

Tadeusz MISSALA  
Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów PIAP  
W a r s z a w a

## STRUKTURA ZADANIOWA AUTOMATYZACJI PRZEDSIĘBIORSTWA PRZEMYSŁOWEGO Z PUNKTU WIDZENIA CIM

*Prezentowano strukturę zadania dekompozycji zagadnienia automatyzacji przedsiębiorstwa przemysłowego na zagadnienia prostsze. Dekompozycja może bazować na wielopoziomym modelu przedsiębiorstwa, lub też na wyodrębnianiu zadań szczegółowych (np. projektowanie, planowanie). Możliwa jest również strategia mieszana. Wskazano ponadto na rolę integracyjną systemu MAP/TOP przy scalaniu zadań cząstkowych w jeden system.*

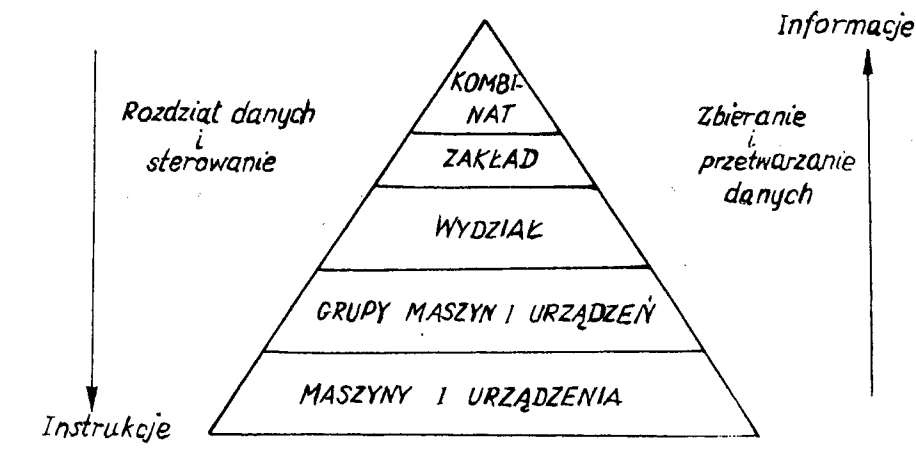
### 1. WSTĘP

CIM-Computer Integrated Manufacturing — Komputerowo Zintegrowane Wytwarzanie — jest najwyżej rozwiniętą koncepcją rozwiązania zagadnienia kompleksowej automatyzacji procesu produkcyjnego, od otrzymania zamówienia począwszy aż do wysyłki do klienta gotowego produktu. CIM obejmuje wszystkie szczeble i ogniwa działalności przedsiębiorstwa, oś sterowania poszczególnych zespołów wytwórczych (obrabiarka, robot, zawór regulacyjny procesu chemicznego itp.), poprzez sterowanie gniazd, linii czy agregatów produkcyjnych, aż do zarządzania całą fabryką lub nawet kombinatem. Ze względu na złożoność problemu, przy jego realizacji stosuje się dekompozycję całego zagadnienia na fragmenty składowe, stąd często oddzielnie są rozpatrywane np.:

- CAD — komputerowo wspomagane projektowanie,
- CAM — komputerowo wspomagane wytwarzanie,
- CAP — komputerowo wspomagane planowanie  
lub ich powiązania np. systemy CAD/CAM.

### 2. STRUKTURA PIONOWA ZAGADNIENIA AUTOMATYZACJI WYTWARZANIA

Kompleksowa automatyzacja wytwarzania jest wielopoziomowym zagadnieniem wymiany informacji: danych i instrukcji. Jego strukturę pionową przedstawiono na rys. 1. Przykładowe zadania realizowane przez poszczególne poziomy zestawiono w tablicy 1.



