



Politechnika Wrocławska

Podstawy Techniki Mikroprocesorowej

wykład 1: od dinozaura do kaczora

Dr inż. Jacek Mazurkiewicz
Katedra Informatyki Technicznej
e-mail: Jacek.Mazurkiewicz@pwr.edu.pl

Sprawy formalne

- konsultacje, p. 225 C-3:
WT: 11-13, ŚR: 11-13
- trochę slajdy: www.zsk.ict.pwr.wroc.pl
- trochę „Wiktor Zinn” →
- kolokwium: 08.06.2017 - w godzinach wykładu
- dobieg: 22.06.2017 - w godzinach wykładu
- PTM: wykład i laborka - trzeba zaliczyć obie formy
- ocena z laboratorium - 20% oceny z wykładu
- zadania stwierdzające co w głowie zostało
- pytanie bonusowe!





PTM - o czym będzie na wykładzie

- Wprowadzenie - pojęcia i określenia podstawowe. Standardowe struktury systemów mikroprocesorowych
- Struktura mikroprocesora i mikrokontrolera. Architektury von Neumanna i harwardzka
- Typy procesorów, zasady przetwarzania danych.
- Tryby adresowania, grupy rozkazów, zasady dekodowania i wykonywania rozkazów.
- Architektura wybranych mikrokontrolerów
- Pamięci komputera: ROM, RAM - charakterystyka
- Stos sprzętowy i programowy, zasady dostępu do stosu i wykorzystania stosu.
- Przerwania, typy przerwań, kontroler przerwań, priorytety przerwań
- Układy czasowo-licznikowe (CTC). Struktura i programowanie układów czasowych wybranego mikrokomputera
- Transmisja szeregową - zasady transmisji szeregowej i struktury portów
- Układy pomocnicze: przetworniki A/C i C/A, zasady działania, typowe realizacje
- Transmisja DMA - zasady transmisji, typowe struktury
- Redukcja mocy w mikrokontrolerach. Kompatybilność elektromagnetyczna. Niezawodność działania programów użytkowych
- Perspektywy rozwojowe mikroprocesorów i mikrokontrolerów



PTM - a na laborce będzie wesoło!

- zestaw ćwiczeń programowych
- tematyczny związek z poszczególnymi modułami systemu mikroprocesorowego
- opracowywane są w języku assemblera oraz C programy wykorzystujące zasoby mikrokontrolera i dostępne w zestawie dydaktycznym urządzenia wyjścia - wyjścia
- ćwiczenia dotyczą pamięci wewnętrznych i zewnętrznych
- porty równoległe i szeregowo
- układy timerów
- proste i złożone urządzenia wejścia (klawiatury, generatory ciągów 0/1)
- proste i złożone urządzenia wyjścia (wyświetlacze LED i LCD)
- jaki procesor będzie używany zależy od „umiejscowienia” laboratorium
- szczegóły o laboratorium na zajęciach wprowadzających do laboratorium
- prowadzący laboratoria są mądrzy, doświadczeni i fajni!



PTM - laborka - mam swoich ludzi

- **dr inż. Jacek Mazurkiewicz:**

- wtorek (N i P), 13:15 - 15:00, s. 019A C-3,
- środa (N i P), 13:15 - 15:00, s. 019A C-3,
- czwartek (N i P), 09:15 - 11:00, s. 019A C-3,
- czwartek (N i P), 11:15 - 13:00, s. 019A C-3,
- piątek (N i P), 09:15 - 11:00, s. 019A C-3,
- piątek (N i P), 14:15 - 16:00, s. 019A C-3.

- **dr inż. Tomasz Kapłon:**

- środa (N i P), 07:30 - 09:00, s. 019A C-3,
- środa (N i P), 09:15 - 11:00, s. 019A C-3,
- środa (N i P), 11:15 - 13:00, s. 019A C-3.

- **mgr inż. Antoni Sterna:**

- wtorek (N i P), 07:30 - 09:00, s. 019A C-3,
- wtorek (N i P), 09:15 - 11:00, s. 019A C-3,
- wtorek (N i P), 11:15 - 13:00, s. 019A C-3.



