

W gospodarce zbiorami istnieje tendencja wysuwania na plan pierwszy funkcji kierowania zbiorami, która przejmuje nadzór nad pozostałymi funkcjami: łączności, zapytywania i katalogowania. Chociaż równocześnie wymienione funkcje drugorzędne często rozwiązywane są w sposób autonomiczny.

5.4. Modele rozwoju teleprzetwarzania danych

Rozwój systemów teleprzetwarzania danych przede wszystkim zależy od wyboru zasady pracy sieci teleprzetwarzaniowej oraz jej struktury.

Przyjmując za kryterium ładunek informacyjny podlegający przesyłaniu można wyodrębnić następujące trzy zasady pracy sieci teleprzetwarzaniowej:

- a) zasada przełączania kanałów (*circuit switching*),
- b) zasada przełączania komunikatów (*message switching*),
- c) zasada przełączania pakietów (*packed switching*).

W zasadzie a) węzeł sieci łączy kanał nadawczy z odbiorczymi i utrzymuje połączenie w czasie trwania transmisji. W wypadku zajętości kanału inicjacja połączenia jest ponawiana, ponieważ węzeł nie ma pamięci. Wymieniona trudność nie występuje w zasadzie b), która polega na tym, że informacja zorganizowana w komunikat (*message*) zostaje przesłana do węzła i sprawdzona pod względem poprawności przesłania, po czym kanał nadawczy rozłącza się z węzłem. Przekazanie komunikatu z węzła do odbiorcy odbywa się w momencie niezajętości odbiorcy. Ten tryb transmisji określany jest również jako *store and forward*.

Zasada c) różni się od b) tym, że porcje informacji przesyłane są według stałej pojemności zbioru, zwanej pakietem. Komunikat do danego odbiorcy może się składać z paru skompletowanych pakietów. Zadaniem węzła jest m.in. uporządkowanie pakietów.

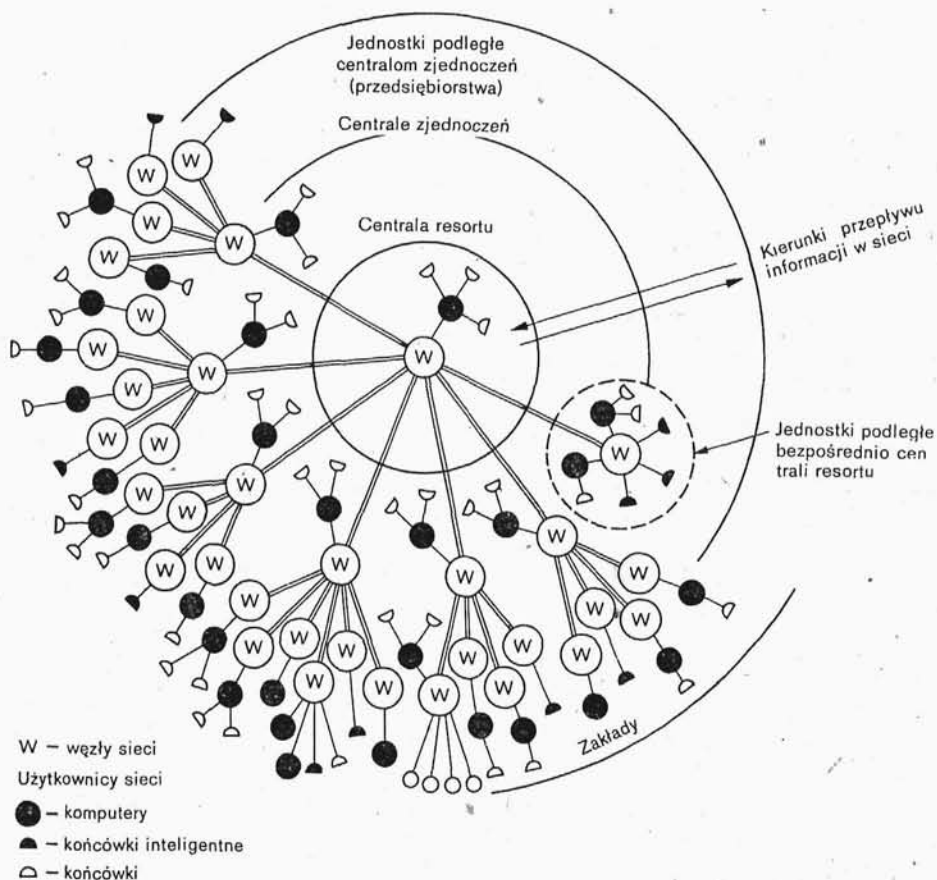
Wybór zasady pracy sieci teleprzetwarzaniowej zależy od przeznaczenia sieci, głównie od częstotliwości przesyłania informacji. Im częstotliwość jest niższa, tym lepiej stosować jest prostszą zasadę.

Wśród struktur sieci teleprzetwarzaniowych wyróżnia się następujące struktury:

- gwiazdzistą,
- gwiazdzisto-niepełną,
- pierścieniową,
- pierścieniowo-gwiazdzistą.

Rysunek 5.22.

Struktura gwiazdista sieci teleprzetwarzaniowej, na przykładzie resortowego systemu teleinformatycznego



Na rysunku 5.22. podano schemat struktury gwiazdowej resortowego systemu teleinformatycznego⁴². Sieć składa się z podsieci zjednoczeniowych, które łączą się przez węzeł centralny. Przepływ informacji między równorzędnymi jednostkami organizacyjnymi odbywa się zawsze przez węzeł nadrzędny.

Maksymalna przepustowość modelu sieci wynosi:

$$\Gamma_{max_A} = \frac{1}{2} (N - 1) \gamma_{max} \quad \text{bajt/s pakietów/s,}$$

⁴² Por. K. Małecki (pod kierunkiem A. Targowskiego), *Metodyczne aspekty projektowania gospodarczych sieci teleinformatycznych z punktu widzenia potrzeb użytkowników resortu przemysłu maszynowego*, Warszawa 1977.

gdzie:

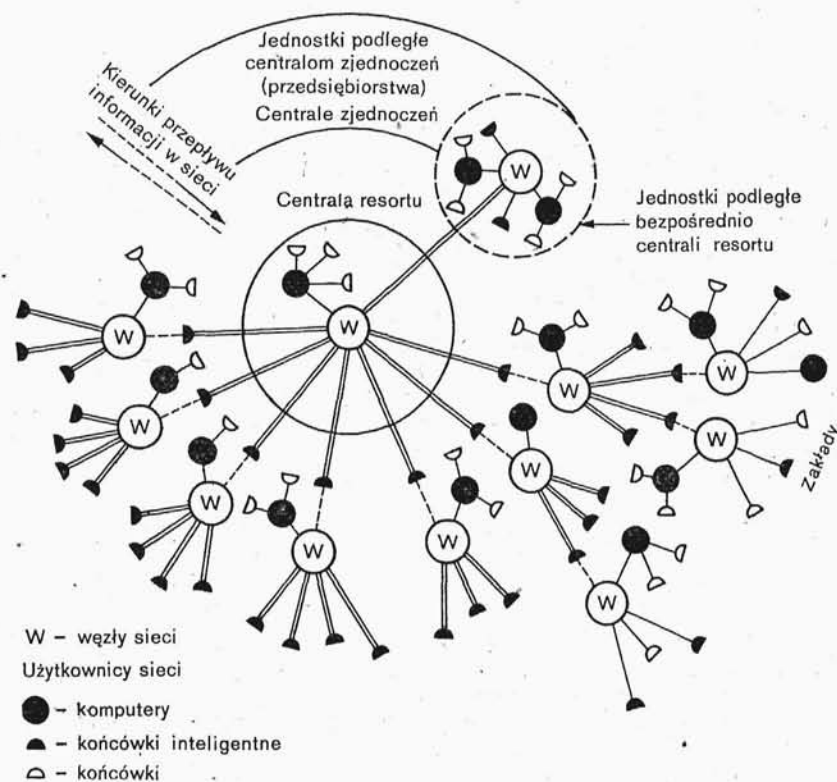
N — ilość węzłów sieci teleinformatycznej,

γ_{\max} — maksymalna przepustowość kanału komunikacyjnego.

