

# **BADANIA SYSTEMOWE**

**XXV-lecie INSTYTUTU BADAŃ SYSTEMOWYCH**

Książka jubileuszowa  
pod redakcją  
Kazimierza Mańczaka



Polska Akademia Nauk  
Instytut Badań Systemowych

## **BADANIA SYSTEMOWE**

**XXV-lecie INSTYTUTU BADAŃ SYSTEMOWYCH PAN**

Książka jubileuszowa  
pod redakcją  
Kazimierza Mańczaka

Warszawa 2001

# MODELOWANIE MATEMATYCZNE W IBS PAN

*Jakub GUTENBAUM*

---

## 1. Wprowadzenie

---

**R**ozwiązywanie konkretnych zagadnień z zakresu badań systemowych wymaga na ogół opracowania modelu matematycznego obiektu prac badawczych. Jest to często najtrudniejsza i najbardziej pracochłonna część rozwiązania zadania. W skład modelu wchodzi równania bilansowe różnorodnych strumieni (masy, energii, finansów, siły roboczej) oraz układ nierówności ograniczających bezpośrednio lub pośrednio zbiory zmiennych decyzyjnych, które należy określić. W zadaniach optymalizacyjnych trzeba również sformułować jedną lub wiele funkcji celu, charakteryzujących jakość podejmowanych decyzji. Funkcje celu pozwalają na wprowadzenie pełnego lub częściowego porządku w zbiorze decyzji. Relacje tworzące model mogą mieć postać równań i nierówności algebraicznych (modele statyczne) lub różniczkowych, ewentualnie różnicowych (modele dynamiczne). W niektórych przypadkach mamy do czynienia z równaniami różniczkowymi o pochodnych cząstkowych, opisujących procesy zmienne zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Szczególne trudności występują przy modelowaniu zjawisk nieciągłych, np. przy modelowaniu zmian fazowych. W tych przypadkach już dowody na istnienie i jednoznaczność rozwiązań równań modelowych mogą być zaliczone do istotnych osiągnięć naukowych.

Dodajmy, że chyba nie ma takiego instrumentarium matematycznego, które nie byłoby stosowane w modelowaniu matematycznym. Niektóre gałęzie matematyki, np. matematyka dyskretna, swój rozwój zawdzięczają w dużym stopniu zapotrzebowaniu ze strony budowniczych modeli matematycznych.

Budowa modelu matematycznego powinna być celowo ukierunkowana, to znaczy - uwzględniająca jego późniejsze zastosowanie. Można wyróżnić kilka głównych celów, do których budowane są modele matematyczne w badaniach systemowych. Są to:

1. **pogłębienie wiedzy o modelowanym systemie,**
2. **prognoza zachowania się systemu w przyszłości, w zmiennym otoczeniu,**
3. **wspomaganie komputerowe przy podejmowaniu decyzji,**
4. **wyznaczanie decyzji optymalnych.**

Często model matematyczny zbudowany na podstawie posiadanej wiedzy o obiekcie nie jest w pełni zdeterminowany. Ów indeterminizm może mieć np. charakter losowy lub rozmyty. Jeśli dysponujemy danymi statystycznymi o zachowaniu się systemu, to mogą być one użyte do dookreślenia modelu. W wielu przypadkach praktycznych odpowiednia obróbka danych statystycznych pozwala na estymację nieznanych a priori parametrów w zależnościach tworzących model matematyczny.



Wiele prac badawczych i zastosowaniowych prowadzonych w IBS PAN dotyczy modelowania matematycznego, zarówno w aspekcie metodologicznym, np. monografia Jakuba Gutenbauma „*Modelowanie matematyczne systemów*” (Omnitech Press, Warszawa 1992), jak i w zakresie budowy modeli matematycznych i komputerowych różnorodnych konkretnych systemów, głównie do celów podejmowania decyzji i optymalizacji. Przedstawimy dalej najważniejsze i charakterystyczne dla różnych dziedzin modelowania wyniki tych prac.

---

## 2. Identyfikacja obiektów

---

Integralną i bardzo ważną częścią modelowania matematycznego są zagadnienia identyfikacji obiektów oraz planowanie eksperymentów. Identyfikacja polega na wyznaczeniu wartości parametrów oraz struktury modelu obiektu, głównie metodami statystycznymi, na podstawie pomiarów sygnałów działających na obiekt oraz sygnałów stanowiących odpowiedź obiektu na te oddziaływania. Wyniki identyfikacji uzupełniają opis matematyczny obiektu uzyskany na podstawie praw fizycznych, chemicznych lub innej wiedzy o jego naturze. Przy identyfikacji występują trudności związane z niejednoznacznością, złym uwarunkowaniem zadań i nadmierną wrażliwością modeli na niewielkie błędy w danych. Potrzeby praktyki wywołały, począwszy od połowy lat 60-tych, szybki rozwój badań nad podstawami teoretycznymi oraz nad efektywnymi metodami i algorytmami identyfikacji.

Prace związane z identyfikacją rozpoczęto w latach 70-tych w zespole pod kierownictwem Kazimierza Mańczaka. Dotyczyły one początkowo głównie obiektów statycznych liniowych względem parametrów i były od początku testowane także na rzeczywistych obiektach, przede wszystkim w przemyśle szklarskim. Metody te opisano w pierwszej w Polsce monografii poświęconej identyfikacji K. Mańczaka „*Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania*” (WNT, 1979). Z zagadnieniami identyfikacji były ściśle związane metody planowania eksperymentu opisane w monografiach Bohdana Kacprzyńskiego „*Planowanie eksperymentów*” (WNT, 1974) i K. Mańczaka „*Technika planowania eksperymentu*” (WNT, 1976). Prace te kontynuowano później w zastosowaniu do optymalnych planów dla mieszanin (Wanda Arczewska) oraz zastosowania ich do optymalizacji składu szkła (K. Mańczak, W. Arczewska, Elżbieta Kowalska) a także składu mieszanek gumowych (Zbigniew Nahorski, W. Arczewska, E. Kowalska). Optymalizacja ta wymagała opracowania planów stanowiących podstawą do identyfikacji właściwości mieszanin. Wyniki tych prac były wdrażane do praktyki przemysłowej. Dotyczyły one podstaw teoretycznych, algorytmów i programów komputerowych do estymacji parametrów oraz metod weryfikacji statystycznej uzyskanych modeli. Opracowano też i porównano numerycznie podstawowe programy do rozwiązywania zadań regresji nieliniowej z kwadratowym wskaźnikiem jakości metodami Gaussa-Newtona, Marquardta, Davidona i Powella (E. Kowalska, W. Arczewska, Roman Weinfeld, Lucyna Bogdan). Do weryfikacji statystycznej modeli przedstawiono metody wyznaczania obszarów ufności estymatorów parametrów z zastosowaniem wskaźników nieliniowości oraz metody badania istotności modeli na podstawie testowania hipotez statystycznych

(E. Kowalska). Prowadzono również prace nad metodami regresji z niekwadratowymi wskaźnikami jakości, w szczególności - w postaci sumy wartości bezwzględnych i normy Czebyszewa (Z. Nahorski, E. Kowalska). Podobnie, dla identyfikacji dynamicznej opracowano i porównano różne metody: najmniejszych kwadratów, największej wiarogodności oraz metody widmowe. Metody weryfikacji i testowania modeli połączono z teoretycznym wyjaśnieniem istotnych zagadnień jednoznaczności identyfikacji w warunkach prowadzenia pomiarów w otwartej i zamkniętej pętli (Z. Nahorski). Zajmowano się też poprawą estymatorów w przypadku bardzo krótkich serii obserwacji oraz zagadnieniami jednoznaczności wyników identyfikacji systemów wielowymiarowych. Zaproponowano oryginalną metodę identyfikacji modeli dynamicznych ciągłych, na podstawie obserwacji ich odpowiedzi na deterministyczne wymuszenie. Zastosowanie tej metody, nazwanej metodą identyfikacji pośredniej, stanowiło rozwiązanie zagadnienia charakteryzującego się istotnymi trudnościami numerycznymi i umożliwiło identyfikację modeli wysokiego rzędu dla konkretnych przypadków przepływu masy szklanej i procesu przepływu izotopu przez nerki (Z. Nahorski, L. Bogdan, J. Studziński).