PTM - literatura (1)

- Badźmirowski K., Pienkos J., Myzik I., Piotrowski A.; Układy i systemy mikroprocesorowe cz.I i cz.II; WNT
- Chalk B.S.: Organizacja i architektura komputerów; WNT
- Grabowski J., Koślacz S.: Podstawy i praktyka programowania mikroprocesorów, WNT
- Janiczek J., A. Stępień; Systemy mikroprocesorowe. Mikrokontroler 80(C)51/52; Wydawnictwo EZN, Wrocław
- Janiczek J., Stępień A.: Laboratorium systemów mikroprocesorowych cz. I. WEZN, Wrocław
- Janiczek J., Stępień A.: Laboratorium systemów mikroprocesorowych cz. II. WCKP, Wrocław
- Skorupski A.: Podstawy budowy i działania komputerów; WKiŁ
- Wilkinson B., Układy cyfrowe. WKŁ, Warszawa
- Dokumentacje mikrokontrolerów: Atmel, Dallas, Infineon, Intel, Philips, Siemens, STmicro-electronics, Texas Instruments
- Dokumentacja programów narzędziowych firm: Keil Software, IAR, Raisonance, STMicro-electronics, TASKING, Texas Instruments



PTM - literatura (2)

- Horowitz P., Hill W., Sztuka elektroniki. WKŁ
- Biernat J.: Arytmetyka komputerów. WNT, Warszawa
- Pienkos J., Turczyński J., Układy scalone TTL w systemach cyfrowych. WKŁ, Warszawa
- Rydzewski A.: Mikroprocesor jednoukładowy MCS51. WNT, Warszawa
- Wirth N.: Algorytmy+struktury danych=programy. WNT, Warszawa
- Clements A.: The Principles of Computer Hardware, 4e, Oxford University Press
- Furber S.: ARM System - on - chip architecture. Addison Wesley
- Koopman P. Jr.: Stack computers. The New Wave, Mountain View Press



PTM – KRK

CELE PRZEDMIOTU

- C1. Zdobyć podstawowej wiedzy z zakresu architektury, działania i aplikacji mikroprocesorów i mikrokontrolerów w systemach cyfrowych.
- C2. Zdobyć podstawowej wiedzy o strukturze wewnętrznej i metodach programowania mikroprocesorów i mikrokontrolerów.
- C3. Zdobyć podstawowej wiedzy o standardowych układach współpracujących z mikroprocesorami i mikrokontrolerami.
- C4. Zdobyć umiejętności przygotowania i uruchomienia oprogramowania wykorzystujące strukturę wewnętrzną mikrokontrolerów w wybranych środowiskach narzędziowych.

PRZEDMIOTOWE EFEKTY KSZTAŁCENIA

Z zakresu wiedzy:

- PEK_W01 – zna zasady architektury i logiki działania mikroprocesorów i mikrokontrolerów.
- PEK_W02 – zna strukturę wewnętrzną i metody programowania mikroprocesorów i mikrokontrolerów.
- PEK_W03 – zna układy peryferyjne i zasady ich współpracy z mikroprocesorami i mikrokontrolerami
- PEK_W04 – zna zasady tworzenia algorytmów i aplikacji dla systemów mikroprocesorowych w wybranych środowiskach programistycznych.

Z zakresu umiejętności:

- PEK_U01 – potrafi posługiwać się narzędziami programowania systemów mikroprocesorowych.
- PEK_U02 – potrafi przygotować algorytmy, implementować i uruchamiać programy w środowiskach mikroprocesorowych z uwzględnieniem właściwości ich struktury wewnętrznej.
- PEK_U03 – potrafi wykorzystać informacje ze schematów ideowych systemów mikroprocesorowych w tworzeniu aplikacji programowych.
- PEK_U04 – potrafi wykorzystać podstawowe możliwości assemblera w tworzeniu oprogramowania.