W strukturze gwiazdzistej niepełnej (por. rys. 5.23.) sieć składa się z podsieci zjednoczeniowych. Centrala resortu łączy się z centralą zjednoczenia *on line*, gdyż ma w tych zjednoczeniach końcówki ze swojej maszyny. Natomiast z jednostkami zjednoczeniowej sieci teleinformatycznej

Rysunek 5.23.

Struktura niepełnej gwiazdy sieci teleprzetwarzaniowej, na przykładzie resortowego systemu teleinformatycznego

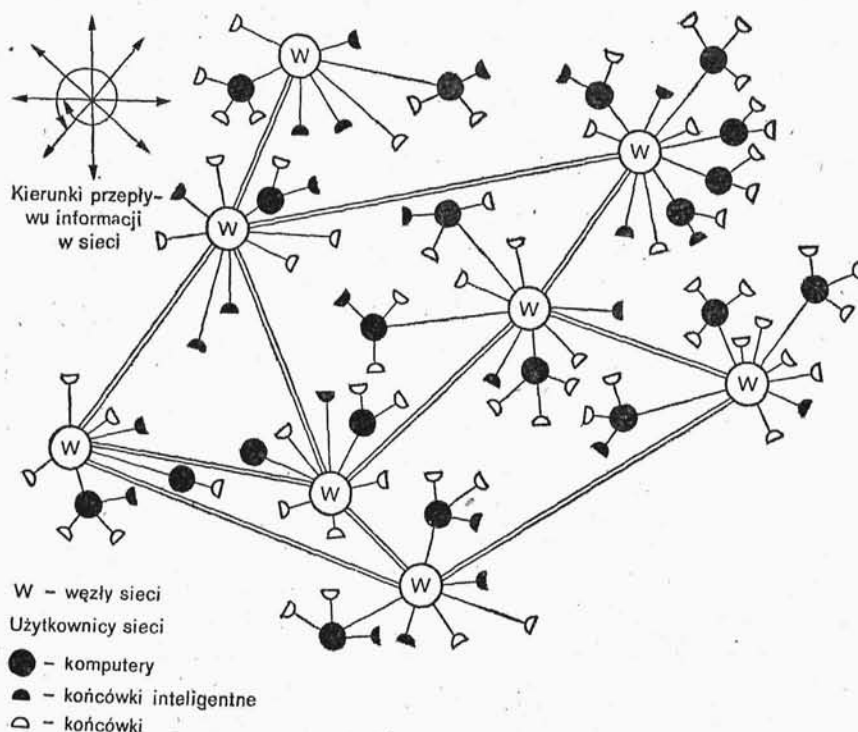


może się łączyć tylko *off line*. Dopiero podłączenie owej końcówki do węzła zjednoczeniowego umożliwiłoby wejście do sieci zjednoczeniowej. Wariant ten może powstać w wypadku budowy sieci od góry, bez uwzględniania rozwiązań podsieci.

W strukturze pierścieniowej (por. rys. 5.24.), węzły znajdują się w miejscu największego skupienia jednostek organizacyjnych. Węzeł nie jest przyporządkowany jednostce nadrzędnej; mogą do niego być przyłą-

Rysunek 5.24.

Struktura gwiazdista sieci teleprzetwarzaniowej na przykładzie resortowego systemu teleinformatycznego



czeni użytkownicy z różnych poziomów hierarchii organizacyjnej. Użytkownicy mają ułatwiony dostęp do różnych poziomów systemów informatycznych.

Maksymalna przepustowość modelu sieci wynosi:

$$\Gamma_{max_C} = \frac{1}{2} N (N - 1) \gamma_{max}.$$

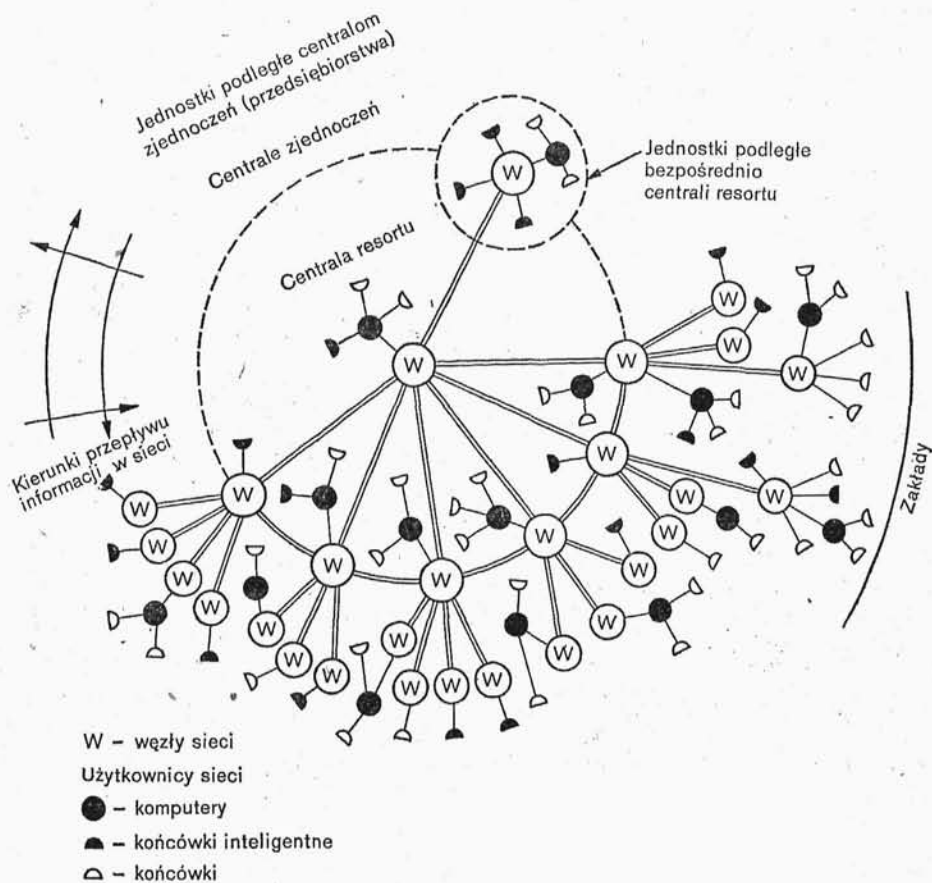
Zależność przedstawia wypadek maksymalnego skomplikowania struktury sieci, bez dublowania połączeń.

