

# Wprowadzenie do architektury systemów komputerowych

System komputerowy, tak jak każdy system, składa się z powiązanego zbioru zespołów. Można go najlepiej scharakteryzować przez określenie jego struktury (czyli sposobu powiązania zespołów) i określenie jego funkcjonowania (czyli działania poszczególnych zespołów). Ponadto należy uwzględnić to, że struktura komputera jest hierarchiczna. Każdy główny zespół można następnie analizować dalej, rozkładając go na główne podzespoły i opisując z kolei ich strukturę i działanie.

*System komputerowy.*

Główne zespoły to:

- procesor,
- pamięć,
- urządzenia wejścia-wyjścia.

## *Procesor*

Główne zespoły to:

- jednostka sterująca,
- rejestry,
- jednostka arytmetyczno-logiczna,
- jednostka wykonująca rozkazy.

## *Jednostka sterująca*

Główne zespoły to:

- pamięć sterowania,
- zespół szeregowania mikrorozkazów,
- rejestry.

System jest rozpatrywany zarówno z punktu widzenia architektury (to znaczy atrybutów systemu widzialnych dla programującego w języku maszynowym), jak i organizacji (to znaczy jednostek operacyjnych i ich połączeń tworzących architekturę).

# **ORGANIZACJA I ARCHITEKTURA**

Przy opisywaniu systemów komputerowych często czynione jest rozróżnienie między *architekturą* komputera a jego *organizacją*. Choć precyzyjne zdefiniowanie tych pojęć jest trudne, jednak istnieje zgoda co do zagadnień, których dotyczą



**Architektura komputera** odnosi się do tych atrybutów systemu, które są widzialne dla programisty. Innymi słowy, atrybuty te mają bezpośredni wpływ na logiczne wykonywanie programu.

**Organizacja komputera** odnosi się do jednostek operacyjnych i ich połączeń, które stanowią realizację specyfikacji typu architektury.

Przykładami atrybutów architektury są: lista rozkazów, liczba bitów wykorzystywanych do prezentacji różnych typów danych (np. liczb czy znaków), mechanizmy wejścia-wyjścia oraz metody adresowania pamięci.

Do atrybutów organizacyjnych należą rozwiązania sprzętowe niewidzialne dla programisty, takie jak sygnały sterujące, interfejsy między komputerem a urządzeniami peryferyjnymi oraz wykorzystywana technologia pamięci.

Na przykład to, czy w komputerze występuje rozkaz mnożenia, jest zagadnieniem projektowania architektury. Zagadnieniem organizacyjnym jest natomiast to, czy ten rozkaz będzie wykonywany przez specjalną jednostkę mnożącą, czy też przez wielokrotne wykorzystanie jednostki sumującej systemu. Decyzja organizacyjna może wynikać ze spodziewanej częstości wykorzystywania rozkazu mnożenia, ze względnej szybkości obu rozwiązań, a także z kosztu i fizycznych rozmiarów specjalnej jednostki mnożącej.

Historycznie, a także współcześnie, rozróżnienie między architekturą a organizacją jest ważne. Wielu producentów komputerów oferuje rodziny modeli o tej samej architekturze, różniące się jednak organizacją. W wyniku tego poszczególne modele w tej samej rodzinie mają różne ceny i parametry określające wydajność. Ponadto, architektura może przeżyć wiele lat, natomiast organizacja zmienia się wraz z technologią.

Wybitnym przykładem obu tych zjawisk jest architektura Systemu 370 IBM. Architektura ta była po raz pierwszy wprowadzona w roku 1970 i obejmowała wiele modeli. Klient o umiarkowanych wymaganiach mógł kupić model tańszy, lecz wolniejszy. Jeśli jego wymagania wzrosły, mógł sięgnąć po droższy i szybszy model, nie rezygnując jednakże z dotychczas opracowanego oprogramowania. Przez całe lata IBM wprowadzał wiele nowych modeli wykorzystujących ulepszoną technologię w celu zastąpienia starszych modeli, oferując klientowi większą szybkość, niższy koszt lub i jedno, i drugie.

# **STRUKTURA I DZIAŁANIE**



Komputer jest systemem złożonym; współczesne komputery zawierają miliony elementów elektronicznych. Jak więc można je prosto opisać? Kluczem jest rozpoznanie hierarchicznej struktury najbardziej złożonych systemów, w tym komputera. System hierarchiczny jest układem wzajemnie powiązanych podsystemów, z których każdy również ma strukturę hierarchiczną, aż do osiągnięcia najniższego poziomu - podsystemu elementarnego.

Na każdym poziomie projektant zajmuje się strukturą i funkcjami składników systemu

*Struktura* to sposób wzajemnego powiązania składników.

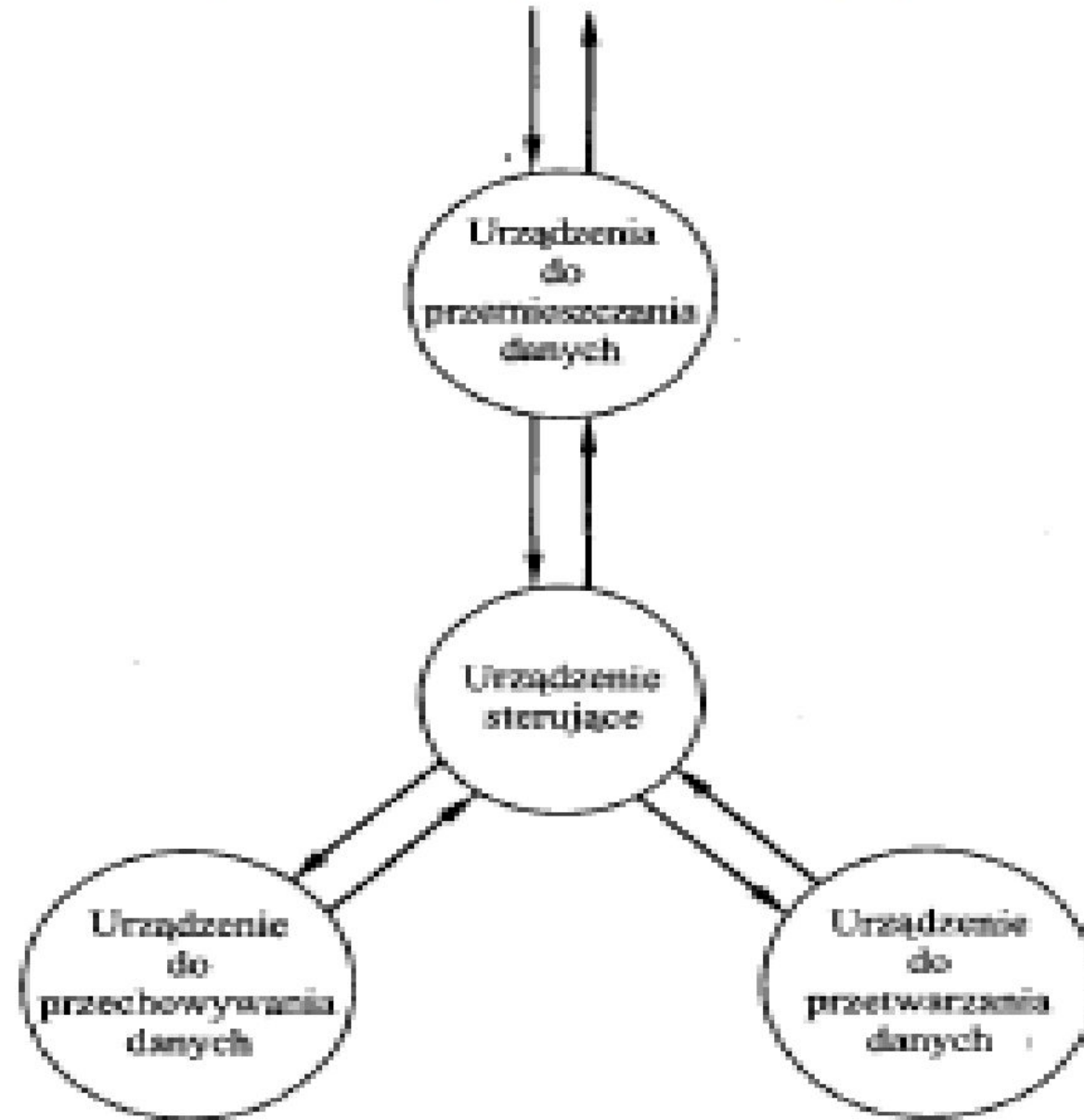
*Funkcje* określają działanie poszczególnych składników jako części struktury.