Dawno temu w Ameryce był ENIAC

- *Electronic Numerical Integrator And Computer*
- 1943 -1945 J.P. Eckert, J.W. Mauchly, Pensylwania
- brak pamięci operacyjnej,
- początkowo programowany przez przełączanie wtyków kablowych, później karty perforowane,
- obliczenia balistyczne, broń jądrowa,
- prognozowanie pogody,
- projektowanie tuneli aerodynamicznych,
- badanie promieniowania kosmicznego,
- wykorzystywany także do badania liczb losowych,
- analizowanie błędów zaokrągleń,
- używany do 1955.

Dawno temu w Ameryce był ENIAC

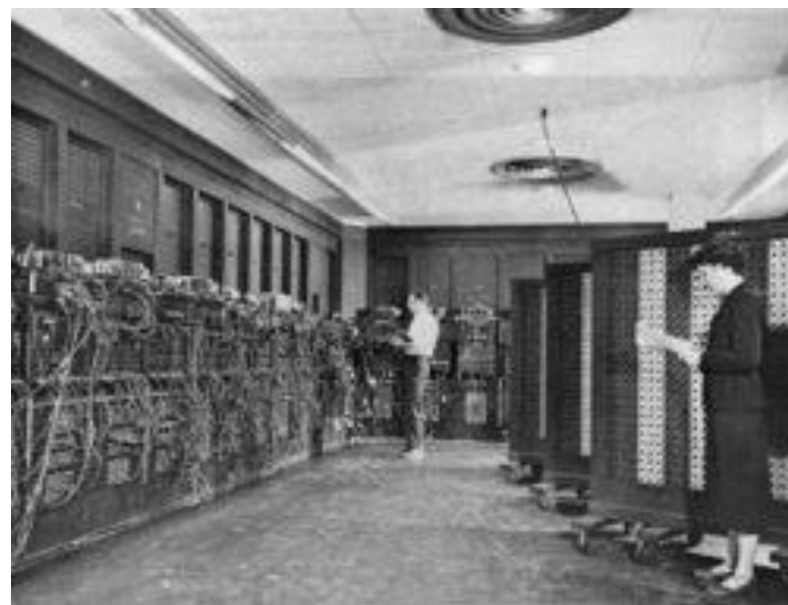
- prostokąt 12 x 6 m litera U,
- 42 szafy szafy z blachy stalowej:
3 m wys., 60 cm szer. i 30 cm głęb.
- 18 800 lamp elektronowych 16
rodzajów,
- 6000 komutatorów, 1500 przekaźników,
- 50 000 oporników, 0.5 mln lutowań,
- 30 ton, 140 kW mocy,
- system wentylacyjny: dwa silniki
Chryslera o łącznej mocy 24 KM,
- każda szafa była wyposażona w ręcznie
regulowany nawilżacz powietrza,
- termostat zatrzymywał wszelkie
działania "potwora", jeśli temperatura
wewnątrz którejkolwiek z jego części
przekraczała 48°C,
- trzy dodatkowe - również
nafaszerowane elektroniką - jeszcze
większe od pozostałych szafy przesuwne
na kółkach, dołączane w miarę potrzeb
w odpowiednim miejscu do zestawu -
czytnik i dziurkarka kart perforowanych.



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

Dawno temu w Ameryce był ENIAC

- system dziesiętny, liczby dziesięciocyfrowe,
- 5000 dodawań na sekundę,
- liczby "podwójnej precyzji" (dwudziestocyfrowe) o zmiennym miejscu położenia przecinka dziesiętnego; oczywiście, w takim wypadku działał wolniej, a jej pojemność pamięci odpowiednio malała,
- budowa modułowa, łatwo wymienialne panele, zawierające różne zestawy elementów elektronicznych: *dekada*, mogąca rejestrować cyfry od 0 do 9 i generować przy dodawaniu sygnał przeniesienia do następnego takiego układu,
- *akumulatory*, które potrafiły "pamiętać" liczby dziesiętne, dodawać je i przekazywać dalej; każdy z takich akumulatorów zawierał 550 lamp elektronowych, liczbę, przechowywaną akurat w danym akumulatorze, można było odczytać z układu zapalonych na czołowej części odpowiedniej szafy neonówek



Jednak prognozy były złe (1) !