Rys. 1. Strumień informacji w wytwarzaniu

Tablica 1

**STRUKTURA ZADANIA AUTOMATYZACJI**

Poziom	Nazwa	Rodzaj automatyzacji	Przykłady
V	KOMBINAT (Company)	ZARZĄDZANIE	Rozdział zadań i zasobów w skali Kombinatu. Sprawozdawczość w skali Kombinatu.
IV	ZAKŁADY (Factory)	STEROWANIE ZARZĄDZANIE	Rozdział zadań i zasobów w skali Zakładu. Sprawozdawczość w skali Zakładu.
III	WYDZIAŁY (Area)	STEROWANIE ZARZĄDZANIE	Rozdział zadań i zasobów w skali Wydziału. Sprawozdawczość w skali wydziału. Sterowanie urządzeń technologicznych w skali Wydziału lub grup linii i gniazd produkcyjnych, w tym: elastycznych systemów produkcyjnych.
II	GRUPY MASZYN I URZĄDZEŃ (Cell)	STEROWANIE	Gniazda rodzajowe, gniazda i linie technologiczne, elastyczne systemy produkcyjne.
I	MASZINY I URZĄDZENIA (Process)	STEROWANIE	Obrabiarki, prasy, wtryskarki, wanny galwaniczne, piece hartownicze, maszyny odlewnicze.

**Maszyny i urządzenia** to w pełni zautomatyzowane jednostki pracujące w jednym z następujących reżimów:

- zaprogramowanie jednowariantowe przez operatora, po czym maszyna lub urządzenie włączane do pracy przez nadrzędną jednostkę sterującą wykonuje cykl pracy w trybie automatycznym (możliwość wykonania pojedynczego cyklu pracy lub pracy repetycyjnej),
- zaprogramowanie wielowariantowe przez operatora, po czym włączenie, wybór wariantu programu, wyłączenie, zmiana programu realizowanego itp. jest powodowane przez nadrzędną jednostkę sterującą,
- zaprogramowanie i wszelkie manipulacje związane ze sterowaniem wykonuje nadrzędna jednostka sterująca.

W każdym z reżimów pracy następuje wysyłanie informacji do poziomu II i odbieranie od niego instrukcji.

**Grupy maszyn i urządzeń** to w pełni zautomatyzowane gniazda lub linie produkcyjne, złożone na ogół z różnych rodzajów maszyn i urządzeń. Realizują one w reżimie sekwencyjnym obróbkę części podobnych technologicznie, przy czym wskazanie co ma być wytwarzane i zaprogramowane poszczególnych jednostek wytwórczych odbywa się automatycznie przez nadrzędną jednostkę sterującą:

Automatyzacja na tym poziomie obejmuje:

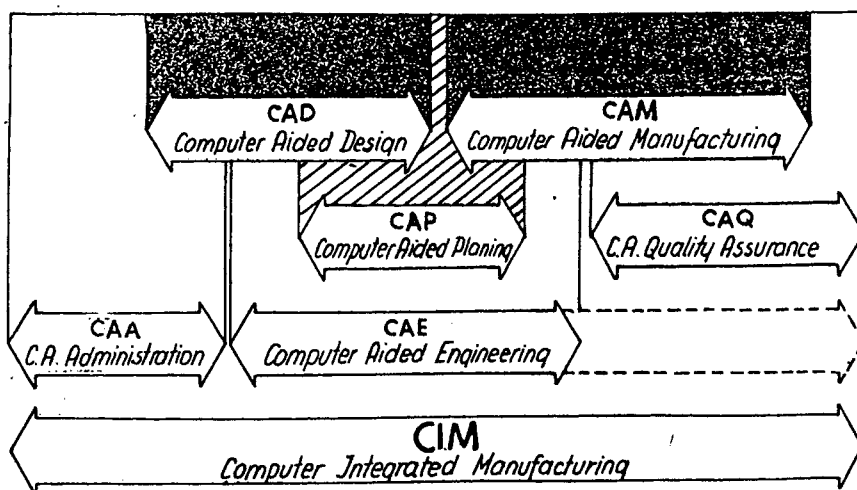
- sterowanie nadrzędne koordynujące pracę maszyn i urządzeń w gnieździe (linii), realizowane za pomocą komputerowej stacji zarządzającej,
- sterowanie strumieniem materiałów, części i narzędzi za pomocą zautomatyzowanych urządzeń transportowo-podających, włączonych na równi z jednostkami wytwórczymi pod kontrolą urządzeń sterowania nadrzędnego, bądź sterowanych bezpośrednio przez jednostki wytwórcze,
- sterowanie jakością produkcji w skali gniazda lub linii,
- przyjmowanie instrukcji z poziomu III i wysyłanie do niego informacji,
- wysyłanie instrukcji do poziomu I i przyjmowanie informacji od niego.

