monod widzi tylko rolę normatywną ogólnej teorii systemów i czuje się urażony przez tę normatywność: "powinieneś osiągnąć większy postęp stosując tę metodologię". To, o czym mówi Bertalanffy, ma przeważnie charakter predykcyjny, "ten typ ujęcia prowadzi do szybszego postępu, opanowujmy go więc i korzystajmy z niego".

Postawa normatywna w intelektualnych poszukiwaniach rzadko bywa płodna, co już odkryli zarówno Sokrates, jak i Galileusz. Newton tym się nie przejmował i kontynuował nauczanie starego systemu kopernikańskiego w ciągu długiego okresu po opracowaniu przez siebie teorii ciążenia powszechnego. Przytoczony przeze mnie cytat z pracy Bertalanffy'ego i ten pierwszy obszerny cytat z pracy Klira pokazują, iż obaj oni rozważali, czym mogłaby być teoria systemów. Jeśli szukamy, to skąd mamy wiedzeć czego szukamy? Jeśli osiągamy, to jak mamy rozpoznać, iż właśnie osiągnęliśmy to, czego szukaliśmy. Gdy zaczyna się odpowiadać na pytania, odpowiedzi stają się przedmiotem badań, ilustracji i krytyki. Odpowiedzi mogą być błędne, ale sam dowód tego jest źródłem postępu.

4.2. Pozytywizm i ogólna teoria systemów

Istnieje pewien aspekt ogólnej teorii systemów, zgodnie z którym można ją traktować jako naturalną spadkobierczynię pozytywizmu logicznego. Jest oczywiście możliwe ujęcie teorii systemów na sposób pozytywistyczny, jako nauki nauk, co stanowiło punkt wyjścia dla wielu spośród nas, dając początkowy impuls zainteresowaniu ogólną teorią systemów. Położenie nacisku na ścisłe podstawy matematyczne, operacjonalizm, jednakowe możliwości zastosowania do nauk fizycznych i biologicznych, rolę zarówno czystej teorii, jak i praktycznego narzędzia - wszystko to jest ważne i atrakcyjne oraz stanowi wyraźne dziedzictwo pozytywizmu /49/.

Rzecz jasna, jako nauka nauk ogólna teoria systemów jest naturalnym rozwinięciem pozytywizmu. Z tego względu, zwłaszcza w zastosowaniu do nauk biologicznych, musi ona liczyć się z krytyką ze strony tych, którzy atakowali pozytywizm. Pragnę jednak wyrazić opinię, że chociaż ogólna teoria systemów jest spadkobierczynią pozytywizmu i zawiera go w sobie, to wychodzi także poza pozytywizm w sposób stanowiący właśnie reakcję

i zarazem odpowiedź na tego rodzaju krytykę.

Giedymin w swoim eseju "Antypozytywizm we współczesnej filozofii nauk społecznych i humanistycznych" /50/ wyróżnia sześć niezależnych aspektów pozytywizmu:

(a) utożsamianie wiedzy z nauką (przyrodniczą i społeczną) oraz matematyką, z wykluczeniem innych dziedzin, np. etyki;

(b) empirycyzm w skrajnej postaci fenomenalizmu lub fizykalizmu, czyli redukowanie nauki do stwierdzeń o bezpośrednio obserwowalnych faktach oraz wyeliminowanie jako pozbawionego znaczenia każdego zdania, które nie jest ani analityczne, ani empiryczne, np. metafizyki;

(c) redukcja filozofii do logiki nauki (filozofii nauki) i matematyki;

(d) naturalizm metodologiczny (naturalistyczny monizm metodologiczny), czyli pogląd, iż nauki społeczne, a nawet humanistyczne, mają zasadniczo takie same cele i metody jak nauki przyrodnicze;

(e) relatywizm socjologiczny w odniesieniu do norm, zwłaszcza norm etycznych;

(f) położenie akcentu na społeczną wartość nauki i jej zastosowania praktyczne.

Czytając po kolei każdy z tych punktów, nie zauważa się, że ogólna teoria systemów wykracza poza pozytywizm, akceptując wszystkie te ważne i znaczące stwierdzenia, ale nie przypisując żadnemu z nich prawdziwości. Możemy opracować system, pewną możliwą dziedzinę należącą do nauk fizycznych, a przy tym zupełną i taką, iż pojęcie etyki nie ma w niej znaczenia. Taki system jest ważny. Jest to system elementalistyczny, uzyskany w wyniku oczyszczenia rzeczywistej nauki z jej materiału surowego i postępu. Można jednakże dodać do tego systemu system etyczny, na przykład sądy wartościujące kierunki badań, oraz badać zgodność i dynamikę systemu wynikowego itp. Odwrotnie, możemy opracowywać systemy etyczne, elementalistyczne same w sobie. Możemy również przyjąć etykę wyrażoną w pewnej postaci oraz próbować, nie zmieniając tej postaci, osadzić ją w systemie, który przedstawia ją w sposób ścisły i zwięzły. Czyniąc tak, może udać się utworzyć nowe narzędzia matematyczne i nowe teorie systemów.