*„Well, good, but what is it good for?”,
asked an engineer in the IBM Development
Department about a microchip in 1943*

*„If now the ENIAC consists of 18000 vacuum tubes
and its weight is 30 tonnes, then, in the future,
computers may consist of only 1000 vacuum tubes,
weighting about 1.5 tonne.”*

Popular Mechanics, 1949

*„I think there is a world market for maybe five
computers.”*

Thomas Watson, IBM Company Director, 1943

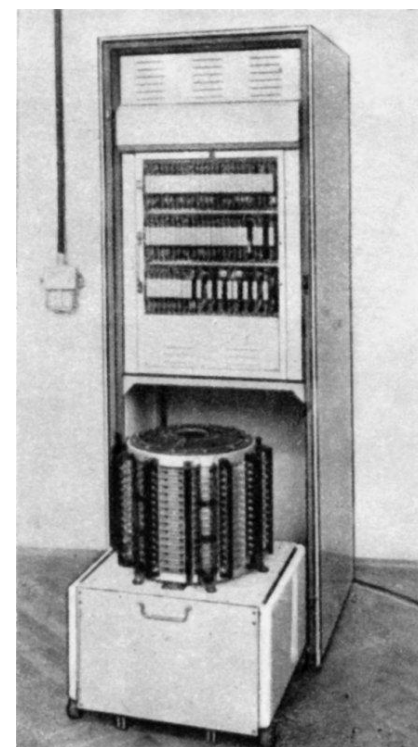
Jednak prognozy były złe (2) !

„It seems to me that we have reached the top in the computer technology, however, one should be really careful with a statement like that. In a couple of years, such a statement might sound pretty stupid.”

John von Neumann, 1949

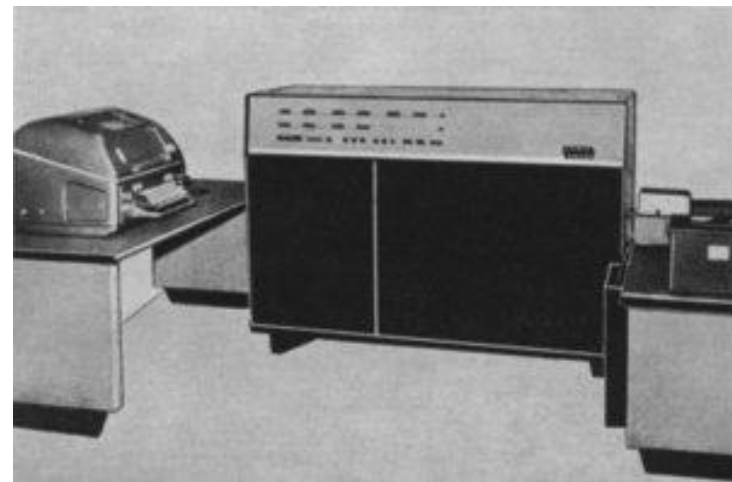
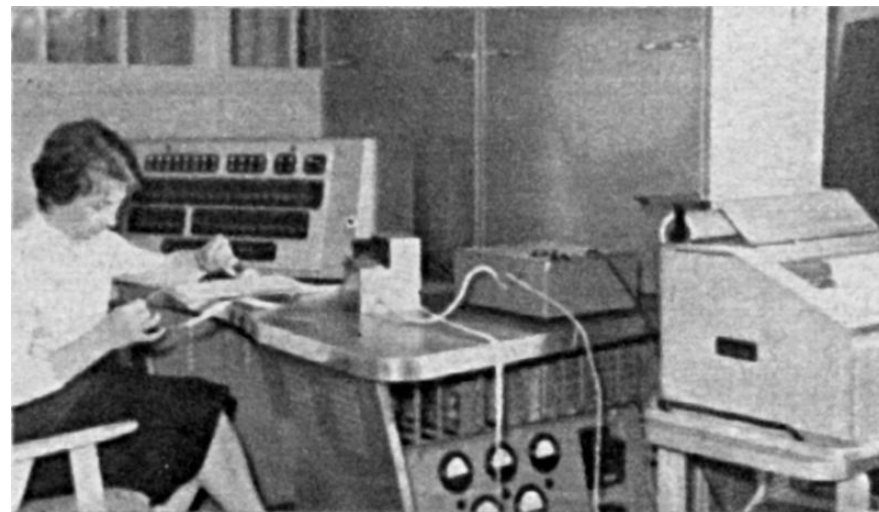
A chwilę później w Polsce: UMC

