Przyspieszenie w technice

Pod redakcją

JAMESA R. BRIGHTA
MILTONA E. F. SCHOEMANA

Z języka angielskiego tłumaczyli:

Krzysztof Kasiński
Andrzej Jakubowski
Barbara Sobierska
Elżbieta Przyszychowska
Zbigniew Gutowski
Zbigniew Glapiński
Antoni Kantecki

Dane o oryginale:

A GUIDE TO PRACTICAL TECHNOLOGICAL FORECASTING

Editors
JAMES R. BRIGHT, MILTON E. F. SCHOEMAN
Graduate School of Business Administration,
University of Texas

Original English language edition published by Prentice-Hall, Inc.,
Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
Copyright © 1973 by PRENTICE-HALL, INC.

Opiniodawca *Andrzej Ehrlich*
Redaktor WNT *Barbara Kalisz*
Okładkę i strony tytułowe projektował *Andrzej Pilich*
Redaktor techniczny *Bogumił Marczak*

65.012.2

Książka jest tłumaczeniem zbioru artykułów napisanych przez specjalistów amerykańskich. Autorzy omawiają w niej podstawowe metody prognozowania, dokumentując je konkretnymi przykładami zastosowań, przede wszystkim w technice, lecz również w takich dziedzinach jak ekonomia, ekologia czy socjologia. Wiele uwagi poświęcono sprawom organizacji procesu prognozowania i realizacji prognozy. Książka jest przeznaczona dla szerokiego kręgu czytelników interesujących się problematyką prognozowania technicznego, a zwłaszcza dla pracowników instytutów naukowo-badawczych, przemysłowych, biur konstrukcyjnych oraz osób zajmujących się prognozowaniem w przedsiębiorstwach.

© Copyright for the Polish edition by
Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978
All rights reserved
Printed in Poland

WNT Warszawa 1978. Wydanie I. Nakład 3000+250 egz. Ark. wyd. 47,7. Ark. druk. 42,5 (56,53/A). Format B-5. Papier druk. sat. kl. III. 70 g. Pracę oddano do składania 4.V.1977 r. Podpisano do druku w czerwcu 1978 r. Druk ukończono w czerwcu 1978 r. Cena zł 145,—
Symbol IPT/79063
CDW Cieszyn, Zakład nr 5 w Bielsku-Białej, zam. 117/K/77

Spis treści

Przedmowa do wydania polskiego 9

Przedmowa do wydania oryginalnego 16

Część pierwsza
KU LEPSZEJ PROGNOZIE W TECHNICE 21

James R. Bright
Proces innowacji technicznej — pomoc w zrozumieniu prognozowania techniki 23

Stephen Jeckovich
Planowanie dla potrzeb zarządzania wykraczające poza prognozowanie statystyczne 35

Joseph P. Martino
Ocena trafności prognozy 49

David G. Jopling, Stephen J. Gage, Milton E. F. Schoeman
Prognozowanie oporu opinii publicznej wobec rozwoju techniki. Przykład lokalizacji reaktorów jądrowych 79

Część druga
ROZWÓJ METOD PROGNOZOWANIA W ZAKRESIE TECHNIKI 95

William H. Clingman, jr
Prognozowanie rozwoju naukowo-badawczego 99

Donald L. Pyke
Wykreślanie map — systemowa koncepcja zobrazowania alternatyw 114

Alan R. Fusfeld
Nowa technika prognozowania: funkcja postępu technicznego . . . 126

Joseph P. Martino
Ekstrapolacja trendów 142

Theodore J. Gordon, M. J. Raffensperger
Zastosowanie metody drzew istotności w planowaniu badań podstawowych 163

Maurice E. Esch
System PATTERN firmy Honeywell: Wspomaganie procesu planowania przez techniczne oszacowanie współczynników istotności . . . 185

William L. Swager
Drzewa perspektywiczne — metoda twórczego zastosowania prognoz 204

Clark C. Abt, Richard N. Foster, Robert H. Rea
Metody tworzenia scenariuszy 235

W. H. Clive Simmonds
Analiza przemysłu i jej zastosowanie w prognozowaniu 262

James R. Bright
Prognozowanie na podstawie obserwacji sygnałów zmian technicznych 287

A. Wade Blackman, jr
Prognozowanie metodą modelowania dynamicznego 308

Lucien Gerardin
Analiza wielowariantowej przyszłości: Metoda pisania scenariusza 328

Część trzecia
PROGNOZOWANIE TECHNICZNE W ZASTOSOWANIU DO PROBLEMATYKI BIEŻĄCEJ 343

M. Eugene Merchant
Prognozowanie rozwoju techniki jako element pomocniczy w projektowaniu procesów i wyposażenia produkcyjnego 345

Karle S. Packard
Wpływ nowej techniki na działalność przedsiębiorstwa 356

Dawid W. Brown, James L. Burkhardt
Zastosowanie prognozowania technicznego w planowaniu rynku pamięci komputerów 370

Frederick P. Glazier
Doświadczenie wieloprzemysłowe w prognozowaniu optymalnych rozwiązań technicznych 391

Robert L. Haney
Model trójwymiarowy dla oceny wpływu techniki przyszłości na zarządzanie gospodarcze w marynarce wojennej 421

Kenneth E. Knight
Zastosowanie prognozowania technicznego w przemyśle komputerowym 440

A. Wade Blackman, jr
Prognozowanie metodą „normex" parametrów technicznych silnika odrzutowego 469

Dennis L. Meadows
Błędy prognostyczne powstające przy wyborze projektów prac badawczo-rozwojowych 485

Lucien Gerardin
Analiza morfologiczna — metoda twórczości 507

Część czwarta
ZWIĘKSZENIE ZAKRESU PROGNOZOWANIA TECHNICZNEGO — ZWIĄZEK Z INNYMI DZIEDZINAMI 523

John R. Ehrenfeld
Środowisko — rosnący czynnik ograniczający zmiany w technice . 525

David V. Edwards
Prognozy polityczne 537

Jared E. Hazelton
Wpływ ochrony środowiska na rynki surowcowe 546

Elizabeth K. Rabitsch
Analiza przepływów międzygałęziowych a prognozowanie ekonomiczne 565

Theodore J. Gordon, Selwyn Enżer, Richard Rochberg
Eksperymentalna gra symulacyjna w celu badania polityki społecznej 579

Część piąta
PRACE ORGANIZACYJNE ZWIĄZANE Z PROGNOZOWANIEM W TECHNICE 607

Joseph P. Martino
Prognozowanie techniczne w planowaniu prac badawczo-rozwojowych 609

Laurence D. McGlauchlin
Prognozowanie techniczne w planowaniu badań 625

Richard C. Davis
Organizacja i realizacja prognozowania technicznego w przedsiębiorstwie artykułów konsumpcyjnych 638

Erich Jantsch
Nowe formy organizacyjne w prognozowaniu 657

Skorowidz 673

KENNETH E. KNIGHT

Associate Professor of Management, University of Texas at Austin

Zastosowanie prognozowania technicznego w przemyśle komputerowym

Trudno mówić o postępie w technice nie uwzględniając najpotężniejszego wynalazku naszych czasów — komputera. Jednakże jest rzeczą ciekawą, iż mamy bardzo niewiele pogłębionych prac studialnych na temat ewolucji zachodzącej w tej dziedzinie. Niniejszy rozdział, oparty na pracy doktorskiej autora (obronionej na Uniwersytecie Stanfordskim), jest bezsprzecznie najbardziej wyczerpującym ilościowym studium zmian, jakim podlegają podstawowe parametry komputerów [1]. Autor buduje złożony model, obejmujący wiele istotnych cech komputera, a następnie kreśli krzywe efektywności i krzywe kosztów dla poszczególnych lat. Dane te można zużytkować do prognozy mocy obliczeniowej komputerów w przyszłości; ścisłe i szczegółowe informacje dotyczące 214 komputerów czynią z niniejszego rozdziału jedną z niewielu analiz o prawdziwie ilościowym charakterze poświęconych historii rozwoju zdolności technicznej.

[1] Aspekty badań przedstawionych w niniejszym artykule zostały pokazane również w dwu następujących publikacjach autora: K. E. Knight, Changes in Computer Performance, *Datamation*, Vol. 12, No. 9, 1966, pp. 40—54; K. E. Knight, Evolving Computer Performance 1963—67, *Datamation*, Vol. 14, No. 1, 1968, pp. 31—35.

Pierwsze 20 lat przemysłu komputerowego należało do gorączkowych. Uczyniono w tym czasie ogromny krok na drodze do skonstruowania niezawodnego i taniego komputera. Aby uzyskać jasny obraz, zobaczmy, gdzie byliśmy i jak szybko posuwaliśmy się, żeby dotrzeć do miejsca, w którym znajdujemy się obecnie.

1. Przedstawiamy opis efektywności 310 systemów komputerowych ogólnego przeznaczenia. Opis ten ocenia ogólne możliwości każdego systemu komputerowego wynikające z jego elementów sprzętowych oraz jego podstawowe zastosowania w dziedzinie nauki i gospodarki.

2. Opierając się na opisach efektywności komputerów wprowadzanych w poszczególnych latach, przedstawimy krzywą techniczną dla każdego roku. Krzywa ta odzwierciedla teoretyczną moc obliczeniową, jaką można zakupić w zależności od wysokości miesięcznej stawki za dzierżawę.

3 Ekonomika skali dla każdego roku wyraża się związkiem, jaki zachodzi między mocą obliczeniową a kosztem systemu obliczeniowego, który w przybliżeniu odpowiada następującemu wyrażeniu: Moc obliczeniowa = $(C \times \text{koszt systemu})^2$, przy czym C jest stała.

4. W latach 1950—1962 średnie tempo postępu technicznego mierzonego liczbą operacji przypadającą na jeden dolar wynosiło prawie 100%.

5. Główne wyniki historycznych badań ekonomiki skali oraz tempo zmian technicznych stanowią podstawę prognoz technicznych — ekstrapolacji trendu.

Opis funkcjonalny komputerów ogólnego przeznaczenia

Zdolność systemu do wykonywania zadań obliczeniowych reprezentuje opis funkcjonalny (lub ocena) tego systemu. Dla naszych celów zajmiemy się jedynie dwoma aspektami działania komputera: (1) mocą obliczeniową P, określoną liczbą operacji standardowych na sekundę; (2) kosztem sprzętu C, mierzonym liczbą sekund pracy systemu przypadającą na jeden dolar ceny sprzętu.

Moc obliczeniowa P określa prędkość, z jaką system dokonuje przetwarzania informacji, odpowiada to liczbie operacji na sekundę. Dwie maszyny rozwiązują określone zadania w różnych operacjach wewnętrznych, ze względu na ich specyficzne rozwiązania techniczne. Dlatego P będzie się odnosić do operacji o równorzędnej przydatności dla rozwiązywania zadań, dzięki czemu otrzymujemy żądaną miarę pracy komputera. Będziemy oszacowywać P na podstawie struktury komputera. W tym celu musimy zrozumieć przede wszystkim, które czynniki mają wpływ na moc obliczeniową. Następnie, aby zbudować model funkcjonalny, ustalamy sposób, w jaki czynniki te oddziałują na siebie. Na wartość P składają się trzy główne czynniki: (1) prędkość obliczeniowa jednostki centralnej (t_c); (2) czas oczekiwania przez jednostkę centralną na informacje wejściowo-wyjściowe ($t_{I/O}$); oraz (3) pojemność pamięci (M).