**Wydział** to w pełni zautomatyzowany obszar produkcyjny (Area), uzupełniony instalacjami technologicznymi, a w pojęciu sterowania i zarządzania na jego poziomie mieszczą się m.in.:

- koordynacja pracy linii i gniazd technologicznych oraz programowanie ich asortymentu produkcyjnego,
- sterowanie magazynowaniem i rozdziałem materiałów, części, narzędzi i wyrobów gotowych w skali wydziału,
- sterowanie transportem wewnątrzwydziałowym,
- operatywne planowanie produkcji,
- sprawozdawczość,
- przyjmowanie instrukcji z poziomu IV i wysyłanie do niego informacji,
- przyjmowanie informacji z poziomu II i wysyłanie do niego instrukcji,
- sterowanie jakością produkcji w skali wydziału.

Zakład	0		$\frac{1}{\text{min}}$ $\frac{1}{\text{h}}$				
Wydział	1						
Gniazdo	2						
Maszyny Agregaty	3						
Czujniki El. wykon.	4						
		Liczba elem. skład.	Częstość przekazywania	Mnogość danych	Czas ważności danych	Komunik. na tym samym poziom.	Komunik. między różnymi poziom.

Rys. 2. Wskaźniki przenoszenia dla struktury informatycznej



Rys. 3. Podsystemy zadaniowe

**Zakład** to zautomatyzowana jednostka gospodarcza, której zadaniem jest projektowanie i wytwarzanie określonego asortymentu wyrobów finalnych lub dużych podzespołów kooperacyjnych (np. silnik samochodowy, podwozie pojazdu). W pojęciu zarządzania i sterowania na tym poziomie mieszczą się m.in.:

- przyjmowanie zamówień z zewnątrz oraz wysyłanie zamówień na materiały i części otrzymywane z zewnątrz,
- projektowanie wyrobów,
- rozdział zamówień i zadań na **wydziały**,
- planowanie perspektywiczne,
- rozdział dokumentacji technicznej na **wydziały**,
- sterowanie magazynami centralnymi **zakładu**, rozdział materiałów, części i narzędzi na **wydziały**,
- gospodarka parkiem maszynowym **zakładu**,
- sterowanie transportem międzywydziałowym i transportem obsługującym kontakty zewnętrzne,
- kontrola końcowa wyrobów i sterowanie jakością w skali **zakładu**,
- ekspedycja wyrobów do klienta,
- sprawozdawczość,
- przyjmowanie instrukcji z poziomu V i wysyłanie do niego informacji,
- wysyłanie instrukcji do poziomu III i przyjmowanie od niego informacji.

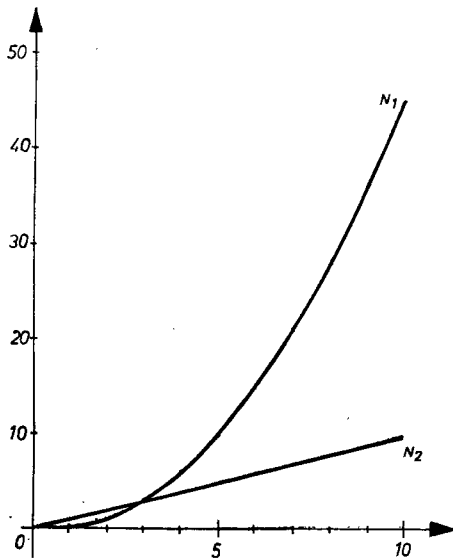
**Kombinat** to zautomatyzowana jednostka zarządzania grupą **zakładów**, przy czym pod pojęciem zarządzania na tym poziomie należy rozumieć m.in.:

- przyjmowanie zamówień od klientów, składanie ofert,
- rozdział zamówień na **zakłady**,
- planowanie strategiczne,
- sprawozdawczość centralna,
- wysyłanie instrukcji do poziomu IV i przyjmowanie od niego informacji.