- **UMC-1 (Uniwersalna Maszyna Cyfrowa)** to pierwszy komputer produkowany w Elwro,
- od 1962 Elwro wyprodukowało i uruchomiło 25 maszyn, 1 na eksport na Węgry,
- lampowy komputer pierwszej generacji opracowany w Zakładzie Konstrukcji Telekomunikacyjnych i Radiofonii Politechniki Warszawskiej (prototyp z 1960).
- **Dane techniczne**
- szybkość: 100 dodawań na sekundę
- bębnowa pamięć operacyjna:
 - pojemność: 4096 słów długości 36 bitów
 - średni czas dostępu: 10 ms
- Urządzenia zewnętrzne:
- dalekopis z czytnikiem i perforatorem taśmy papierowej
- czytnik taśmy papierowej o szybkości 50 znaków na sekundę
- koszt 1 mln operacji (wg cen z 1976): 500 zł.
- Produkcja w kolejnych latach:
- 1960: 1 szt. (prototyp)
- 1961: 5 szt. (seria prototypowa)
- 1962: 1 szt.
- 1963: 14 szt.
- 1964: 10 szt.
- W 1965 roku uruchomiono jej wersję tranzystorową, maszynę UMC-10.



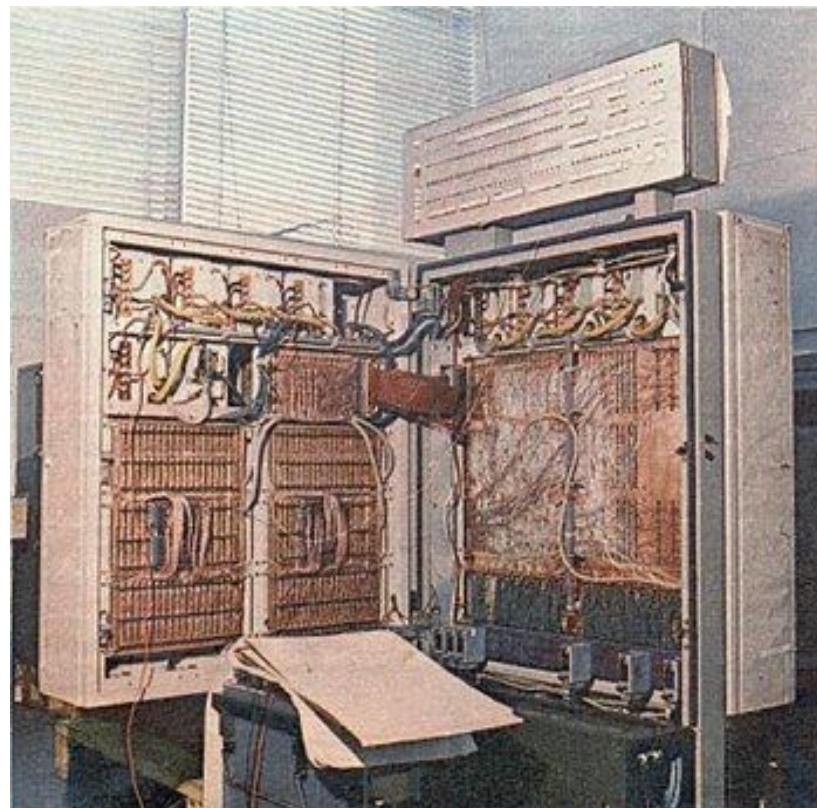
ODRA na tysiąclecie

- **1001** - prototyp z 1961,
- nie uzyskała zadawalającej niezawodności i nie weszła do produkcji,
- wykonana została tylko w jednym egzemplarzu, jej rozwinięcie: Odra 1002.
- Pamięć operacyjna: bębnowa
- Pojemność pamięci: 2048 słowa maszynowe
- **1003** - produkcja od 1964 (konstrukcja 1963),
- Konstrukcja tranzystorowa,