Zagadnienia identyfikacji obiektów dynamicznych z czasem dyskretnym, opisano w monografii K. Mańczaka i Z. Nahorskiego „*Komputerowa identyfikacja systemów dynamicznych i jej zastosowanie*” (PWN, 1983), będącej pierwszą książką na ten temat w Polsce, i jedną z pierwszych w literaturze światowej. Zagadnienia identyfikacji nieliniowych obiektów statycznych oraz obiektów dynamicznych z czasem ciągłym przedstawiono w monografii Z. Nahorskiego „*Identyfikacja obiektów z czasem ciągłym na podstawie zakłóconych dyskretnych pomiarów przebiegów przejściowych*” (PWN, 1991).

---

### 3. Wielokryterialne podejmowanie decyzji

---

Modele matematyczne przeznaczone do celów wspomaganie decyzji, w przypadku modelowania złożonych procesów, których jakość działania określona jest wieloma kryteriami, obejmują również procedury wyznaczania i oceny skutków określonych decyzji. Celem zadania decyzyjnego może być wyznaczenie całego zbioru decyzji, od których, w zbiorze decyzji dopuszczalnych, nie ma lepszych z punktu widzenia wszystkich uwzględnianych kryteriów (optymalizacja wielokryterialna). Zbiory takie nazywane są zbiorami decyzji efektywnych lub Pareto-optymalnych. Jednakże w wielu zadaniach praktycznych chodzi jedynie o to, aby przy współudziale użytkownika (decydenta) wybrać z tego zbioru decyzję, która spełnia jego preferencje (wielokryterialne podejmowanie decyzji). W tym przypadku zadanie decyzyjne, poprzez włączenie subiektywnego czynnika ludzkiego do oceny jakości decyzji, uymyka matematycznej formalizacji. Można tu posługiwać się jedynie metodami heurystycznymi wspomaganymi przez modele oraz metody obliczeniowe i optymalizacyjne.



O niektórych wynikach prac badawczych w tym zakresie będzie mowa przy okazji omawiania modeli makroekonomicznych. Tu omówimy jedynie wybrane prace metodyczne, nie związane z konkretnymi zastosowaniami.

Prowadził je Ignacy Kaliszewski i opublikował w monografii „*Quantitative Pareto Analysis by Cone Separation Technique*”, (Kluwer Academic Publ., Dordrecht 1994) i licznych artykułach w renomowanych czasopismach krajowych i międzynarodowych (European Journal of Operations Research, Computers and Operation Research, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Control and Cybernetics itd.)

Prace I. Kaliszewskiego dotyczyły następujących zagadnień:

- metod uzyskiwania oszacowań tzw. współczynników wymiany charakteryzujących rozwiązania (decyzje) efektywne bez konieczności jawnego wyznaczania tych rozwiązań,
- metod uzyskiwania oszacowań wektorowych ocen rozwiązań (decyzji) efektywnych bez konieczności jawnego wyznaczania tych rozwiązań,
- efektywnych algorytmów rozwiązywania zadań optymalizacji wektorowej z wykorzystaniem obliczeń równoległych.

Celem tych badań jest wykorzystanie wyników do konstrukcji prostych, a więc w konsekwencji powszechnie dostępnych schematów ułatwiających podejmowanie decyzji i stosowalnych do szerokiej klasy problemów decyzyjnych, także takich z jakimi spotykamy się w życiu codziennym.

---

#### 4. Modelowanie systemów makroekonomicznych

---

Bardzo ważne zastosowania modelowania matematycznego dotyczą symulacji systemów makroekonomicznych do celów prognozowania i podejmowania decyzji. Symulacja komputerowa, mimo wielu ograniczeń, jest bowiem jedyną dopuszczalną metodą sprawdzania zarówno teoretycznych, jak i ilościowych skutków stosowania określonych scenariuszy makroekonomicznych, których realizacja wpływa na egzystencję całych społeczeństw. Błędne decyzje w tym zakresie są brzemienne w skutki; mogą prowadzić do kryzysów politycznych czy też zaburzeń społecznych. Jednocześnie wiele przyczyn, o których będzie dalej mowa, powoduje, że modelowanie systemów makroekonomicznych jest bardzo trudnym zadaniem interdyscyplinarnym, stanowiącym poważne wyzwanie dla zespołów badawczych instytutu naukowego, którego działalność dotyczy **badania systemowych**.

Aktywny udział w systemach ekonomicznych ludzi, jako konsumentów i decydentów, z właściwym im atrybutem wolnej woli, powoduje wątpliwości, czy ekonomię w ogóle, a makroekonomię w szczególności, można traktować jako dziedzinę nauk ścisłych, do których zaliczamy badania systemowe. W naszym przekonaniu odpowiedź na to pytanie powinna być twierdząca. Wynika to z możliwości mierzenia

## Modelowanie matematyczne

i bilansowania strumieni materiałowych i finansowych oraz dopuszczalność (z pewnymi ograniczeniami) hipotezy o racjonalności decyzji ekonomicznych, podejmowanych przez ludzi. Na podstawie tych zasad można opracować komputerowe modele symulacyjne do celów prognozowania i wspomagania procesu podejmowania decyzji makroekonomicznych. Mimo wszystkich niedoskonałości takich modeli, o których będzie dalej mowa, alternatywą jest intuicja oraz kosztowna i ryzykowna metoda prób i błędów. Ograniczenia w jej stosowaniu powodują konieczność oparcia się jedynie na danych statystycznych, często mało wiarygodnych i na ogół nie kompatybilnych (dane statystyczne pochodzące z różnych instytucji są często sprzeczne). Do tego dochodzi załamanie się ciągów czasowych danych, dotyczących gospodarki Polski, wynikających ze zmian ustrojowych oraz zmiany zasad obróbki i agregacji danych, w wyniku dostosowywania się do wymagań Unii Europejskiej.

Model matematyczny, który uwzględnia podstawowe procesy makroekonomiczne musi być modelem dynamicznym i nieliniowym. Występuje też konieczność daleko idącej agregacji zmiennych, np. przy podziale produkcji na gałęzie.

Prognozowanie makroekonomiczne cechuje wpływ prognozy na proces prognozowany. Przykładowo, inflacja przewidywana wpływa na inflację rzeczywistą. Jest to właściwość, która bardzo utrudnia uzyskiwanie miarodajnej prognozy.

Procesy makroekonomiczne muszą być oceniane z punktu widzenia wielu funkcji celu. Do najważniejszych należą: PKB, inflacja, bezrobocie, konsumpcja. Komplikuje to w sposób istotny procedury wyboru scenariuszy decyzyjnych. Ponadto należy mieć na uwadze, że działanie systemu makroekonomicznego można oceniać zarówno na podstawie wyników uśrednionych za wybrany okres, jak i na podstawie wyników końcowych po jego upływie.

W podejmowaniu decyzji makroekonomicznych uczestniczy wiele ośrodków decyzyjnych (Sejm, Ministerstwo Finansów, Ministerstwo Skarbu, Bank Narodowy, Rada Polityki Pieniężnej). Mogą one mieć, nie tylko różne, ale nawet przeciwstawne cele. Również nie zawsze ich kompetencje i odpowiedzialność są jednoznacznie określone.