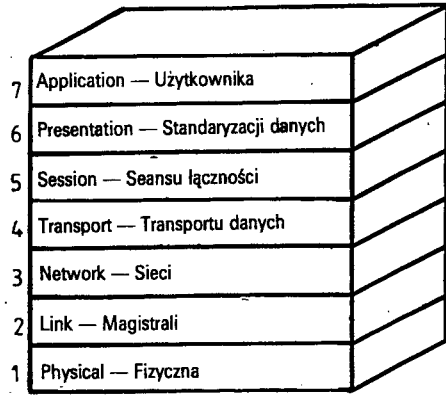
Na rysunku 2 zobrazowano wskaźniki przenoszenia informacji.

### 3. STRUKTURA ZADANIOWA ZAGADNIENIA AUTOMATYZACJI

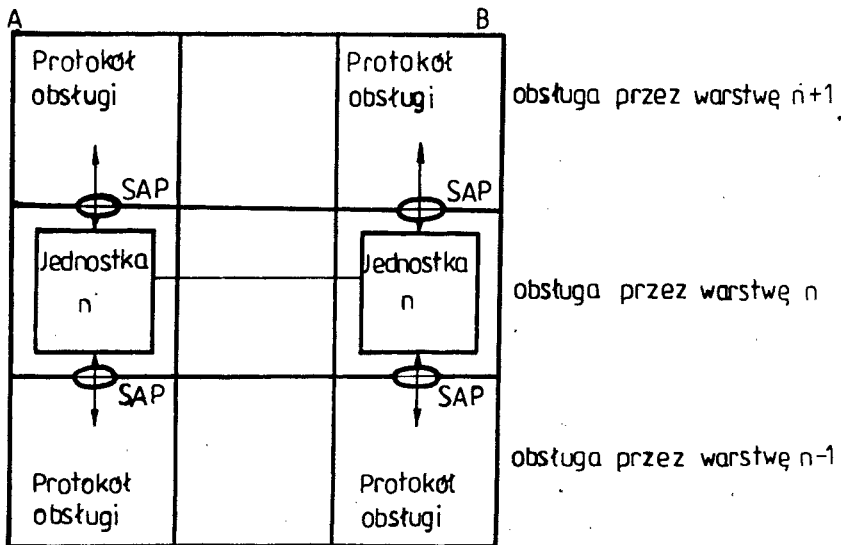
Zadania wymienione w p. 2 są realizowane przez podsystemy zadaniowe realizujące pewne zawarte cele. Zbiór tych podsystemów składa się na koncepcję Komputerowo Zintegrowanego Wytwarzania (CIM — rys. 3). Podsystemy te są lokalizowane w różnych, omówionych powyżej poziomach i od ich usytuowania zależy zakres realizowanych przez nie zadań a zatem złożoność sprzętu i oprogramowania.



Rys. 4. Zależność  $N_1 = \frac{1}{2} n(n-1)$ .



Rys. 5. Siedem warstw modelu odniesienia



SAP — Service Access Point — miejsce udostępniania usługi

Rys. 6. Zasada działania modelu warstwowego

#### 4. CIM

Zadaniem komputerowo zintegrowanego wytwarzania (CIM) jest właściwa integracja wymiany informacji wewnątrz kombinatu za pomocą urządzeń wspomaganych komputerowo. Integracja obejmuje fizyczne i logiczne połączenie poszczególnych procesów wytwórczych za pomocą techniki przesyłu danych spełniającej wymagania określonych norm, jak również integracja funkcji przedsiębiorstwa i wymiany w nim informacji. Zintegrowanie omówionych powyżej funkcji i zadań poszczególnych warstw modelu przedsiębiorstwa wymaga rozwiązania, poza wieloma innymi problemami, sprawnej komunikacji cyfrowej.

Podstawowe koncepcje w tej mierze ujęte są w następujących standardach o zasięgu ogólnosiwiatowym:

TOP — Technical and Office Protocol — zaproponowany przez firmę Boeing i przyjęty jako system komunikacji cyfrowej dla podsystemów projektowania, planowania, administracji itp.,

MAP — Manufacturing Automation Protocol — zaproponowany przez firmę General Motors i przyjęty jako system komunikacji cyfrowej dla automatyzacji procesów wytwórczych i powiązań ogólnych w skali wydziału, zakładu i kombinatu.