Te czynniki są ważnymi elementami potrzebnymi do ustalenia wartości P. Określamy t_c jako czas (w μs) potrzebny do wykonania 1 miliona operacji, a $t_{I/O}$ jako czas pracy urządzeń wejścia/wyjścia, bez podwójnego liczenia, niezbędny do realizacji miliona operacji. Liczony w mikrosekundach czas oczekiwania bez podwójnego liczenia oznacza tu nieuwzględnianie w rachunku faktu, iż w ciągu 1 sekundy jednostka centralna czeka na informację z więcej aniżeli z jednego urządzenia. Komputer wykonuje zatem $10^{12}(t_c+t_{I/O})$ operacji na sekundę. Parametry pamięci komputera mają wpływ na wartość P. Stwierdziliśmy, że między pamięcią, czasem operacji wewnętrznych a mocą obliczeniową występuje następująca zależność:

$$M \times \frac{10^{12}}{t_c+t_{I/O}} = P$$

Prędkość wewnętrzna jednostki centralnej t_c odpowiada czasowi potrzebnemu, aby komputer wykonał swoje zadania przetwarzania informacji. Prędkość ta równa się czasom realizacji operacji wewnętrznych każdego komputera, przemnożonym przez częstość wykonywania każdej z nich. W związku z tym, aby ustalić prędkość wewnętrzną, trzeba zmierzyć częstości, z którymi różne operacje są realizowane podczas rozwiązywania typowego problemu. Zbadaliśmy w przybliżeniu 15 mln operacji wykonywanych przez komputery IBM 704 i IBM 7090 ze zbioru ponad 100 problemów występujących w zastosowaniach naukowych. W trakcie analizy operacji, które wystąpiły w tym zbiorze problemów, instrukcje zostały zgrupowane w pięć następujących kategorii:

1. Wykonane instrukcje dodawania (odejmowania) stałopozycyjnego oraz porównania.
2. Potrzebne instrukcje dodawania (odejmowania) zmiennopozycyjnego.
3. Instrukcje mnożenia.
4. Instrukcje dzielenia.
5. Instrukcje pozostałe, w tym instrukcje logiczne — ta kategoria składa się z dużej liczby instrukcji skoków, przesunięć, instrukcji logicznych oraz instrukcji rejestrów.

Ustalone przez nas względne częstości wykonywania poszczególnych typów operacji w badanych przez nas programach naukowych przedstawiono w tabl. 1.

Dla ustalenia częstości wykonywania różnych operacji w zastosowaniach gospodarczych, dokonano szczegółowej analizy dziewięciu programów (dwa programy gospodarki materiałowej, trzy programy księgowości ogólnej, jeden program fakturujący, jeden program płac oraz dwa

Tablica 1. Model funkcjonalny (algorytm) służący do obliczania wartości P dla dowolnego komputera

$$P = \frac{10^{12}\left[\frac{(L-7)(T)(WF)}{32\,000\,(36-7)}\right]^{i}}{t_c + t_{I/O}}$$

$$t_c = 10^4\,[C_1 A_{F1} + C_2 A_{F2} + C_3 M + C_4 D + C_{5\mu}]$$

$$t_{I/O} = P \times OL_1\, 10^6[(W_{I1} \times B \times 1/K_{I1}) + (W_{O1} \times B \times 1/K_{O1}) + N(S_1 + H_1)]R_1 + (1-P)OL_2\; 10^6[(W_{I2} \times B \times 1/K_{I2}) + (W_{O2} \times B \times 1/K_{O2}) + N\,(S_2 + H_2)]\,R_2$$

Zmienne (parametry) systemu liczącego

P = moc obliczeniowa komputera
L = długość słowa (w bitach)
T = ogólna liczba słów pamięci
t_c = czas realizacji 1 miliona operacji przez jednostkę centralną
$t_{I/O}$ = czas oczekiwania jednostki centralnej na realizację operacji wejścia/wyjścia
A_{F1} = czas realizacji pojedynczej operacji dodawania stałopozycyjnego
A_{F2} = czas realizacji pojedynczej operacji dodawania zmiennopozycyjnego
M = czas realizacji pojedynczej operacji mnożenia
D = czas realizacji pojedynczej operacji dzielenia
N = czas realizacji pojedynczej operacji logicznej
B = liczba znaków wejścia/wyjścia w każdym słowie
K_{I1} = szybkość wprowadzania informacji (liczba znaków na sekundę) przez podstawowe urządzenia wejścia/wyjścia systemu
K_{O1} = szybkość wyprowadzania informacji (liczba znaków na sekundę) przez podstawowe urządzenia wejścia/wyjścia systemu
K_{I2} = szybkość wprowadzania informacji (liczba znaków na sekundę) przez pozostałe urządzenia wejścia/wyjścia systemu
K_{O2} = szybkość wyprowadzania informacji (liczba znaków na sekundę) przez pozostałe urządzenia wejścia/wyjścia systemu
S_1 = czas startu urządzeń podstawowych wejścia/wyjścia systemu, nie nakładający się na czas liczenia
H_1 = czas zatrzymania urządzeń podstawowych wejścia/wyjścia nie nakładający się na czas liczenia
S_2 = czas startu pozostałych urządzeń wejścia/wyjścia systemu, nie nakładający się na czas liczenia
H_2 = czas zatrzymania pozostałych urządzeń wejścia/wyjścia systemu, nie nakładający się na czas liczenia
R_1 = 1+ułamek czasu urządzeń podstawowych wejścia/wyjścia potrzebny do przewinięcia nie kolidującego z liczeniem
R_2 = to samo co R_1 dla pozostałych urządzeń wejścia/wyjścia systemu

Czynniki częściowo stałe

Symbol	Opis	Wartości dla:	
		obliczeń naukowych	obliczeń gospodarczych
WF	Słowo		
	(a) pamięć o stałej długości słowa	1	1
	(b) pamięć o zmiennej długości słowa	2	2

Tabl. 1. (cd.)

1	2	3	4
C_1	Współczynnik charakteryzujący procentowy udział stałopozycyjnych operacji dodawania		
	(a) komputery bez rejestrów indeksowych lub adresowania pośredniego	10	25
	(b) komputery z rejestrami indeksowymi lub adresowaniem pośrednim	25	45
C_2	Współczynnik procentowego udziału zmiennopozycyjnych operacji dodawania	10	0
C_3	Współczynnik procentowego udziału operacji mnożenia	6	1
C_4	Współczynnik procentowego udziału operacji dzielenia	2	0
C_5	Współczynnik procentowego udziału operacji logicznych	72	74
P	Procent operacji wejścia/wyjścia korzystających z podstawowych urządzeń wejścia/wyjścia		
	(a) systemy korzystające tylko z podstawowych urządzeń wejścia/wyjścia	1,0	1,0
	(b) systemy korzystające z podstawowych i pomocniczych urządzeń wejścia/wyjścia	zmienne	zmienne
W_{I1}	Liczba słów na wejściu na jeden milion operacji wewnętrznych przy wykorzystaniu podstawowego systemu wejścia/wyjścia	Wartości identyczne jak podane wyżej dla W_{I1}	
	(a) system wejścia/wyjścia wykorzystujący taśmy magnetyczne	20 000	100 000
	(b) inne urządzenia wejścia/wyjścia	2000	10 000
W_{O1}	Liczba słów na wyjściu na jeden milion operacji wewnętrznych przy wykorzystaniu systemu wejścia/wyjścia	Wartości identyczne jak podane wyżej dla W_{I1}	
W_{I2}/W_{O2}	Liczba słów wejścia/wyjścia na jeden milion wewnętrznych operacji przy wykorzystaniu pomocniczego systemu wejścia/wyjścia		
N	Liczba ilustrująca, ile razy pojedyncza jednostka informacji jest czytana lub wyprowadzana na zewnątrz komputera na jeden milion operacji	4	20
OL_1	Współczynnik pracy równoległej nr 1 — ułamek czasu pracy podstawowego systemu wejścia/wyjścia, któremu nie towarzyszy równoległy proces liczenia		
	(a) praca pojedyncza — bez buforu	1	1
	(b) czytanie albo pisanie wraz z liczeniem — pojedynczy bufor	0,85	0,85
	(c) czytanie, pisanie i liczenie — pojedynczy bufor	0,7	0,7
	(d) wielokrotne czytanie, pisanie i liczenie — kilka buforów	0,60	0,60
	(e) wielokrotne czytanie, pisanie i liczenie z programem przerwań — kilka buforów	0,55	0,55
OL_2	Współczynnik pracy równoległej nr 2 — ułamek czasu pracy pomocniczego systemu wejścia/wyjścia, któremu nie towarzyszy równoległy proces liczenia	Wartości są identyczne jak dla OL_1, od punktu a do e.	

programy planowania produkcji). Wszystkie te programy zrealizowano na komputerze IBM 705; obejmowały one ponad 1 mln operacji [1].

Do analizy tych dziewięciu programów wykorzystaliśmy pięć rodzajów instrukcji wyodrębnionych przy obliczeniach naukowych. Częstość względną, z jaką wykonywano poszczególne rodzaje instrukcji w programach gospodarczych, pokazano w tabl. 1. Czas oczekiwania jednostki centralnej ($t_{I/O}$) na informacje wejściowo-wyjściowe jest funkcją ilości informacji, które muszą zostać wprowadzone do komputera, ilości informacji, które trzeba wyprowadzić na zewnątrz, prędkości, z jaką informacje są przesyłane do komputera i na zewnątrz oraz funkcją stopnia uniezależnienia operacji wejścia/wyjścia od pracy jednostki centralnej.

Gdy badaliśmy wymagania wejścia/wyjścia, nie byliśmy w stanie obliczyć rzeczywistej liczby elementów informacji (lub liczby słów) pisanych lub czytanych. Zamiast tego dokonaliśmy pomiaru (1) czasu pracy samej jednostki centralnej, (2) czasu pracy jednostki centralnej wraz z operacjami wejścia/wyjścia oraz (3) czasu oczekiwania jednostki centralnej na realizację operacji wejścia/wyjścia. Na podstawie rzeczywistych czasów realizacji operacji wejścia/wyjścia oraz publikowanych prędkości realizacji tych operacji, możliwe stało się oszacowanie liczby słów czytanych i pisanych. Dla oszacowania wielkości $t_{I/O}$ przebadano następujące systemy: IBM 704, 705, 650, 7070, 7090, 1401; Philco 211; oraz Bendix G15. Liczby dla systemu 7090 zostały ustalone dokładnie, dzięki zastosowaniu zegara systemu dla pojedynczego kanału we/wy, kanału podwójnego we/wy oraz kanału podwójnego we/wy z użyciem przerwań programowych. Natomiast pozostałe liczby otrzymaliśmy, stosując mniej dokładne metody obliczeniowe. Rezultaty uzyskane na podstawie dokładnych pomiarów systemu IBM 7090 oraz innych systemów były bardzo podobne, przedstawiono je w tabl. 1.

Pojemność (M) pamięci komputera ma ogromny wpływ na jego moc obliczeniową. Dysponując pamięcią o dużej objętości można przetwarzać bardzo rozbudowane zadania, które w przeciwnym razie zostałyby podzielone na części. W przypadku mniejszych zadań pamięć o dużej pojemności pozwala korzystać z szeregu podprogramów, programów kompilacyjnych itp. Wraz z wprowadzaniem wieloprocesowego i wieloprogramowego przetwarzania duże pamięci dają dodatkowe korzyści przy rozwiązywaniu wszelkiego rodzaju problemów.

Nie udało nam się wynaleźć praktycznych sposobów dokonywania analitycznych pomiarów wpływu wielkości pamięci komputera na

[1] Bardziej szczegółowy opis budowy tego modelu funkcjonalnego przedstawiono w pracy: K. E. Kgniht, A Study of Technological Innovation — The Evolution of Digital Computers. (Praca doktorska, Carnegie Institute of Technology, 1963).

wielkość jego mocy obliczeniowych. Najlepszym wyjściem było uzyskanie opinii specjalistów najlepiej orientujących się w problematyce komputerów. Przeprowadzono rozmowy z 48 inżynierami, programistami oraz innymi specjalistami, których poproszono o oszacowanie wpływu wielkości pamięci komputera na jego moc obliczeniową.

Niezależnie od zróżnicowania poszczególnych opinii, otrzymane odpowiedzi wykazywały dostatecznie wiele analogii, ażeby można było zbudować model funkcjonalny, za pomocą którego dokonuje się szacunkowej oceny wpływu wielkości pamięci komputera na jego wydajność. Wyniki naszych badań przedstawiono w tabl. 1.