Na rysunku 1.1 są pokazane podstawowe funkcje, które może realizować komputer.

Ogólnie są to tylko cztery funkcje:

- przetwarzanie danych;
- przechowywanie danych;
- przenoszenie danych;
- sterowanie.

Środowisko użytkowe  
(źródło i miejsce przeznaczenia danych)



RYSUNEK 1.1. Obraz funkcjonalny komputera

Komputer musi móc **przetwarzać dane**. Dane mogą przybierać różne formy, a zakres wymagań odnoszących się do przetwarzania jest szeroki. Zobaczymy jednak, że istnieje tylko niewiele podstawowych metod, lub typów, przetwarzania danych.

Bardzo ważne, aby komputer **przechowywał dane**. Nawet jeśli komputer przetwarza dane jedynie „w locie” (tzn. dane przychodzą, są przetwarzane i natychmiast wychodzą), musi on czasowo przechowywać chociażby te dane, które w danym momencie są przetwarzane. Występuje więc przynajmniej funkcja krótkotrwałego przechowywania. Równie ważne jest, aby komputer realizował funkcję długotrwałego przechowywania danych. Pliki danych są przechowywane w komputerze, co umożliwia ich późniejsze pobieranie i aktualizację.

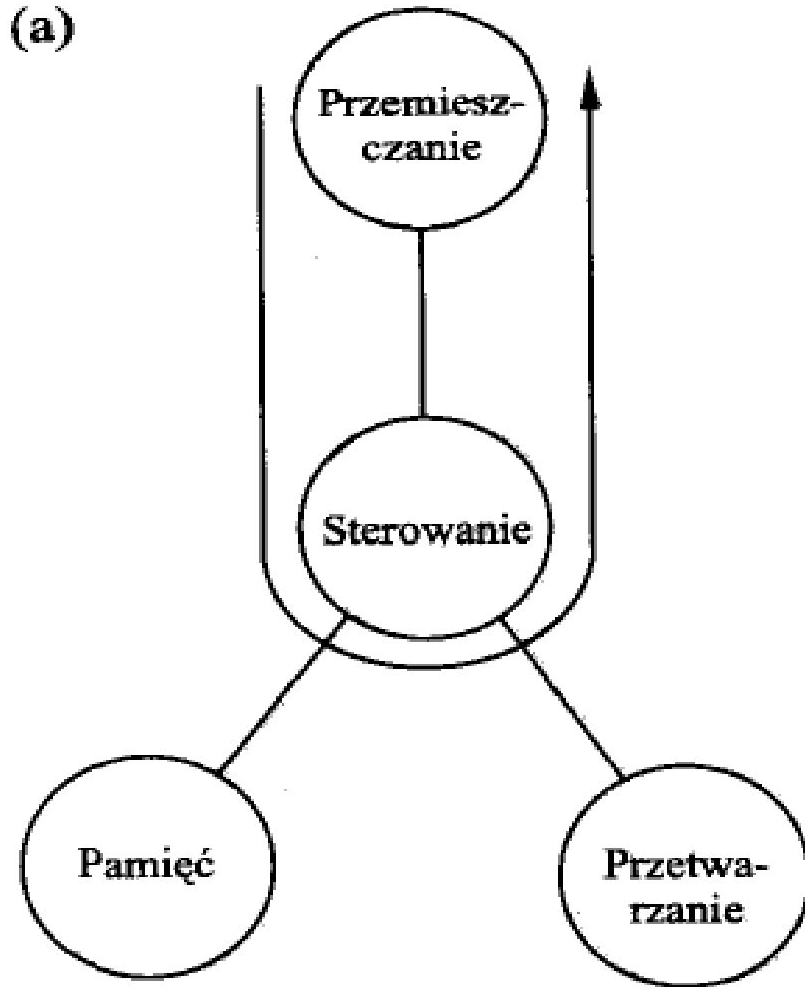
Komputer musi móc **przenosić dane** pomiędzy sobą a światem zewnętrznym. Otoczenie operacyjne komputera składa się z urządzeń, które są albo źródłami, albo odbiorcami danych. Jeśli dane są otrzymywane od urządzenia bez pośrednio połączonego z komputerem lub do niego dostarczane, to taki proces jest określany jako **proces wejścia-wyjścia**, a samo urządzenie nazywa się **peryferyjnym**.

Jeśli dane są przenoszone na większe odległości, do odległego urządzenia lub od niego, to proces taki jest określany jako **transmisja danych**.

Musi wreszcie istnieć możliwość **sterowania** tymi trzema funkcjami.