---

## 5. Model makroekonomiczny średniookresowy (SEMP)

---

W IBS PAN w latach 1994-2001, w ramach prac planowych oraz grantów KBN („Modelowanie matematyczne procesu inflacji w warunkach restrukturyzacji gospodarki” oraz „Wyznaczanie efektywnych dróg rozwoju makroekonomicznego Polski na podstawie modelu matematycznego i symulacji komputerowej”) powstał i został przebadany model SEMP (Symulacyjny Ekonomiczny Model Polski). W pracy nad budową i badaniem modelu uczestniczyli : Jakub Gutenbaum, Michał Inkielman, Janusz Babarowski, Jan Gadomski, Irena Woroniecka oraz Hanna Pietkiewicz-Sałdan (od 2000 r.). Omówienie wyników tych prac zawarto w monografii pod redakcją Jakuba



Gutenbauma i Michała Inkielmana „*Symulacyjny model gospodarki Polski*” (seria: *Badania Systemowe*, tom 20, IBS PAN, 1998).

SEMP jest średniookresowym (takt czasowy - kwartał, horyzont prognozy - 4 lata) modelem symulacyjnym rozwoju gospodarczego Polski.

Model uwzględnia 6 sektorów produkcyjnych wyodrębnionych ze względu na rodzaj wytwarzanych produktów (surowce, dobra inwestycyjne i konsumpcyjne) oraz formę własności (państwowa i prywatna). Model umożliwia obserwację dużej liczby zmiennych makroekonomicznych, zawiera ponad 1000 zmiennych szczegółowych i umożliwia wyznaczanie wszystkich ważniejszych wskaźników makroekonomicznych, takich jak: PKB, konsumpcja, ceny, bezrobocie, bilans handlu zagranicznego, inwestycje, itd.).

Model zastosowano do testowania konkretnych scenariuszy rozwoju gospodarczego. Nie poszukiwano rozwiązania optymalnego ze względu na jedno wybrane kryterium. Trudno byłoby dokonać takiego wyboru w przypadku systemu obejmującego całą gospodarkę narodową. Zastosowano więc metodologię optymalizacji wektorowej, polegającą na wyznaczeniu zbioru rozwiązań kompromisowych (efektywnych według Pareto), to jest takiego zbioru, w którym każde rozwiązanie jest nie gorsze od pozostałych, z punktu widzenia przynajmniej jednego z kryteriów. Są to więc rozwiązania, które należy brać pod uwagę, jeśli nie wiemy z góry, jakie znaczenie przywiążemy do poszczególnych kryteriów.

Proponowana i zastosowana oryginalna metoda badawcza polega na poszukiwaniu zbiorów efektywnych dla grup kryteriów i grup zmiennych decyzyjnych. Następnie, dokonuje się symulacyjnej weryfikacji dopuszczalności rozwiązań. Ponowne badanie charakterystyk modelu w nowym punkcie pracy i ewentualna zmiana rozpatrywanych kryteriów, dokonywane rekurencyjnie, prowadzą do powstania scenariusza symulacyjnego, uwzględniającego preferencje decydenta. Należy tu podkreślić, że preferencje te początkowo nie są w pełni uświadomione i mogą ewoluować w trybie dialogowym pracy z modelem.

W wyniku przeprowadzenia wielu testów próbnych opracowano kilka scenariuszy rozwoju gospodarczego Polski. Scenariusze te prezentują różne koncepcje polityki makroekonomicznej oraz odmienne wizje rozwoju gospodarczego kraju. Uzyskano je stosując zaproponowaną metodologię poszukiwania efektywnych ścieżek rozwoju gospodarki narodowej.

Przeanalizowano trzy scenariusze rozwoju odpowiadające różnym celom polityki makroekonomicznej państwa:

- scenariusz polityki monetarystycznej, której głównym celem jest walka z inflacją,
- scenariusz polityki keynesowskiej, dla której priorytet stanowi wzrost konsumpcji i wydatków budżetowych,
- scenariusz polityki, stawiającej sobie za główne zadanie przyspieszenie wzrostu gospodarczego.



## Modelowanie matematyczne

Przy ocenie scenariuszy decyzyjnych przez wielu ekspertów, ze względu na wiele funkcji celu, należy rozwiązać problem sformułowania relacji preferencji. W modelu SEMP przyjęto zasadę wyróżniania zbiorów decyzji efektywnych (Pareto-optymalnych) ze względu na różne kombinacje par kryteriów.

Fakt udziału wielu ośrodków decyzyjnych uwzględniono, przyjmując zasadę, że każdy decydent wybiera odpowiadający mu podzbiór kryteriów, co prowadzi do właściwego dla tego eksperta zbioru decyzji efektywnych. Decyzja jest tym lepsza im więcej decydentów zalicza ją do zbioru decyzji efektywnych. Można również nadać każdemu decydentowi wagę i preferować te decyzje efektywne, które cechuje większa suma wag. Wprowadzono również pojęcie istotności składowych wektora funkcji celu. Funkcje celu, które nie rozszerzają zbioru decyzji efektywnych są uznawane za nieistotne.

Dalsze prace na modelem są prowadzone w kierunku stworzenia procedur ciągłego wprowadzania do modelu aktualnych danych statystycznych. Wymaga to wstępnej ich selekcji, agregacji i weryfikacji. Celem tych prac jest okresowa publikacja, wynikających z modelu prognoz najważniejszych wskaźników makroekonomicznych przy różnych stanach otoczenia i różnych scenariuszach decyzyjnych. Jest to poważne i odpowiedzialne zadanie dla zespołu, pracującego obecnie pod kierunkiem Michała Inkielmana.

---

## 6. Model makroekonomiczny długookresowy

---

W latach 1996.-2000 opracowano (J. Gadomski, I. Woroniecka-Leciejewicz, P. Fleissner z Politechniki Wiedeńskiej) dynamiczny model makroekonomiczny służący do analizy gospodarki polskiej w okresie transformacji z horyzontem do 2010 r. Model ten, skonstruowany w metodologii Systems Dynamics, współdziała z modelem demograficznym opracowanym przez Jana W. Owińskiego i Andrzeja Kałuszkę. W modelu wyróżniono pięć sektorów produkcyjnych (surowce rolne, dobra konsumpcyjne pochodzenia rolniczego, materiały i surowce przemysłowe, przemysłowe dobra konsumpcyjne, dobra inwestycyjne) oraz sektory: gospodarstw domowych, finansowy, budżetowy i wymiany zagranicznej. Zastosowana funkcja produkcji pozwala na analizę kształtowania się relacji sektorowych optimów krótko- i długookresowych oraz przemian strukturalnych w procesie transformacji gospodarczej. Wpływ tzw. urynkowania i prywatyzacji gospodarki utożsamiono ze zmianą wartości parametrów funkcji produkcji zakładając, że procesy te przynoszą określone korzyści dające się wyrazić w kategoriach produktywności czynników.

---

## 7. Modele rynków towarowych

---

W latach 1974-1988 prowadzone były prace badawcze (J. Gadomski). nad budową modeli matematycznych międzynarodowych rynków towarowych. Kolejno były to

modele rynków: cukru (1977), ziarna kakaowego (1981) i miedzi (1987). Modele rynku ziarna kakaowego i miedzi zastosowano do prognozowania cen na międzynarodowych rynkach tych surowców. W modelach tych kształtowanie się cen na międzynarodowym rynku było objaśniane przez relacje popytu i podaży, przy czym zarówno po stronie popytu jak i podaży wyróżniono kraje będące odpowiednio największymi konsumentami / producentami danego surowca. Rozwiązanie to pozwoliło na analizę wpływu przemian strukturalnych na funkcjonowanie rynku. W budowie tych modeli starano się łączyć metodologię tworzenia modeli ekonometrycznych z metodologią Systems Dynamics. Z tymi pracami wiązały się również badania, które w latach 1983-1986 prowadzono (J. Gadowski) nad modelami opóźnienia rozłożonego, wiążące się z modelowaniem transmisji szoków cenowych i podażowych na rynkach surowcowych. Efektem było opracowanie modelu o zmiennym w czasie rozkładzie opóźnienia, który znalazł zastosowanie w opisie mechanizmu transmisji cen rynku światowego na ceny rynkowe w poszczególnych krajach-importerach. Chodziło tu konkretnie o uwzględnienie faktu, że przy niższych zapasach zmiany cen rynku światowego docierają do rynków poszczególnych krajów-importerów szybciej, a przy wysokich zapasach - wolniej. Zjawisko to ma istotny wpływ na dynamikę cen oraz konsumpcji.