- przeznaczony był do obliczeń naukowo-technicznych i sterowania procesami technologicznymi
- następca Odra 1013.
- niezawodność Odry 1003 zwiększono przez selekcję i starzenie elementów oraz dokładną kontrolę pakietów
- długość słowa maszynowego: 39 bitów,
- języki programowania: JAS MOST
- pamięć operacyjna: bębnowa
- pojemność pamięci: 8192 słowa maszynowe
- szybkość liczenia: 500 dodawań na sekundę
- koszt 1 mln operacji: 49 zł (wg cen z 1976).
- **Produkcja**
- 1963 - 2 szt. 1964 - 8 szt. 1965 - 32 szt.



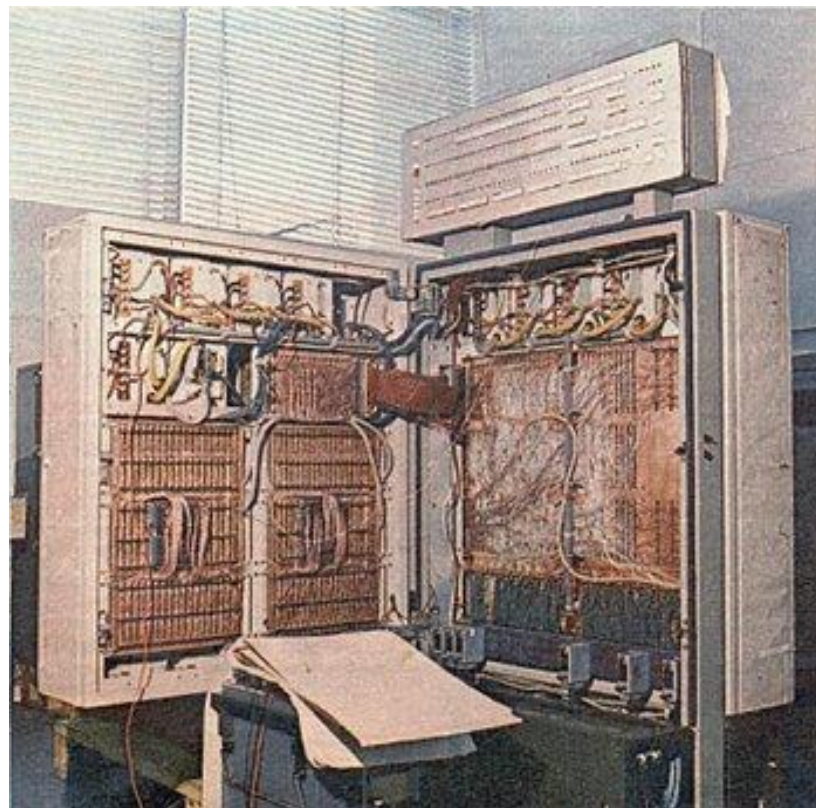
ODRA 1305 = sukces!

- **Odra 1305** komputer trzeciej generacji serii, produkowany od 1973, prototyp w 1971,
- typ:
 - zbudowany na układach scalonych TTL
 - pełna zgodność funkcjonalna i programowa z systemami komputerów serii ICL 1900
- prędkość:
 - cykl mikroprogramu: $1/3$ albo $1/4 \mu s$
 - cykl odczytu pamięci operacyjnej: $1 \mu s$
 - czas wykonania rozkazów:
 - skok: $1 \mu s$
 - dodawanie stałoprzecinkowe: $1,6 \mu s$
 - mnożenie stałoprzecinkowe: $9 \mu s$
- pamięć operacyjna:
 - ferrytowa 24 bitowa + bit parzystości
 - półprzewodnikowa 24 bitowa z korekcją pojedynczych błędów i wykrywaniem wielokrotnych, dodana w ramach modernizacji
 - od 32 do 256 kilobitów
 - możliwość pracy dwóch jednostek centralnych ze wspólną pamięcią.
- wyprodukowano łącznie: 346 szt.