Komputery poddane testom

Oba parametry opisu funkcjonalnego zostały obliczone dla komputerów ogólnego zastosowania, zainstalowanych w Stanach Zjednoczonych i znanych autorowi. Listę komputerów ustalono na podstawie szczegółowych badań literatury fachowej. Pominięto komputery, które nie mają elementów strukturalnych, występujących w modelu funkcjonalnym (chodziło tu zwłaszcza o element P). Komputery, które nie znajdują się w grupach funkcjonalnie podobnych do systemów zdefiniowanych za pomocą modelu funkcjonalnego, są maszynami budowanymi i wykorzystywanymi do wykonywania zadań specjalnych. Systemy te mają ograniczony i specjalistyczny zestaw urządzeń zewnętrznych lub też ograniczone możliwości realizacji arytmetyki wewnętrznej, dlatego też nie zostały przez nas uwzględnione.

Większość najnowszych komputerów ogólnego zastosowania zostało wyprodukowanych w seriach obejmujących dziesiątki, a nawet tysiące sztuk. Przy produkcji wielkoseryjnej producenci oferują dużą liczbę konfiguracji systemów. W takim przypadku nie wystarcza jeden opis funkcjonalny. Wiele komputerów ma ponad osiem różnych zestawów pamięci, trzy systemy wejścia/wyjścia, cztery konfiguracje kanałów oraz cztery dodatkowe rozwiązania arytmetyki i sterowania. Stanowi to ponad $(8\times3\times4\times4)$ 384 różnych konfiguracji. Aczkolwiek w praktyce produkuje się jedynie nieliczne konfiguracje, w nowoczesnych systemach może potencjalnie wystąpić kilkaset różnych zestawów. Nie jest możliwe obliczenie mocy obliczeniowej nawet kilku konfiguracji każdego systemu. Dlatego też musieliśmy ograniczyć się do jednej konfiguracji każdego systemu.

Wydawało się, że najlepszą metodą będzie wybór najbardziej typowych konfiguracji poszczególnych systemów. W przypadku gdy wystąpiły zmiany strukturalne, korzystaliśmy ze sprzętu, który był dostępny w trakcie uruchomienia systemu. W paru przypadkach gdy do-

Tablica 2. Systemy obliczeniowe

Lp.	Komputer: Nazwa	Data wprowadzenia komputera na rynek		Obliczenia naukowe: *P* op/s	Obliczenia naukowe: *C* s/$	Obliczenia dla celów gospodarczych: *P* op/s	Obliczenia dla celów gospodarczych: *C* s/$
1	Harvard Mark I		1944	0,0379	50,94	0,406	50,94
2	Bell Lab. Computer model IV	marzec	1945	0,0068	509,4	0,035	509,4
3	Eniac		1946	7,448	31,81	44,65	31,81
4	Bell Computer model V		1947	0,0674	84,83	0,296	84,83
5	Harvard Mark II	wrzesień	1948	0,1712	50,94	0,774	50,94
6	Binac	sierpień	1949	21,75	127,2	11,70	127,2
7	IBM CPC		1949	2,126	207,8	14,37	207,8
8	Bell Computer model III		1949	0,0674	102,2	0,296	102,2
9	SEAC	maj	1950	102,8	50,94	253,8	50,94
10	Whirlwind I	grudzień	1950	110,7	31,81	45,57	31,18
11	Univac 1101 Era 1101	grudzień	1950	682,5	50,94	301,8	50,94
12	IBM 607		1950	5,666	479,6	34,06	479,6
13	Avdiac		1950	108,5	84,83	51,20	84,83
14	Adec	styczeń	1951	54,26	42,42	57,16	42,42
15	Burroughs Lab. Calculator	styczeń	1951	5,605	254,5	7,718	254,5
16	SWAC	marzec	1951	632,2	50,94	324,7	50,94
17	Univac I	marzec	1951	140,1	24,94	271,4	24,94
18	ONR Relay Computer	maj	1951	0,2937	127,2	1,050	127,2
19	Fairchild Computer	czerwiec	1951	2,000	127,2	4,539	127,2
20	National 102	styczeń	1952	1,260	848,3	2,998	848,3
21	IAS	marzec	1952	467,0	84,83	305,0	84,83
22	Maniac I	marzec	1952	302,7	101,9	163,4	101,9
23	Ordvac	marzec	1952	268,8	72,76	127,8	72,76
24	Edvac	kwiecień	1952	31,56	54,22	14,86	54,22
25	Teleregister Special Purpose Digital Data Handling	czerwiec	1952	12,16	78,93	26,43	78,93
26	Illiac	wrzesień	1952	123,1	72,76	50,43	72,76
27	Elcom 100	grudzień	1952	1,278	424,2	3,241	424,2
28	Harvard Mark IV		1952	63,99	42,42	64,95	42,42
29	Alwac II	luty	1953	10,17	509,4	12,08	509,4
30	Logistics Era	marzec	1953	52,85	72,00	39,01	72,0
31	Oarac	kwiecień	1953	24,38	141,4	35,71	141,4
32	ABC	maj	1953	29,88	212,1	11,66	212,1
33	Raydac	lipiec	1953	171,3	8,483	244,6	8,483
34	Whirlwind II	lipiec	1953	233,4	21,21	95,96	21,21
35	National 102A		1953	4,089	116,5	8,400	116,5
36	Consolidated Eng. Corp. Model 36—101		1953	38,31	181,8	21,07	181,8
37	Jaincomp C	sierpień	1953	4,745	103,9	3,375	103,9
38	Flac	wrzesień	1953	61,55	50,94	107,9	50,94
39	Oracle	wrzesień	1953	1002	31,81	563,4	31,81
40	Univac 1103	wrzesień	1953	749,0	28,34	666,2	28,34

Tabl. 2 (cd.)

Lp.	Komputer Nazwa	Data wprowadzenia komputera na rynek		Obliczenia naukowe P op/s	Obliczenia naukowe C s/$	Obliczenia dla celów gospodarczych P op/s	Obliczenia dla celów gospodarczych C s/$
41	Univac 1102	grudzień	1953	460,3	50,94	240,0	50,94
42	Udec I	grudzień	1953	16,38	72,67	21,93	72,67
43	NCR 107		1953	16,99	254,5	34,44	254,5
44	Miniac	grudzień	1953	10,91	267,6	9,545	267,6
45	IBM 701		1953	992,7	18,34	615,7	18,34
46	IBM 604		1953	2,766	974,2	20,19	974,3
47	AN/UJQ-2(YA-1)		1953	21,48	84,83	56,16	84,83
48	Johnniac	marzec	1954	319,2	84,83	284,9	84,83
49	Dyseac	kwiecień	1954	72,18	50,90	172,4	50,90
50	Elcom 120	maj	1954	5,471	261,9	6,456	262,0
51	Circle	lipiec	1954	14,04	318,1	10,59	318,1
52	Burroughs 204 i 205	lipiec	1954	80,84	77,94	187,3	77,94
53	Modac 5014	lipiec	1954	6,238	299,8	10,09	299,8
54	Ordfiac	lipiec	1954	2,607	92,51	6,011	92,51
55	Datatron	sierpień	1954	113,7	113,2	243,1	113,2
56	Modac 404	wrzesień	1954	7,116	254,5	15,29	254,5
57	Lincoln Memory Test	grudzień	1954	1,925	9,285	768,7	9,285
58	TIM II	grudzień	1954	7,414	848,3	7,439	848,3
59	Caldic		1954	23,99	203,8	41,34	203,8
60	Univac 60 i 120	listopad	1954	0,0924	356,3	1,473	356,3
61	IBM 650	listopad	1954	110,8	155,9	291,1	155,9
62	WISC		1954	7,736	145,7	6,413	145,7
63	NCR 303		1954	3,491	117,6	8,281	117,6
64	Mellon Inst. Digital Computer		1954	14,23	169,9	10,55	169,9
65	IBM 610		1954	0,1408	519,6	0,437	519,6
66	Alwac III		1954	44,80	302,7	91,42	302,7
67	IBM 702	luty	1955	394,4	20,78	1,063	20,78
68	Monrobot III	luty	1955	0,3743	299,8	1,188	299,8
69	Norc	luty	1955	545,8	10,17	268,2	10,17
70	Miniac II	marzec	1955	11,76	267,6	17,44	267,6
71	Monrobot V	marzec	1955	0,4678	295,5	1,607	295,5
72	Udec II	październik	1955	7,244	84,83	10,65	84,83
73	RCA BIZMAC I i II	listopad	1955	285,6	5,668	967,9	5,668
74	Pennstac	listopad	1955	26,75	212,1	22,98	212,1
75	Technitral 180		1955	110,0	46,19	190,1	46,19
76	National 102D		1955	7,317	112,3	14,20	112,3
77	Monrobot VI		1955	0,3293	222,7	0,966	222,7
78	Modac 410		1955	24,18	203,8	51,84	169,9
79	Midac		1955	101,6	169,9	29,00	169,9
80	Elcom 125		1955	31,24	164,1	29,01	164,1
81	Burroughs E 101		1955	0,6898	580,0	2,319	580,0
82	Bendix G15	sierpień	1955	57,34	419,9	30,25	419,9
83	Alwac III E	listopad	1955	41,50	249,4	90,15	249,4

Tabl. 2 (cd.)

Lp.	Komputer Nazwa	Data wprowadzenia komputera na rynek		Obliczenia naukowe P op/s	Obliczenia naukowe C s/$	Obliczenia dla celów gospodarczych P op/s	Obliczenia dla celów gospodarczych C s/$
84	Readix	luty	1956	80,63	194,9	87,99	194,9
85	IBM 705, I, II	marzec	1956	734,0	13,27	2087	13,27
86	Univac 1103 A	marzec	1956	2295	19,49	1460	19,49
87	AF CRC	kwiecień	1956	81,66	31,81	28,97	31,81
88	Guidance Function	kwiecień	1956	5,246	461,9	7,744	461,9
89	IBM 704	kwiecień	1956	10670	13,18	3785	13,18
90	IBM 701 (CORE)		1956	2378	17,81	1807	17,81
91	Narec	lipiec	1956	444,8	25,45	190,6	25,45
92	LGP 30	wrzesień	1956	41,94	479,6	32,75	479,6
93	Modac 414	październik	1956	28,26	169,9	42,94	169,9
94	Elecom 50		1956	0,5990	139,2	1,776	1039
95	Udec III	marzec	1957	25,11	72,76	20,85	72,76
96	George I	wrzesień	1957	1538	50,94	571,9	50,94
97	Univac File 0	wrzesień	1957	35,20	41,02	73,17	41,02
98	Lincoln TXO		1957	1471	10,19	359,6	10,19
99	Univac II	listopad	1957	1155	22,27	2363	22,27
100	IBM 705 III		1957	2379	13,27	7473	13,27
101	Teleregister Telefile		1957	286,0	65,98	935,9	65,98
102	Recomp I		1957	25,76	363,8	16,14	363,8
103	IBM 608		1957	15,21	389,7	60,69	389,7
104	Mistic		1957	64,28	101,9	24,50	101,9
105	Maniac II		1957	1491	72,84	1421	72,84
106	IBM 609		1957	18,19	530,7	75,21	530,7
107	IBM 305	grudzień	1957	94,47	163,0	96,47	163,0
108	Corbin		1957	1794	50,90	2407	50,90
109	Burroughs E 103		1957	0,6736	551,8	2,286	551,8
110	AN/FSQ 7 i 8		1957	36730	2,834	15560	2,834
111	Alwac 880		1957	2198	50,90	959,7	50,90
112	Univac File I	styczeń	1958	42,49	41,05	92,04	41,05
113	Lincoln CG24	maj	1958	6394	21,21	5933	21,21
114	IBM 709	sierpień	1958	1869	8,882	10230	8,882
115	Univac 1105	wrzesień	1958	4433	14,50	5527	14,50
116	Lincoln TX2		1958	82050	8,483	34000	8,483
117	Philco 2000-210	listopad	1958	29970	17,81	28740	17,81
118	Recomp II	grudzień	1958	41,36	249,4	28,03	249,4
119	Burroughs 220	grudzień	1958	810,2	79,94	1616	79,94
120	Mobidic		1958—1960	8741	10,19	12250	10,19
121	Philco CXPO		1958	2622	15,91	1576	15,91
122	Monrobot IX		1958	0,4598	2545	1,334	2545
123	GE 210	czerwiec	1959	1884	44,54	5085	44,54
124	Cyclone	lipiec	1959	234,6	215,0	119,6	215,0
125	IBM 1620	październik	1959	94,79	331,7	47,20	331,7
126	NCR 304	listopad	1959	1136	40,23	2445	40,23

Tabl. 2 (cd.)