W latach 1986-1996 prowadzone były prace (J. Gadowski) nad modelowaniem przemian strukturalnych i efektywności gospodarczej w procesie transformacji gospodarczej. Do badania tego została opracowana funkcja produkcji umożliwiająca analizę procesów produkcyjnych, w których efektywność wykorzystania czynników produkcji nie jest zapewniona w sposób systemowy. Pozwoliło to na analizę efektywności wykorzystania siły roboczej i kapitału w przemyśle polskim pod koniec lat osiemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych.

---

## 8. Modelowanie wybranych procesów makroekonomicznych

---

W latach 1988-1992 prowadzono prace badawcze (I. Woroniecka- Leciejewicz) nad modelami przepływów międzygałęziowych. Poddano analizie stabilność prognoz produkcji globalnej i końcowej uzyskiwanych na podstawie modelu Leontieva ze stałą w czasie macierzą przepływów. Przeprowadzono analizę wrażliwości produkcji globalnej na zmiany poszczególnych współczynników techniczno-ekonomicznych oraz dokonano selekcji „najważniejszych” przepływów międzygałęziowych na podstawie macierzy współczynników tolerancji. Opracowano trzyetapową procedurę prognozowania. Dla współczynników, na których zmiany układ jest najbardziej wrażliwy opracowywano indywidualne prognozy ekonometryczne. Pozostałe współczynniki są dopasowywane odpowiednio do przewidywanych wartości brzegowych macierzy przepływów.

W modelu prognozy wybranych współczynników dokonano podziału zmiennych objaśniających na zmienne popytowe i podażowe. Zwrócono uwagę na różnice w mechanizmie i sile oddziaływania czynników wpływających na kształtowanie się wartości współczynników techniczno-ekonomicznych w gospodarce rynkowej



## Modelowanie matematyczne

i centralnie planowanej. Decydujące znaczenie w gospodarce rynkowej odgrywają czynniki popytowe, natomiast w gospodarce nakazowej - podażowe. Głównym czynnikiem długofalowych zmian w obu typach gospodarki są nakłady inwestycyjne poniesione w przeszłości. Natomiast dodatkowym czynnikiem leżącym głównie u źródeł substytucji między nakładami są dla gospodarki rynkowej - zmiany w relacji cen nakładów, natomiast dla gospodarki nakazowej - zmiany w dostępności tych nakładów.

W latach 1993-2001 podejmowano wiele aktualnych zagadnień z zakresu modelowania ekonomicznego (I. Woroniecka-Leciejewicz). Badano wpływy szoków podażowych na gospodarkę, modelowano procesy inflacji kosztowej i popytowej oraz analizowano wpływ administracyjnych podwyżek cen i indeksacji płac na poziom inflacji w gospodarce polskiej. Analizowano szokowy wzrost cen na nośniki energii, surowce, materiały i dobra pośrednie. Oszacowano skutki inflacyjne administracyjnej podwyżki cen dla wariantowych założeń dotyczących mechanizmów inflacji kosztowej i popytowej wraz z ich rozkładem w czasie. Przeanalizowano różne przypadki przenoszenia impulsów inflacyjnych w gospodarce. Zaproponowano również miernik wrażliwości inflacyjnej gospodarki i przeprowadzono analizę tak zdefiniowanej wrażliwości dla gospodarki polskiej. Przeprowadzono analizę czynników wpływających na zmiany strukturalne zachodzące w gospodarce polskiej, w tym: postępu technicznego, zmian efektywności produkcji, zmian w strukturze popytu konsumpcyjnego, inwestycji, zmian systemowych dokonujących się w okresie transformacji (prywatyzacji przedsiębiorstw, rozwoju rynków i doskonalenia mechanizmów rynkowych, zmiany w konkurencyjności (lub zmonopolizowaniu) poszczególnych sektorów, rozwoju infrastruktury finansowej, zmieniającej się roli budżetu państwa w gospodarce. Podjęto próbę kwantyfikacji preferencji konsumpcyjnych na podstawie modelu decyzyjnego konsumenta, zakładającego racjonalność podejmowanych przez niego decyzji. Konsument dokonuje wyboru optymalnego koszyka konsumpcyjnego (rozumianego jako koszyk w dający największą satysfakcję z konsumpcji) maksymalizując funkcję użyteczności przy ograniczeniu budżetowym na wydatki konsumpcyjne. Struktura optymalnego koszyka konsumpcyjnego odzwierciedla strukturę popytu i zależy z jednej strony od preferencji konsumpcyjnych, które są parametrami funkcji użyteczności, z drugiej - od informacji płynących z rynku o cenach produktów i usług.

---

## 9. Modelowanie procesów ciągłych

---

**Modele procesów technologicznych.** Wiele prac prowadzonych w IBS PAN dotyczy modelowania ciągłych procesów technologicznych do celów optymalizacji i sterowania. Przykładowo w tym zakresie prowadzono prace nad modelowaniem procesów produkcji szkła (J. Studziński wspólnie z Z. Nahorskim i W. Tuszyńskim), mechaniczno-biologicznymi oczyszczalniami ścieków oraz komunalnymi sieciami wodociągowymi. Prace te były zastosowane w praktyce: w hucie szkła w Sandomierzu, w oczyszczalni ścieków w Rzeszowie i w sieci wodociągowej w Rzeszowie. Celem ogólnym było stworzenie zintegrowanych systemów komputerowych do wspomagan

decyzji technologicznych przy sterowaniu złożonymi systemami technicznymi na podstawie ich modeli matematycznych.

W badaniach waniennych szklarskich opracowano modele dynamiki przepływu masy szklanej w piecu wannowym, stosując do opisu modeli nieliniowe równania różniczkowe Naviera-Stokes'a oraz liniowe równania różniczkowe zwyczajne. Estymację parametrów w modelach wykonano na podstawie pomiarów odpowiedzi impulsowej obiektu, otrzymanej w wyniku przeprowadzonego eksperymentu czynnego. Do identyfikacji modeli o parametrach skupionych zastosowano metodę identyfikacji pośredniej, umożliwiającą tworzenie modeli wysokiego rzędu o złożonej dynamice. Badania dotyczące modelowania waniennych szklarskich były dofinansowane przez KBN w ramach projektu badawczego „*Modelowanie matematyczne i identyfikacja zbiorników z przepływem i mieszaniem cieczy nieściśliwej*”. Wyniki badań zawarto w monografii J. Studzińskiego w języku rosyjskim „*O razrabotkie matematycznych modelej tieczzenja stieklannoj masy w wannach stieklowariennych pieczach*” (Moskwa 1994), oraz prezentowano m.in. w postaci wykładów w 2 szkołach letnich nt. *zaawansowanych zastosowań mechaniki*, zorganizowanych przez Gesellschaft fuer Angewandte Mathematik und Mechanik w Regensburgu w 1997 r. i w Sankt-Petersburgu w 2001 r.

W badaniach oczyszczalni (Z. Nahorski, J. Studziński, L. Bogdan) opracowano oryginalną metodę estymacji objętości czynnej zbiorników przy niestacjonarnych przepływach oraz metodę planowania eksperymentu dla tego przypadku. Powstały też modele dynamiki mieszania ścieków w zbiornikach oczyszczalni oraz modele procesu technologicznego oczyszczania. Estymację parametrów w modelach wykonano - podobnie jak w przypadku badań waniennych szklarskich - na podstawie pomiarów odpowiedzi impulsowej obiektu, otrzymanej w wyniku przeprowadzonego eksperymentu czynnego, oraz na podstawie pomiarów podstawowych parametrów ścieków surowych i oczyszczonych wykonywanych rutynowo w laboratorium oczyszczalni i pozyskiwanych automatycznie. Otrzymane modele zostały użyte do opracowania algorytmów sterowania procesem technologicznym dla uzyskania zadanych parametrów ścieków oczyszczonych. Badania dotyczące modelowania oczyszczalni zostały dofinansowane przez KBN w ramach projektu badawczego „*Optymalizacja i sterowanie procesu technologicznego w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków na podstawie modeli matematycznych*” oraz w ramach projektu celowego „*System komputerowego wspomaganie decyzji technologicznych w miejskiej oczyszczalni mechaniczno-biologicznej w Rzeszowie*”.