Potrzeba przyjęcia standardów wynika z faktu, że przedstawiona wyżej koncepcja CIM zakłada, iż w jej ramach będą współpracować urządzenia pochodzące od różnych wytwórców i to w skali międzynarodowej. Powstał więc problem najefektywniejszego zorganizowania takiej współpracy. W przypadku, gdyby dopuścić indywidualną współpracę każdego systemu z każdym innym systemem, to przy różnych  $n$  systemach należałoby zbudować:

$$N_1 = \frac{1}{2}n(n-1)$$

urządzeń pośredniczących, przy czym w trakcie realizacji każdej instalacji mogłoby powstać zadanie związane z uzupełnieniem asortymentu tych urządzeń. Oczywiście byłoby to mało efektywne. Innym wyjściem z sytuacji jest ustalenie znormalizowanego modelu wymiany informacji między różnymi systemami poprzez znormalizowaną magistralę danych. Wówczas każdy wytwórca ma do wykonania jedno urządzenie dla sprzęgnięcia własnego systemu z magistralą znormalizowaną w wyniku czego powstaje tzw. system otwarty.

Przy  $n$  różnych wytwórcach należy opracować i produkować:

$$N_2 = n$$

urządzeń pośredniczących. Ponieważ dla  $n < 3$  jest:

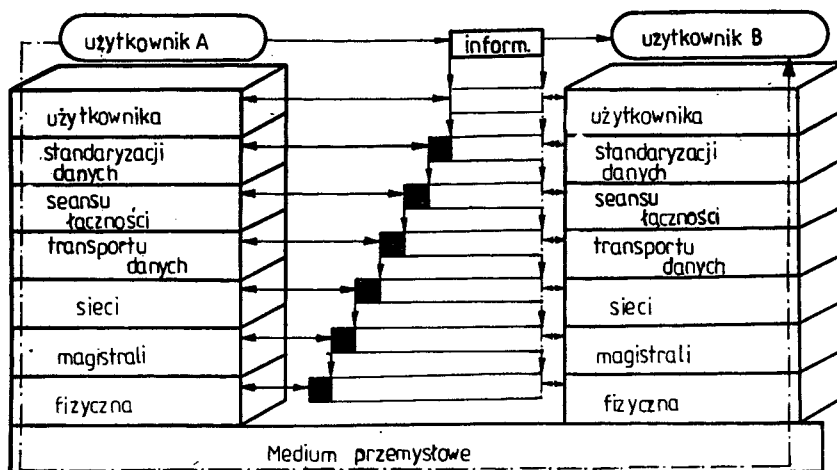
$$N_2 < N_1$$

(co przedstawiono na rys. 4), więc rozwiązanie takie jest efektywniejsze. Ponadto nie powstaje potrzeba uzupełniania asortymentu urządzeń pośredniczących w związku z ewentualnym nowym dostawcą, włączonym do realizacji dużego przedsięwzięcia.

## 5. MODEL ODNIESIENIA ISO/OSI

Komunikacja cyfrowa umożliwiającą realizację połączenia, w sposób znormalizowany a więc efektywny (co wykazano wyżej) sprzętu pochodzącego od różnych wytwórców jest organizowana według modelu odniesienia ISO/OSI [1]. Każdy system spełniający wymagania tego modelu nazywa się "SYSTEMEM OTWARTYM".

Jest on zbiorem środków sprzętowych i programowych do realizacji komunikacji według modelu OSI w warunkach przemysłowych. Model OSI jest podzielony na 7 warstw w układzie hierarchicznym (rys. 5); każdej z warstw przyporządkowano określone zadania z dziedziny komunikacji. Złożone zagadnienie przekazywania



Rys. 7. Wymiana informacji między użytkownikami



informacji zostało tym samym zdekomponowane na prostsze zagadnienie częściowe. Model dopuszcza podział każdej z warstw na podwarstwy, wtedy gdy przy określonej koncepcji sieci protokoły danej warstwy są zbyt obszerne, aby mogły być przedstawione w formie przejrzystej. Odwrotnie, niektóre z warstw mogą być zbiorami pustymi, jeżeli ich funkcje nie są wykorzystywane. Zadaniem określonej warstwy (rys. 6) jest przygotowanie obsługi warstwy położonej bezpośrednio nad nią w strukturze modelu, przy czym posługuje się ona usługami pochodzącymi z warstwy bezpośrednio niższej. Obsługa świadczona przez każdą warstwę jest przyporządkowana hierarchicznie, co oznacza, że warstwa  $n$  jednego komputera np. A komunikuje się jedynie z warstwą  $n$  drugiego komputera np. B. Na tej podstawie mówi się, że są to protokoły partnerskie (peer to peer) — rys. 7.