Lp.	Komputer Nazwa	Data wprowadzenia komputera na rynek		Obliczenia naukowe P op/s	Obliczenia naukowe C s/$	Obliczenia dla celów gospodarczych P op/s	Obliczenia dla celów gospodarczych C s/$
127	IBM 7090	listopad	1959	97350	9,742	45470	9,742
128	RCA 501	listopad	1959	638,7	38,97	1877	38,97
129	RW 300	listopad	1959	218,6	45,58	534,3	45,78
130	RPC 9000		1959	14,50	138,6	9521	138,6
131	Librascope Air Traffic		1959	3043	16,94	6130	16,94
132	Jukebox		1959	16,56	338,9	18,66	338,9
133	Datamatic 1000		1959	480,8	13,44	1455	13,44
134	CCC Real Time		1959	393,8	77,17	280,3	77,17
135	Burroughs E 102		1959	0,6670	580,0	1,847	580,0
136	Burroughs D 204		1959	2354	68,00	1183	68,00
137	AN/TYK 6V BASICPAC		1959	1365	50,90	493,0	50,90
138	CDC 1604	styczeń	1960	58290	18,34	20390	18,34
139	Librascope 3000	styczeń	1960	5177	12,47	25320	12,47
140	Univac Solid State 80/90 I	styczeń	1960	329,1	124,7	489,6	124,7
141	Philco 2000-211	marzec	1960	105844	14,845	55740	14,85
142	Univac Larc	maj	1960	142600	4,619	40450	4,619
143	Libratrol 500	maj	1960	21,07	286,0	20,38	286,0
144	Monrobot XI	maj	1960	4,839	890,7	10,30	890,7
145	IBM 7070	czerwiec	1960	2813	23,98	5139	23,98
146	CDC 160	lipiec	1960	119,3	354,3	49,63	354,2
147	IBM 1401 (Mag. Tape)	wrzesień	1960	496,7	83,14	1626	83,14
148	AN/FSQ 31 i 32	wrzesień	1960	172200	6,235	48,360	6,285
149	Merlin	wrzesień	1960	8306	42,42	2925	42,42
150	IBM 1401 (Card)	wrzesień	1960	340,9	215,0	967,8	215,0
151	Mobidic B		1960	5251	12,72	8630	12,72
152	RPC 4000	listopad	1960	89,91	249,4	54,11	249,4
153	PDP-1 (M.T.)	listopad	1960	4455	41,57	2173,3	41,6
154	PDP-1 (P.T.)	listopad	1960	166,6	215	57,16	215,0
155	Packard Bell 250 (PT)	grudzień	1960	62,23	506,9	22,21	506,9
156	Honeywell 800	grudzień	1960	28790	14,85	23760	14,85
157	General Mills AD/ECW-57	grudzień	1960	143,9	141,7	44,03	141,7
158	Philco 3000		1960	102,2	155,9	66,13	155,8
159	Maniac III		1960	11140	25,45	4723	25,45
160	Sylvania S9400		1960	62510	9,306	49550	9,306
161	Target Intercept		1960	16800	33,89	16070	33,89
162	Westinghouse Airbourne		1960	10950	12,47	4806	12,47
163	RCA 300		1960	1466	25,98	687,7	25,98
164	Mobidic CD i 7A AN/MYK		1960	12410	10,39	15430	10,39
165	Litton C7000		1960	18200	11,34	5323	11,34
166	Libratrol 1000		1960	84,16	254,5	50,85	254,5
167	GE 213		1960	122,0	299,8	47,12	299,8
168	Diana		1960	102,1	127,2	48,85	127,2
169	DE 60	luty	1960	0,6384	1155	1,855	1155

Tabl. 2 (cd.)

Lp.	Komputer Nazwa	Data wprowadzenia komputera na rynek		Obliczenia naukowe P op/s	Obliczenia naukowe C s/$	Obliczenia dla celów gospodarczych P op/s	Obliczenia dla celów gospodarczych C s/$
170	Borroughs D107		1960	311,8	63,62	73,95	63,62
171	AN/USQ 20		1960	22390	20,78	23670	20,78
172	AN/TYK 4V Compac		1960	1610	41,57	616,1	41,57
173	General Mills Apsac Jan.	styczeń	1961	16,22	424,2	7,084	424,2
174	Univac Solid State 80/90 II	styczeń	1961	3199	69,28	3044	69,28
175	Bendix G20 i 21	luty	1961	37260	33,17	17060	33,17
176	RCA 301	luty	1961	323,0	113,4	1055	113,4
177	BRLESC	marzec	1961	47240	12,72	28550	12,72
178	GE 225	marzec	1961	6566	77,94	7131	77,94
179	CCC-DDP 19 (Card)	maj	1961	5159	138,6	3027	138,6
180	CCC-DDP 19 (MT)	maj	1961	7908	59,38	8073	59,38
181	IBM Stretch (7030)	maj	1961	371700	2,078	631200	2,078
182	NCR 390	maj	1961	2,034	328,2	10,43	328,2
183	Honeywell 290	czerwiec	1961	354,3	207,8	182,8	207,8
184	Recomp III	czerwiec	1961	48,28	311,8	35,76	311,8
185	CDC 160A	lipiec	1961	1015	138,6	1780	138,6
186	IBM 7080	sierpień	1961	27090	11,34	30860	11,34
187	RW 530	sierpień	1961	13460	59,38	5086	59,38
188	IBM 7074	listopad	1961	41990	19,49	31650	19,49
189	IBM 1410	listopad	1961	1673	62,35	4638	62,35
190	Honeywell 400	grudzień	1961	1354	71,67	2752	71,67
191	Rice Univ.	grudzień	1961	7295	50,90	2378	50,90
192	Univac 490	grudzień	1961	17770	24,94	15050	24,94
193	AN/TYK 7V		1961	4713	41,57	9077	41,57
194	Univac 1206		1961	20990	42,42	17700	42,42
195	Univac 1000 i 1020		1961	3861	66,33	3292	66,33
196	ITT Bank Loan Process		1961	492,6	34,64	1916	34,64
197	George II		1961	298	31,81	675,1	31,81
198	Oklahoma Univ.		1962	7723	50,90	2616	50,90
199	NCR 315	styczeń	1962	3408	65,63	11460	65,63
200	NCR 315 CRAM	styczeń	1962	3364	73,36	9896	73,36
201	Univac File II	styczeń	1962	33,46	38,97	94,49	38,97
202	HRB-Sinder Sema	styczeń	1962	129,2	890,7	56,94	890,7
203	Univac 1004	luty	1962	1,789	479,6	25,29	479,6
204	ASI 210	kwiecień	1962	8868	135,5	4114	135,5
205	Univac III	czerwiec	1962	22720	27,11	22790	27,11
206	Burroughs B200 Seria B270 i 280	lipiec	1962	163,3	95,93	615,3	95,93
207	SDS 910	sierpień	1962	4841	249,4	2355	249,4
208	SDS 920	wrzesień	1962	9244	65,63	4964	65,63
209	PDP-4	wrzesień	1962	220,2	479,6	75,97	479,6
210	Univac 1107	październik	1962	138700	12,47	76050	12,47
211	IBM 7094	listopad	1962	175900	8,782	95900	8,781

Tabl. 2 (cd.)

Lp.	Komputer Nazwa	Data wprowadzenia komputera na rynek		Obliczenia naukowe P op/s	Obliczenia naukowe C s/$	Obliczenia dla celów gospodarczych P op/s	Obliczenia dla celów gospodarczych C s/$
212	IBM 7072	listopad	1963	22710	34,64	8694	34,64
213	IBM 1620 MOD III	grudzień	1962	214,8	259,8	56,89	259,8
214	Burroughs B5000	grudzień	1962	43000	32,82	15910	32,82
215	ASI 420	grudzień	1962	27790	44,54	11090	44,54
216	Burroughs B200 Seria Card Sys.	grudzień	1962	114,3	160,1	437,2	164,1
217	RW 400 (AN/FSQ 27)		1962	7437	12,47	11240	12,47
218	CDC 3600	grudzień	1962	315900	11,34	74900	11,34

konano istotnych modyfikacji systemów, komputery te badaliśmy ponownie. Wartości P i C w przypadku komputerów przeznaczonych do obliczeń numerycznych i przetwarzania danych przedstawiono w tabl. 2, obejmującej 218 komputerów wyprodukowanych w latach 1944—1962 [1].

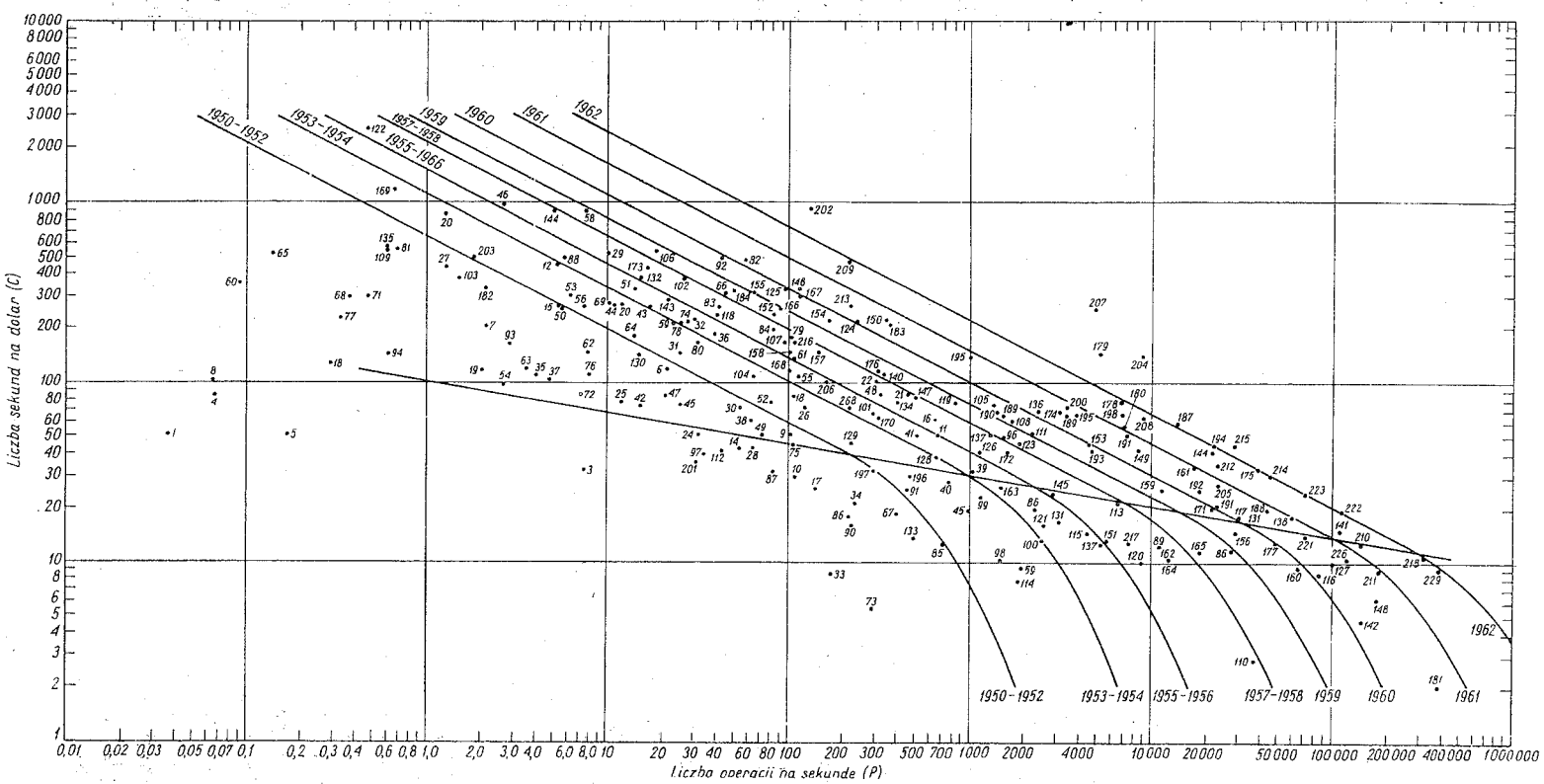
W tablicy 2 podano również datę wprowadzenia na rynek każdego z 218 przedstawionych komputerów. Dla celów naszych badań datę wprowadzenia zdefiniowaliśmy jako chwilę dostarczenia systemu operacyjnego do pierwszego użytkownika. W przypadku gdy komputer pozostaje u producenta, który jest jego pierwszym użytkownikiem, za datę wprowadzenia przyjęliśmy moment pełnego udanego przebiegu podstawowych programów testowych.