Samo wykluczenie czynników nieoperacyjnych jako metafizycznych jest

konstrukcją teoriosystemową. Teorii systemów można użyć do logicznego, precyzyjnego i pełnego analizowania implikacji takiej postawy filozoficznej. Z drugiej strony, możliwy jest także teoriosystemowy rozrachunek z metafizyką, który nie wiąże się z przyjęciem takiej postawy.

Ostatecznie należy uznać, że transcendencja ta pochodzi z rosnącej ogólności, to, co było kiedyś zasadą lub dogmatem staje się elementem zmiennym, poddawanym badaniom. Jego status jako zasady lub dogmatu, wartych przestrzegania, sprawia, że elementy te stają się warte zmiany. Jednakże uogólnianie często uważa się za czynność bierną, za rozszerzenie definicji lub osłabienie ograniczeń. Stanowczo się temu przeciwstawiałem wyrażając opinię, że jest inaczej, że jest ono dialektyczne w swej naturze, obejmując tezę, antytezę i syntezę, uogólnienie w tym znaczeniu wykracza poza przesłanki, z których bierze początek.

Wyszczególnione wyżej cechy, przytoczone przez Giedymina, stanowią ilustrację ujęcia teoriosystemowego: sześć niezależnych decyzji binarnych prowadzi do 63 odmian pozytywizmu, badanie każdej z tych odmian i związków między nimi oczywiście wykracza tak poza pozytywizm, jak i antypozytywizm.

Przekonywającą historią przypadku takiej transcedencji w działaniu jest dyskusja Adorno-Popper i jej kontynuacja, opublikowane jako "Pozytywistyczna dysputa niemieckiej socjologii" /51/. To, co miało być konfrontacją między pozytywizmem a krytycznym racjonalizmem, faktycznie nastąpiło zbyt późno i uczestnicy są rozczarowani stwierdziwszy, iż tak trudno osiągnąć niezgodność w sprawach istotnych. W przedstawianiu argumentów obserwuje się tendencję do zrzucania odpowiedzialności na niezgodność terminologii, brak jasności i uzgodnionego, wspólnego języka, za rozmytość w domniemanej dyspucie. Dla obserwatora z zewnątrz przyjęte postawy zdają się następujące: położenie akcentu na różniące się między sobą aspekty tej samej spójnej całości.

Wspominam tu o tej szczególnej dyskusji, ponieważ odnoszę wrażenie, iż ma ona ważne znaczenie dla ruchu ogólnosystemowego. Poprzedziła ona nowszą dyskusję w niemieckiej socjologii między Luhmannem a Habermasem /52/ na temat roli, jaką teoria systemów odgrywa w socjologii. Jest jednak jasne, iż to, co poddano krytyce w teorii systemów, podobnie jak

w krytyce pozytywizmu, jest bardzo wąską interpretacją tej metodologii. Krytyczny racjonalizm Szkoły Frankfurckiej /53/ ma do odegrania istotną rolę w teorii systemów, z którą wielu spośród nas zapoznawało się pośrednio poprzez nasze badania w poszczególnych dziedzinach. Na przykład doświadczenia i prace Paska /54/ zawsze wyraźnie pokazują kontrast między społeczeństwem, w którym próbuje się narzucać politykę za pomocą manipulowania zachowaniem, układów bodziec-reakcja i nagroda-kara, a społeczeństwem, w którym generuje się to samo zachowanie przez prezentowanie logiki sytuacji jego członkom tak, aby z własnej woli postępowali w żądany sposób.

Pask badał i pokazywał w zautomatyzowanych systemach nauczających zarówno techniczno-poznawcze (używając terminologii Habermasa /55/) podejście do nauczania, w którym uczący się jest obiektem behawioralnym, podlegającym manipulowaniu, jak i podejście emancypacyjno-poznawcze, w którym struktury można ujawniać uczącemu się jako równorzędnemu partnerowi. Pask kładł nacisk na wielopoziomowy charakter procesu nauczania i szkolenia oraz wykazał ważne znaczenie jego wyższych poziomów. Wielu spośród tych, którzy uczestniczyli w rozwoju ogólnej teorii systemu i cybernetyki, opracowało zastosowania tych teorii do procesów nauczania. W ciągu ostatnich 20 lat byliśmy świadkami przenoszenia się punktu ciężkości z "nauczania programowego" i "maszyn nauczających" na "uczenie się wsparte przez komputer" oraz "nauczanie sterowane przez uczącego się". To przenoszenie akcentu ze sterowania na uczestnictwo ma swoje podstawy techniczne w teorii systemów, ale jego podstawy psychospołeczne są najjaśniej wyrażone w pracy Szkoły Frankfurckiej.

