

6/2004

Raport Badawczy

RB/6/2004

Research Report

**Koncepcje technologiczne
i modele matematyczne w rozwoju
systemów inżynierskich
(Sterowanie, Zarządzanie, Organizacja)**

J. Gutenbaum

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:

Doc. dr hab. inż. Michał Inkielman

Warszawa 2004

Koncepcje technologiczne i modele matematyczne w rozwoju systemów inżynierskich (Sterowanie, Zarządzanie, Organizacja)

Monografię opracowało kilku wybitnych europejskich naukowców z dziedziny matematyki, badań operacyjnych, teorii sterowania i analizy systemowej. Nad ich tekstami pracowali włoscy profesorowie: Mario Lucertini, Ana Milan Gasca i Fernando Nicolo. W międzyczasie zmarł Mario Lucertini. Jego działalność naukową w ciągu całego dorosłego życia, charakteryzował szeroki zakres zainteresowań badawczych i intelektualnych. Przykładał dużą wagę do studiów nad koncepcją i rozwojem wiedzy inżynierskiej, również na podstawie badań nad historią nauki i techniki. Stąd jego wkład do omawianej książki jest bardzo ważny.

Książka jest jednym z wyników interdyscyplinarnego projektu badawczego pt. „Rozwój zdarzeń, koncepcji i modeli w inżynierskich systemów. Projekt ten był realizowany w Centrum Vito Volterra, dzięki dotacji Biura UNESCO w Wenecji.

W ubiegłych latach naukowcy z różnych dziedzin poświęcali dużo uwagi powstaniu autonomicznej gałęzi wiedzy inżynierskiej, charakterystycznej dla epoki technologii i informacji. W przeszłości badania „inżynierskie” były bardzo rozdrobnione, przy czym stosowane metody, odnoszące się do odrębnych problemów, polegały głównie na stosowaniu zasady „prób i błędów” (trial-and-error) i przybliżonych wyliczeniach (rule-of-thumb procedures).

Za początek współczesnego zainteresowania tą gałęzią wiedzy, stosującej metodologię inżynierską i mającej uniwersalny zakres zastosowań, można uznać pojawienie się prac Norberta Wienera, zawierających jego koncepcję cybernetyki, jako nauki odnoszącej się zarówno do procesów technologicznych, jak przyrodniczych i społecznych. Prace Wienera, które początkowo dotyczyły czysto technicznej dziedziny, a mianowicie serwomechanizmów, zwróciły uwagę na uniwersalność stabilizującej roli ujemnego sprzężenia zwrotnego i dały twórczy impuls do powstania i rozwoju ery społeczeństwa informatycznego. Dalszemu rozwojowi w tym kierunku sprzyjał postęp komputerowej technologii i nauki, co umożliwiło szeroką ekspansję modelowania matematycznego i ogólnie – narzędzi matematycznych, praktycznie we wszystkich dziedzinach nauki, nie wyłączając nauk humanistycznych.

Współczesne systemy inżynierskie stały się interesującym źródłem koncepcji teoretycznych i technologicznych. Rozwój automatyzacji, teorii

sterowania, komputeryzacji i optymalizacji stymulował liczne próby rozszerzenia idei z kontekstu technologicznego do biologicznego, społecznego i humanistycznego, w których pojęcie „system” zamienia klasyczny wizerunek „maszyny”.

Materiał zgromadzony w książce sięga daleko w przeszłość i pokazuje jak w epoce nowożytnej kształtowało się zastosowanie matematyki w różnych dziedzinach praktyki. Rozważania dotyczące współczesności obejmują głównie osiągnięcia wynikające ze współpracy matematyków i praktyków w dziedzinie szeroko pojętego modelowania matematycznego do celów sterowania i podejmowania decyzji, zgodnie z profesjonalnymi zainteresowaniami zespołu redakcyjnego.

Książka składa się z dwóch części. Część pierwsza pt. *Mathematical Methods and Technological Thought; Historical Aspects*, zgodnie z tytułem, dotyczy przeszłości.

W pierwszym szkicu, Eberhard Knobloch (Institut fuer Philosophie, Wissenschafts-und Technikgeschichte Technische Universität Berlin): pt. *Mathematical Methods in Preindustrial Technology and Machines* omawia zastosowania matematyki w architekturze w Średniowieczu i w początkach ery nowożytnej, kiedy powstało tak wiele wspaniałych budowli.