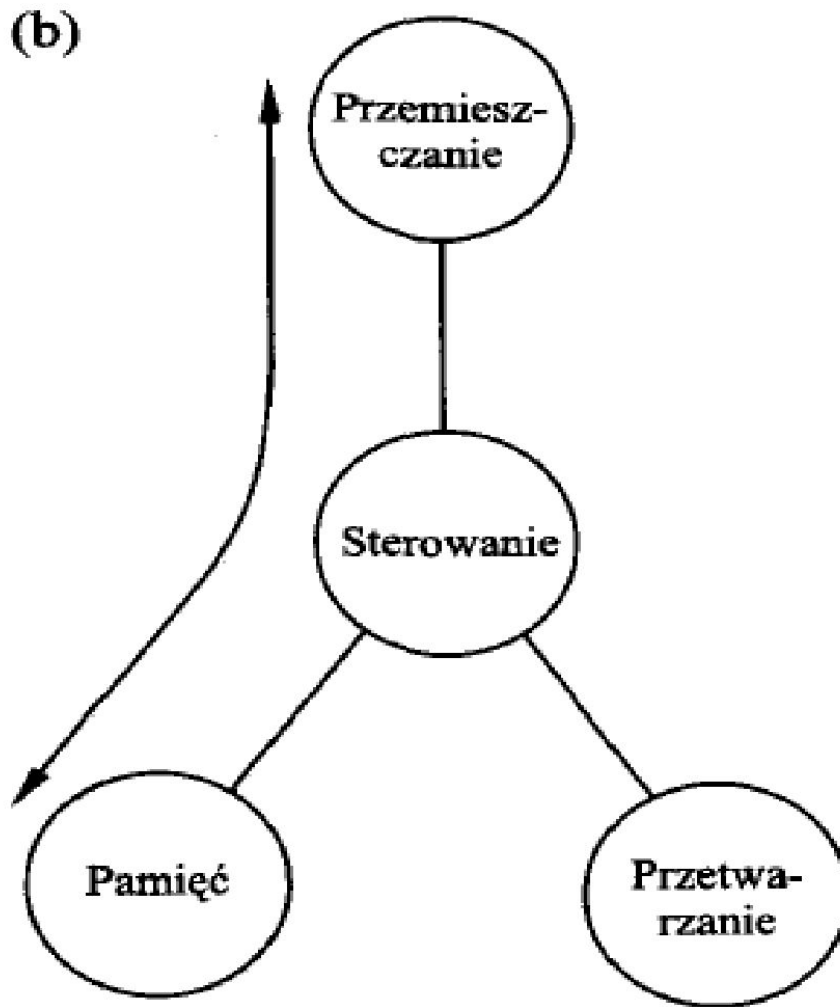
W ostateczności sterowanie to jest wykonywane przez osoby, które wydają komputerowi polecenia. Wewnątrz systemu komputerowego jednostka sterująca *zarządza* zasobami komputera i koordynuje działanie jego składników funkcjonalnych, zależnie od wprowadzonych poleceń.





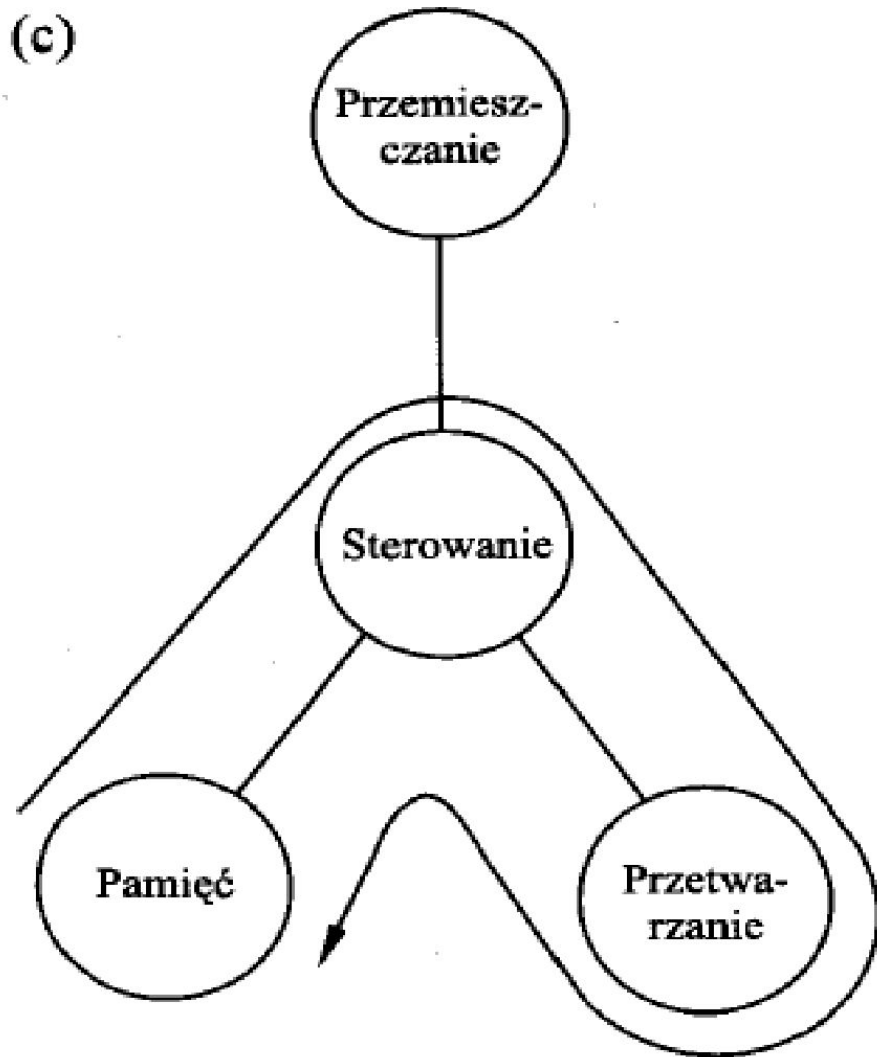
Komputer może funkcjonować jako urządzenie do przenoszenia danych, przenosząc po prostu dane od jednego urządzenia peryferyjnego lub linii transmisyjnej do drugiego.

RYSUNEK 1.2. Operacje możliwe do wykonania przez komputer



Może funkcjonować jako urządzenie do przechowywania danych, przy czym dane są przenoszone z otoczenia do komputera (odczyt) i odwrotnie (zapis).

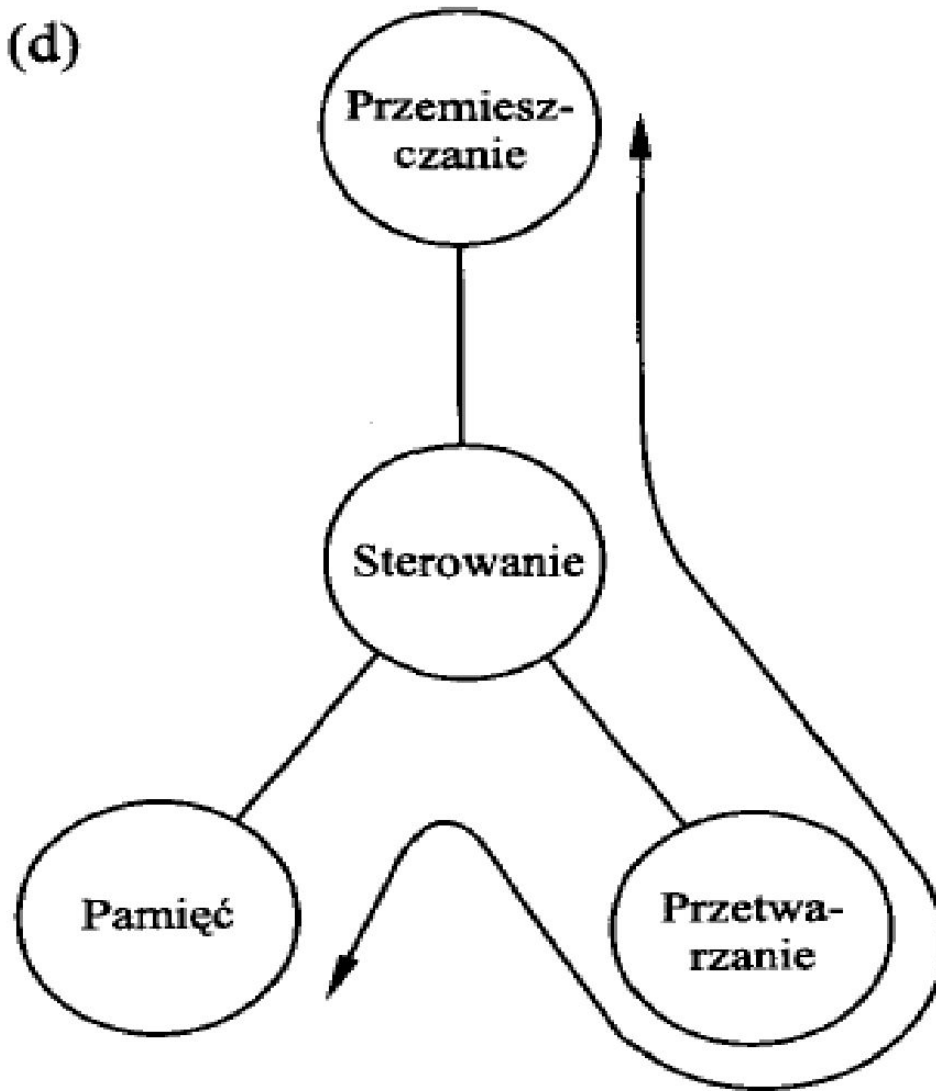
RYSUNEK 1.2. Operacje możliwe do wykonania przez komputer