Metoda statystycznego uśredniania

Producenci zwykli obliczać moc obliczeniową P i koszty eksploatacji C komputera metodą statystycznego uśredniania. Uzyskane w ten sposób parametry danej maszyny nie powinny być traktowane jako „pomiar" odpowiadający maszynie. Dokonując obliczeń parametrów korzystaliśmy dla naszego średniego zbioru problemów z jednej tylko konfiguracji, typowej dla pierwszych systemów danego typu. Trzeba podkreślić, że nie podjęto przy tym żadnej próby optymalizacji wydajności liczby operacji na sekundę ani też kosztów (liczby operacji na jeden dolar).

Obliczanie P (operacje/s) oraz C (s/dol.) ma na celu uzyskanie ogólnych porównań między komputerami różnych rozmiarów oraz między komputerami wprowadzonymi w różnych latach. Na podstawie uzy-

[1] W oryginalnym badaniu analizowano tylko komputery z 1962 r. (Patrz praca Knighta pt. A Study of Technological Innovation, *op. cit.*).



Rys. 1. Krzywe techniki komputerów stosowanych do obliczeń naukowych (liczby identyfikujące komputery na tym wykresie odpowiadają liczbom w tabl. 2)

skanych danych wnioskujemy o postępie w zakresie mocy obliczeniowych w danym przedziale czasowym oraz badamy różnice, występujące między komputerami małymi i dużymi. Z uwagi na metodę uśredniania, którą zastosowano do obliczenia wielkości P i C, uzyskane przez nas dane nie mogą stanowić podstawy do dokonywania bezpośrednich porównań między dwiema konkretnymi maszynami dla określonych potrzeb użytkowników.

Krzywe techniki

Opis funkcjonalny zawiera dwa parametry, możemy zatem przedstawić je w postaci dwuwymiarowego grafu. Na rysunku 1 są widoczne punkty otrzymane w wyniku kojarzenia dwu wielkości: P (liczba operacji/s) oraz C (s/dol.). Dane dotyczą komputerów stosowanych do obliczeń naukowych. Ze względu na ogromny zakres P i C, rys. 1 został wykreślony w skali logarytmicznej. Liczby umieszczone obok punktów odpowiadają numeracji z listy komputerów zamieszczonych w tabl. 2.

Już wstępna ocena rys. 1 pozwala dostrzec, że systemy wprowadzone wcześniej zajmują lewą, dolną część wykresu, natomiast nowsze — część prawą, górną. Wykres pokazuje, ile mocy obliczeniowej można uzyskać przy różnych kosztach systemu, zarówno wysokich (kilka sekund na dolar), jak i niskich (wiele sekund na dolar). Komputer drogi niezależnie od daty produkcji ma większą moc obliczeniową (wykonuje większą liczbę operacji na sekundę) niż komputer tańszy. Z rysunku 1 wynika, że przy stałej wartości C, otrzymujemy większą wartość P w czasie.

Krzywa, która łączy opisy funkcjonalne komputerów w jednym roku, obrazuje technikę komputerową dla tego roku. Zwiększona wydajność odpowiada stałej zmianie w czasie, umożliwiającej realizację zwiększonej liczby operacji na sekundę przy danym koszcie.

Obecnie chcielibyśmy, opierając się na uzyskanych danych, wykreślić krzywe techniki. Niestety punkty na rys. 1 odnoszące się do poszczególnych lat nie tworzą gładkich krzywych równoległych. Dla dowolnego roku występuje znaczny rozrzut punktów spowodowany (1) różnym stopniem zaawansowania technicznego oraz (2) błędami oszacowania parametrów P i C.

Pierwsza przyczyna rozrzutu punktów nie wymaga raczej wyjaśnienia. Wyprodukowano wiele systemów, o bardzo różnorodnej wydajności. Niektóre systemy zrobiły poważny krok naprzód, w związku z czym trafiły na prawo od punktów pozostałych. Wiele jednak systemów nie osiągnęło nigdy możliwości istniejących obecnie komputerów, dlatego też znajdą się one w obszarze wcześniejszych okresów zaawansowania przemysłu.

Drugą przyczyną rozrzutu punktów jest oczekiwana wariancja oszacowań opisów funkcjonalnych. Wielkość P otrzymano korzystając z modelu funkcjonalnego, za pomocą którego dokonuje się szacunkowej oceny rzeczywistej wydajności każdego systemu. Ponadto występują różnice w polityce cen prowadzonej przez producentów oraz w możliwościach ustalenia, jaki sprzęt wchodzi w skład każdego systemu. W procesie obliczania popełniamy wiele małych błędów, które mogły przeniknąć do oszacowań P i C. To prowadzi do wystąpienia błędu losowego nawet w sytuacji, w której wszystkie systemy cechuje identyczny poziom wiedzy technicznej.

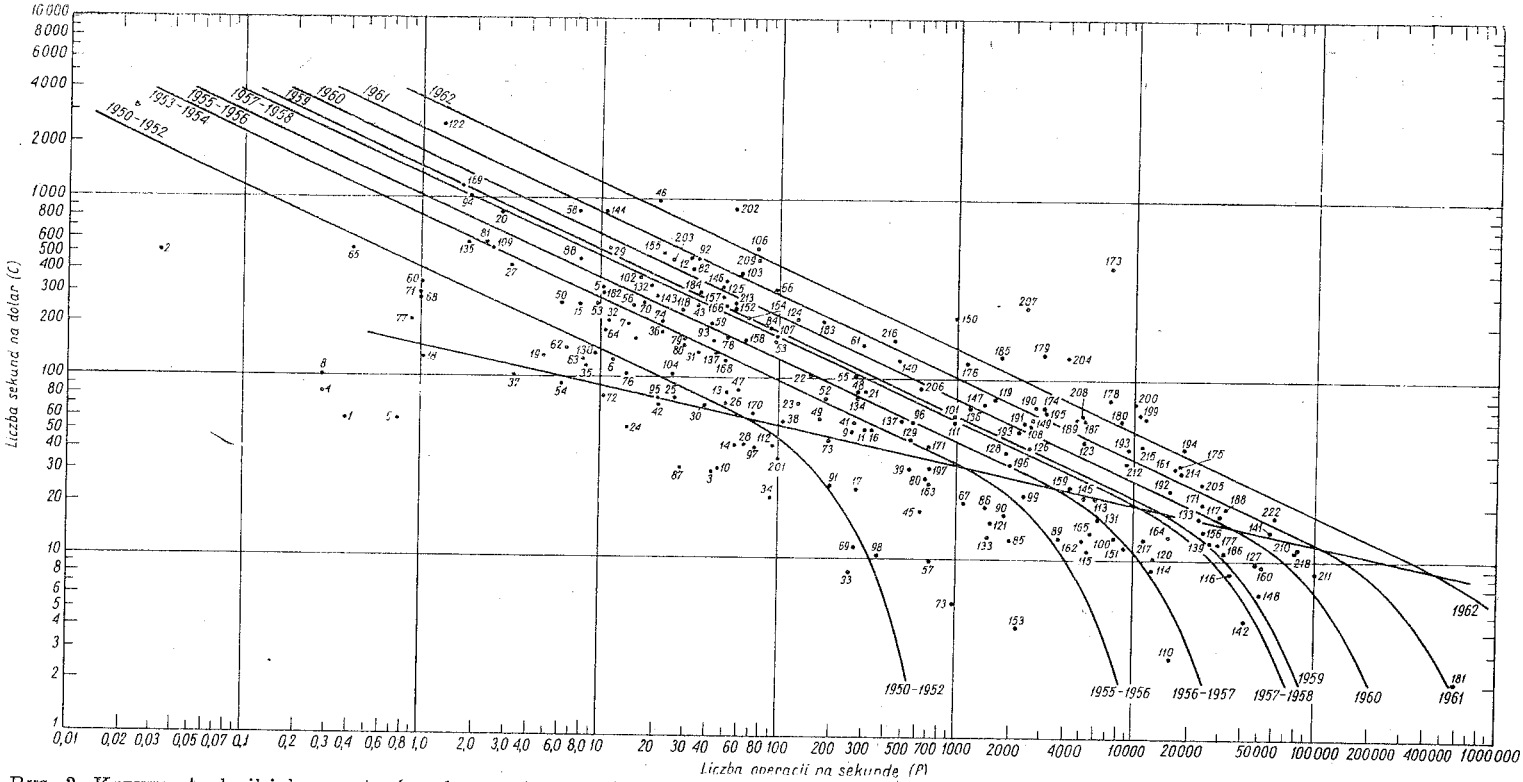
Akceptując powyższy stan rzeczy, trzeba zastosować odpowiednią metodę doboru krzywej dla oceny żądanych krzywych techniki. W naszych badaniach zastosowaliśmy metodę analizy regresji opartą na metodzie najmniejszych kwadratów. Z rysunku 1 wynika, że krzywe techniki w różnych latach mają mniej więcej podobne kształty, wykazujące zmiany w przebiegu w kierunku na prawo w czasie. W ten sposób zbiór punktów został dopasowany do krzywej o następującym równaniu:

$$\ln(c) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln(P) + \alpha_2[\ln(P)]^2 + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \ldots + \beta_7 S_7 \qquad (1)$$

Wielkości α i β reprezentują współczynniki regresji, które ustala się metodą najmniejszych kwadratów. Wielkości $S_1, \ldots, S_7$ reprezentują fikcyjne zmienne (lub parametry przesunięć) dla poszczególnych lat. Celem dopasowania krzywej punkty zgrupowano w ośmiu okresach czasowych (np. 1962, 1961, 1960, 1959, 1957—1958, 1955—1956, 1953—1954 oraz 1950—1951—1952). Jeśli chodzi o lata wcześniejsze, to wzięto pod uwagę okresy kilkuletnie, ponieważ w tym czasie pojawiła się niewielka liczba nowych systemów. Dla 1962 r. zmienne $S_1, \ldots, S_7$ zostały przyrównane do zera; dla 1961 r. przyjęto wartości $S_1=1$ i $S_2=S_3=\ldots=S_7=0$; dla 1960 r. $S_2=1$ oraz $S_1=S_3=\ldots=S_7=0\ldots$, a dla lat 1950—1951—1952 $S_7=1$ oraz $S_1=S_2=\ldots=S_7=0$. Wyrażenia $\ln P$ i $[\ln(P)]^2$ wprowadzono początkowo, z uwagi na to, że na podstawie analizy optycznej linii okazuje się, iż są to krzywe.

Po wstępnym procesie estymacji regresji zostały pominięte znajdujące się na lewo od krzywej dla danego roku wszystkie te punkty, których odległości od krzywej przekraczały wartość połowy odchylenia standardowego. Ten sposób eliminacji punktów stanowi odrębną procedurę ustalania, które punkty należy brać pod uwagę przy ostatecznym wyznaczaniu krzywych techniki. Dzięki temu otrzymujemy dokładniejszy obraz ograniczeń efektywności.