Jednakże architektura Średniowiecza bazowała na wiedzy empirycznej. Katedry gotyckie były budowane na podstawie reguł empirycznych, przybliżonych. Nie było wówczas obliczeń inżynierskich opartych na matematycznie sformułowanych prawach przyrody. Autor opisuje znaczenie matematyki przy przejściu od średniowiecznej do przedindustrialnej technologii i inżynierii. Wyjaśnia też europejsko – zachodni zwyczaj stosowany od XVII do XIX wieku, nazywania profesjonalnych matematyków „geometrami”, w celu ich odróżnienia od nastawionych bardziej na praktykę „matematyków”. Autor przytacza przykład (1589) dotyczący organizacyjnych aspektów pracy inżyniera. Chodzi o ustawienie obelisku watykańskiego.

Ciekawe jest, że stosunki między wiedzą matematyczną a inżynierską uległy zasadniczemu zwrotowi na przełomie XIX wieku, jak na to wskazuje ówczesna dyskusja na temat matematycznego kształcenia inżynierów. Podstawą tej dyskusji była, z jednej strony, profesjonalizacja matematyków, z drugiej zaś – potrzeby badań podstawowych w naukach inżynierskich.

Szkic Any Milan Gasca (Dipartimento di matematica, Università di Roma „La Sapienza”) pt. *Organization and Mathematics: A look into the Prehistory of Industrial Engineering* dotyczy planowania i zarządzania, jako technik matematycznych, typowych dla współczesnych systemów inżynierskich. Autorka rozpatruje te problemy w kontekście zastosowań matematyki w naukach „nie fizycznych”. Pokazała jak wczesne poglądy

dotyczące zarządzania operacjami i produkcją z zastosowaniem technik numerycznych, wpłynęły na ekonomię matematyczną. Rzeczywiście, XIX-wieczny wkład inżynierów (nazywanych hydraulikami przez „prawdziwych”, ekonomistów, brzydzących się matematycznymi relacjami) był zapoczątkowany problemami, wynikającymi z zastosowań technologicznych. Negowanie możliwości stosowania matematyki w ekonomii, ma tę samą przyczynę co odrzucenie matematyki w zarządzaniu i podejmowaniu decyzji: szeroko uznawana jest opinia, że wolność osoby ludzkiej nie może być zredukowana do równań matematycznych. W rzeczywistości jednak, problemy zarządzania i organizacji stały się szeroką dziedziną zastosowań matematyki z użytkowaniem praktyk modelowania matematycznego. Kluczowa koncepcja „systemu” umożliwiła jednolite badania różnorodnych problemów.

W szkicu Amy Dahan Dalmedico i Dominique Pestre (Muzeum Historii Natury) pt **Transferring Formal and Mathematical Tools from War Management to Political, Technological, and Social Intervention (1940-1960)** autorzy opisują przełom w teorii sterowania, jaki nastąpił w połowie ubiegłego stulecia, dzięki twórczemu rozwojowi technik matematycznych, które przyczyniły się do rozwoju badań operacyjnych i analizy systemowej, w zastosowaniach, nie tylko, jak poprzednio, w wojskowości i przemyśle, ale również w innych dziedzinach. Występuje tu ważny aspekt współdziałania nauki i technologii oraz wynikające z tego powstanie, w latach II wojny światowej i zimnej wojny, kompleksu naukowo-wojskowo-przemysłowego. Mniej znane, niż rozwój broni, aparatury i środków obronnych, są zastosowania cywilne. Oba aspekty wpłynęły znacząco na materialne i kulturalne warunki egzystencji w drugiej połowie 20 wieku. W szczególności poglądy inżynierów dotyczące organizacji i zarządzania stworzyły podstawy naukowego podejścia do działań prospołecznych, w oparciu o techniki optymalizacyjne, rozwijane w tym okresie.

Autorzy koncentrują się na koncepcyjnych narzędziach grupy „inżynierów-naukowców” w zakresie zarządzania przemysłowego oraz na rozszerzeniu zastosowania tych narzędzi w innych dziedzinach: od ekonomii do logistyki, od psychologii do integracji systemów złożonych. Do tego celu wprzęgnięto logikę, matematykę, statystykę, teorię sygnałów, modelowanie i lawinowo rozwijającą się technikę komputerową. Najbardziej znane z tych narzędzi to: badania operacyjne, teoria gier, ogólna teoria systemów, liniowe i nieliniowe programowanie, programowanie dynamiczne, teoria kolejek. Powstał też zbiór technik przeznaczonych do optymalizacji operacji wojskowych, zarządzania innowacjami, zarządzania siłą roboczą.