Ostatnio Melville wyraził opinię, że ważna cecha q-analizy spójności systemu opracowanej przez Atkina /56/ polega na tym, że nie podaje technicznego rozwiązania problemu, lecz raczej pewien plan poznawczy, umożliwiający emancypację poznania /57/. Innym frapującym przykładem z ostatnich czasów jest praca psychoterapeutyczna Mulhalla, w której pacjentom mającym kłopoty wynikające ze związków międzyosobniczych przedstawia grafy (w zasadzie wykresy przejść między stanami), pokazujące oczekiwane wzorce zachowania, oparte na ich własnym zachowaniu, oraz reakcje drugiej osoby na rozmaite sytuacje /58/. Taka prezentacja

informacji bez jakiejkolwiek innej terapii okazuje się w wielu przypadkach wystarczająca, aby spowodować przekształcenie zachowania, niezbędne do uzyskania poprawy.

5. Przykład negatywny: czas

Uwydatnienie pewnych ważnych zjawisk często następuje na mocy kontrastu, świadomość rzeczywistego postępu w wielu dziedzinach pogłębia się przez porównanie z całkowitym brakiem postępu w innych dziedzinach. Klasą problemów o fundamentalnym znaczeniu, które do tej pory nie zostały w sposób odpowiedni potraktowane w teorii systemów, są problemy czasu. Istnieje wiele książek na temat czasu w fizyce, w filozofii, psychologii itp. /59-61/, ale przedstawiają one sądy fragmentaryczne i odosobnione. Brak jest ujęcia systemowego, chociaż bardzo obszerny zakres dziedzin przedmiotowych, które uważane są za powołane do uczestnictwa w badaniach problemów czasu, wyraźnie wskazuje, iż jest tu wymagane ujęcie systemowe.

Podczas gdy modele kosmologiczne Ryle'a i Hoyle'a stanowią przykład myślenia systemowego w najlepszym jego wydaniu, to dające się z nimi porównać prace na temat czasu stawiają jeszcze niepewne kroki na poziomie szczegółowości, który jest zbyt niski, aby pozwolił uzyskać rozwiązania. Godny uwagi zbiór artykułów i materiałów z dyskusji, wydany pod redakcją Golda /62/, jest fascynującą lekturą, a także jest ciekawy jako przypadek badania nauki w rozwoju, zwłaszcza pouczające są szczegółowe relacje z sesji dyskusyjnych. Jednak jest całkiem jasne, iż zawiera sformułowania problemów, a nie rozwiązania. Jest oczywiste, iż brak struktury dla jasnego przedstawienia wielu problemów stanowi zasadniczy element objaśniający brak rozwiązań. Głębia tych podstawowych zagadnień jest widoczna raczej w filozoficznych niż fizycznych badaniach problemu czasu /63/.

Czym więc są problemy czasu? Pozwolę sobie sformułować tylko jeden taki problem. Dlaczego zegary wskazują ten sam czas? Rozmaitość urządzeń służących do mierzenia czasu jest zdumiewająca. Co mają ze sobą wspólnego paląca się świeca, wahadło i rozpadający się atom? Odp

wiedź brzmi: nic, oprócz czasu!

Gdyby ktoś chciał rozwiązać ten prosty problem, znalazłby się w królestwie tautologii (wahadła pokazują czas, ponieważ znajdują się w stacjonarnym polu grawitacyjnym, czyli w polu wywierającym stałą siłę na bezwładną masę, czyli w takim, w którym wahadła wskazują czas), nie powiązanych ze sobą nauk (reakcje chemiczne będą zachodziły z taką samą szybkością bez względu na siły grawitacyjne; co mają ze sobą wspólnego drgania spowodowane przez siły wewnątrzatomowe z drganiami wymuszonymi przez siły grawitacyjne?) oraz wśród największych myślicieli wszystkich czasów.

Jeśli znajdziecie odpowiedź teoriosystemową, która wskazuje, iż wszystko jest zamknięte w obrębie czasu, to objaśnijcie fakt, dlaczego systemy rzeczywiste nie dotrzymują sobie wzajemnie kroku. Jeśli właśnie to zostało przez was dokładnie przewidziane, to objaśnijcie ścisły związek między czasem grawitacyjnym i radiacyjnym. I tak dalej.