W strukturze pierścieniowo-gwiazdистой (por. rys. 5.25.) rozmieszczenie węzłów jest podobne jak w strukturze gwiazdистой, z tym że istnieją poziome połączenia między węzłami. Maksymalna przepustowość modelu sieci wyniesie:

$$\Gamma_{max_D} = \frac{3}{2} (N - 1)$$

Rysunek 5.25.

Struktura gwiazdowo-pierścieniowa sieci teleprzetwarzaniowej na przykładzie resortowego systemu teleprzetwarzaniowego



Ogólną postać struktury sieci teleinformatycznej podano na rysunku 5.26.⁴³ Natomiast w tablicy 5.7. podano warianty elektronicznej transmisji informacji między elementami sieci.

O wyborze jednej z omówionych struktur sieci teleinformatycznej decyduje rachunek porównawczy w zakresie: przepustowości, niezawodności i kosztów. Przytoczymy tu wyniki badań przeprowadzonych przez K. Małeckiego⁴⁴.

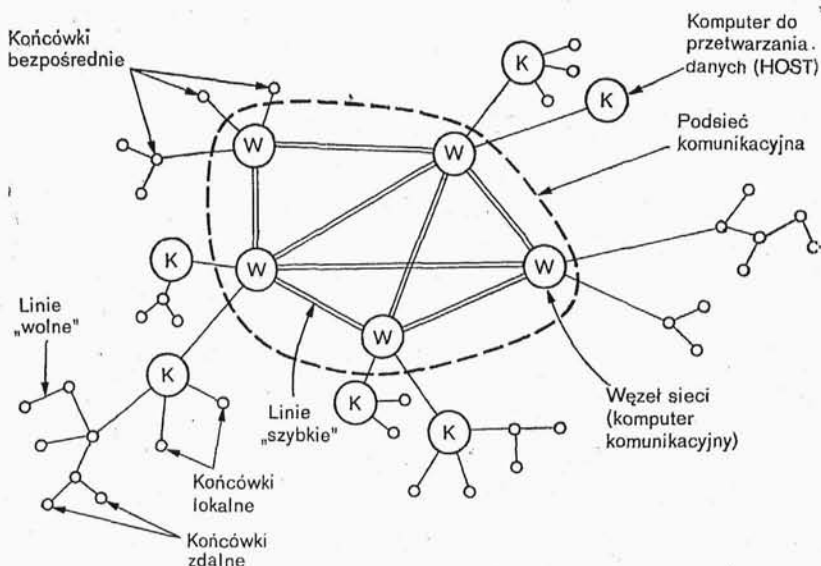
Porównane zostały cztery warianty struktur: gwiazdista (wariant A), gwiazdowo-pierścieniowa (wariant C), pierścieniowa — rozbudowana (z połączeniami krzyżowymi, wariant D) i pierścieniowa prosta (koło in-

⁴³ Por. K. Małecki (pod kierunkiem A. Targowskiego), op. cit. Rysunek 5.26. pochodzi z pracy K. Małeckiego.

⁴⁴ Por. tamże.

Rysunek 5.26.

Uogólniona postać struktury sieci teleinformatycznej



Tablica 5.7.

Elektroniczna transmisja informacji między elementami sieci teleinformatycznej

| Elementy RST | Węzeł | Komputer | Końcówka |
|--------------|-------|----------|----------|
| Węzeł | | | |
| Komputer | | | |
| Końcówka | | | |

fostrady, wariant D'). W tablicy 5.8. zestawiono wyniki względnej przepustowości omawianych wariantów. Dlatego względne, że odniesione do maksymalnej pojemności kanału. Z badania wynika zależność:

$$\Gamma_{maxD} > \Gamma_{maxC} > \Gamma_{maxD'} > \Gamma_{maxA}$$

oraz wniosek, że wraz ze wzrostem liczby połączeń między węzłami sieci wzrasta jej przepustowość oraz maleje czas opóźnienia informacji w sieci. Na rysunku 5.27. wyniki porównania podano w postaci wykresu.

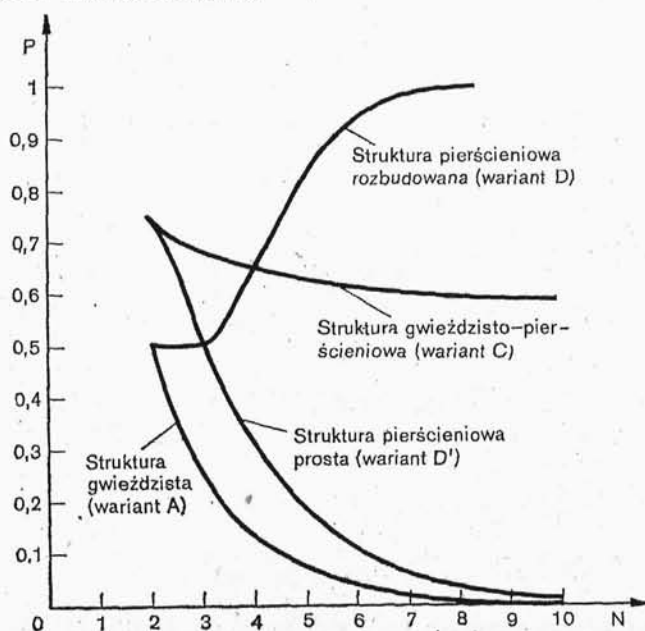
Tablica 5.8.

Względne przepustowości omawianych struktur sieciowych

| Liczba węzłów sieci N | Względna przepustowość omawianych struktur sieciowych | | | |
|--------------------------------|---|---|--|--|
| | gwiazdzysta (wariant A) $\frac{1}{2}(N-1)$ | gwiazdzysto-pierścieniowa (wariant C) $\frac{3}{2}(N-1)$ | pierścieniowa rozbudowana (wariant D) $\frac{1}{2}N(N-1)$ | pierścieniowa prosta (wariant D') N |
| 2 | 0,5 | 1,5 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 3,0 | 3 | 3 |
| 4 | 1,5 | 4,5 | 6 | 4 |
| 5 | 2 | 6,0 | 10 | 5 |
| 6 | 2,5 | 7,5 | 15 | 6 |
| 7 | 3 | 9,0 | 21 | 7 |
| 8 | 3,5 | 10,5 | 28 | 8 |
| 9 | 4 | 12,0 | 36 | 9 |
| 10 | 4,5 | 13,5 | 45 | 10 |
| 20 | 9,5 | 28,5 | 190 | 20 |
| 30 | 14,5 | 43,5 | 435 | 30 |
| 40 | 19,5 | 58,5 | 780 | 40 |
| 50 | 24,5 | 73,5 | 1225 | 50 |

Rysunek 5.27.