W badaniach sieci wodociągowych (J. Studziński, L. Bogdan) opracowano złożony model komunalnej sieci wodociągowej, stosując do jego opisu nieliniowe równania algebraiczne. Cechą szczególną modelu jest uwzględnienie w strukturze sieci dużej liczby obiektów aparaturowych, takich jak: zbiorniki, pompownie, hydrofornie, zawory, reduktory, zasuwki, oraz użycie godzinowych charakterystyk rozbioru wody przy symulacji komputerowej pracy sieci. Estymację parametrów w modelu wykonano na podstawie pomiarów ciśnień i przepływów wody pozyskiwanych automatycznie z zainstalowanego na obiekcie systemu monitoringu. Opracowany model użyto do opracowania algorytmów sterowania pracą pompowni i zbiorników dla uzyskania



## Modelowanie matematyczne

zadanych parametrów eksploatacyjnych w węzłach odbiorczych sieci. Badania dotyczące modelowania oczyszczalni zostały dofinansowane przez KBN w ramach projektu celowego. „Komputerowy system modelowania, projektowania i sterowania siecią wodociagową w Rzeszowie”.

Prace nad modelowaniem procesów środowiska naturalnego podsumowano w monografii Piotra Holnickiego, Z. Nahorskiego i Antoniego Żochowskiego „Modelowanie procesów środowiska naturalnego” (Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, 2000)

**Modele procesów dla celów medycznych.** W tym zakresie na uwagę zasługują prace Z. Nahorskiego, który zajmował się modelowaniem tętnicy udowej człowieka do diagnostyki zakrzepicy na podstawie badań ultrasonograficznych oraz modelowaniem przepływu radioizotopów przez nerki. Wspólnie z Andrzejem Weryńskim (z Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN) pracował też nad budową modelu metabolizmu lipoprotein - głównego nośnika cholesterolu we krwi. W wyniku tych badań odkryto nieznana wcześniej dobową zmienność współczynnika katabolizmu LDL. Prace nad modelami procesów biomedycznych przedstawili i uogólnili Z. Nahorski i A. Weryński w monografii „Modele kompartmentowe” (IBS PAN, seria: Badania systemowe, w druku).

L. Bogdan i Z. Nahorski zajmowali się opracowaniem modelu matematycznego układu moczowego człowieka na podstawie pomiarów radioizotopowych nerek. Modele nerek opracowano metodą identyfikacji pośredniej. Zaproponowano sposób identyfikacji górnego układu moczowego oparty na dekompozycji układu moczowego na dwie części: część związaną z układem krwionośnym i część związaną z nerkami. Model taki pozwala na wyznaczenie niektórych istotnych ocen ilościowych. Przykładowo na podstawie opracowanego modelu można wyznaczyć stosunek rozplywu krwi do obu nerek. W dalszych pracach stosowano też dokładniejsze modele fizjologiczne uwzględniające, w szczególności, różne długości nefronów. Wykazano, że modele kompartmentowe można traktować jako aproksymację modeli dokładniejszych.

**Modele sieci zbiorników retencyjnych.** Prowadzono badania nad modelami optymalnego rozrządu wody w systemie wodno-melioracyjnym na przykładzie zlewni górnej Noteci. Prace nad takim modelem prowadzili J. Gutenbaum, M. Inkielman, J. Babarowski, H. Pietkiewicz-Sałdan.

W ramach tych badań opracowano strukturę hierarchiczną do zarządzania oraz operacyjnego sterowania systemem. Zadanie sprowadzono do dwupoziomowego algorytmu optymalnego rozdziału zasobów w sieci: na poziomie górnym optymalizuje się przepływy w sieci, a na poziomie dolnym rozdział między odbiorcami, czerpiącymi z tego samego węzła. Sformułowano zadanie optymalizacji repetycyjnej rozrządu wody, jako zadanie maksymalizacji produkcji rolnej. Przedstawiono metodę optymalizacji parametrów reguł decyzyjnych sterowania sieciami dendrytowymi. Uwzględniono stochastyczny charakter funkcji celu i ograniczeń. Wprowadzając reguły decyzyjne dokonano dekompozycji problemu na zadanie planowania i sterowania operacyjnego zbiornikami. Opracowano metodę komputerowego przekształcania ograniczeń stochastycznych w postać deterministyczną, na podstawie rozkładów

prawdopodobieństw opadów. Opracowano koncepcję bazy danych wodno-melioracyjnych. Przeprowadzono symulację działania systemu sterowania.

M. Inkielman opublikował 2 monografie na temat sterowania siecią zbiorników retencyjnych: „*Analiza i symulacyjne badania liniowych reguł decyzyjnych do sterowania rozrzędem wody w systemach wielozbiornikowych*” (PWN 1991) oraz „*Symulacyjne metody analizy sterowanych wielozbiornikowych systemów wodnych*” (IBS PAN 1995).

---

## 10. Modelowanie wybranych procesów o parametrach rozłożonych

---

**Modele przemian fazowych.** Przemiany fazowe typu *ciało stałe - ciecz* lub *ciecz - gaz* występują w wielu procesach technologicznych, w szczególności w procesach elektrochemicznych, metalurgicznych, krystalizacyjnych, przy mrożeniu i konsolidacji struktur geologicznych, przy filtracji w ośrodkach porowatych. Modelowanie tego typu procesów należy do najtrudniejszych zadań modelowania matematycznego ze względu na ich zależność zarówno od czasu, jak i od zmiennych przestrzennych, a także istotny wpływ nieciągłości charakterystyk na granicy faz. Toteż na specjalne omówienie zasługują prace Ireny Pawłow prowadzone na światowym poziomie. O poziomie tych prac świadczą zarówno nazwiska współautorów, np. N. Kenmochi z Japonii, H. W. Alt z Niemiec, a także tytuły czasopism oraz serii monograficznych, w których są publikowane (*Advances in Mathematical Sciences and Applications, Journal of Differential Equations, Applied Mathematics and Optimization, Control and Cybernetics* i inne).

Szczegółowe wyniki prac Ireny Pawłow dotyczą istnienia i jednoznaczności globalnych w czasie rozwiązań równań modelujących wielowymiarowe dwufazowe zjawiska ze swobodną granicą (zagadnienie Stefana) z nieliniowymi współczynnikami i źródłami. Odrębny, nowatorski nurt badań stanowiło zastosowanie abstrakcyjnej teorii równań ewolucyjnych z operatorem subróżniczkowym do analizy paraboliczno-eliptycznych zagadnień ze swobodnymi granicami i zależnymi od czasu ograniczeniami na zmienne stanu na brzegu obszaru lub w jego wnętrzu. Problemy tego typu występują, na przykład w przepływach w ośrodkach porowatych i w procesach formowania elektrochemicznego.

Metodę operatora różniczkowanego zastosowano również do modelowania dyfuzyjnych termodynamicznie niestabilnych procesów separacji faz, charakteryzujących się naturalnymi ograniczeniami na zmienne stanu. Z punktu widzenia matematycznego są to zagadnienia paraboliczne czwartego rzędu z niemonotonicznymi nieliniowościami. Procesy tego typu sprzężone z transportem energii stały się podstawą nowego kierunku badań, polegających na analizie teoretycznej istnienia globalnych w czasie rozwiązań oraz konstrukcji poprawnych termodynamicznie klas modeli i ich symulacji numerycznej.