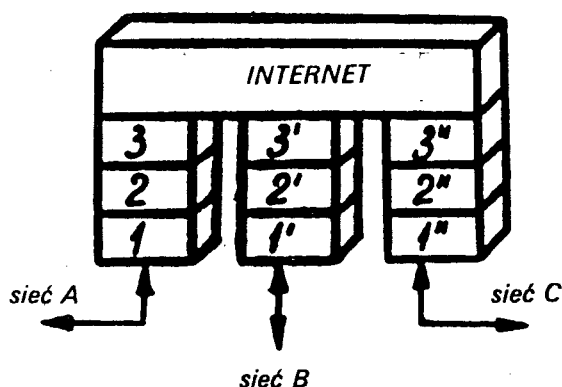
Sprzężenie pomiędzy sieciami otwartymi np. MAP i TOP oraz pomiędzy sieciami otwartą a innymi sieciami lub urządzeniami odbywa się poprzez urządzenia przetwarzające zwane: wtórniki czynnymi (routery) — rys. 8; mostami (bridges) — rys. 9 oraz bramami (gateways) — rys. 10. Przykład ilustrujący przenoszenie informacji przez dwa systemy podano na rys. 11.

Warstwa 1 (fizyczna) jest to wielodostępna szeregową magistrala danych realizowana w postaci:

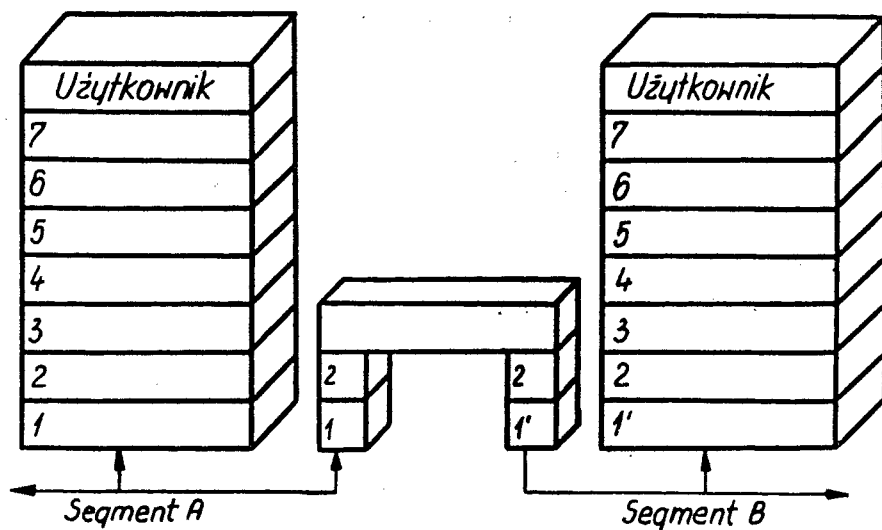
- jednej lub kilku par przewodów skręconych,
- kabla koncentrycznego transmisyjnego o impedancji  $70 \Omega$ ,
- kabla koncentrycznego telewizyjnego CATV,
- światłowodu,

Rodzaj medium przesyłowego zależy od przyjętego sposobu transmisji i częstotliwości przenoszonych sygnałów. Można tu rozróżnić:

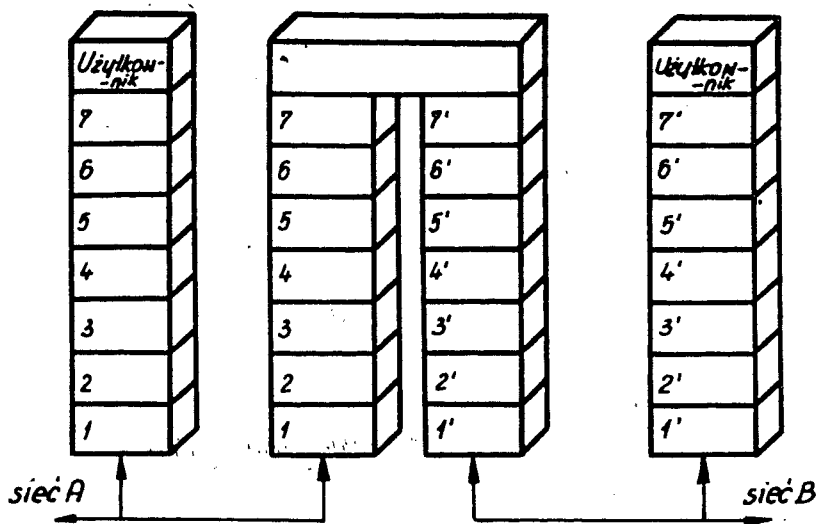
- transmisję w paśmie podstawowym, tj. taką, w której bezpośrednio transmituje się



Rys. 8. Architektura wtórnik (Router) INTERNET — powiązania międzysystemowe



Rys. 9. Architektura mostu (Bridge)



Rys. 10. Architektura bramy rozgałęznej (Gateway)

sygnały użyteczne — stosuje się tu pary przewodów skręconych, kabel teletransmisyjny lub światłowód,

- transmisję z częstotliwością nośną, tj. taką, w której sygnał użyteczny moduluje sygnał nośny i dopiero wtedy następuje jego przesyłanie — jest to transmisja jednokanałowa i jako medium przesyłowe stosuje się kabel teletransmisyjny lub światłowód,
- transmisję szerokopasmową, w której sygnał użyteczny moduluje sygnał wysokiej częstotliwości (do 400 MHz), przy czym nadawanie następuje w paśmie 5 MHz do 116 MHz, zaś odbiór w paśmie 159 MHz do 400 MHz; każdy kanał przesyłowy ma pasmo o rozpiętości 6 MHz, a więc możliwa jest transmisja wielokrotna (wielokanałowa) — przy realizacji tej transmisji jako medium przesyłowe stosuje się kabel telewizyjny CATV oraz remodulatory (rys. 12).

Zadaniem warstwy 1 jest:

- przesyłanie strumienia bitów o zadanej strukturze,
- elektryczna reprezentacja sygnałów.

Warstwa 2 (magistrala) jest zestawem środków sprzętowych (modem i kontroler komunikacyjny) oraz programowych, których zadaniem jest przygotowanie bezpiecznego i transparentnego (przezroczystego) przekazywania komunikatów pomiędzy warstwą fizyczną a warstwą sieci lub warstwą użytkownika, jeżeli warstwy 3 ÷ 6 są puste. Zadaniem realizowanymi przez warstwę są:

- rozpoznanie i usuwanie błędów przekazywania danych,
- kontrola przepływu danych,
- dostęp do medium przesyłowego.

Aby zrealizować te cele, ciąg bitów przychodzący z warstwy fizycznej jest formowany w ramki, które są ograniczone ściśle zdefiniowanymi ciągami bitów. Dostęp do medium przesyłowego może być stochastyczny (TOP) lub deterministyczny (MAP).

Warstwy 3 do 7 są zestawem pakietów oprogramowania posadowionych w komputerze stacji użytkownika, realizujących zadania jak poniżej.

Warstwa 3 (sieć) realizuje zadania:

- kierowanie przesyłem informacji wewnątrz sieci rozgałęzionej,
- tworzenie i przerywanie połączeń sieciowych,
- wielokrotnienie wykorzystania połączeń zrealizowanych przez warstwę 2.