Wykres porównujący przepustowość różnych modeli sieci przetwarzaniowej



Niezawodność omówionych wariantów sieci określona została z punktu widzenia niezawodności połączeń między węzłami sieci. Sieć potraktowano jako obiekt składający się ze skończonej ilości elementów (kanałów informacyjnych — n). Sprawność tak określonej sieci jest równoważna zdarzeniu, że każdy spośród jej węzłów jest połączony z każdym innym węzłem sieci bezpośrednio lub przez kilka innych węzłów. Sieć nie spełniająca tych wymagań jest niesprawna. Strukturę sieci, która jest sprawna, gdy co najmniej k dowolnych spośród n jej kanałów komunikacyjnych jest sprawnych, można określić jako strukturę typu (n, k) , podaną przez A. Kilińskiego⁴⁵.

Tablica 5.9.

Niezawodności omawianych struktur sieciowych dla różnych ilości węzłów sieci N

| Liczba węzłów sieci | Niezawodności omawianych struktur sieciowych (prawdopodobieństwo sprawności) | | | |
|---------------------|--|--|--|--|
| | gwiazdzysta (wariant A) ($N-1, N-1$) | gwiazdzysta-pierścieniowa (wariant C) ($2(N-1), N-1$) | pierścieniowa-rozbudowana (wariant D) $\frac{1}{2}N(N-1), N-1$ | pierścieniowa-prosta (wariant D') ($N, N-1$) |
| N | $P_A = \sum_{i=N-1}^{N-1} \binom{N-1}{i} 2^{-N(N-1)}$ | $P_C = \sum_{i=N-1}^{2(N-1)} \binom{2(N-1)}{i} 2^{-2(N-1)(N-1)}$ | $P_D = \sum_{i=N-1}^{\frac{1}{2}N(N-1)} \binom{\frac{1}{2}N(N-1)}{i} 2^{-\frac{1}{2}N(N-1)}$ | $P_{D'} = \sum_{i=N-1}^N \binom{N}{i} 2^{-N(N-1)}$ |
| 2 | 0,5 | 0,75 | 0,5 | 0,75 |
| 3 | 0,25 | 0,687 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | 0,125 | 0,656 | 0,656 | 0,313 |
| 5 | 0,063 | 0,637 | 0,828 | 0,188 |
| 6 | 0,031 | 0,623 | 0,940 | 0,109 |
| 7 | 0,016 | 0,613 | 0,987 | 0,053 |
| 8 | 0,008 | 0,610 | — | 0,035 |
| 9 | 0,004 | 0,596 | — | 0,020 |
| 10 | 0,002 | 0,590 | — | 0,011 |

⁴⁵ Prawdopodobieństwo sprawności sieci o strukturze (n, k) wynosi $P(S)_{n,k} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} 2^{-in}$. Por. J. A. Kiliński, *Przemysłowe procesy realizacji, podstawy teorii*, Warszawa 1976.

W tablicy 5.9. podano niezawodności omawianych wariantów sieci, jak prawdopodobieństwa sprawności P tych sieci w funkcji ilości węzłów N . Na rysunku 5.28. podano wyniki porównania w postaci wykresu. Relację niezawodności różnych struktur sieciowych można zapisać w następującej postaci:

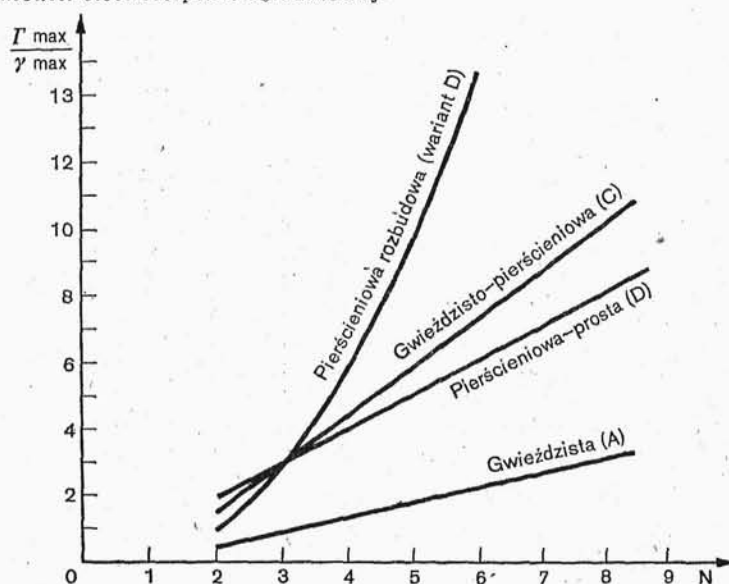
$$P_D > P_C > P_{D'} > P_A.$$

⁴⁵ Por. A. Kiliński, *Przemysłowe procesy realizacji, podstawy teorii*, Warszawa 1976.

Najbardziej zawodne są struktury gwiazdowe jako szeregowy. W tym wypadku węzłem krytycznym jest węzeł centralny, którego uszkodzenie może spowodować rozbite sieci na kilka podsieci, również gwiazdowych. Struktury gwiazdowo-pierścieniowe, a przede wszystkim pierścieniowe są bardziej niezawodne, ponieważ zapewniają istnienie przynajmniej dwóch niezależnych połączeń między każdą parą węzłów sieci.

Rysunek 5.28.

Wykres porównujący prawdopodobieństwo sprawności różnych modeli sieci teleprzetwarzaniowej



W celu oceny kosztów realizacji i eksploatacji różnych wariantów sieci teleprzetwarzaniowych przyjęto założenie, że wszystkie one są realizowane za pomocą tego samego rodzaju węzła oraz przez tę samą liczbę użytkowników. Wobec tego założenia wynika, że zasadnicze różnice w kosztach realizacji i eksploatacji leżą w kosztach realizacji i eksploatacji kanałów komunikacyjnych sieci. Sprowadza się to do różnic w całkowitej długości kanałów komunikacyjnych realizujących dany wariant sieci. Ponieważ wymienione nakłady i koszty można w pierwszym przybliżeniu uważać za wprostproporcjonalne do długości kanałów — w celu porównania omawianych wariantów sieci — należy określić całkowitą ilość kanałów komunikacyjnych realizujących każdy z tych wariantów. W tym samym celu wykorzystano geometrię okręgu i związki, jakie zachodzą między jego obwodem, promieniami i cięciwą. Ma to swoje uzasadnienie zarówno w topologii omawianych struktur sieciowych, jak i w kształcie obszaru Polski zbliżonego do koła. Przy obliczeniach przyjęto następujące założenie:

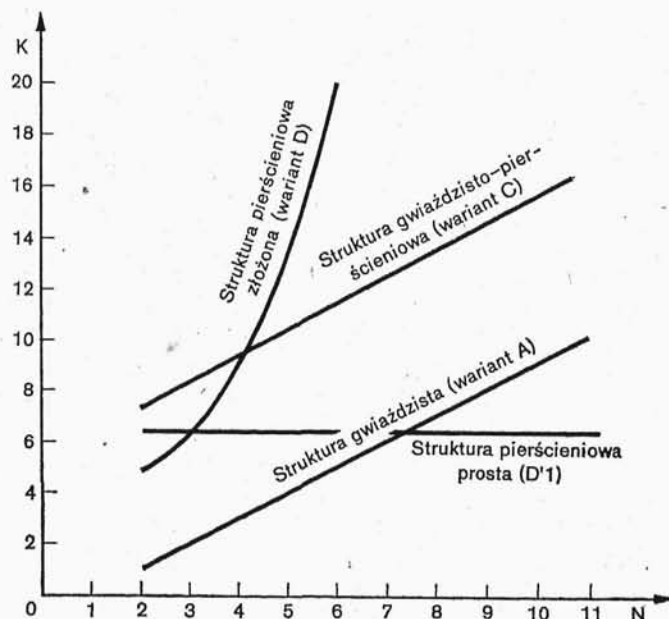
nia: średnia długość kanałów łączących użytkowników z węzłami wynosi 10 km, opłata za dzierżawę linii telefonicznej o długości 1 km wynosi 100 zł miesięcznie. Zestawienie porównawcze podano w tablicy 5.4.