Prace w dziedzinie nieizotermicznej separacji faz zapoczątkowały nowatorski kierunek badań dotyczących konstrukcji modeli przemian fazowych opartych na



### Modelowanie matematyczne

parametrze porządku. Istotą zaproponowanego podejścia było ściśle matematyczne sformułowanie i odpowiednie wykorzystanie aksjomatu entropii z mnożnikami, które wyraża drugą zasadę termodynamiki. Metodologia ta była dalej rozwijana w zastosowaniu do konstrukcji rozmaitych poprawnych termodynamicznie klas modeli matematycznych ośrodków ciągłych z mikrostrukturą, opisywanych wektorowym parametrem porządku. Inne zastosowanie metody dotyczy nowego modelu procesu przemiany fazowej typu *ciało stałe - ciecz* z energią wewnętrzną jako parametrem porządku, który ma postać izomorficzną do równania Cahna-Hillarda.

Prowadzone aktualnie przez I. Pawłow badania dotyczą nieliniowych materiałów termosprężystych z pamięcią kształtu oraz zagadnień związanych z tzw. *procesem Czochralskiego*, stosowanym przy przemysłowej produkcji monokryształów krzemu i germanu. Występują tu nierozwiązane problemy badawcze, które stanowią aktualnie obszar zainteresowań nauki światowej. W tym zakresie zaproponowano nowy trójwymiarowy model strukturalnych przemian fazowych w ciałach stałych, w którego budowie zastosowano prawa zachowania i zasadę entropii z mnożnikami. Stanowi on uogólnienie znanego z literatury modelu jednowymiarowego (model Falka) na trójwymiarowy. Opisuje pola prędkości i temperatury w obszarach stopu i kryształu wraz z dynamiką powierzchni międzyfazowych *stop-kryształ*, *kryształ-powietrze* oraz dynamikę krzywej kontaktu trzech faz. Przy uproszczeniu polegającym na uwzględnieniu jedynie zjawisk termicznych, model sprowadza się do dwufazowego zagadnienia Stefana z konwekcją, określonego w zadanym obszarze, zależnym od czasu. W wyniku wieloletnich badań otrzymano nowe rezultaty dotyczące istnienia i jednoznaczności globalnych rozwiązań dla modeli tego typu.

**Modelowanie materiałów z pamięcią kształtu.** W tym zakresie, ważnym ze względu na możliwości stosowania materiałów z pamięcią kształtu w dziedzinie wysokich technologii, pojawiają się trudne i nierozwiązane problemy matematyczne. Prace teoretyczne na ten temat prowadzili Antoni Żochowski z prof. K. H. Hoffmanem z Berlina („*Existance of Solutions to some Nonlinear Thermoelastic Systems with Viscosity*”, Math. Methods in the Applied Sciences, 7 (21), 1988) oraz z I. Pawłow. („*Nonlinear Thermoelastic Systems with Viscosity and Nonlocality*”, W: Free Boundary Problems; Theory and Applications. Proceeding of the Conference, Gakkotosho, Tokyo, 2000) Zastosowali w nich oryginalną metodę dekompozycji parabolicznej. Uzyskali istotne i oryginalne wyniki dotyczące istnienia i własności rozwiązań równań różniczkowych cząstkowych tworzących model.

*Andrzej STRASZAK*

- Straszak A., Nahorski A., Sikorski J. (red.) (1990): I Krajowa konferencja badań operacyjnych i systemowych, BOS'88, Książ 13-17 czerwca 1998, t. 1,2. PTBOiS-IBS PAN, Warszawa, 600 s.
- Straszak A., Owsiański J. (1978): *Control theoretic approach to socio-economic systems. role and applicability*. IFAC Congress Helsinki 12-16 June 1978. PERGAMON PRESS, Oxford.
- Straszak A., Stefański J., Ziółkowski A., Cichocki W. (1985): *Computer aided learning in a two-level economy with nonlinear economic regulators*. W: Artificial Intelligence in Economic and Management. IFAC Workshop, Zurich, March 1985.
- Straubel R., Studziński J. (2000): *Computer aided planning and operating of the water networks in Koeninghs-Wusterhausen and Rzeszów*. W: M. M. Sozański (red.): Water supply and water quality. Conference Proceedinds of IVth International conference, Kraków, 11-13.09.2000. PZliTS, Kraków-Poznań, ss. 43-54, 7 poz. bibl.
- Studziński J., Hryniewicz O., Kacprzyk J., Drelichowski L. (red.) (2000): *Technologie informatyczne w zarządzaniu. Systemy wspomaganie decyzji*. IBS PAN, Warszawa, Seria: Badania Systemowe, t. 26, 312 s.
- Studziński J., Straubel R. (2000): *Problemy projektowania i wdrażania systemów informatycznych do modelowania, optymalizacji i sterowania komunalnymi sieciami wodociagowymi*. W: J. F. Lemański, J. Łomotowski, S. Zabawa (red.): *Wspomaganie komputerowe w projektowaniu i eksploatacji systemów wodociagowych i kanalizacyjnych*. Materiały IV Ogólnopolskiego Seminarium Naukowo-Szkoleniowego, Świnoujście-Kopenhaga, październik 2000, PZliTS, Poznań, ss. 42-57, 7 poz. bibl.
- Żochowski A., Ostrowski R. (1979): *Koncepcja zastosowania modelu w planowaniu rozwoju miasta*. W: *Zastosowania analizy systemowej w modelowaniu rozwoju regionalnego*, t. 1. Konferencja szkoleniowa. Jabłonna 11-16 września 1979. PWN, Warszawa-Łódź.



## Skorowidz nazwisk

### A

Adamiecki Karol, 133, 134  
Adamus Józef, 130  
Albegov Murat M., 143  
Altman Anna, 83, 131  
Ameljańczyk Andrzej, 41, 44, 45, 143  
Arczewska Wanda, 24, 114, 123, 131  
Atanassov Krassimir T., 55

### B

Babarowski Janusz, 27, 33, 143  
Bachner Tadeusz, 116  
Baka Władysław, 111  
Banaszak Zbigniew, 121  
Bańka Stanisław, 130  
Bańkowski Jacek, 111  
Bar Ludwik, 111, 112  
Barski Aleksy, 143  
Bartczak Michał, 130  
Bartoszczuk Paweł, 122  
Bednarczuk Ewa, 83, 84, 121, 122  
Bellman Richard E., 50, 55  
Bełkowski Czesław, 102, 106, 107, 115  
Bereziński Mirosław, 106, 114, 122, 140, 141, 143  
Białasiewicz Jan, 103, 129  
Bielawski Stanisław, 103, 106, 107, 116, 118  
Bobrowski Leon, 130  
Bogdan Lucyna, 146  
Bogobowicz Agnieszka, 130  
Bogucki Waldemar, 108  
Bojańczyk Michał, 130  
Bojarski Włodzimierz, 103  
Borkowski Jerzy, 103, 106, 116, 118  
Boroń Józef, 111  
Bronisz Piotr, 122, 131  
Brzyski Artur M., 131  
Bubnicki Zdzisław, 90, 120, 121, 127, 134, 140, 143  
Budziński Ryszard, 124, 126, 141  
Bury Hanna, 140, 143, 144  
Butkiewicz Jan, 63, 106, 114

### C

Chołaj Henryk, 111  
Chudy Marian, 121, 143, 144, 147  
Chwesiuk Krzysztof, 130  
Cichocki Krzysztof, 122, 144, 150  
Ciechanowicz Kazimierz, 63, 67, 106, 115, 123  
Ciechanowicz Wiesław, 11, 45, 46, 122, 140, 141, 144  
Cios Krzysztof J., 130  
Czarnecki Stefan, 102, 103, 106, 107

### D

Daddesh Abdalla Maalul, 131  
Darowski Marek, 130  
Dąbrowski Mirosław, 115  
Decowski Marek, 107, 115, 116  
Deeb Ali Mashat, 131  
Dernałowicz Janusz, 104, 108, 114, 115  
Dmowski Ryszard, 103, 106, 107, 115  
Dobrzyński Waldemar, 122, 131  
Doktór Kazimierz, 111, 112, 119  
Domański Ryszard, 90  
Dowgiałło Zygmunt, 124, 141, 144  
Drapich Wit, 111  
Drucker Peter F., 134  
Dubicki Bolesław, 106  
Dudziński Krzysztof, 84, 130  
Dulewicz Włodzimierz, 102  
Dulewski Jan, 116  
Dunajski Zbigniew, 106  
Dwojak Barbara, 128  
Dwojak Stanisław, 102, 106  
Dydycz Jadwiga, 115  
Dziewoński Kazimierz, 120