Operacje obejmujące przetwarzanie danych, które są przechowywane.

RYSUNEK 1.2. Operacje możliwe do wykonania przez komputer

(d)



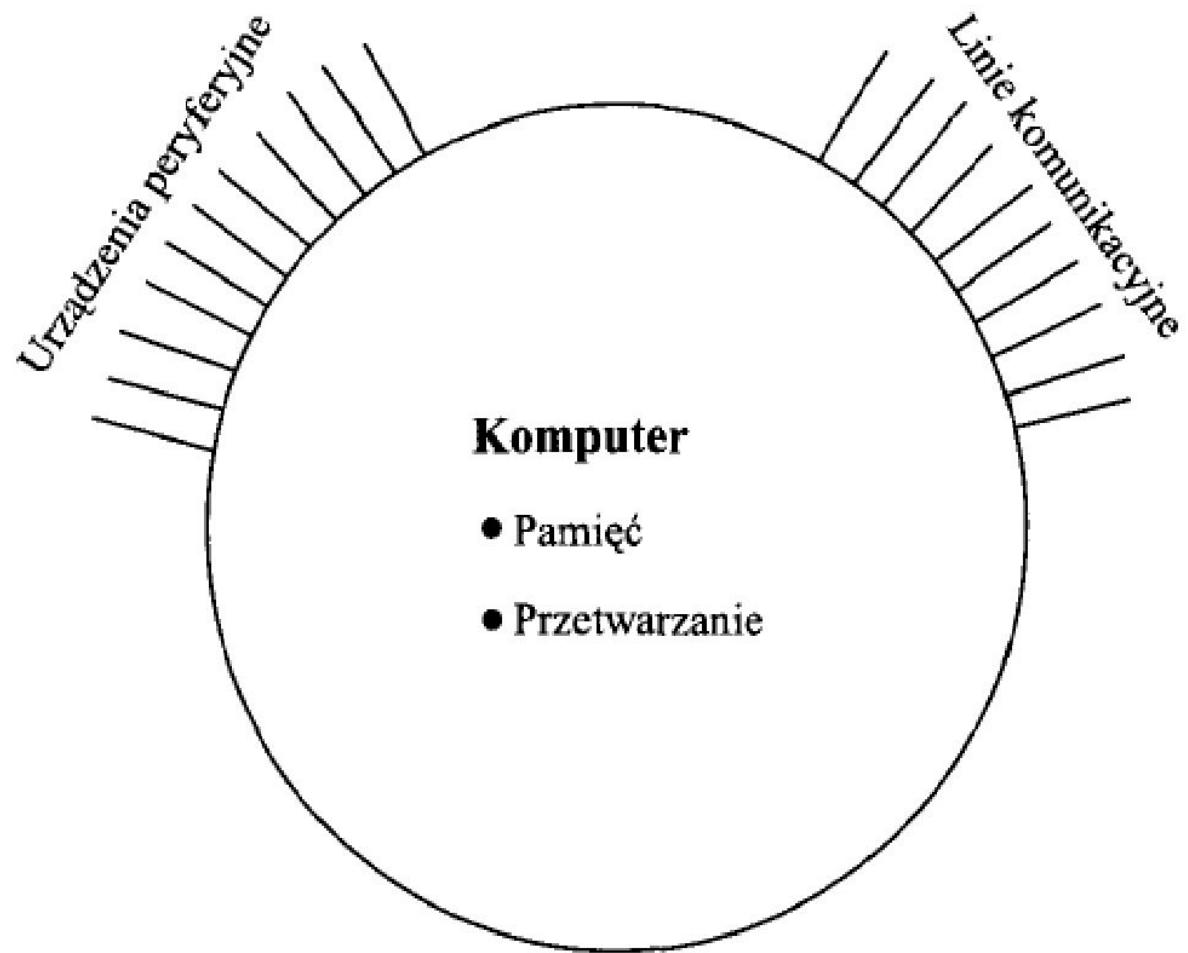
Operacje obejmujące przetwarzanie będących w drodze między miejscem przechowywania a otoczeniem.

RYSUNEK 1.2. Operacje możliwe do wykonania przez komputer

# **Struktura**

Na rysunku 1.3 jest pokazany możliwie najprostszy obraz komputera. Komputer jest urządzeniem, które jest w pewien sposób powiązane ze swoim otoczeniem zewnętrznym. Ogólnie rzecz biorąc, wszystkie jego powiązania z otoczeniem mogą być sklasyfikowane jako urządzenia peryferyjne lub linie transmisyjne.