Tablica 5.10.

Koszty realizacji omawianych struktur sieciowych dla różnych części węzłów sieci N

(odniesione do kosztów kanału komunikacyjnego o długości równej odległości między węzłem centralnym a węzłem podporządkowanym strukturze gwiazdowej)

| Liczba węzłów sieci N | Koszty realizacji i eksploatacji omawianych struktur sieciowych | | | |
|------------------------------|---|---|--|--|
| | gwiazdista (wariant A) $N-1$ | gwiazdisto-pierścieniowa (wariant C) $N+2\Pi-1$ | pierścieniowa złożona (wariant D) $(0,75N^2-2,25N+2\Pi)$ | pierścieniowa prosta (wariant D') 2Π |
| 2 | 1 | 7,28 | 4,78 | 6,28 |
| 3 | 2 | 8,28 | 6,28 | 6,28 |
| 4 | 3 | 9,28 | 9,28 | 6,28 |
| 5 | 4 | 10,28 | 13,78 | 6,28 |
| 6 | 5 | 11,28 | 19,78 | 6,28 |
| 7 | 6 | 12,28 | 27,28 | 6,28 |
| 8 | 7 | 13,28 | 36,28 | 6,28 |
| 9 | 8 | 14,28 | 46,78 | 6,28 |
| 10 | 9 | 15,28 | 58,78 | 6,28 |
| 20 | 19 | 25,28 | 261,28 | 6,28 |
| 30 | 29 | 35,28 | 513,78 | 6,28 |
| 40 | 39 | 45,28 | 1116,28 | 6,28 |
| 50 | 49 | 55,28 | 1768,78 | 6,28 |



Rysunek 5.29.

Wykres porównujący koszty realizacji i eksploatacji różnych modeli sieci teleprzetwarzaniowej

Dla węzłów $N > 7$ słuszna jest następująca nierówność:

$$K_D > K_C > K_A > K_{D'}$$

Na rysunku 5.29. podano wykres porównujący koszty realizacji i eksploatacji różnych modeli sieci teleprzetwarzaniowej.

Porównanie badanych modeli sieci teleprzetwarzaniowej według trzech kryteriów (przepustowości, niezawodności i kosztów) podano w tablicy 5.11. Z porównania wynika, że sieć pierścieniowa w stosunku do sieci gwiazdowej jest dla warunków Polski ($N = 50$) 7-krotnie bardziej przepustowa i 36,1-krotnie tańsza w realizacji. Potwierdza to słuszność wysuniętej w 1971/72 r. tezy o budowie w Polsce INFOSTRADY pierścieniowej⁴⁶.

Tablica 5.11.

Porównanie omawianych wariantów RST dla ilości węzłów sieci równej $N=7$, $N=50$; za jednostkę porównania przyjęto wartość parametrów dla struktury gwiazdowej

| Lp. | Kryterium porównania | Porównanie struktury sieci teleinformatycznych | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|--|--------|-------------------------|--------|-----------------------|--------|----------------------|--------|
| | | gwiazdowa | | gwiazdowo-pierścieniowa | | pierścieniowa złożona | | pierścieniowa prosta | |
| | | $N=7$ | $N=50$ | $N=7$ | $N=50$ | $N=7$ | $N=50$ | $N=7$ | $N=50$ |
| 1 | Przepustowość | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 | 7 | 2,33 | 2,04 |
| 2 | Niezawodność | 1 | 1 | 38,3 | — | 64,7 | — | 3,9 | 25,5 |
| 3 | Koszty realizacji (eksploatacji) | 1 | 1 | 2 | 1,13 | 4,5 | 36,1 | 1,95 | 0,128 |

5.5. Model rozwoju zapotrzebowania na środki informatyki

5.5.1. Ogólna postać modelu

Celem modelu jest określenie prawidłowości ilościowego wzrostu zapotrzebowania na środki informatyki w krajach wysoko rozwiniętych oraz przeanalizowanie przydatności takich informacji dla prognozowania informatyki w Polsce⁴⁷.

⁴⁶ Po eksperymentalnym uruchomieniu INFOSTRADY Katowice—Warszawa—Gdańsk w 1974 r., dalsze prace zostały zaniechane na rzecz realizacji autonomicznych sieci gwiazdowych. Por. A. Targowski, *Organizacja procesu przetwarzania danych*, wyd. cyt.

⁴⁷ Model został opracowany przez A. Targowskiego, S. Bramskiego i M. Rybaka w Krajowym Biurze Informatyki w 1972 r. Por. A. Targowski, S. Bramski, M. Rybak, *Prognoza rozwoju informatyki w Polsce do roku 2000* (pierwsze przybliżenie), Ministerstwo Nauki Szkolnictwa Wyższego i Techniki, Warszawa 1972, kwiecień.

Do obliczeń przyjęto prognozy demograficzne⁴⁸ oraz prognozy inwestycji i dochodu narodowego⁴⁹.

W modelu przeanalizowano wstępnie kilka możliwych strategii rozwoju informatyki w Polsce oraz oszacowano niektóre podstawowe konsekwencje wyboru.

Ze względu na uproszczoną metodę prognozowania nie stawiano sobie na tym etapie celu ostatecznego wyboru optymalnej strategii rozwoju informatyki w kraju. Nakreślono natomiast jakościową strategię postępowania, uwzględniającą aktualne warunki krajowe odnośnie głównych grup użytkowników środków informatyki, oraz możliwości zaspokojenia potrzeb.

Szczególną uwagę zwrócono w modelu na analizę kierunków udoskonalenia zastosowanej metody prognozowania.

Uzyskane wzory, mimo wielu uproszczeń, pozwalają na przewidywanie wzrostu liczby użytkowanych komputerów w Polsce do 2000 r., z błędem rzędu $20 \div 20\%$ w zależności od czasowego horyzontu prognozy.

Na koniec 1971 r. w Polsce użytkowanych było 78 komputerów do przetwarzania danych i 167 komputerów do obliczeń numerycznych, co łącznie wynosi 245 sztuk. W odniesieniu do liczby ludności kraju daje to 7,5 komputera na 1 milion mieszkańców, lub inaczej, 134 tys. mieszkańców przypada na 1 komputer.

Tablica 5.12.