Szkic składa się z 4 części. Pierwsza zawiera przegląd zespołów, które zajmowały się badaniami operacyjnymi w czasie wojny; druga – przedstawia dynamiczny rozwój nowych narzędzi matematycznych stosowanych w tym celu,

w warunkach zapotrzebowań wojennych. W trzeciej części autorzy koncentrują się na przedstawieniu najważniejszego ośrodka doskonalającego wspomniane narzędzia, jakim był RAND Corporation. Ostatnia część poświęcona jest komentarzom na temat charakteru tych nowych koncepcyjnych i społecznych dróg rozwoju.

Giorgio Israel (Dipartimento di Matematica Università di Roma "La Sapienza") w szkicu pt. **Technological Innovation and New Mathematics: van der Pol and the Birth of Nonlinear Dynamics** przedstawia van der Pola jako człowieka szczególnie zasłużonego dla sprawy odnowienia klasycznej relacji między technologią i matematyką. Taka relacja znajduje się u podstaw definicji współczesnej koncepcji systemów inżynierskich. W szczególności modelowanie matematyczne, jako odrębna, a zarazem uniwersalna metoda XX – wiecznej matematyki stosowanej, u której źródeł leżą analogie matematyczne, znalazła swoje wczesne zastosowania w jego pracach. Technicznym kontekstem u van der Pola jest radiotechnika, a kluczową ideą – sprzężenie zwrotne, jako centralne pojęcie teorii sterowania.

To podejście jest punktem wyjścia w rozważaniach zawartych w drugiej części książki, zatytułowanej *Technological Knowledge and Mathematical Models in the Analysis, Planning and Control of Modern Engineering Systems*.

Stuart Bennett (University of Sheffield) w szkicu pt. **Technological Concepts and Mathematical Models in the Evolution of Control** zawiera analizę rozwoju teorii sterowania jako koncepcji uogólniającej różne dziedziny technologiczne (od XIX-wiecznych regulatorów do serwomechanizmów, od technologii komunikacyjnych do inżynierii zarządzania) i wzajemny wpływ narzędzi matematycznych. Jako kluczowe przedstawione są zagadnienia: modele w badaniu stabilności układów sterowania, odpowiedź impulsowa i częstotliwościowa, sygnały stochastyczne i dyskretne, modele w przestrzeni stanu i układy optymalne, metody identyfikacji. Autor podkreśla centralną rolę, jaką odegrały tu komputery, zarówno przez dostarczenie mocy obliczeniowych do celów identyfikacji modeli, jak również do wspomaganie procesów sterowania. To tylko dzięki dysponowaniu taką mocą obliczeniową możliwy był rozwój regulatorów do sterowania złożonymi wielowymiarowymi procesami. To samo dotyczy możliwości identyfikacji „on-line” oraz użytkowania modeli predykcyjnych w strukturach sterowania. W opinii autorów, osiągnięcia inżynierów w projektowaniu regulatorów oraz systemów technologicznych, stosujących metodologię opartą na modelowaniu, prowadziły do prób zastosowania podobnego podejścia do systemów społecznych, ekonomicznych i politycznych.

Antonio Lepschy (Universita di Padova) and Umberto Viaro (Universita di Udine) są autorami szkicu pt. **Feedback: A Technique and a "Tool for Thought"**, w którym idea sprzężenia zwrotnego jest potraktowana jako istotny przykład rozprzestrzeniania się kluczowych koncepcji na systemy nie techniczne. Autorzy reprezentują pogląd, że współczesna matematyczna koncepcja sterowania ze sprzężeniem zwrotnym w układach automatyki, jest również paradygmatem XX-wiecznego sformalizowania klasycznych poglądów w myśleniu technologicznym.