Analiza regresji danych dotyczących osiągów komputerów w zastosowaniach naukowych wykazała, że wyrażenie $[\ln(P)]^2$ nie było istot-



Rys. 2. Krzywe techniki komputerów do przetwarzania danych gospodarczych (liczby identyfikujące komputery na tym wykresie odpowiadają liczbom w tabl. 2)

ne. Następnie użyto metody najmniejszych kwadratów dla dopasowania równania (2) dla danych:

$$\ln(C) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(P) + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \ldots \beta_7 S_7 \quad (2)$$

Dla równania liniowego wszystkie warunki były istotne, a współczynnik korelacji $r = +0{,}9596$. Ponieważ współczynnik ten równał się jedynie $+0{,}9596$ w przypadku równania (1), wydawało się, że najlepszym rozwiązaniem dla wykreślenia krzywych techniki będzie użycie prostszego równania liniowego. Przy rozwiązywaniu obu równań oparto się na ponad 120 obserwacjach. Równanie krzywych techniki w przypadku obliczeń naukowych ma następującą postać [1]:

$$\ln(C) = 8{,}9704 - 0{,}51034 \ln(P) - 0{,}3650(S_1) - 0{,}7874(S_2) -$$
$$- 1{,}0724(S_3) - 1{,}3028(S_4) - 1{,}6639(S_5) - 1{,}9859(S_6) - 2{,}5013(S_7) \quad (3)$$

Na rysunku 1 przedstawiono osiem krzywych opisanych równaniem (3).

Obecnie dokonamy podobnej analizy dla przypadku przetwarzania danych do celów gospodarczych. Równanie krzywych techniki dla systemów realizujących to przetwarzanie danych ma następującą postać: [2]

$$\ln(C) = 8{,}1672 - 0{,}459 \ln(P) - 0{,}3643(S_1) - 0{,}6294(S_2) -$$
$$- 8561(S_3) - 0{,}9011(S_4) - 1{,}187(S_5) - 1{,}454(S_6) - 2{,}164(S_7) \quad (4)$$

Osiem krzywych wykreślonych na podstawie równania (4) przedstawiono na rys. 2.

Oszczędność skali

Dokonujemy analizy znaczenia krzywych techniki, powracając do równania ogólnego tych krzywych:

[1] Dla tego równania podano poniżej wartości błędów standardowych oraz wartości testu istotności (testu t studenta) dla każdego współczynnika regresji.

Współczynnik regresji	Błąd standardowy	Wartość t
β_1	0,0171	−30,41
		− 2,112
β_2	0,1608	− 4,897
β_3	0,1887	− 5,682
β_4	0,1687	− 7,723
β_5	0,1992	− 8,349
β_6	0,1750	−11,34
β_7	0,1943	−12,87

[2] Współczynnik korelacji r dla równania liniowego (2) wyniósł $+0{,}8543$. Krzywe oparte na równaniach (1) i (2) były podobne, a współczynniki korelacji prawie równe. Aby otrzymać krzywe techniki, użyto prostego równania liniowego.

$$C=(a_0)(P^{\alpha_1})(e^{\beta_1})(e^{\beta_2})\ldots(e^{\beta_7}) \tag{5}$$

przy czym α_0, α_1, β_1, β_2, ..., β_7 są wartościami obliczonymi metodą najmniejszych kwadratów.

Z równania (5) otrzymujemy następujący wzór:

$$\frac{\text{sekundy}}{\text{dolar}}=k \text{ (parametr przesunięć w latach) } \left(\frac{\text{operacje}}{\text{s}}\right)^{\alpha_1} \tag{6}$$

Dla dowolnego roku możemy otrzymać nową stałą K z połączenia wartości stałej k oraz parametru. Jeśli przyjmiemy, że $a_1=-\alpha_1$, to wzór (6) otrzymuje następującą postać:

$$\frac{\text{dolary}}{\text{sekunda}}=\frac{1}{K} \text{ (operacje/sekunda) } a_1 \tag{7}$$

W obliczeniach naukowych wartość $\alpha_1=-0{,}519$ i dlatego a_1 równa się 0,519. Przy przetwarzaniu danych $\alpha_1=-0{,}459$, stąd $a_1=0{,}459$. Dlatego możemy założyć, że a_1 jest równe w przybliżeniu 0,5 i przekształcić równanie (7) w następującą postać:

$$\text{Koszty systemu}=\frac{1}{K}\sqrt{\text{moc obliczeniowa}} \tag{8}$$

Formuła ta jest bardzo ciekawa, ponieważ oznacza, że stosując tę samą technologię, można zbudować czterokrotnie wydajniejszy komputer, zwiększając jedynie dwukrotnie koszty.

$$\text{Moc obliczeniowa}=(K \text{ koszt systemu})^2 \tag{9}$$

Prawo mówiące, że moc obliczeniowa rośnie proporcjonalnie do kwadratu kosztów, zostało sformułowane przez Herba Groscha w końcu lat czterdziestych. Od tamtego czasu zależność wyrażona powyższą formułą jest nazwana prawem Groscha. W związku z tym odnotowano szereg dowcipów. W opublikowanym artykule pt. *Grosch's Law Repealed* (Prawo Groscha odwołane) Charles Adams proponuje zastąpić kwadrat pierwiastkiem [1]. Prawo Groscha zostało przyjęte z zainteresowaniem, ze względu na zawarte w nim aspekty ekonomiczne, nigdy jednak nie zostało poparte badaniami ilościowymi. Nadal aktualne jest pytanie, czy prawo Groscha (moc obliczeniowa=stała (koszty)^2) jest prawdziwe, czy też jest tworem polityki cenowej uprawianej przez producentów. Popularność tego prawa, a także trudności w ustalaniu cen budzą nasze podejrzenia, co do braku obiektywności danych, na których oparliśmy nasze badania.

[1] C. W. Adams, Grosch's Law Repealed, *Datamation*, July 1962, pp. 38—39.

Musimy wyrazić jeszcze jedną wątpliwość, zanim przypiszemy prawu Groscha zbyt duże znaczenie. Przy obliczaniu krzywych techniki korzystaliśmy z systemów rzeczywistych, aktualnie zbudowanych. Dlatego też uzyskane równania mają zastosowanie do ograniczonej liczby badanych komputerów. Należy pamiętać, że istnieją granice maksymalnej mocy obliczeniowej, jaką można uzyskać w dowolnej chwili czasowej. Gdy docieramy do granic wiedzy technicznej, dodatkową moc możemy uzyskać za bardzo wysoką cenę. Przy dużych wartościach P krzywa techniki nie będzie już linią prostą, lecz zacznie się odchylać coraz szybciej ku dołowi.

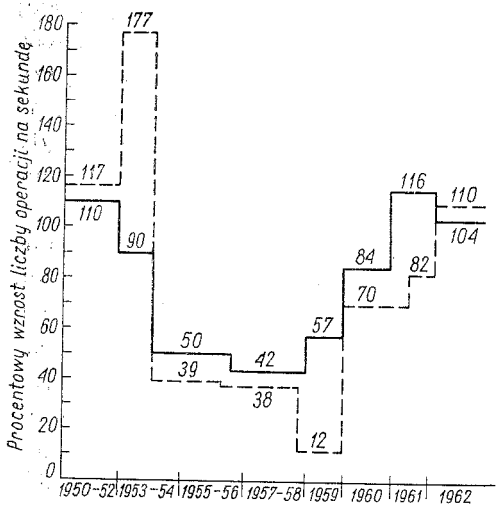
Przyczyna, dla której fakt ten nie został ujawniony przy analizie regresji, wynika z tego, że tylko niewielka liczba komputerów osiągnęła górną granicę mocy obliczeniowej. Do nich należy zaliczyć systemy AN/FSQ 7 i 8 (komputery firmy Sage), Univac Larc i IBM Stretch. Komputery te mają dużą moc obliczeniową przy jednoczesnej znacznie niższej liczbie operacji przypadającej na dolar. Prawo Groscha nie jest słuszne dla tych trzech maszyn, gdyż wzrost mocy obliczeniowej został osiągnięty przy zależności od kosztu niższej od kwadratu, a nawet oscylującej wokół relacji 1/1. Innymi słowy, nachylenie krzywej a osiąga wartość poniżej -1. Nie można budować coraz wydajniejszych komputerów przy rozsądnej wielkości kosztów, ponieważ w każdej chwili istnieją absolutne granice osiągalnej wielkości i prędkości. Należy o tym pamiętać, gdy stosuje się równanie (8). Najpotężniejsze systemy, które mogliśmy zbudować dziś lub jutro, byłyby bardziej ekonomiczne.

Aby ustalić położenie punktów granicznych, korzystamy z komputerów, które miały kiedyś największą absolutną wydajność. 8 z nich służyło do obliczeń naukowych, natomiast 10 do przetwarzania danych dla celów gospodarczych. Na rysunku 1 i 2 naniesiono krzywe największej wydajności, które przebiegają przez te punkty. Punkty, w których krzywa przecina krzywą techniki charakterystyczną dla danego roku, wyznaczają momenty, od których począwszy krzywe techniki zaczynają opadać, co w wyniku daje zmniejszenie efektów krańcowych dla systemów o większej mocy obliczeniowej. Krzywe te naszkicowano na rys. 1 i 2, aby pokazać w przybliżeniu ich kształt.

Wzrost efektywności systemów komputerowych w latach 1950—1962

Stała poprawa efektywności systemów zdaje się wynikać z dynamicznego charakteru samego przemysłu. Większość specjalistów pracujących w tym przemyśle stale dąży do skonstruowania szybszych i bardziej eko-

nomicznych maszyn. Jednak większość z nich nie ma pełnego obrazu zmian, które zaszły w tej dziedzinie w ciągu dwudziestu lat. Na przykład nie docenia się na ogół liczby wyprodukowanych w tym czasie nowych systemów, a także rozmiaru postępu w dziedzinie efektywności systemów [1]. W latach 1950—1962 krzywe techniki cechuje średnia poprawa 81% rocznie dla obliczeń numerycznych oraz 87% rocznie dla przetwarzanych danych. Z rysunku 3 widać, że wystąpiło pewne zróżnicowanie w poszczególnych latach. W latach 1950—1954 i 1960—1962 obserwuje się postęp zarówno w dziedzinie systemów przeznaczonych do obliczeń numerycznych, jak i do przetwarzania danych. W tym okresie postęp był o wiele większy niż w przedziale lat 1955—1959. Duży postęp w konstrukcji komputerów do przetwarzania danych w latach 1953—1954, o czym wspomnieliśmy wcześniej, może być wytłumaczony dużym wzrostem zarówno szybkości, jak i liczby urządzeń współpracujących z jednostkami taśmy magnetycznej. Ponieważ wydajność komputerów przeznaczonych do przetwarzania danych zależy w większym stop-



Rys. 3. Przeciętne roczne przesunięcie krzywych techniki
——— obliczenia naukowe
— — — przetwarzanie danych gospodarczych

niu od urządzeń wejścia/wyjścia niż komputerów do obliczeń numerycznych, postęp w zastosowaniu taśm magnetycznych miał dla tej kategorii maszyn większe znaczenie. Nie znaleziono natomiast prostego wytłumaczenia dla pozostałych zróżnicowań uwidocznionych na rys. 3.

[1] Przesunięcie krzywych techniki mogłoby być mierzone: (a) przy stałym poziomie kosztów (*C*) — procentowym wzrostem mocy obliczeniowej (*P*), (b) przy stałym poziomie mocy obliczeniowej (*P*) — procentową zmianą kosztów (*C*). Dla potrzeb naszej analizy uwzględniliśmy możliwość (a). Dlatego też uzyskane przez nas liczby będą większe, niż gdybyśmy uwzględnili przypadek (b).