### E

Emirsajłow Zbigniew, 130

### F

Fayol Henri, 133  
Fedrizzi Mario, 51, 52, 55, 56, 58, 59, 60, 61  
Filipczyński Leszek, 118  
Filus Jerzy, 130  
Findeisen Władysław, 101, 102, 105, 106, 109, 111, 119, 120, 129, 135, 136, 149  
Firkowicz Szymon, 63, 70, 102, 103, 106, 107, 111, 114, 115  
Francelin Roseli A, 51, 55, 58  
Fu K. S., 50, 55  
Fung L. W., 50, 55

### G

Gadomski Jan, 27, 29, 30, 122  
Gadziński Feliks, 106  
Gajda Bronisław, 120  
Gasparski Wojciech, 111, 112, 119  
Gawroński Ryszard, 102, 103, 104, 106, 107, 111, 115  
Gawryś Anna, 41, 130  
Gałarek Dariusz, 10, 69, 70, 84, 121, 130  
Gecow Andrzej, 131  
Gessing Ryszard, 121  
Gibała Stanisław, 112, 121  
Gilowska Irena, 129

Gliński Bohdan, 111  
 Gliszczyńska Xymena, 112, 113  
 Głębicki Kazimierz, 102, 106  
 Głowacki Sławomir, 112, 113  
 Głuszek Adam, 131  
 Golinowski Aleksander, 111  
 Gomide Fernando A. C., 51, 55, 58  
 Gondzio Jacek, 122  
 Gosiewski Anatol, 121  
 Górecki Henryk, 102, 106, 111, 119, 120, 129  
 Grabowski Aleksander, 114, 120  
 Grabowski Wiesław, 114, 120  
 Grabski Tadeusz, 111  
 Grąbczewski Zbigniew, 131  
 Grudzewski Wiesław, 111, 120  
 Grunwald Grzegorz, 106, 112  
 Grygiel Grażyna, 131  
 Grzegorzewski Przemysław, 53, 54, 55, 56, 66, 69, 70, 121, 122, 131  
 Grzesiak Ludwik, 111  
 Grzybowski Leon, 130  
 Grzywacz Agnieszka, 91  
 Gutenbaum Jakub, 24, 27, 33, 71, 72, 84, 90, 103, 106, 107, 113, 120, 121, 122, 125, 126, 128, 129, 140, 144

## H

Halama Henryk, 111  
 Hellwig Zdzisław, 111  
 Ho Quang Minh, 130  
 Holnicki-Szulc Piotr, 33, 42, 45, 46, 89, 122, 127, 130, 144  
 Hołubiec Jerzy, 36, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 90, 103, 106, 107, 113, 121, 123, 125, 126, 127, 128, 129, 134, 140, 141, 143, 144, 148  
 Hołyński Marek, 63  
 Hryniewicz Olgierd, 46, 53, 54, 56, 57, 63, 65, 69, 70, 91, 121, 123, 127, 128, 129, 140, 144, 147, 150

## I

Inkielman Michał, 27, 29, 33, 34, 91, 92, 106, 121, 122, 127, 130  
 Iracki Krzysztof, 129  
 Iwanowska Anna, 119  
 Iwański Cezary, 51, 58, 131, 144

## J

Jackowski Zygmunt, 131  
 Jakubowski Andrzej, 141, 145, 146  
 Jankowska-Zorychta Zofia, 114, 123  
 Janssen J. M. L., 145  
 Jarominek Władysław, 102, 106, 111, 120  
 Jedynak Andrzej, 111  
 Jędrzycki Wiesław, 112  
 Johnson Lyndon B., 136

Joszczuk Jolanta, 131  
 Józwiak Agnieszka, 141  
 Józwiak Ireneusz, 130  
 Józwiak Adam, 130  
 Judycki Władysław, 130  
 Jupowiecka-Mieszala Urszula, 130  
 Jurkiewicz Ewa, 130  
 Jurkowska Teresa, 130, 145, 147

## K

Kacprzyk Janusz, 9, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 69, 70, 121, 127, 128, 129, 130, 135, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150  
 Kacprzyński Bogdan, 24, 36, 41, 44, 103, 106, 111, 113, 120, 123, 129, 141, 145  
 Kaczmarek Jan, 111, 120, 136  
 Kaczmarek Zdzisław, 120, 136  
 Kaczorek Tadeusz, 120  
 Kaliszewski Ignacy, 26, 84, 121, 130  
 Kałuszek Andrzej, 29, 45, 46, 122, 144  
 Kamiński Franciszek, 103  
 Kanczewski Antoni, 103  
 Kantorowicz Leon, 134  
 Karczewska Anna, 103  
 Karkos Eugeniusz, 116  
 Kiliński Antoni, 102  
 Kisielnicki Jerzy, 122, 145  
 Kiwił Krzysztof, 83, 84, 85, 86, 87, 121, 122, 125, 126, 127, 128, 129  
 Kleiber Michał, 90  
 Klekowski Romuald, 90  
 Klukowski Leszek, 131, 145  
 Kmita Zbigniew, 120  
 Kochetkov A., 145  
 Kołowrocki Krzysztof, 130  
 Komorowska Irena, 130, 145, 147  
 Konorski Jerzy, 102, 106  
 Korbicz Józef, 129  
 Korcelli Piotr, 120  
 Korczak Edward, 131  
 Koronacki Jacek, 121  
 Kortan Jerzy, 111  
 Kosiński Janusz, 131  
 Kostek Bożena, 130  
 Kotarbiński Tadeusz, 112, 133  
 Kotowski Włodzimierz, 111  
 Koruszewska Barbara, 117, 124  
 Kcwal Robert, 131  
 Kowalik Adam, 111  
 Kowalska Elżbieta, 24, 123, 131  
 Kowalski Janusz, 116  
 Kozarski Maciej, 130  
 Kozdrój Marian, 111, 116  
 Koziara Mieczysław, 113  
 Koźmiński Andrzej K., 111  
 Kożuchowski Jan, 102, 106  
 Krajewski Wiesław, 45, 122, 130, 143, 144  
 Krawczak Maciej, 91, 92, 122, 131, 141, 144, 145



Krawiec Bogdan, 144, 145  
Król Henryk, 111, 120  
Kruszyński Jan, 108  
Kruś Lech, 91, 113, 122, 124, 140, 141, 143, 146  
Krzakiewicz Stefan, 111  
Krzyków Andrzej, 107, 116  
Krzywiecka Ewa, 130  
Księżopolska Lidia, 146  
Kuczmowski Tomasz, 130  
Kudrewicz Jacek, 102  
Kulczycki Piotr, 121  
Kulikowski Jan J., 103  
Kulikowski Juliusz L., 108, 109, 114, 119, 128  
Kulikowski Roman, 5, 6, 90, 91, 92, 102, 103, 106, 107, 109, 111, 113, 119, 120, 121, 122, 125, 126, 127, 134, 135, 136, 137, 138, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 149  
Kulpa Zenon, 115  
Kulpiński Jan, 111  
Kurnal Jerzy, 111  
Kurzydłowska Anna, 130, 147  
Kusiak Andrzej, 130  
Kuznicki Leszek, 90  
Kwiek Janusz, 116

## L

Lebson Stefan, 101  
Lesisz Piotr, 130  
Leszczyński Jerzy, 124  
Leśkiewicz Henryk J., 102, 103, 106  
Lewin Włodzimierz, 63, 122, 130  
Libura Marek, 87, 106, 121, 123, 130, 149  
Lorentz Zbigniew, 130