Mam nadzieję, iż przykład ten wyraźnie wskazuje, że w niektórych dziedzinach (o znaczeniu fundamentalnym dla teorii systemów) nie ma żadnego postępu. Poza tym pozwólcie, iż zaproponuję postawienie problemu czasu jako otwarte wyzwanie dla następnej konferencji poświęconej stosowanym badaniom ogólnosystemowym (Applied General Systems Research). Jeśli nie będzie sesji poświęconej problemom czasu, to sądzę, iż nie będzie również referatu na temat postępu w badaniach ogólnosystemowych!

6. Rubieże

Przeglądając ten tekst stwierdzam z przyjemnością, iż pozostawia on wszystko raczej w większym zamieszaniu i zagmatwaniu, niż to się wydawało, zanim przystąpiłem do jego opracowywania. Ogólna teoria systemów jest niewygodną dziedziną pracy, nie dającą dobrego samopoczucia, a jeśli się tego nie odczuwa, to przypuszczalnie pracuje się w jakiejś innej dziedzinie. Filozofia jest pod tym względem podobną dziedziną, jednak różnica polega na tym, iż od filozofów nie oczekuje się wykonania jakichś konkretnych rzeczy, na pewno nie takich, które funkcjonują. Ogólna teoria systemów jest pewną postacią inżynierii filozoficznej.

Jednym ze źródeł takiego złego samopoczucia jest stan nauk fizycznych. Podstawy fizyki cząstek, kosmologii, grawitacji, elektromagnetyzmu itp. są co najmniej tak chwiejne, jak były przed 20 laty /64/. Nie należy dać się okpić przez wmawianie, iż mechanika kwantowa skończyła się już właśnie dlatego, że o niej tyle powiedziano. Są to fundamentalne problemy teoriosystemowe w fizyce i wiele "rubieży" wymaga jeszcze zbadania /65-67/. Czasami zastanawiam się, czy nasze obecne skoncentrowanie uwagi na naukach biologicznych nie jest częściowo spowodowane tym, iż łatwiej przyjąć, że nie rozumie się ludzi: na skutek indoktrynacji jesteśmy skłonni do wierzenia w rozumienie pewnych rzeczy. Wprawia nas więc w zażenowanie przyznanie się, że tak nie jest.

Postępy osiągnięte w mechanizacji wnioskowania zarówno dedukcyjnego, jak i indukcyjnego utworzyły nowe, ważne rubieże. Maszyny do dowodzenia twierdzeń tak dla klasycznego rachunku zdań /68/, jak i dla rachunków niestandardowych /69/, podobnych do logiki modalnej Lewisa-Langforda /27/, otworzyły nowe możliwości zautomatyzowania wnioskowania dedukcyjnego. I tu często wyraża się opinię, iż rozumowanie dedukcyjne jest terenem jałowym; jednak w rzeczywistości automatyzacja niestandardowych systemów dedukcyjnych jest istotnym krokiem w kierunku automatyzacji indukcji. Jest to szczególnie widoczne w osiągnięciach Hajka i jego szkoły w dziedzinie komputerowej implementacji praktycznych systemów indukcyjnych /70-72/. Powiązane z tym badania niestandardowej logiki i teorii mnogości stanowią integralną i nieodzowną część tej pracy /73/.

Teoria automatów i teorie języków formalnych były przez większość pionierów uważane za ważne składniki podstaw teorii systemów. Nie bacząc na duży wysiłek włożony w uzyskanie matematycznych wyników w tych dziedzinach, praktyczne osiągnięcia aż do ostatnich czasów nie spełniały oczekiwań. Jednakże pomyślne wyniki badań systemów Lindenmayera /74/ i ich zastosowania w biologii usprawiedliwiają obecnie wszystkie uprzednio podejmowane wysiłki, nawet gdyby nie było innych zastosowań. Podstawowe pojęcia nawracają bezpośrednio do pojęć związanych z automatami komórkowymi von Neumanna. W latach, jakie upłynęły od tego czasu, zdobyliśmy pokaźny arsenał struktur, wyników i technik obliczeniowych, których nagłe zetknięcie ze sobą daje w wyniku efektowny postęp /75/.

Z całą pewnością przewiduję podobny postęp w zastosowaniu teorii systemów do badań etologicznych zachowania zwierząt. Szereg konferencji, które odbyły się w ostatnich czasach, pokazały iż naukowcy w tej dziedzinie znajdują bezpośrednie zastosowania teorii automatów, języków i hierarchii do danych eksperymentalnych /76-77/. Wydaje się, iż jak dotąd, w odróżnieniu do opracowania systemów Lindenmayera, nie wymagało to rozszerzenia samej teorii systemów. A jeśli tak, to co się zmieniło? Sądzę, że sama psychologia eksperymentowania uległa zmianie. Opracowania teoretyczne, które nie są poddawane sprawdzaniu doświadczalnemu, nie budzą większego zainteresowania. Dostępność tanich komputerów laboratoryjnych daje obecnie etologowi możliwość przeprowadzania analizy na skalę, jaka poprzednio nie była możliwa. To, co przedtem było dziedziną ciekawych domysłów, staje się obecnie operacyjnie sprawdzalną teorią.