Tablica 3. Systemy obliczeniowe

Lp.	Komputer	Data wprowadzenia komputera na rynek	Obliczenia naukowe P (op/s)	Obliczenia dla celów gospodarczych P (op/s)	C (s/$)
219	IBM 7040	4/63	21 420	9 079	44,54
220	IBM 7044	7/63	67 660	23 420	23,98
221	RCA 601	1/63	68 690	58 880	13,86
222	Honeywell 1800	11/63	110 600	57 750	17,81
223	Philco 1000	6/63	6 811	10 440	65,63
224	Philco 2000-212	2/63	369 800	84 230	9,169
225	Librascope L 3055	12/63	114 000	30 620	10,39
226	H.W. Electronics 15K	2/63	119,6	50,98	1,247
227	GE 215	6/63	5 246	6 924	89,07
228	DDP-24	6/63	580,4	632,7	124,7
229	CDC 3600	6/63	459 065	156 375	12,47
230	UNIVAC 1050	9/63	12 028	19 675	113,4
231	UNIVAC 1004	9/63	97,12	1 473	415,7
232	PDP-5	10/63	6 338	12 519	311,8
233	IBM 1460	10/63	1 611	7 200	69,28
234	IBM 1440	11/63	1 412	5 559	183,40
235	Honeywell 1400	12/63	1 770	6 821	41,57
236	ASI 2100	12/63	24 628	10 241	178,2
237	SDS-9300	12/63	43 876	10 646	89,07
238	Burroughs 273	1/64	714,6	3 467	87,82
239	GE-235	1/64	28 557	22 244	51,96
240	IBM 7010	1/64	5 729	11 537	31,18
241	Burroughs B 160—180	4/64	295,5	1 599	145
242	CDC 160G	4/64	54 065	20 278	89,07
243	IBM 7094 II	4/64	217 108	95 146	8,20
244	CDC 3200	5/64	195 256	87 510	51,96
245	GE 415	5/64	7 472	15 668	77,94
246	UNIVAC 1004 II, III	6/64	79,16	1 878	283,4
247	SDS-930	6/64	73 181	21 035	103,9
248	GE 425	6/64	11 485	22 160	62,35
249	GE 205	7/64	1 775	6 188	311,8
250	Honeywell 200	7/64	1 148	6 027	103,9
251	RCA 3301	7/64	126 761	58 359	44,54
252	PDP-6	7/64	46 359	32 803	51,96
253	CDC 6600	9/64	7 021 619	4 091 293	8,31
254	UNIVAC 418	9/64	58 767	166 564	62,35
255	NCR 315-100	11/64	6 164	17 251	155,9
256	GE 635	11/64	338 958	253 898	11,34
257	CDC 3400	11/64	269 859	157 202	29,69
258	Burroughs B5500	11/64	376 275	544 201	20,78

Tabl. 3 (cd.)

Lp.	Komputer	Data wprowadzenia komputera na rynek	Obliczenia naukowe P (op/s)	Obliczenia dla celów gospodarczych P (op/s)	C (s/$)
259	SDS 925	2/65	92 692	150 102	155,9
260	SDS 92	2/65	19 140	79 065	239,8
261	CDC 3100	2/65	118 462	74 391	77,94
262	ASI 6020	3/65	28 160	13 161	178,1
263	DDP-224	3/65	52 330	81 492	103,9
264	DDP-116	4/65	2 176	4 023	677,7
265	GE 625	4/65	224 374	118 154	15,20
266	PDP-8	4/65	1 768	990,5	230,9
267	PDP-7	4/65	68 497	29 571	103,9
268	IBM 360/40	5/65	33 438	50 073	54,08
269	IBM 360/30	5/65	7 942	17 104	72,88
270	NCR 315 RMC	7/65	132 060	153 770	62,35
271	UNIVAC 1108 II	8/65	2 075 181	2 088 142	10,39
272	GE 435	8/65	24 803	56 623	41,57
273	IBM 360/50	9/65	187 488	148 967	27,47
274	IBM 1130	9/65	16,38	56,76	692,8
275	NCR 590	9/65	4,288	21,76	519,6
276	ASI 6240	10/65	33 177	13 232	155,9
277	UNIVAC 491, 492	10/65	4 929	48 490	36,68
278	RCA Spectra 70/15	10/65	1 837	16 586	164,1
279	Raytheon 520	10/65	29 118	13 427	207,8
280	IBM 360/75	11/65	3 560 854	1 437 806	11,81
281	Honeywell 2200	12/65	12 222	14 332	77,94
282	CDC 3800	12/65	690 510	150/726	12,47
283	RCA Spectra 70/25	12/65	4 818	36 366	103,9
284	Friden 6010	1/66	1,66	48,66	1,039
285	CDC 6400	1/66	696 086	193 785	12,47
286	DDP-124	1/66	5 812	7 618	249,4
287	Honeywell 1200	1/66	2 130	10 907	115,5
288	IBM 360/20	1/66	1 932	4 497	239,8
289	UNIVAC 1005 II, III	2/66	88,25	1 677	259,8
290	UNIVAC 10051	2/66	71,73	1 186	366,8
291	Honeywell 120	2/66	2 108	9 526	190
292	IBM 360/65	3/66	1 385 573	809 738	13,86
293	UNIVAC 494	3/66	1 291 740	1 527 140	24,94
294	SDS 940	4/66	289 444	301 365	34,64
295	RCA Spectra 70/55	7/66	1 341 132	1 224 010	19,48
296	RCA Spectra 70/45	7/66	211 610	290 493	41,57
297	RCA Spectra 70/35	7/66	61 186	126 391	77,94
298	Philco 200—213	10/66	6 251 118	4 307 061	7,793
299	IBM 360/44	10/66	1 025 941	858 520	62,35
300	Honeywell 4200	5/67	45 569	32 270	31,18

Tabl. 3 (cd.)

Lp.	Komputer	Data wprowadzenia komputera na rynek	Obliczenia naukowe *P* (op/s)	Obliczenia dla celów gospodarczych *P* (op/s)	*C* (s/$)
301	SDS Sigma 7	12/66	894 566	554 280	41,57
302	PDP-8/S	9/66	1 595	8 546	1247
303	PDP-9	12/66	107 672	352 534	1247
304	SDS Sigma 2	1/67	118 152	101 079	155,8
305	Burroughs B 2500	2/67	22 153	28 791	124,7
306	Burroughs B 3500	5/67	154 842	130/251	69,31
307	UNIVAC 9300	6/67	4 350	18 424	138,6
308	UNIVAC 9200	6/67	1 592	7 458	415,7
309	Burroughs B 6500	2/67	3 127 266	2 755 760	15,59
310	CDC 3500	9/67	1 086 342	1 021 365	29,69

Prognozowanie techniczne

Wysunięte wnioski dotyczące tempa zmian technicznych i ekonomicznych stanowią podstawowy zbiór danych niezbędnych do sformułowania prognozy technicznej dla przemysłu komputerowego. Można przewidywać, że pokazane zależności będą obowiązywać w przyszłości. Po rozpowszechnieniu wyników naszych badań specjaliści z badawczych ośrodków przemysłowych, uniwersyteckich oraz rządowych zaczęli korzystać z tych danych, przyjmując je za podstawę prognozy technicznej. Praca ta pomogła do zobrazowania ogromnego spadku przewidywanego stosunku kosztów (*C*) do mocy obliczeniowych, co z jednej strony stanowiłoby ekonomiczne uzasadnienie stosowania komputerów, z drugiej zaś — zwróciło uwagę na rosnący problem przestarzałości maszyn. Uzyskane wyniki wskazują również na stały wzrost mocy obliczeniowych (*P*) maszyn największych i stanowią podstawę przewidywania dalszej szybkiej kontynuacji tego trendu.

Po zwróceniu się do nas kilkuset organizacji, dla których uzyskane przez nas wyniki stanowiły podstawę do prognoz technicznych, postanowiliśmy zaktualizować nasze badania uwzględniając komputery wprowadzone na rynek w latach 1963—1966. Wiele osób sądziło, że wyniki naszych badań będą odnosić się również do maszyn tego przedziału czasowego, wiele innych było natomiast zdania, że tempo zmian ekonomicznych i technicznych zdezaktualizuje przyjętą metodę.

Stosując identyczną procedurę obliczyliśmy moc obliczeniową (*P*) i koszt (*C*) komputerów wprowadzonych na rynek w latach 1963—1966.

Wzrost efektywności systemów w latach 1963—1966

Dane uzyskane dla zastosowań gospodarczych i naukowych (tabl. 3) przedstawiono na rys. 4 i 5. Podobnie jak poprzednio zastosowano metodę regresji do opisu zmian parametrów oraz porównania wskaźników efektywności. Ułożono dla komputerów wprowadzonych na rynek w latach 1965—1966 identyczną formułę jak dla badanego uprzednio okresu 1950—1962:

$$\ln(C) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(P) + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \beta_3 S_3 + \beta_4 S_4 \tag{10}$$

We wzorze powyższym współczynniki α i β są współczynnikami regresji, które ustala się metodą najmniejszych kwadratów. Wielkości S_1, S_2, S_3 i S_4 są zmiennymi fikcyjnymi (parametrami przesunięć) dla poszczególnych lat między 1963 a 1966 rokiem. Za podstawę obliczeń przyjęto rok 1962. Rozważmy teraz systemy wprowadzone w latach 1963—1966.

Wyniki analizy regresji dotyczącej 111 komputerów wprowadzonych na rynek w latach 1962—1966 są następujące.

W przypadku obliczeń naukowych:

$$\begin{aligned} \ln(C) = {} & +6{,}823 - 0{,}322 \ln(P) \\ & +0{,}000\ (1962) \\ & +0{,}272\ (1963) \\ & +0{,}415\ (1964) \\ & +0{,}822\ (1965) \\ & +0{,}988\ (1966) \end{aligned} \tag{11}$$

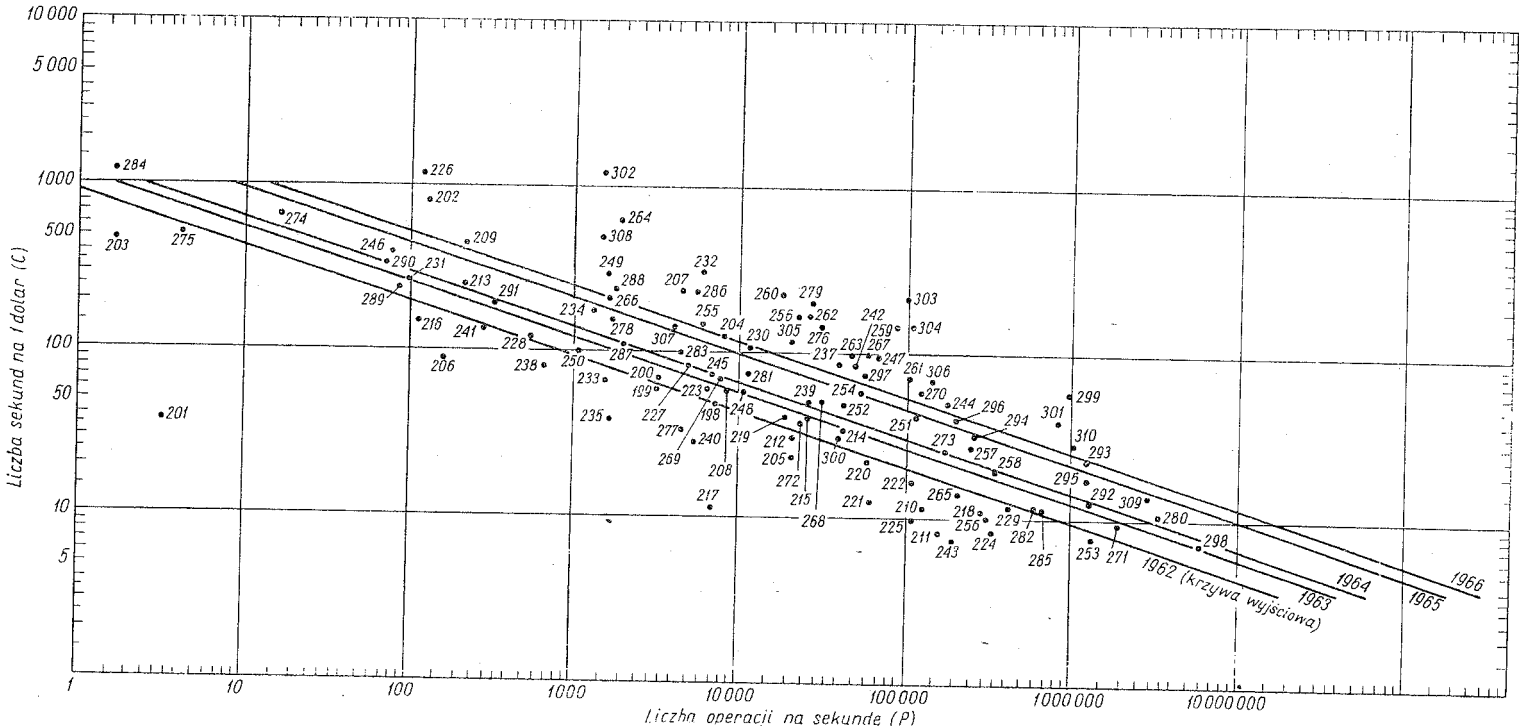
W przypadku przetwarzania danych gospodarczych

$$\begin{aligned} \ln(C) = {} & +7{,}441 - 0{,}404 \ln(P) \\ & +0{,}000\ (1962) \\ & +0{,}385\ (1963) \\ & +0{,}723\ (1964) \\ & +1{,}186\ (1965) \\ & +1{,}550\ (1966) \end{aligned} \tag{12}$$