Podstawowe wskaźniki informatyzacji

| Kraj | Liczba komputerów (1970 r.) | Liczba komputerów na 1 mln mieszkańców | Liczba mieszkańców na 1 komputer |
|-------------|--------------------------------|---|-------------------------------------|
| USA | 78 860 | 380 | 2 604 |
| RFN | 8 170 | 138 | 7 200 |
| Francja | 5 940 | 117 | 8 547 |
| W. Brytania | 6 020 | 108 | 9 254 |
| Japonia | 7 200 | 70 | 14 380 |
| ZSRR | 6 000 | 25 | 40 492 |
| CSRS | 300 | 21 | 48 260 |
| NRD | 300 | 18 | 56 900 |
| POLSKA | 211 | 7 | 154 500 |

Dla porównania zestawiono w tablicy 5.12. dane liczbowe na koniec 1970 r. dla kilku wybranych krajów⁵⁰.

Nie wnikając w szczegółową analizę wartości sprzętu i liczebności kadr specjalistów informatyki, z przytoczonego zestawienia widać, że za-

⁴⁸ Por., *Rocznik Statystyczny*, GUS, Warszawa 1971.

⁴⁹ Por., *Założenia do prognozy społeczno-ekonomicznej rozwoju kraju do 1990 roku*, Komisja Planowania, Warszawa 1971.

⁵⁰ Por., *Informatyka — Program Rozwoju na lata 1971—1975*, Komitet Nauki i Techniki, PB/22/1970, „L'Expansion”, 1971, VII/VII.

stosowanie środków informatyki w Polsce było kilkanaście razy niższe niż w przodujących krajach europejskich, kilkadziesiąt razy niższe niż w Stanach Zjednoczonych i około trzykrotnie niższe niż w pozostałych krajach demokracji ludowej.

Opóźnienie we wdrażaniu informatyki do gospodarki narodowej wynosiło około 4 lat w stosunku do ZSRR, około 8 lat w stosunku do krajów Europy Zachodniej i około 14 lat w stosunku do USA. Mniej więcej ten sam stopień opóźnienia obserwuje się w poziomie technicznym sprzętu.

Taka sytuacja Polski w zakresie rozwoju informatyki wymagała zastosowania specjalnej strategii rozwoju, aby przynajmniej zapobiec tendencjom dalszego wzrostu opóźnienia.

Tablica 5.13.

Globalny rozwój instalacji komputerowych w wybranych krajach

| Kraj | Wielkość | 1960 r. | 1965 r. | 1970 r. |
|-------------|----------------------------------|------------|---------|---------|
| USA | Liczba komputerów (w tys.) | 45 | 2 102 | 7 886 |
| | Ludność (w tys.) | 180 684 | 194 592 | 205 395 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 41 520 | 9 257 | 2 604 |
| ZSRR | Liczba komputerów (w tys.) | 49 | 10 | 60 |
| | Ludność (w tys.) | 214 329 | 230 936 | 242 775 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 437 406 | 230 936 | 40 492 |
| JAPONIA | Liczba komputerów (w tys.) | | 1 455 | 72 |
| | Ludność (w tys.) | 93 216 | 97 952 | 103 540 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 332 160 | 67 321 | 14 380 |
| RFN | Liczba komputerów (w tys.) | 2 | 1 657 | 8 170 |
| | Ludność (w tys.) | 53 224 | 56 839 | 59 240 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 266 120 | 34 302 | 7 250 |
| FRANCJA | Liczba komputerów (w tys.) | 15 | 1 043 | 5 940 |
| | Ludność (w tys.) | 45 684 | 48 758 | 50 770 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 304 560 | 46 747 | 8 547 |
| W. BRYTANIA | Liczba komputerów (w tys.) | 22 | 116 | 6 020 |
| | Ludność (w tys.) | 52 352 | 54 361 | 55 711 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 237 964 | 46 863 | 9 254 |
| POLSKA | Liczba komputerów (w tys.) | 2 | 6 | 211 |
| | Ludność (w tys.) | 29 795 | 31 551 | 32 605 |
| | Liczba mieszkańców na 1 komputer | 14 897 500 | 525 850 | 154 526 |

W tablicy 5.13. przedstawiono dane statystyczne obrazujące globalny rozwój liczby komputerów w USA, ZSRR, Japonii, RFN, Francji, W. Brytanii i Polsce⁵¹.

Dane te potraktowano jako przykładowe realizacje stochastycznego procesu wzrostu liczby komputerów w poszczególnych krajach.

⁵¹ Tamże.

Postawiono pytanie czy nie można znaleźć wspólnego mechanizmu rozwoju, którego znajomość umożliwiłaby prognozowanie globalnego rozwoju informatyki w Polsce.

Poszukiwanie metod matematycznego opisu mechanizmu rozwoju rozpoczęto od próby zastosowania teorii gałęzkowych procesów przypadkowych (*branching processes*)⁵².

Jako najbardziej przydatną uznano jedną z metod opublikowanych przez H. E. Huskeya⁵³, a później przez H. Störmera⁵⁴, która odpowiada modelowi rozprzestrzeniania się epidemii, a ściślej, procesowi czystego rozmnażania.

Zakłada się, że wejście w posiadanie komputera można w pewnym sensie traktować jako zachorowanie bez możliwości wyzdrowienia. Dodatkowo zakłada się, że „odczucie” potrzeby posiadania komputera jest proporcjonalne do ilości już istniejących komputerów w danym kraju, traktowanych jako „ogniska zarażenia”. Oczywiście przydatne wyniki obliczeń można będzie uzyskać tylko w wypadku odpowiedniego zaawansowania dotychczasowego rozwoju, aby było możliwe podejście statystyczne. Jako poważne założenie upraszczające przyjmuje się również, że „nie zarażeni” potencjalni użytkownicy komputerów są od siebie statystycznie niezależni. Do obliczeń przyjęto następującą postać wzoru:

$$\alpha(t) = \frac{1}{\kappa} 1 + \exp(-2\omega t + 2)$$

gdzie:

- $\alpha(t)$ — liczba mieszkańców przypadających na 1 komputer,
- $\kappa = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{K(t)}{N(t)}$ — odpowiada ilości komputerów na jednego mieszkańca po zakończeniu w przyszłości rozwoju „epidemii”,
- $K(t)$ — liczba użytkowanych komputerów w danym okresie t ,
- $N(t)$ — liczba ludności kraju w danym okresie t ,
- ω — intensywność „zarażenia” się w momencie półnasywienia, tzn. gdy:

$$\alpha(t_0) = 1/2 \lim_{t \rightarrow \infty} \alpha(t)$$

$\varrho = 2[\ln \kappa + C]$ — iloczyn intensywności zarażenia w momencie półnasywienia i czasu t_0 , w którym następuje półnasywienie,

$$C_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} - \ln(n)$$

⁵² Por. T. E. Harris, *The theory of Branching Processes*, Rand Corporation, Springer-Verlag, 1963.

⁵³ Por. H. E. Huskey, *A general Expression for the Mean in a Simple Stochastic Epidemic*, „*Biometrik*” 1954, nr 42.

⁵⁴ Por. H. Störmer i inni, *Verkehrstheorie*, Oldenburg 1966.

$C = \lim_{n \rightarrow \infty} C_n = 0,05772$ — stała Eulera

n — liczba naturalna⁵⁵.