Przenosząc się od biologii komórek do zachowania zwierząt, dochodzi się w sposób naturalny do lingwistyki! Rewolucja wprowadzona przez Chomsky'ego wzbudziła zainteresowanie teorią języków formalnych, która okazała się bardzo owocna dla zrozumienia składni języka /78/. W ostatnich latach rozszerzyła się na semantykę /79, 80/ oraz, co jest zdobyczą najnowszą, na teorię opanowywania języka /81-83/. Istnieje nadal duży dystans między tą teorią a językiem naturalnym, ale postępy osiągnięte w ostatnich 20 latach były duże i nie ma żadnych oznak, aby tempo rozwoju uległo zwolnieniu.

Informatyka jest dziedziną przedmiotową, która 20 lat temu nie istniała (niektórzy wątpią, czy istnieje obecnie). Jednakże w ostatnich latach opracowanie podstaw teoretycznych dla procesów interakcyjnych, hierarchii maszyn wirtualnych, struktur baz danych itp. doprowadziło do integracji teorii systemów z doświadczeniem praktycznym, co pozwala stworzyć przynajmniej początki tej nauki. Umożliwiło to zintegrowanie wielu stosowanych pojęć w ramach teorii kategorii. Wskazywaliśmy z Kohoutem na zakres teoriosystemowych badań systemów protekcji dynamicznej oraz na ich związek z działaniem człowieka /84/. Teoria i praktyka baz danych wiąże się bardzo ściśle z logiką klasyczną /85-86/. Uważam ją za jedną z bardzo płodnych dziedzin, mającą bezpośredni wpływ na rozwój zastosowań logiki nieklasycznej, zarówno rozmytej, jak i indukcyjnej. Ciekawe jest,

jak wiele osób zajmujących się systemami operacyjnymi i bazami danych poszukuje informacji o bibliografii badań systemów rozmytych.

Jeśli istnieje pewna dziedzina, która łączy aspekty tych wszystkich rubieży badań, to jest nią sztuczna inteligencja. Tutaj wiążą się ze sobą logika dedukcyjna i indukcyjna, lingwistyka, psychologia i informatyka do opracowania sztucznych tworów, podobnych do nas. W początkowym okresie rozwoju teorii systemów i cybernetyki wydawało się, iż sztuczna inteligencja jest organiczną częścią tej dziedziny. W ostatnich latach zachodzi tendencja do ukształtowania się "kliki sztucznej inteligencji", wypierającej się swego pochodzenia lub zaprzeczającej jego właściwości. Uważam, iż zasadniczym tego powodem jest przestawienie się z systemów uczących się na systemy wyczynowe, jakie nastąpiło mniej więcej przed 10 laty. Argument, że "nie można oczekiwać, iż zostanie zbudowana maszyna ucząca się pewnej umiejętności, jeśli przynajmniej nie potrafimy zbudować takiej maszyny, która posługuje się daną umiejętnością", jest bardzo ważki. Z pewnością pomaga zrozumieć, iż cel jest osiągalny! Ujęcie to okazało się znacznie trudniejsze niż się spodziewano, ale sukces osiągnięty w ostatnich latach dzięki pracy Winograda /87/ jest zachęcający, równocześnie prowadzi się wiele prac badawczych do rozwoju i rozszerzenia tego kierunku badań /88-91/. Widzimy jednak również nawrót do pierwotnego pytania, mianowicie "jak wyczynowość w systemie Winograda można osiągnąć przez uczenie się" /93-93/. Badania nad sztuczną inteligencją wniosły także istotny wkład w rozwój psycholingwistyki /94, 95/.

Rozdźwięk między teorią systemów a sztuczną inteligencją jest bardziej pozorny niż rzeczywisty. Jeśli nadal istnieje, to wynika z braku porozumienia po obu stronach. Na przykład nie ma takiego rozdźwięku w dziedzinie, którą się powszechnie uważa za jeszcze jedno wielkie osiągnięcie w badaniach nad sztuczną inteligencją, mianowicie w projekcie MYCIN. W książce Shortliffe'a o projekcie MYCIN zostały powiązane ze sobą wyniki uzyskane w badaniach nad sztuczną inteligencją, w teorii systemów i filozofii oraz pokazano ich praktyczne zastosowanie w dziedzinie konsultacji medycznych z zastosowaniem komputerów /96/.