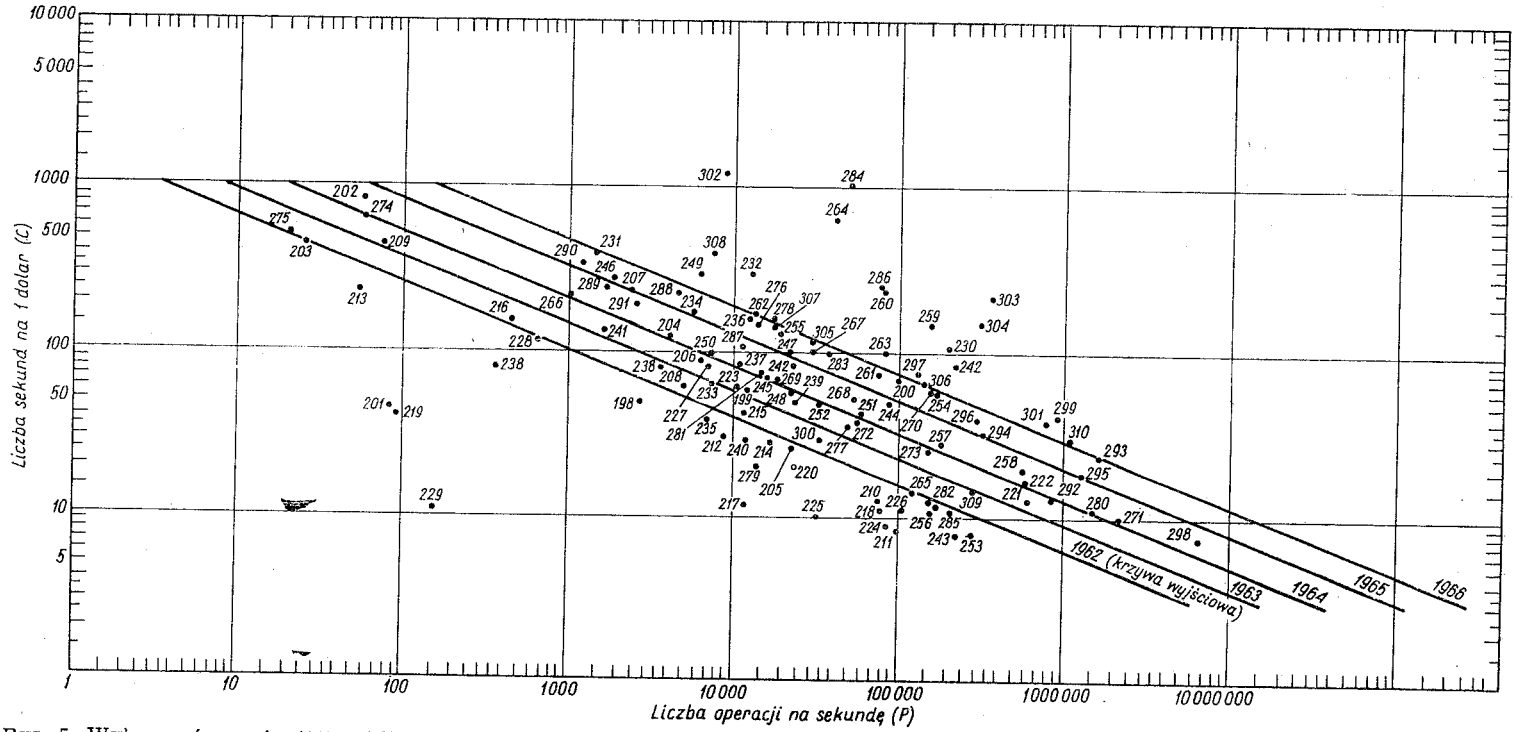
Wykresy równań (11) i (12) przedstawiono na rys. 4 i 5 [1), 2)]. Widzimy, że najbardziej uderzający jest gwałtowny wzrost mocy obliczeń-

[1)] Krzywych techniki pokazanych na rys. 4 i 5 nie można porównywać z krzywymi wykreślonymi na rys. 1 i 2. Zostały one obliczone dla wszystkich komputerów ogólnego przeznaczenia, które wprowadzono w latach 1962—1966. We wcześniejszej fazie badań zastosowaliśmy procedurę, która eliminuje pewne systemy gorsze pod względem technicznym, to jest te, które znalazły się daleko poniżej krzywej techniki po lewej stronie wykresu z rys. 1 i 2.

[2)] Zauważmy, że spadek krzywych techniki widoczny na rys. 1 i 2 charakterystyczny dla lat 1950—1962 był szybszy aniżeli w latach 1962—1966. Wynika to stąd, iż podstawowe krzywe roku 1962 na rys. 4 i 5 zostały obrócone i dlatego nie są identyczne z przedstawionymi wcześniej, to znaczy:

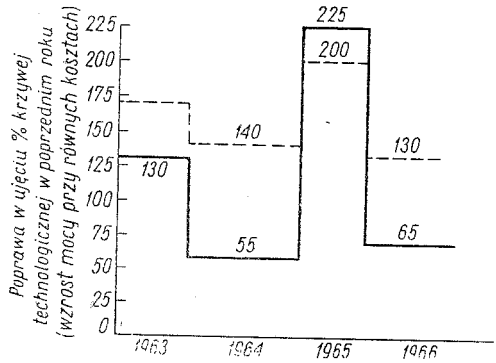


Rys. 4. Wykres równania (11): obliczanie regresji w przypadku zastosowań naukowych



Rys. 5. Wykres równania (12): obliczanie regresji w przypadku przetwarzania danych gospodarczych

niowej komputerów. W przypadku obliczeń naukowych średni postęp w latach poprzednich wynosił przy stałych kosztach ok. 115% rocznie, w latach 1950—1962 natomiast średnio 81% rocznie. W przypadku przetwarzania danych gospodarczych nastąpił w latach 1963—1966 średni wzrost mocy obliczeniowej komputerów wynoszący ok. 160% rocznie, podczas gdy w latach 1950—1962 wynosił on zaledwie 87% rocznie. Jak pokazano na rys. 6, w latach 1963—1966, a ściślej mówiąc w każdym z tych



Rys. 6. Przeciętne, roczne przesunięcie krzywych techniki (P — moc obliczeniowa, C — koszty stałe)
——— obliczenia naukowe
— — — przetwarzanie danych gospodarczych

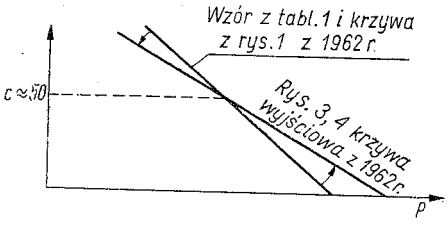
4 lat, nastąpił znaczny postęp zarówno komputerów stosowanych do obliczeń naukowych, jak i do przetwarzania danych gospodarczych [1].

Z naszego równania regresji otrzymujemy nowe obliczenie oszczędności skali dla lat 1962—1966. Przepisując równanie (11) otrzymujemy:

$C = K(P)^{\alpha_1}$ lub

Koszt $= K$ (moc obliczeniowa)$^{\alpha_1}$

przy czym K jest stałą, która reprezentuje kombinację α_0 oraz parametr przesunięć rocznych. Poprzednio stwierdziliśmy, że moc komputera wzrasta w przybliżeniu jako funkcja kwadratu kosztów; przy koszcie dwukrotnie większym uzyskujemy czterokrotnie większą moc obliczeniową: $\alpha_1 = 0{,}5$.



[1] Ponownie musimy zauważyć, że wprowadzona przez nas oszczędność skali jest obliczona jako procentowa zmiana (C) dla stałej (P). Wartości byłyby mniejsze, gdybyśmy obliczyli procentowe zmiany (P) dla stałej (C), ponieważ włączylibyśmy do naszych obliczeń oszczędność skali.

Nasze równania regresji dają w wyniku $\alpha_1 = +0{,}322$ dla obliczeń naukowych i $\alpha_1 = 0{,}404$ dla przetwarzania danych gospodarczych. Obie te wielkości oznaczają, że skok efektów jest większy niż w latach 1950—1962. Dla tego okresu uzyskano następujące wyniki: $\alpha_1 = +0{,}519$ dla obliczeń naukowych oraz $\alpha_1 = +0{,}459$ dla przetwarzania danych gospodarczych. Obecnie stwierdzamy, że nasze równanie odnoszące się do obliczeń naukowych w latach 1962—1966 ma postać $P = K(C)^{2,5}$, a w przypadku przetwarzania danych dla celów gospodarczych $P = K(C)^{3,1}$. Efekty te są większe niż w latach 1950—1962.

Zastosowanie szczegółowej analizy historycznej do komputerów ogólnego przeznaczenia pozwoliło na sformułowanie trafnej, krótkoterminowej prognozy technicznej. Stwierdziliśmy, że ogromny wzrost mocy obliczeniowej komputerów przy niezmienionych kosztach, zaobserwowany w latach 1950—1962, trwał nadal, a być może uległ nawet małemu przyspieszeniu na przestrzeni lat 1963—1966 wraz z pojawieniem się komputerów trzeciej generacji. Stwierdziliśmy także, że problem oszczędności skali istnieje nadal i że dzisiaj przy większych maszynach realizujących te same obliczenia przy mniejszym koszcie staje on się bardziej istotny.

Wgląd w prognozowanie techniczne

Dokonana przez nas analiza historyczna rozwoju komputerów została z powodzeniem zastosowana w formułowaniu prognoz technicznych. Pomimo dokonania wielu upraszczających założeń przy formułowaniu i ustalaniu mocy obliczeniowych (P) oraz kosztu (C), uzyskane wyniki dały trafny obraz przemysłu komputerowego oraz ważnych technicznych i ekonomicznych zależności występujących w tej dziedzinie. Badania zakończyły się pewnym powodzeniem, jeśli chodzi o prognozowanie, i co ważniejsze, stanowią one pierwszy krok, który pozwoli innym na udoskonalenie naszych surowych technicznych oszacowań.

Najtrudniejszym aspektem niniejszych badań było uzyskanie danych dotyczących różnych komputerów, które wykorzystano do budowy modelu funkcjonalnego. Dane te zebrano w trakcie długotrwałych i żmudnych lektur fachowej literatury, badania specyfikacji sprzętu producentów oraz dzięki pomocy wielu przyjaciół. Wspaniałe przyjęcie, z jakim praca ta się spotkała, wynagrodziło z nawiązką poniesiony trud.