Momentem półnasycenia nazywa się chwilę czasu t , w której weszła w posiadanie komputerów dokładnie połowa potencjalnych użytkowników, oznaczanych $K(t) \rightarrow \infty$.

Oszacowanie α , ω i ϱ wykonano metodą graficzną Störmera-Branda w siatce „ $y = \ln z(1-z)$ ” i „ t ”⁵⁶.

gdzie:

$$z = \frac{1}{\alpha(t) \cdot \kappa}.$$

Poszukiwano takiej wielkości κ , aby dane historyczne ułożyły się w linię prostą, a później odczytano moment t' , dla którego: $\frac{1}{(t') \cdot \kappa} = 0,5$ oraz t'' ,

dla którego: $\frac{1}{\alpha(t'') \cdot \kappa} = 0,1192$.

Stąd obliczono:

$$\omega = \frac{1}{t' - t''},$$

$$\varrho = \frac{t'}{t' - t''}.$$

Po zastosowaniu metody kolejnych przybliżeń dla liczby mieszkańców na jeden komputer w USA w latach 1960, 1965, 1970 określono graficznie α , ω i ϱ . Otrzymano następujący wzór:

$$\alpha(t) = \frac{1}{0,00115} [1 + \exp(-0,2292 t + 3,3)],$$

gdzie chwilę czasu $t = 0$ przyjęto dla końca 1960 r., czyli

$$t = T - (1960 + \Delta t) \text{ (lata)}$$

T — czas kalendarzowy w latach.

Stwierdzono, że wykresy $\alpha(t)$ dla innych krajów są w zasadzie równoległe opóźnione w stosunku do rozwoju w USA. I tak opóźnienie poszczególnych krajów wynosi:

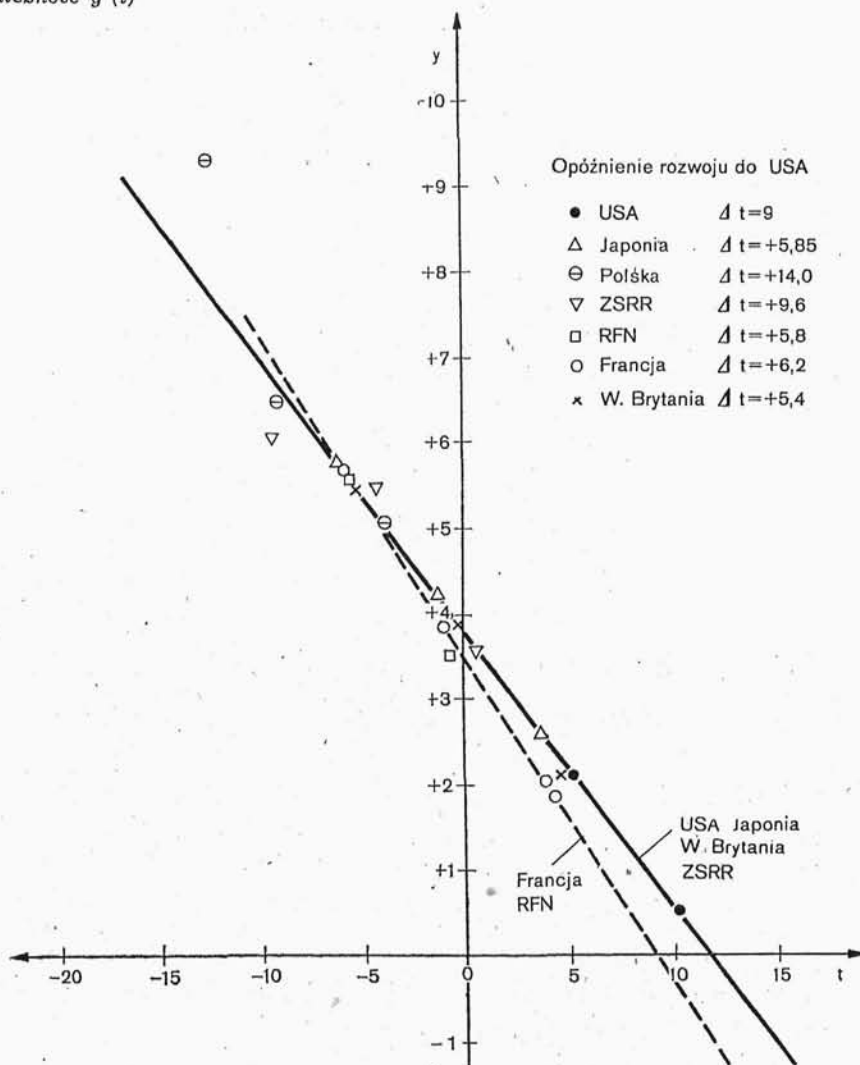
| | |
|-------------|-----------------|
| Japonia | $t = 5,85$ lat, |
| W. Brytania | $t = 5,4$ lat, |
| Polska | $t = 14,0$ lat |
| ZSRR | $t = 9,6$ lat. |

Dane te wynikają z rysunku 5.30.

⁵⁵ Tamże.

⁵⁶ Por. H. Störmer, R. Brand, *Das Wachstumsnetz ein graphisches Hilfsmittel für Entwicklungsprognosen*, „Unterachmes Forschung” 1964.

Rysunek 5.30.
Zależność $y(t)$



Zauważono, że intensywność „zarażania się” we Francji i RFN w latach sześćdziesiątych była znacznie większa niż w USA, W. Brytanii i Japonii. Być może było to wynikiem celowego oddziaływania tych krajów w kierunku zwiększenia koniunktury w informatyce.

Wydaje się, że tempo rozwoju można traktować jako maksymalne uzyskane dotychczas w krajach wysoko rozwiniętych. Z tych względów, biorąc dane statyczne dla Francji z lat 1960, 1965, 1970, wyprowadzono metodą kolejnych przybliżeń następujący wzór:

$$a(t) = \frac{1}{0,001} [1 + \exp(-0,3704t + 5,667)],$$

gdzie:

$t = T - 1960 + \Delta t_1$,

$a \Delta t_1$ — oznacza opóźnienie innych krajów w stosunku do Francji i wynosi:

RFN $\Delta t_1 = -0,4$ (wyprzedzenie),

Polska $\Delta t_1 = 8,2$,

ZSRR $\Delta t_1 = 4,3$.

Z dotychczasowego przebiegu wzrostu ilości komputerów w Polsce w latach 1965, 1970 i 1971 oraz z założeń programu rozwoju informatyki na 1975 r. wynika odrębna zależność opisująca tempo rozwoju:

$$a(t) = \frac{1}{0,00115} [1 + \exp(-0,236t + 6,4)].$$

Można stwierdzić, że intensywność „zarażenia” informatyką w Polsce jest trochę większa niż w USA, Japonii i W. Brytanii, lecz moment czasowy osiągnięcia półnasyceńia jest około dwukrotnie większy niż w USA.