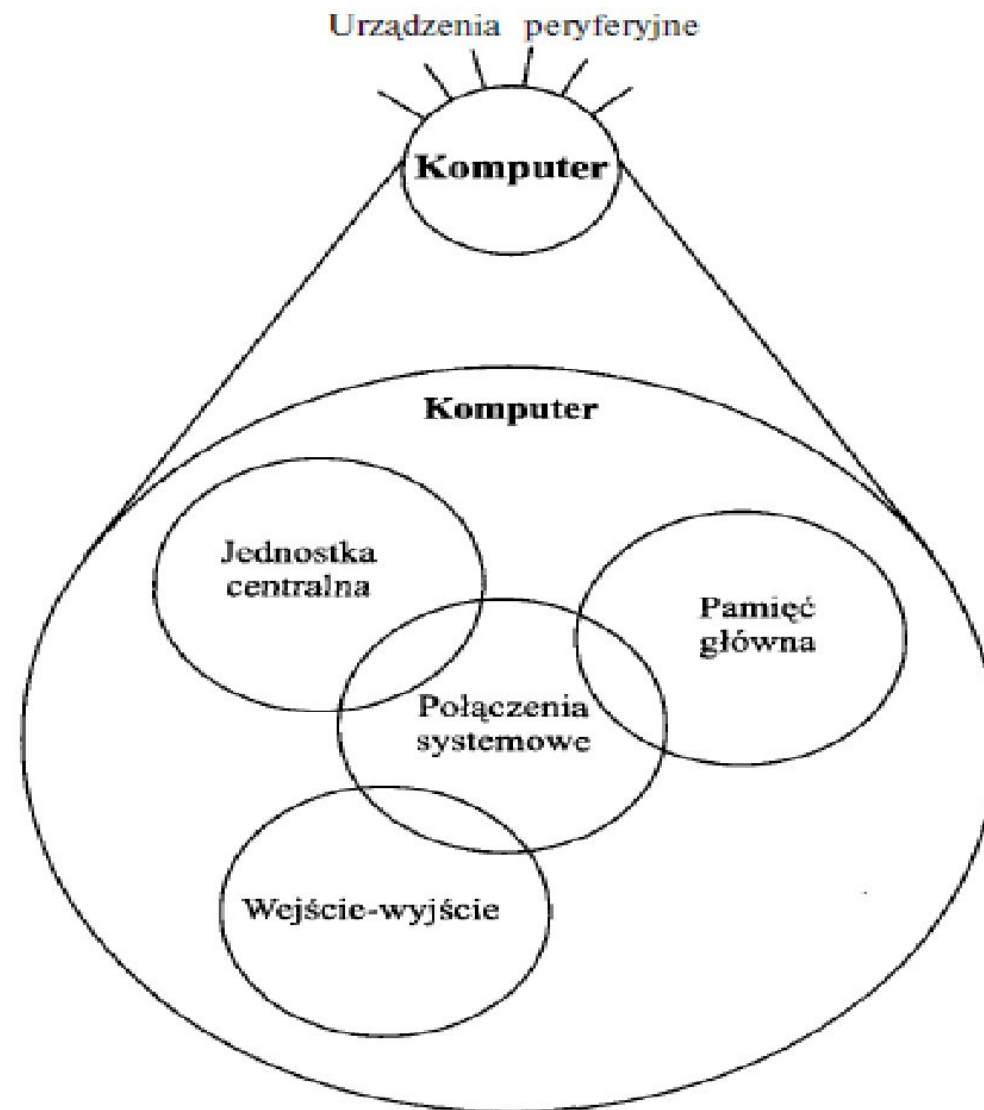
Będziemy musieli bliżej przedstawić oba typy tych powiązań.



RYSUNEK 1.3. Komputer

Skupimy na wewnętrznej strukturze samego komputera, co zostało pokazane w górnej części rys. 1.4. Istnieją cztery główne składniki strukturalne komputera:





RYSUNEK 1.4. Struktura komputera

**Jednostka centralna (CPU).** Steruje ona działaniem komputera i realizuje jego funkcję przetwarzania danych. Często jest po prostu nazywana procesorem.

**Pamięć główna. Przechowuje dane.**

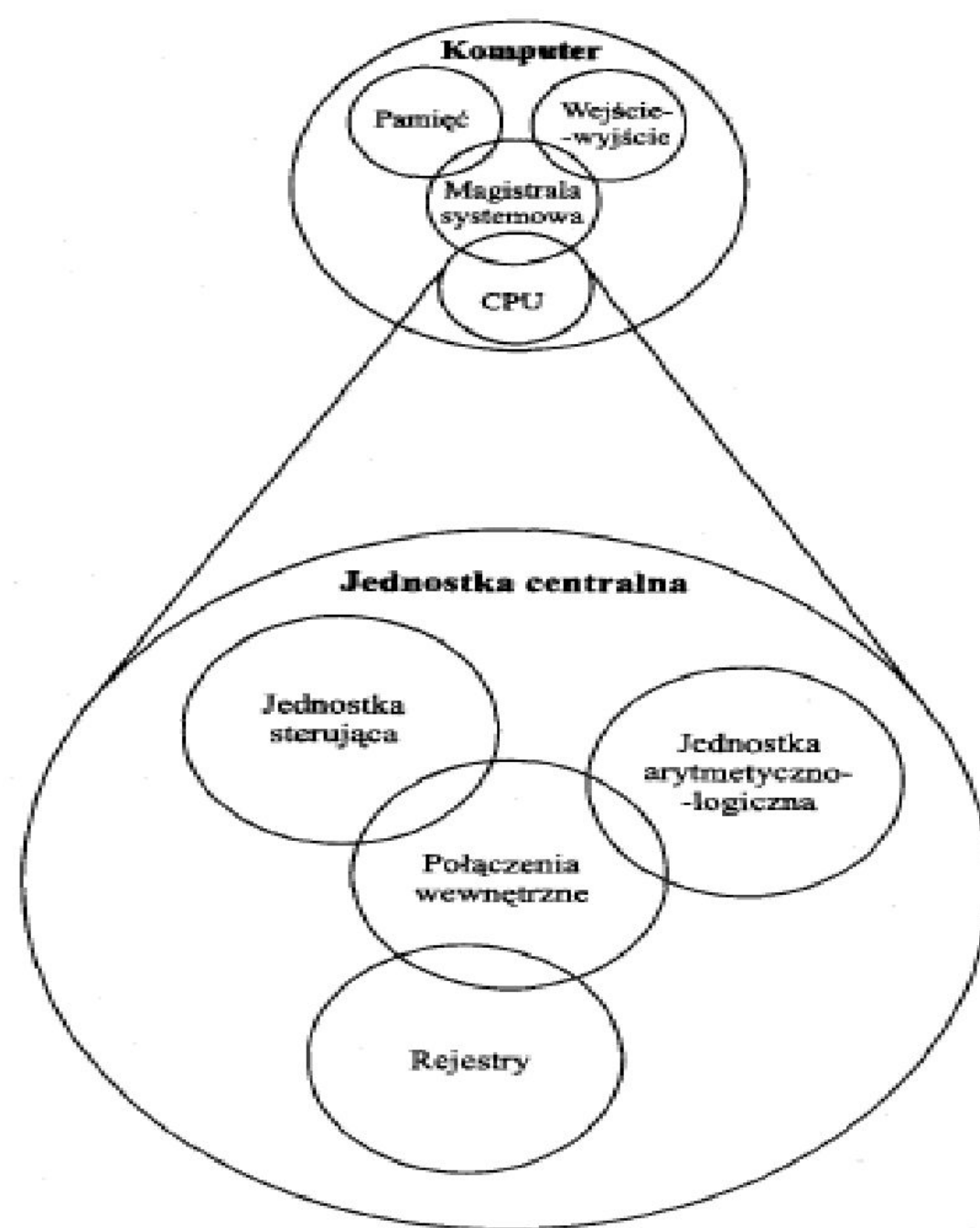
**Wejście-wyjście.** Przenosi dane między komputerem a jego otoczeniem zewnętrznym.

**Połączenia systemu.** Mechanizmy zapewniające łączność między procesorem, pamięcią główną a wejściem-wyjściem.

Każdy z wymienionych składników może występować w komputerze pojedynczo lub w większej liczbie.