Jest jeszcze wiele rubieży badań, o których nie wspomniałem, na przykład modele światowe w ekonomice, symbioza człowieka z maszyną

w analizie danych, architekturze, technice, teoriosystemowa analiza wielkich systemów prawnych itp. Świadectwem postępu jest liczba czasopism, w których tytułach występuje słowo system. W wielu przypadkach nastąpiło to w ostatnich latach przez zmianę tytułu, aby odzwierciedlić faktyczną zmianę, jaka się dokonała w ciągu wielu lat. Od trzech lat mamy swoje własne czasopismo International Journal of General Systems, które ustanawia nowe standardy badań systemowych.

Na koniec, gdyby podkreślenie przeze mnie napięć, zmian i braku ogólnej definicji w tej dziedzinie zostało przyjęte jako podawanie w wątpliwość i podważanie wysiłków wielu spośród nas, którzy opracowują ogólne teorie systemów, utrwalające, definiujące i formalizujące pojęcie systemu, nie zostałby zauważony istotny sens tego szkicu. Ci, którzy wznoszą rusztowanie, aby umożliwić zbudowanie gmachu, w znacznej mierze przyczyniają się do jego budowy. Niektóre gmachy są tak ogromne, że do ich budowy konieczne jest wzniesienie rusztowania, aby zbudować dla nich rusztowanie. Jesteśmy zbyt daleko, aby widzieć rzeczywisty kształt tego gmachu w jego skończonej postaci. Jednak rusztowanie, które wznosimy, jest już obecnie adekwatne do wielu zadań. Fakt, iż wiemy, że jutro rozbierzemy to, co dziś wznosimy, nie oznacza, że nie służyło ono swojemu przeznaczeniu. Postęp w ogólnej teorii systemów będzie się zawsze wiązał ze zmianami i niszczeniem, w tym samym stopniu, w jakim pociąga za sobą zastosowania i budowanie.

Powinniśmy pamiętać o uwadze Bouldinga, iż "gotowość do wygłupiania się powinna być wymagana przy przyjmowaniu do Towarzystwa Badania Systemów Ogólnych (Society of General Systems Research), ponieważ gotowość taka jest niemal warunkiem wstępnym dla szybkiego uczenia się" /97/.

Literatura

1. Wiener N. (1956), I am Mathematician, MIT Press, Cambridge, Mass.
2. Ashby W.R. (1956), An Introduction to Cybernetics, Chapman and Hall, London.
3. Ashby W.R. (1952), Design for a Brain, Chapman and Hall, London.
4. Neuman J. von (1966), Theory of Self-Reproducing Automata, Burks A.W. (red.), University of Illinois Press, Urbana.

5. Bertalanffy L. von (1950), An Outline of General System Theory, British Journal for the Philosophy of Science, 1, s. 134–165.
6. Rosen R. (1958), The Representation fo Biological Systems from the Standpoint of the Theory of Categories, Bulletin of Mathematical Biophysics, 20, s. 317–341.
7. Mesarovic M.D. (red.) (1974), Views on General Systems Theory, John Wiley, New York.
8. Zadeh L.A. (1964), The Concept of State in System Theory, *[w:]* Ref. 7, s. 39–50.
9. Kalman R.E. (1960), On the General Theory of Control Systems, Proc. 1st IFAC Congress, Moscow, Butterworths, London.
10. Arbib M.A. (1966), Automata Theory and Control Theory a Rapprochment, Automatica, 3, s. 161–189.
11. Naughton R. Mc (1961), The Theory of Automata, a Survey. Advances in Computers, Alt F.L. (red.), Academic Press, New York, 2, s. 379–421.
12. Gibson J.E. (1965), From Control Engineering to Control Science, IEEE Spectrum, 2, s. 69–71.
13. Zadeh L.A. (1962), From Circuit Theory to System Theory, Proc. IRE, 50, s. 856–865.
14. Ashby W.R. (1967), The Set Theory of Mechanism and Homeostasis, Stewart D.J. (red.), Automaton Theory and Learning Systems, Academic Press, London, s. 23–51.
15. Hull C.L. (1943), Principles of Behavior, Appleton-Century Crofts, New York.
16. Levin K. (1935), A Dynamic Theory of Personality, Adams D.K., Zener K.F. (trans.), McGraw-Hill, New York.
17. Gaines B.R., Kohout L.J. (1977), The Fuzzy Decade: a Bibliography of Fuzzy Systems and Closely Related Topics, Int., Journal Man--Machine Studies, 9, s. 1–68.
18. Vachek J. (1966), On the Integration of the Peripheral Elements into the System of Language, Travaux Linguistique de Prague, 2, s. 23--37.
19. Hartmanis J., Stearns R.E. (1966), Algebraic Structure Theory of Sequential Machines, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y.
20. Aizermann M.A. (1975), Fuzzy Sets, Fuzzy Proofs and some Unsolved Problems in the Theory of Automatic Control, Special Interest Discussion Session of Fuzzy Automata and Decision Processes, 6th IFAC World Congress, Boston, Mass., USA.
21. Vaart H.R. van der (1961), The Role of Mathematical Models in Biological Research, Bulletin de l'Institut de Statistique, 33rd Session, Paris, s. 1–30.
22. Birkhoff G. (1969), Mathematics and Psychology, SIAM Review, 11, s. 429–469.
23. Klir G.J. (1972), Trends in General Systems Theory, John Wiley, New York.
24. Manes E.G. (red.) (1974), Category Theory Applied to Computation and Control, Mathematics Dept. and Dept. of Computer and Information Science, University of Massachusetts, Amherst, February.
25. Gaines B.R. (1976), Foundations of Fuzzy Reasoning, International Journal Man-Machine Studies, 8, s. 623–688.