## Ł

Łabuda Waldemar, 46, 122, 131  
Ładziński Radosław, 102  
Łazar Dariusz, 131  
Łodziński Andrzej, 130  
Łopuch Bożena, 86, 122, 131  
Łuba Tadeusz, 91  
Łukasik Stanisław, 46, 106, 122, 123, 141, 147

## M

Madey Marek, 111  
Magiera Włodzimierz, 131  
Malanowski Kazimierz, 83, 84, 87, 103, 106, 111, 113, 119, 120, 121, 122, 125, 126, 127, 128, 129  
Malicka-Wąsowska Joanna, 41, 45, 46, 47, 122, 130, 143, 144  
Malicki Zdzisław, 111, 144  
Malinowski Jacek, 69, 131  
Manczarski Stefan, 102  
Mańczak Kazimierz, 5, 13, 24, 25, 101, 103, 106, 107, 111, 113, 114, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 134, 140, 144, 147  
Marczyński Romuald, 106

Markiewicz Władysław, 111  
Maroński Józef, 115  
Marszał Stanisław, 111, 120  
Masłyk Ewa, 112  
Matczewski Andrzej, 120  
Maźbic-Kulma Barbara, 91, 92, 114, 122, 123, 141, 145, 147  
Mensz Paweł, 130  
Michalewski Edward, 106, 113, 122, 125, 141, 143, 147  
Michał Mirosław, 131  
Mierzejewski Henryk, 113, 122, 148  
Mirski Zenon, 116  
Morawski Witold, 112  
Moroz Piotr, 102  
Mossakowski Mirosław, 90  
Myśliński Andrzej, 78, 79, 88, 89, 122, 131

## N

Nahorski Zbigniew, 24, 25, 32, 33, 46, 88, 91, 92, 114, 121, 123, 127, 128, 129, 130, 143, 144, 146, 147, 149, 150  
Nałęcz Maciej, 102, 103, 105, 106, 107, 109, 111, 115, 118, 119, 120, 129, 135  
Napierała Mieczysław, 111  
Neuman John von, 139  
Niedźwiedzińska Hanna, 131  
Niewiadomski Adam, 131  
Nieżgódka Marek, 71, 121  
Niżnik Ryszard, 131  
Novak Vilem, 130  
Nowacki Paweł J., 102, 106, 118, 135  
Nowakowska Maria, 112  
Nowakowski Janusz, 103  
Nowicki Tadeusz, 102, 106, 107, 108, 111, 114, 130  
Nowocień Romuald, 41, 45, 130  
Nurmi Hannu, 51, 55, 58, 59, 61  
Nykowski Ireneusz, 121

## O

Obodowski Janusz, 111  
Ogryczak Włodzimierz, 130  
Olbryś Joanna, 131  
Olech Czesław, 90  
Oleksyn Leszek, 91  
Olinger Wiktor, 130  
Olko Eugeniusz, 111  
Olszewski Jerzy, 111  
Ostapczuk Bronisław, 111  
Ostrowski Roman, 91, 92, 113, 114, 115, 121, 122, 136, 141, 148, 150  
Owsiński Jan, 53, 55, 61, 114, 122, 123, 128, 129, 131, 136, 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150

## P

Pajestka Józef, 111

Palacz Tadeusz, 113  
Pasiczny Leszek, 111, 112, 113, 120, 123  
Paszowski Stanisław, 106, 111, 120  
Pawlak Zdzisław, 9, 52, 90, 91, 106, 111, 121  
Pawłow-Nieżgódka Irena, 34, 35, 71, 88, 121  
Pawłowski Zbigniew, 120  
Pecze Tadeusz, 111  
Pedrycz Witold, 129  
Pełczewski Władysław, 102, 106, 120  
Peszyńska Małgorzata, 122  
Petriczek Grażyna, 41, 46, 47, 122, 131, 143, 144  
Piasecki Stanisław, 41, 44, 45, 64, 70, 111, 114, 120, 121, 123, 124, 134, 140, 141, 145, 147, 148  
Piekarczyk Stanisław, 92, 108, 116, 124, 126  
Piekarski Krzysztof, 88, 131  
Pietryka Elżbieta, 91, 92  
Podgórski Tadeusz, 111  
Podkaminer Leon, 122  
Pogorzelec Anna, 145, 147  
Pogorzelska-Bartczak Elżbieta, 91  
Porwit Krzysztof, 112  
Potrzebowski Henryk, 122, 141, 148  
Prażewska Mieczysława, 129  
Prochot Zbigniew, 112, 121  
Prochowski Maciej, 91  
Przeździecki Zygmunt, 102, 106  
Pstrokoński Maciej, 106  
Pszczołowski Tadeusz, 112  
Pudykiewicz Janusz, 130  
Pustoła Jerzy, 102, 106, 116, 118  
Puzdrakiewicz Zdzisław, 117

## R

Radzikowski Władysław, 111, 115  
Rakus Andrzej, 130  
Redmer Brunon, 106  
Rembisz Włodzimierz, 122  
Rewo Ludomir, 130  
Rokicki Wojciech, 46, 141, 148  
Rolewicz Stefan, 106, 120, 121  
Romanowicz Tomasz, 131  
Rudnicki Jerzy, 130  
Runowska Joanna, 129  
Rybicki Zygmunt, 111  
Rychlewski Jerzy, 130  
Ryczaj Tadeusz, 111

## S

Seidler Jerzy, 102, 111  
Siekierski Tadeusz, 117  
Siemaszko Czesław, 123  
Sienkiewicz Piotr, 91  
Sikorski Jarosław, 91, 92, 122, 130, 149, 150  
Simon Herbert, 134  
Siwik Jan, 101, 112  
Skrobot Stanisław, 111  
Słomiński Leon, 107, 108, 114, 122, 123, 124  
Słotwiński Bronisław, 113

Sochocki Ryszard, 103, 106  
Sokołowski Jan, 78, 79, 80, 84, 85, 87, 88, 89, 114, 121, 123, 128, 129  
Sokołowski Jerzy, 124  
Solarz Jan, 112  
Sosnowski Janusz, 45, 123, 125, 126, 130, 147  
Stachowicz Jan, 116  
Staniewski Piotr, 50, 59, 122  
Stapp Elżbieta, 130  
Startek Eugeniusz, 111  
Stasiński Jan, 106  
Stefański Jacek, 129, 130, 148, 150  
Stelmach Jan, 107  
Stempień Andrzej, 101, 104  
Stępień Jolanta, 131, 147  
Struszek Andrzej, 51, 59, 92, 101, 102, 103, 106, 107, 109, 111, 112, 113, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 134, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150  
Straubel Reinhard, 150  
Strycharczyk Jerzy, 130  
Strykowski Paweł, 59, 131  
Studziński Jan, 25, 31, 32, 46, 122, 131, 134, 141, 144, 147, 150  
Styrczula Andrzej, 102, 106, 112  
Subieta Kazimierz, 114  
Sulecka-Nowocień Anna, 45  
Szapiro Tomasz, 121  
Szczepaniak Piotr, 121  
Szczepański Jan, 112  
Szkatuła Grażyna, 122, 131  
Szkatuła Krzysztof M., 121, 126, 127, 130  
Szmidt Eulalia, 54, 55, 61, 121  
Szoda Zenon, 120  
Szparkowski Zygmunt, 101, 102, 105, 106  
Szpruch Wiesław, 123  
Szydłowski Leszek, 131

## Ś

Śliwiński Tadeusz, 102, 106  
Świerczyński Maciej, 108

## T

Taylor Frederick W., 133  
Thieme Jerzy, 101, 104, 105, 108, 109, 117, 119, 128, 129  
Tomaszewski Janusz, 103  
Topiński Stanisław, 103, 106, 107, 115, 118  
Torbicz Władysław, 103, 106, 118  
Trzcieniecki Jerzy, 112  
Turing Alan M., 139  
Turski Władysław, 111  
Tyszko Sławomir, 115

## U

Unton Fryderyk, 130



ISBN 83-85847-63-4

W. MAŃCZAK red. BADANIA SYSTEMOWE - XXV. Jecie IBS PAN