Najbardziej złożonym składnikiem jest jednostka centralna.

Jej strukturę widać na rys. 1.5.



RYSUNEK 1.5. Jednostka centralna



Głównymi składnikami strukturalnymi procesora są:

**Jednostka sterująca.** Steruje działaniem procesora i przez to komputera.

**Jednostka arytmetyczno-logiczna (ALU).** Realizuje funkcję przetwarzania danych przez komputer.

**Rejestry.** Realizują wewnętrzne przechowywanie danych w procesorze.

**Połączenia procesora.** Mechanizm zapewniający łączność między jednostką sterującą, ALU i rejestrami.

**ltd...**

# **Architektura współczesnego komputera**

Mówiąc o architekturze komputera w tym punkcie będziemy mieli na myśli jego podstawowe komponenty, które są niezbędne do jego prawidłowego funkcjonowania, bądź trwale kojarzone z komputerami. Poprzez komputer będziemy rozumieli wszelkie urządzenia komputerowe, zatem nie tylko komputery osobiste, ale również sterowniki komputerowe czy też komputery pokładowe dla samolotów. Dlatego też będziemy pomijali wszelkie urządzenia wewnętrzne czy zewnętrzne, które powszechnie określa się mianem peryferiów, a które to nie są niezbędne. Przyjmując powyższe uproszczenie, można wyróżnić następujące trzy zasadnicze składowe dzisiejszego komputera:

**Procesor** - główny układ wykonujący rozkazy, często też zawierający w sobie koprocesor numeryczny - realizujący operacje na liczbach zmiennoprzecinkowych.

**Pamięć** - wyróżnia się zasadniczo dwa rodzaje pamięci: pamięcią o dostępie swobodnym - służy jako magazyn dla rozkazów (program), danych oraz wyników operacji na tych danych, oraz pamięć stałą w której „zaszyty” jest podstawowy program komputera (BIOS lub inne tego rodzaju).

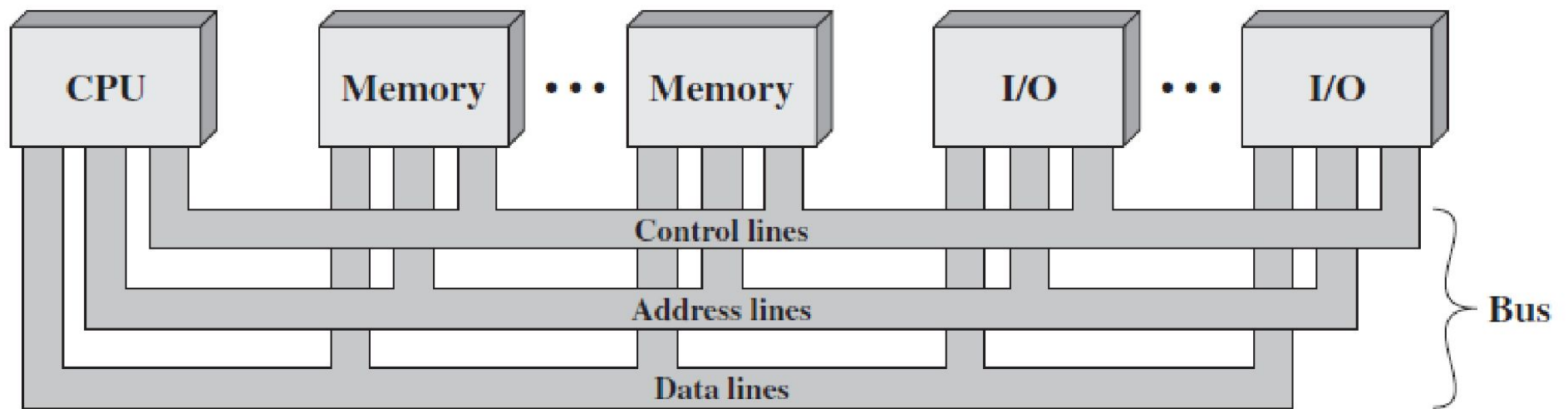
**Wejście/Wyjście** - (*ang. Input/Output (I/O)*), zapewniające dostęp do świata zewnętrznego.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że wymienione wyżej elementy niekoniecznie muszą występować jako osobne urządzenia. Dla przykładu mikroprocesory jednocukładowe zawierają większość z tych elementów w sobie tj. zamknięte w jednej obudowie układu scalonego. Przeznaczenie tego typu układów to wszelkiego rodzaju sterowniki np. pralki czy maszyny szwalniczej.

W tych zastosowaniach twórcom często zależy na niewielkich gabarytach i zwartości układu.



Komputer złożony z pamięci, procesora i układów wejścia/wyjścia będzie prawidłowo funkcjonował o ile, coś nada mu rytm pracy, tym elementem będzie **zegar systemowy**. Przy czym nie wyróżnia się zwykle tego elementu jako czegoś osobnego, zakłada się, że jest on niezbędny i pomija się przy omawianiu uproszczonej architektury. Schematyczna ilustracja architektury pokazana jest na rysunku.



Wymienione elementy składowe muszą komunikować się ze sobą. Komunikacja ta odbywa się poprzez magistrale systemowe. Najprościej mówiąc magistrale te są rodzajem kanałów przez które płynie informacja, w jedną lub w drugą stronę. Kanały te składają się z kilku, kilkunastu, czy kilkudziesięciu przewodników elektrycznych (Mogę nimi być ścieżki drukowane - linijki miedzi na specjalnym podkładzie na którym montuje się układy scalone lub inne elementy, a mogą to być odpowiednie struktury w krzemie wewnątrz układu scalonego). Zasadniczo wyróżnia się trzy magistrale, które zostały omówione poniżej, przy niektórych z nich ważną cechą charakterystyczną jest tzw. **szerokość magistrali**, która mówi o ilości bitów informacji, która może zostać przesłana jednocześnie tę magistralę (Jest to nierozdzielnie związane z ilością fizycznych połączeń - jedno połączenie może na raz przesłać jeden bit informacji)

**Magistrala danych** - (*ang. Data Bus*) jest kanałem przez który płyną w obie strony dane, zatem zapewnia przesył do i z procesora, do i z pamięci itd. Oczywiście nie jest to proces jednoczesny, zatem np. najpierw się pobiera dane, po czym je wysyła.

Magistrala danych ma pewną szerokość, zwykle 8, 16, 32, lub 64 bity.

**Magistrala adresowa** - (*ang. Address Bus*) dostarcza informacji o adresach pod które mają trafić dane, lub spod których mają zostać odczytane (Spotyka się również określenie *wystawienie adresu* określające proces adresowania.). Szerokość magistrali adresowej jest bardzo ważna, mówi ona o tym jaką przestrzeń adresową możemy obsłużyć przy pomocy tego procesora.

Przypomnijmy, że  $2^{10} = 1024$ , zatem na 10-cio bitowej magistrali adresowej możemy wyznaczyć adresy zaledwie 1024 komórek pamięci!

**Magistrala sterująca** - (*ang. System Bus*) jest kanałem do przesyłania informacji o stanie systemu, zachowaniach urządzeń zewnętrznych itp.