26. Proceedings of the Sixth International Symposium on Multiple-Valued Logic (1976), Logan, Utah, IEEE 76 CH1111-4C.
27. Snyder D.P. (1971), Modal Logic and its Application, Van Nostrand Reinhold, New York.
28. Dieudonne J. (1964), Recent Developments in Mathematics, American Mathematical Monthly, 71, s. 239–248.
29. Goguen J.A. (1973), Realization is Universal, Mathematical Systems Theory, 6, s. 359–374.
30. Arbib M.A., Manes E.G. (1974), Foundations of Systems Theory: Decomposable Systems, Automatica, 10, s. 285–302.
31. Ehrig H. (1974), Universal Theory of Automata, Teubner B.G. Stuttgart.
32. Varela F.G., Maturana H.R., Uribe R. (1974), Autopoiesis: The Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model, Bio Systems, 5, s. 187–196.
33. Goguen J.A. (1974), Semantics of Computation, Ref. 22, s. 234–249.
34. Fine T.L. (1973), Theories of Probability, Academic Press, New York.
35. Gaines B.R. (1977), System Identification, Approximation and Complexity, International Journal General Systems, 3, s. 145–174.
36. Gaines B.R. (1969), Stochastic Computing Systems [w:] Tou J.T. (red.) Advances in Information System Science, 2, s. 37–172.
37. Poppelbaum W.J. (1974), Statistical Processors, Dept. of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, May.
38. Srinivasan M.V., Bernard G.D. (1976), Proposed Mechanism for Multiplication of Neural Signals, Biological Cybernetics, 21, s. 227–236.
39. Klir G. (1969), An Approach to General Systems Theory, Van Nostrand Reinhold, New York.
40. Zadeh L.A. (1965), Fuzzy Sets, Information and Control, 8, s. 338–353.
41. Wymore A.W. (1967), A Mathematical Theory of Systems Engineering, John Wiley, New York.
42. Robinson A. (1966), Non-Standard Analysis, North-Holland, Amsterdam.
43. Grinker R.R. (1976), In Memory of Ludwig von Bertalanffy's Contribution to Psychiatry, Behavior Science, 21, s. 207–218.
44. Monod J. (1972), Chance and Necessity, Knopf A.A. (tłum.), Collins, London.
45. Monod J. (1974), On Chance and Necessity [w:] Ayala F.J., Dobzhansky T., Studies in the Philosophy of Biology, Mac Millan, London, s. 357–375.
46. Levis J. (red.) (1974), Beyond Chance and Necessity, Garnstone Press, London.
47. Chiari J. (1973), The Necessity of Being, Paul Elek, London.
48. Bertalanffy L. von (1951), Problems of General System Theory, Human Biology, 23, s. 302–312.
49. Achinstein P., Barker S.F. (1969), The Legacy of Logical Positivism, Johns Hopkins Press, Baltimore.
50. Giedymin J. (1975), Antipositivism in Contemporary Phylosophy of Social Science and Humanities, British Journal Philosophy Science, 26, s. 275–301.