Jak widać, wszystkie te zależności charakteryzują się stosunkowo niewielkimi rozbieżnościami współczynników, jeżeli zastosujemy je do prognozowania rozwoju informatyki w kraju początkującym w tej dziedzinie. Jeżeli przeliczyć prognozy dla Polski i ZSRR dla lat sześćdziesiątych, to nie można stwierdzić, która z tych zależności jest znacznie lepsza. W zasadzie wielkości błędów są porównywalne, nie można więc stwierdzić, że w krajach socjalistycznych rządzą globalnym rozwojem informatyki inne prawa niż w kapitalistycznych. Oczywiście te trzy zależności dają bardzo rozbieżne wyniki w miarę wzrostu $a(t)$.

Wykonano „historyczną” weryfikację zależności, opisującej rozwój w USA, dla przewidywania rozwoju informatyki w Japonii i W. Brytanii, biorąc za punkt wyjścia 1960 r. oraz zależności, opisujące rozwój informatyki we Francji dla przewidywania rozwoju w RFN, biorąc też za punkt wyjścia 1960 r. Porównanie prognoz i rzeczywistego rozwoju przedstawiono na rysunku 5.31. Okazało się, że w prognozach pięcioletnich popełniono średni błąd 6,9%, a w dziesięcioletnich 12,7%. Oprócz tego porównano prognozy⁵⁷ dla USA w 1975 r. i 1980 r. z prognozami wynikającymi z zależności wyprowadzonej w niniejszym modelu. Wyniki przedstawiono w tabelicy 5.14.

Można więc stwierdzić, że średni błąd prognozy wynosi około 10%. Zatem rozbieżności w wynikach prognozowania długoterminowego nie są duże.

⁵⁷ Por. „International Management” 1970, nr 1.

Tablica 5.14.

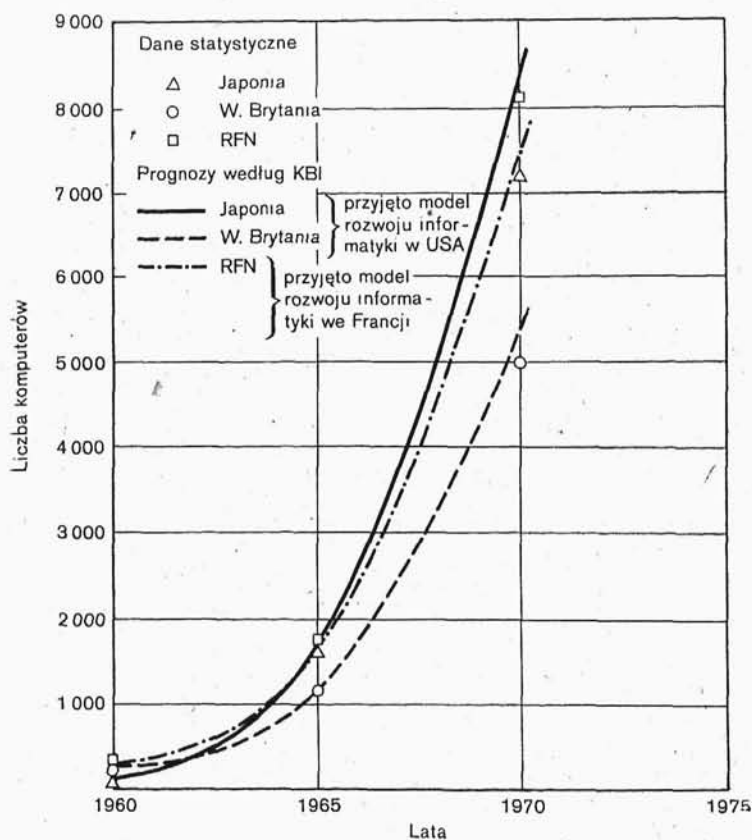
Porównanie dotychczasowych prognoz dla USA z modelem KBI

| Lata | Według „International Management” 1970 nr 1 | Według KBI | Rozbieżność prognoz |
|------|--|---------------------|------------------------|
| 1975 | 170 tys. komputerów | 177 tys. komputerów | 4,1% |
| 1980 | 250 tys. komputerów | 241 tys. komputerów | 3,6% |

Źródło: opracowano na podstawie „International Management” 1970, nr 1; według danych KBI.

Rysunek 5.31.

Weryfikacja przyjętego modelu prognozowania rozwoju informatyki (prognozę wykonano wyłącznie na podstawie stanu z 1960 r.)



Należy dodać, że stosowane w tym modelu zależności matematyczne są znane od lat w wielu dziedzinach matematyki, np. w teorii odnowy, czy jak już wspomniano — teorii procesów gałązkowych.

Podobne metody matematyczne były stosowane też do badań niezawodnościowych maszyn cyfrowych ⁵⁸ przez firmę IBM. Firma Siemens stosowała identyczne wzory do długoterminowego prognozowania wzrostu zapotrzebowania na aparaty telefoniczne ⁵⁹.

W 1974 r. J. Stein opracował model rozwoju informatyki w Krajach Socjalistycznych RWPG na zlecenie Departamentu Obrony USA i Rady ds. Międzynarodowej Polityki Ekonomicznej (COCOM) ⁶⁰. Model został oparty na rozważaniach dotyczących: liczby zainstalowanych komputerów na milion mieszkańców i wysokości dochodu narodowego, według następującej zależności:

$$\frac{C_{t_0}}{P_{t_0}} = a_{t_0} + b_{t_0} \frac{Y_{t_0}}{P_{t_0}} + e_{t_0},$$

gdzie:

C_{t_0} — liczba zainstalowanych komputerów w roku t_0 ,

P_{t_0} — liczba mieszkańców w roku t_0 ,

Y_{t_0} — wysokość dochodu narodowego w roku t_0 ,

e_{t_0} — błąd prognozowania.

W tabelicy 5.15 zostały podane przez J. Steina dane dla C/P i Y/P , na podstawie których metodą regresji wymieniony autor podał następujący model:

$$\frac{C}{P} = -32,9 + 26,3 \left(\frac{Y}{P} \right) + 6,90 (t - 1962).$$

Na tej podstawie J. Stein podaje wyniki prognozy w tabelicy 5.16. Z wyników prognozy wychodzi, że J. Stein mylił się w ocenie kilkakrotnie. Na przykład w stosunku do Polski 3–4-krotnie zaniżył oczekiwaną liczbę instalacji komputerowych.

5.5.2.

Kierunki uściślenia modeli rozwoju informatyki

Głównym przeznaczeniem prognoz jest opracowanie optymalnej strategii działania dla pożądanego ukształtowania przyszłych zjawisk. Jednak zależności dotychczas wyprowadzone są zbyt uproszczone, aby można było przeanalizować różne strategie „rozbudzania” wzrostu informatyki. Trudność tę można rozwiązać dwiema metodami:

⁵⁸ Por. J. Sammet, *Programming Languages, History and Future Communication of ACM*, wyd. cyt.

⁵⁹ Por. H. Störner i inni, op. cit.

⁶⁰ Jest charakterystyczne, że J. Stein pisze w 1974 r. we wstępie do swojej pracy, że nie zna innego modelu, pomimo że model KBI został opublikowany w „Informatyce” 1972, nr 7/8. Por. J. Stein, *Estimating the Market for Computer in the Soviet Union and Eastern Europe*, Rand Corporation, R-1406-CIEP/HRPA, 1974.