W szkicu autorstwa Evgenia F. Mishchenki, Alexandra S. Mishchenki i Mikhaila I. Zelikina (Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences) pt. **Adequacy of Mathematical Models in Control Theory, Physics and Environmental Science** omówiony jest proces rozszerzenia matematycznej teorii sterowania na inne dziedziny. Ich rozważania ilustrują typowo rosyjskie podejście do teorii sterowania i do współzależności między problematyką matematyczną a technologiczną. Przykład nauk o środowisku jest tu szczególnie dobitny, bo pokazuje problemy metodologiczne modelowania matematycznego w powiązaniu z wyborem odpowiednich technik (stochastycznych, nieliniowych itd.) oraz empirycznej oceny modeli w świetle możliwych ekonomicznych konsekwencji, wynikających z analizy matematycznej wypracowanej w instytucjach naukowych. Ich rozważania są szczególnie interesujące dla czytelników zachodnich, którzy nie często mają możliwość bezpośredniego poznania rosyjskiego punktu widzenia na współczesny rozwój nauki.

Problem metodologii budowy modeli matematycznych, ich analiza i ocena znajduje się w centrum uwagi szkicu Andrzeja P. Wierzbickiego (Warsaw Politechnical University) pt. **The Development of Systems Science: Concepts of Knowledge as Seen from Western and Eastern Perspective**. Przedstawione są w nim ważne aspekty rozwoju, od badań operacyjnych do ogólnej teorii systemów, w 2. połowie XX wieku. Autor widzi w tym procesie dwa różne podejścia: „modelowanie twarde” oraz „modelowanie miękkie”, które cechują różnice w myśleniu systemowym w naukach społecznych i inżynieryjnych. Wspomina także o różnicach w dziedzinie polityki i kultury w okresie zimnej wojny, czy też między podejściem zachodnim i daleko-wschodnim. Ten ostatni problem jest również omówiony z punktu widzenia różnych technik i poglądów na temat zarządzania produkcją przemysłową, jak i wzajemnej wymiany międzynarodowej. Esej omawia także ważną rolę matematycznego modelowania pojęcia racjonalności, wskazując na współczesne trendy badawcze w tej dziedzinie. W opracowaniu zawarty jest także historyczny przegląd roli koncepcji technologicznych i metod matematycznych w rozwoju nauk systemowych. Mowa tam również o koncepcjach dotyczących wiedzy i modeli na progu społeczeństwa informatycznego oraz ekonomii bazującej na wiedzy. Te rozważania wskazują na ważność zwiększenia

dostępności do wiedzy, co może być osiągnięte przez stosowanie modeli matematycznych w różnych dziedzinach. Jako przykład autor podaje wielokryterialne zadanie podejmowaniu decyzji w oparciu o model matematyczny. Podkreślona jest także potrzeba budowy racjonalnej teorii intuicji. Jeśli bowiem przyjąć, że podejmowanie decyzji przez ekspertów musi mieć charakter luźny i wynikać z intuicji, to nie można zbudować dobrego systemu wspomagającego podejmowanie decyzji.

Szkic Mario Lucertiniego pt. **Coping with Complexity in the Management of Organized Systems** dotyczy kluczowego problemu złożoności w odniesieniu do zarządzania dużymi organizacjami. Wiele podstawowych współczesnych osiągnięć w dziedzinie zarządzania i badań operacyjnych ma na celu uzyskanie wyników w zakresie złożoności procesów w systemach organizacyjnych. Rozważania zilustrowane są wieloma przykładami z dziedziny przemysłu, ale problemy rozpatrywane są z ogólnego punktu widzenia nauk o zarządzaniu. Wynika z niego, że technologiczny pogląd na zarządzanie złożonością jest ważnym wkładem do ogólnej współczesnej dyskusji naukowej.

W szkicu przedstawiona jest dyskusja niektórych idei, dotyczących sposobów zarządzania złożonością, formułowanych przez decydentów oraz projektantów systemów organizacyjnych. Autor bada różne znaczenia pojęcia „złożoność”, a także podstawy i metody, za których pomocą systemy automatycznie budują swoją strukturę, mając na celu zarządzanie złożonością.

Omawiana książka jest wartościowym i kompetentnym źródłem wiedzy obejmującej zarówno procesy kształtowania się analizy systemowej, jako odrębnej dziedziny naukowej, jak i kierunki jej rozwoju. Rozważania wskazują na wciąż wzrastającą rolę modelowania matematycznego oraz teorii podejmowania decyzji w strukturach tworzącego się społeczeństwa wiedzy.