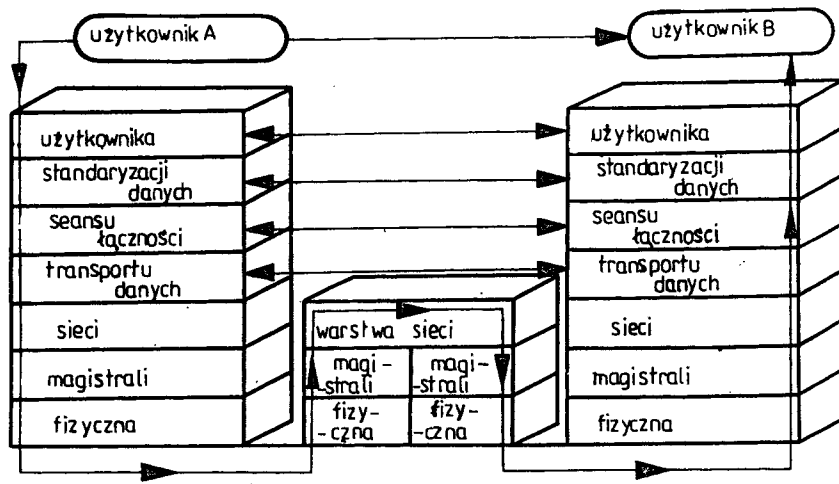
Warstwa 4 (transport) realizuje zadania:

- transport danych od punktu do punktu (niezależnie od sieci),
- zapewnienie wymaganej jakości transportu danych (tablica 2),
- oddzielenie użytkownika od zagadnień transportu danych.

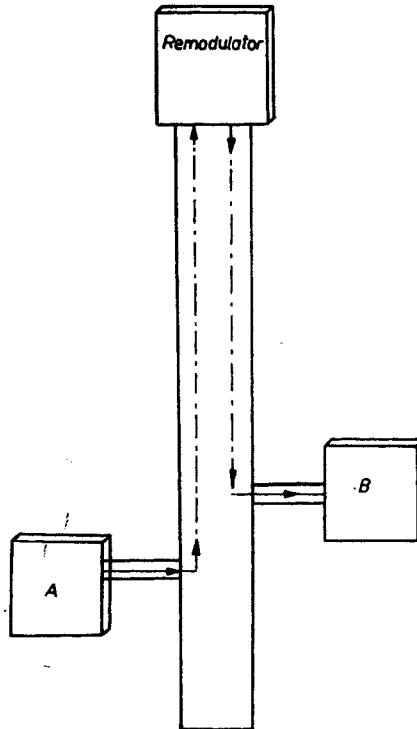
Warstwa 5 (seans łączności, sesja) realizuje zadania:

- sterowanie komunikacją pomiędzy użytkownikami,
- ustalenie punktów kontrolnych w komunikatach,
- odbudowywanie przerwanych połączeń transportowych,
- przesłuchiwanie przesyłek.

Warstwa 6 (standaryzacja danych) realizuje:



Rys. 11. Przenoszenie informacji przez dwa systemy



Rys. 12. System z magistralą szerokopasmową

- dopasowanie kodowania do przenoszonych danych,
  - wzajemną transformację składni lokalnych i składni przesyłania.
- Warstwa 7 (użytkownika) zapewnia:
- sprzężenie z procesem sterowanym,
  - przygotowanie podstawowych funkcji obsługi programów użytkowych.

Tablica 2

**PRZEGLĄD FUNKCJI WARSTWY 4  
SPEŁNIANYCH PRZEZ KLASY TRANSPORTU DANYCH. [3]**

	klasa	klasa	klasa	klasa	klasa
Eliminacja błędów wskazanych przez warstwę 3		●		●	●
Rozpoznanie i eliminacja błędów nie wykrytych przez warstwę 3					●
Zwielokrotnianie			●	●	●
Kontrola przepływu danych		●	●	●	●
Segmentowanie	●	●	●	●	●
Ustalanie pierwszeństwa danych	●	●	●	●	●

## 6. WNIOSKI

- 6.1. Obecnie nie jest możliwe konkurencyjne wytwarzanie bez systematycznego powiększania skali automatyzacji.
- 6.2. Postępowanie — od początku — według filozofii systemów otwartych jest najtańszą drogą do rozwiązania problemu komputerowo zintegrowanego wytwarzania.

## LITERATURA

- [1] ISO 7498. Information processing systems — open systems interconnection — Basic reference model.
- [2] Missala T. (i inni): Koncepcja systemu MAP według modelu ISO wraz z magistralą światłowodową. PIAP 1987 nr rej. 5899.
- [3] Suppan-Borowka J., Simon T.: MAP. Datenkommunikation in der automatisierten Fertigung. Data COMP — Verlag 1986.