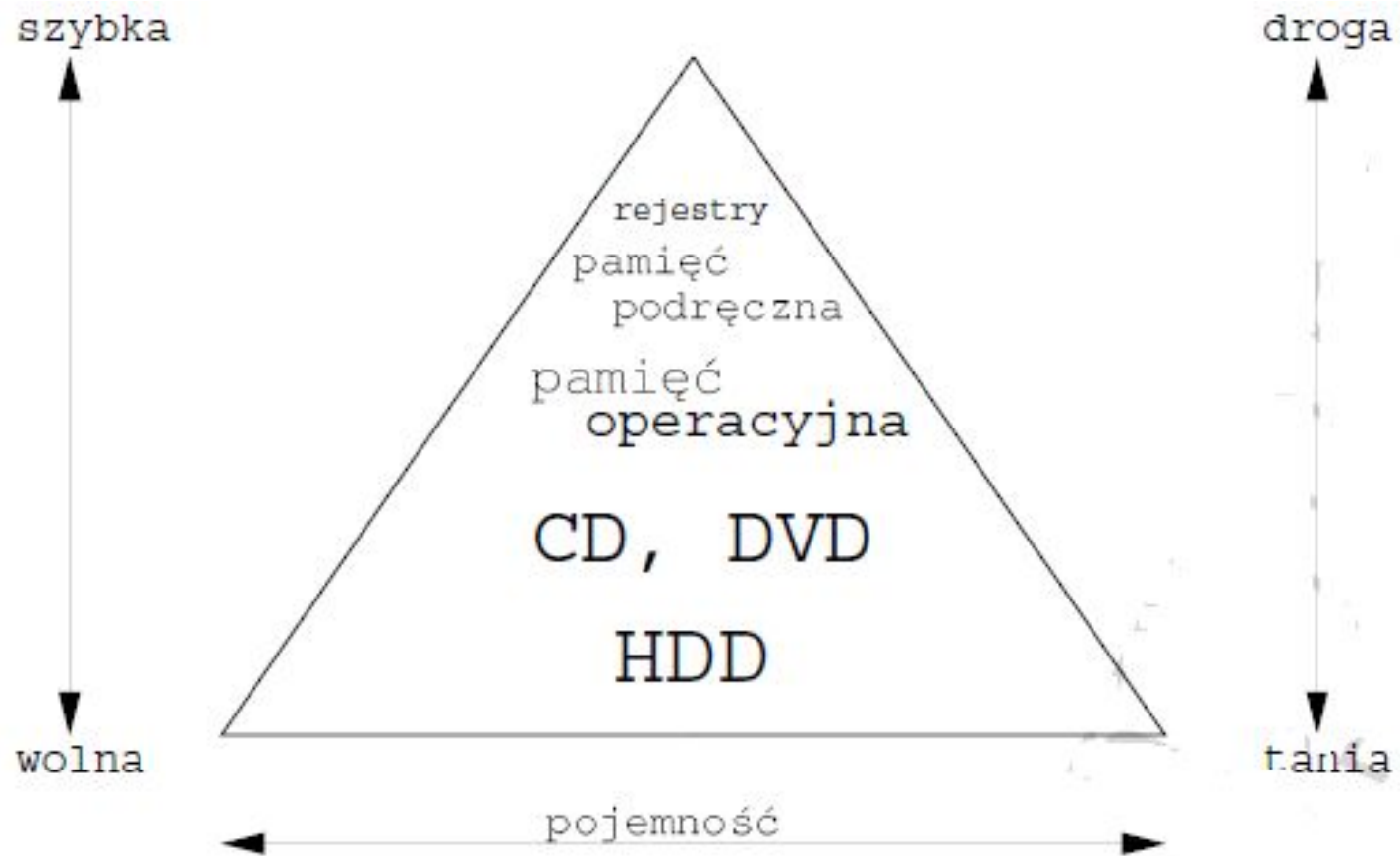
Szerokością tej magistrali interesują się wyłącznie producenci płyt głównych i układów towarzyszących, dla przeciętnego użytkownika nie ma to najmniejszego znaczenia.

Powiedzieliśmy, że procesor jest tym najistotniejszym czynnikiem mającym wpływ na wydajność systemu, jednak pamięć ma również ogromny wpływ na sprawność całego układu. Obecnie dysponujemy bardzo szeroką gamą pamięci o dostępie swobodnym zwanych też pamięciami RAM (*ang. Random Access Memory*), mając tym samym duże możliwości wyboru przy projektowaniu komputera zależnie od potrzeb i dostępnych środków finansowych.

W celu lepszej ilustracji tego faktu, dokonamy porównania pamięci RAM z innymi nośnikami informacji, które nie muszą występować jako podstawowy składnik komputera.

Najłatwiej pogrupować pamięci wszelkiego typu przypisując każdej z nich odpowiednie miejsce w piramidzie na rysunku.





Rysunek. Zależności kosztów pamięci, ich pojemności i czasu dostępu

Prezentowana piramida jest pewnym rodzajem uproszczenia, nie należy jej traktować zbyt dosłownie. Okazuje się np. że równie ważnym czynnikiem wpływającym na cenę poza pojemnością jest technologia wykonania

W zależności od kierunku przeglądania tej piramidy możemy pamięci klasykować ze względu na:

**czas dostępu** - jest to czas jaki musi upłynąć od momenty wystawienia żądania odczytu danej o zadanym adresie do momentu jej uzyskania, dla przykładu przy pamięci RAM będzie to 10 nanosekund, a dla twardego dysku nawet 10 milisekund,

**cenę** - zwykle im większa gęstość zapisu tym wyższa cena, poprzez gęstość zapisu będziemy rozumieli tutaj stosunek pojemności do gabarytów nośnika informacji (Stąd też dysk twardy o tej samej pojemności do komputera biurowego, będzie miał niższą cenę niż do notebooka, gdzie jego wielkość musi być znacznie mniejsza.). Jednak zależy to mocno od technologii i tak dla przykładu pamięć RAM jest dużo droższa od płyty CD-R a nawet CD-R/W.

**pojemność** -na samej górze są pamięci najszybsze, ale jednocześnie małe gdyż bardzo kosztowne; na dole pamięci najwolniejsze, ale o bardzo dużej pojemności a przez to tanie (koszt rozpatrywany jest w przeliczeniu na pewną ustaloną jednostkę pojemności, na przykład bajt czy kilobajt).

Stosując kryteria odwołujące się do fizycznej natury pamięci można je także pogrupować ze względu na:

**lokalizację** - czyli położenie w komputerze, przykładowo: wewnątrz procesora (pamięć podręczna - cache), wewnątrz komputera (pamięć RAM, ROM), zewnętrzna (wszelkiego typu inne nośniki w tym dyskietki);

**wydajność** - na ogólną wydajność wpływ będą miały następujące czynniki: czas dostępu, szybkość transmisji, długość cyklu dostępu;

**trwałość przechowywanej informacji** - pamięć ulotna np. RAM jej zawartość ginie po odcięciu zasilania, nieulotna np. dysk twardy, wymazywalna np. płyta CD-RW, niewymazywalna np. płyta CD-R;

**charakter fizycznego zapisu** - półprzewodnikowe, magnetyczne, optyczne;

**sposób dostępu** - sekwencyjny np. pamięci taśmowe, bezpośredni, swobodny np. RAM.

Na ogół w systemie stosuje się kilka różnych rodzajów pamięci co podyktowane jest poszukiwaniem kompromisu pomiędzy kosztem, wydajnością i możliwościami. Najwydajniejsze pamięci są bowiem jednocześnie najdroższe, dlatego ogranicza się ich rozmiar przechowując dane wykorzystując wolniejsze pamięci, ale o dużo większej pojemności i mniejszym koszcie.