51. Adorno T.W., Albert H., Dahrendorf R., Habermas J., Pilot H., Popper K.R. (1976), The Positivist Dispute in German Sociology, Adey G., Frisby D. (thum.), Heinemann, London.
52. Habermas J., Luhmann N. (1971), Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie was Leistet die systemforschung? Frankfurt.
53. Jay M. (1973), The Dialectical Imagination, Heinemann, London.
54. Pask G. (1975), Conversation, Cognition and Learning, Elsevier, Amsterdam.
55. Habermas J. (1972), Knowledge and Human Interests, Heinemann, London.
56. Atkin R.H. (1974), Mathematical Structure in Human Affairs, Heinemann, London.
57. Melville B. (1976), Notes on the Civil Applications of Mathematics, International Journal Man-Machine Studies, 8, s. 501–515.
58. Mulhall D. (1977), The Representation of Personal Relationships: an Automated System, International Journal Man-Machine Studies, 9, to appear.
59. Fraser J.T. (red.) (1968), The Voices of Time, Allen Lane, The Penguin Press, London.
60. Gale R.M. (red.) (1968), The Philosophy of Time, MacMillan, London.
61. Zeman J. (red.) (1971), Time in Science and Philosophy, Elsevier, Amsterdam.
62. Gold T. (red.) (1967), The Nature of Time, Cornall University Press, Ithaca, New York.
63. Freeman E., Sellars W. (red.) (1971), Basic Issues in the Philosophy of Time, Open Court, La Salle, Illinois.
64. Körner S. (red.) (1957), Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics, Dover Publications, New York.
65. Bastin T. (red.) (1971), Quantum Theory and Beyond, Cambridge University Press.
66. Audi M. (1973), The Interpretation of Quantum Mechanics, University of Chicago Press.
67. Nierlich G. (1976), The Shape of Space, Cambridge University Press, Cambridge.
68. Chang C.L., Lee C.T. (1973), Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving, Academic Press, New York.
69. Morgan C.G. (1976), Methods for Automated Theorem Proving in Non-Classical Logics, IEEE Transactions on Computers C-25, s. 852–862.
70. Hajek P. (1975), On Logics of Discovery [w:] Becvar J. (red.) Mathematical Foundations of Computer Science 1975, Lecture Notes in Computer Science, 32, Springer-Verlag, Berlin, s. 30–45.
71. Hajek P., Havranek T. (1977), On Generation of Inductive Hypotheses, to appear.
72. Havranek T. Statistical Quantifiers in Observational Calculi: (1975), an Application in GUHA-Methods, Theory and Decision, 6, s. 313–320.
73. Vopenka P., Hajek P. (1972), The Theory of Semisets, North-Holland, Amsterdam.
74. Rosenberg G., Salomaa A. (1974), L Systems, Lecture Notes in Computer Science, 15.

75. Herman G.T., Rosenberg G. (1975), Developmental Systems and Languages, North-Holland, Amsterdam.
76. Aronson L.R., Tobach E., Lehrman D.S., Rosenblatt J.S. (1970), (red.), Development and Evolution of Behavior, Freeman W.H., San Francisco.
77. Bateson P.P.G., Klopfer P.H. (1976), Perspectives in Ethology 2, Plenum Press, New York.
78. Fodor J.A., Katz J.J. (red.) (1964), The Structure of Language, Prentice-Hall, New Jersey.
79. Fillmore C.J., Langendoen D.T. (1971), Studies in Linguistic Semantics, Holt, Rinehart and Winston, New York.
80. Jackendoff R.S. (1972), Semantic Interpretation in Generative Grammar, MIT Press, Cambridge, Mass.
81. McNeill D. (1970), The Acquisition of Language, Harper and Row, New York.
82. Slobin D.I. (red.) (1971), The Ontogenesis of Grammar, Academic Press, New York.
83. Derwing B.L. (1973), Transformational Grammar as a Theory of Language Acquisition, Cambridge University Press.
84. Kohout L.J., Gaines B.R. (1976), Protection as a General Systems Problem, International Journal General Systems, 3, s. 3-23.
85. Date C.J. (1976), An Introduction to Database Systems, Addison-Wesley.
86. Sundgren B. (1975), Theory of Data Bases, Petrocelli Charter, New York.
87. Winograd T. (1972), Understanding Natural Language, Edinburgh University Press.
88. Schank R., Colby K.M. (red.) (1973), Computer Models of Thought and Language, Freeman W.H., San Francisco.
89. Simon H.A., Siklossy L. (red.) (1972), Representation and Meaning. Prentice-Hall, New Jersey.
90. Bobrow D.G., Collins A. (red.) (1975), Representation and Understanding, Academic Press, New York.
91. Norman D.A. i in. (red.) (1975), Explorations in Cognition, Freeman W.H., San Francisco.
92. Sussman G.J. (1975), A Computer Model of Skill Acquisition, Elsevier, New York.
93. Harris L.R. (1977), Understanding Natural Language using a Variable Grammar, International Journal Man-Machine Studies, 9, to appear.
94. Miller G.A., Johnson-Laird P.N. (1976), Language and Perception, Cambridge University Press.
95. Fodor J.A. (1976), Language and Thought, Harvester Press, Sussex, U.K.
96. Shortliffe E.H. (1976), Computer-Based Medical Consultations: MYCIN, Elsevier, New York.
97. Boulding K. (1964), General Systems as a Point of View, Ref. 7, s. 25-38.
98. Wymore W. (1976), Systems Engineering Methodology for Interdisciplinary Teams, John Wiley, New York.
99. Zeigler B.P. (1976), Theory of Modelling and Simulation, John Wiley, New York.

tłum. Czesław Berman