Patrząc na piramidę widzimy, że pamięci stanowiące podstawowy składnik architektury komputera, czyli pamięci o dostępie swobodnym są zwykle stosunkowo małe i bardzo drogie, zwłaszcza dotyczy to pamięci podręcznych.

W chwili obecnej jednak nawet w zakresie pamięci o dostępie swobodnym mamy bardzo szeroki wybór technologii zwłaszcza, że nawet w ramach jednej z nich istnieje możliwość zakupu pamięci taktowanych różnymi częstotliwościami.



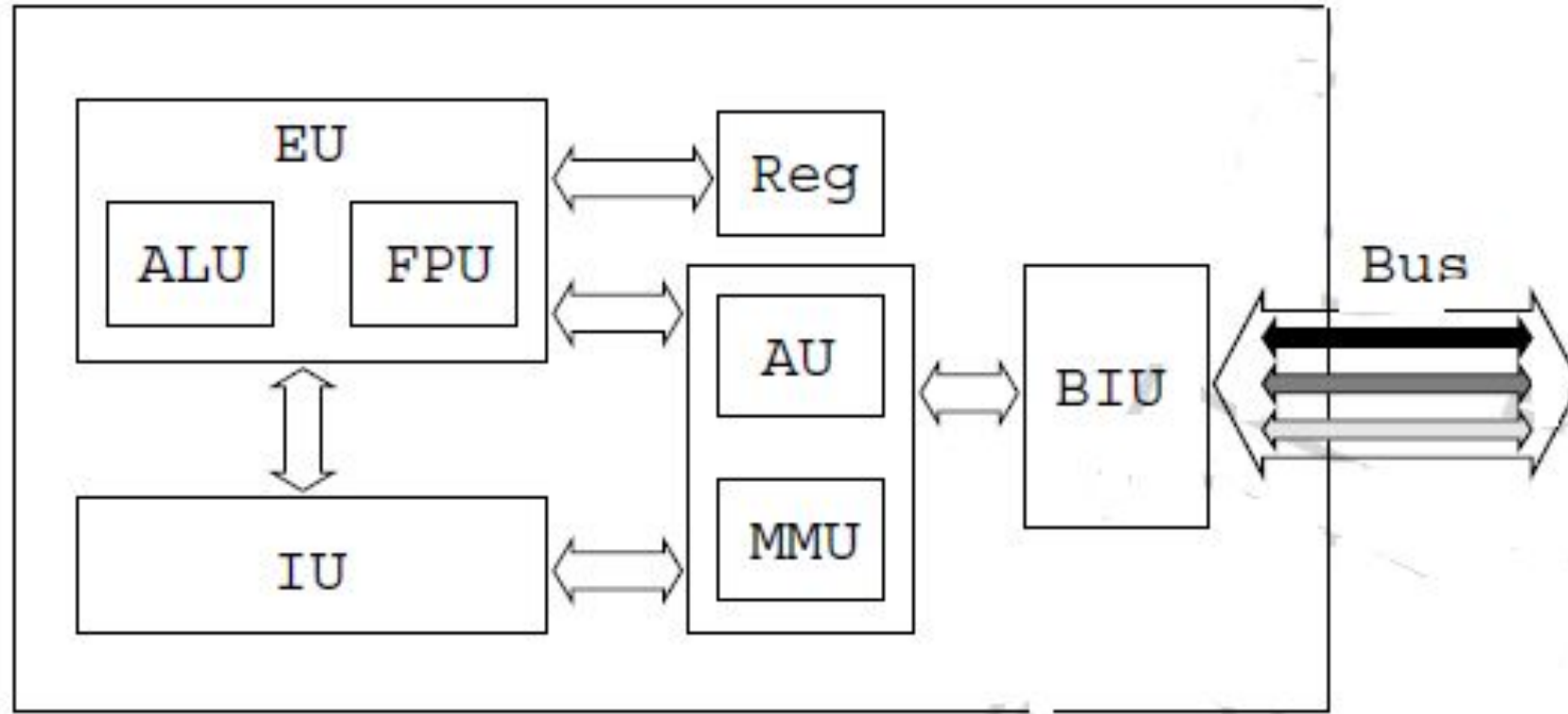
Ostatnim elementem podstawowej architektury komputera są układy (urządzenia) wejścia/wyjścia. Nie są one konieczne do prawidłowego funkcjonowania systemu, ale umożliwiają interakcję pomiędzy nim a otoczeniem, które stanowi źródło danych podlegających przetworzeniu.

Ze względu na ich dużą różnorodność a także ścisłą zależność od specyfiki rozwiązywanych zadań nie będziemy ich tutaj bliżej przedstawiać. Nadmienmy tylko, że w klasycznym komputerze osobistym można mówić na takich urządzeniach wejścia/wyjścia jak: port równoległy, port szeregowy (zwykle podłączana jest do niego mysz lub modem zewnętrzny).

# **Procesor - serce komputera**

Architekturę procesora omówimy na przykładzie układu Intel 8086, przy czym zostanie ona uproszczona w sposób wystarczający do omówienia podstawowych cech.

Schematyczna ilustracja wnętrza procesora znajduje się rysunku.



Rysunek 3.7: Architektura procesora Intel 8086.

Zasadniczo w procesorze 8086 wyróżnia się dwa główne elementy:

**układ wykonawczy (EU)** (*ang. Execution Unit*),

oraz **układ sterowania magistrali (BUI)** (*Bus Interface Unit*).

Przy czym układ wykonawczy składa się z dalszych podjednostek, które spełniają następującą rolę:

**Rejestry** - komórki pamięci wewnątrz procesora o specjalnym przeznaczeniu.

**ALU** - jednostka arytmetyczno-logiczna, przeznaczona do wykonywania podstawowych operacji na liczbach całkowitych.

**FPU** - jednostka zmiennie-przecinkowa, zwana również **koprocesorem**, zajmująca się realizacją obliczeń na liczbach zmiennie-przecinkowych.

**IU** - jednostka dekodowania rozkazów, zajmująca się dekodowaniem rozkazów i żądaniem ewentualnych argumentów dla tych rozkazów.

Z kolei układ sterowania magistrali składa się z następujących jednostek:

**AU** - jednostka adresująca, która zajmuje się wyliczaniem **adresu efektywnego**. Adres efektywny to faktyczny adres pod którym znajduje się żądana dana. Nie jest ona zawsze zgodny z adresem przez który następuje odwołanie, a to ze względu na różne sposoby adresowania.

**MMU** - jednostka zarządzająca pamięcią, która wspiera pobieranie danej bądź rozkazu z komórek pamięci.