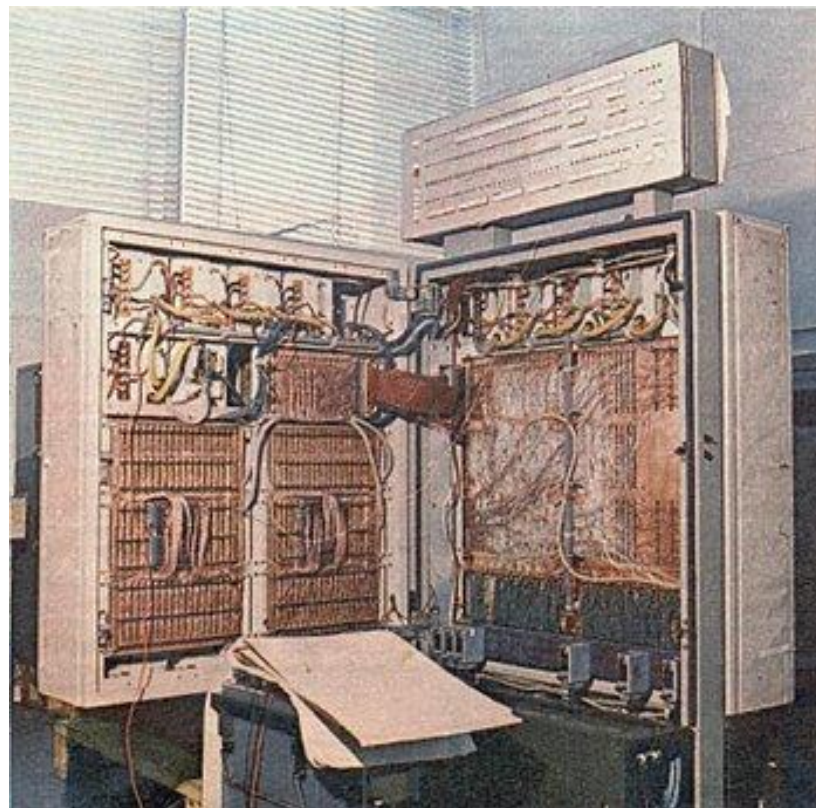
ODRA 1305 = sukces!

- **Pamięć**
- słowo 24-bitowe,
- 64 znaki zapisywane w 6 bitach bez rozróżnienia wielkości liter z możliwością zapisu rozszerzonego zestawu znaków w 12 bitach,
- 8 24-bitowych akumulatorów stałoprzecinkowych,
- 1 48-bitowy akumulator zmiennoprzecinkowy (96 bitowy podwójnej precyzji w Odrach realizowany programowo),
- przestrzeń adresowa programów
 - 32 albo 256 kilostów
- adresowanie z dokładnością do słowa z dodatkowym adresem znaku w słowie dla operacji na znakach,
- **Wieloprogramowość** od 4 do ograniczonej tylko możliwościami sprzętu,
- monitor - elektryczna maszyna do pisania
- czytnik taśmy
- perforator taśmy
- czytnik kart dziurkowanych
- drukarka wierszowa
- multiplekser i terminale



ODRA 1305 = sukces!

- **Pamięć masowa:**
- pamięć taśmowa,
- dyski magnetyczne,
- bębny magnetyczne.
- **Oprogramowanie:**
- **System operacyjny:**
- podstawowym systemem operacyjnym maszyn serii ODRA był EXEC, GEORGE 2 i 3 były nakładką na system operacyjny
- George 2 - wsadowy; mógł pracować bez twardych dysków,
- George 3 - wielodostępny; wymagał twardych dysków.
- **Języki programowania:**
- Początkowo:
- Algol,
- PLAN I, II, III, IV - assembler,
- COBOL,
- Fortran II i IV
- Następnie:
- Basic,
- Pascal.



RIAD = klęska!

- zestawy i urządzenia komputerowe programowo zgodne z IBM System/360 (rodzina RIAD R1) lub z IBM System/370 (RIAD R2): jednostki centralne i urządzenia wejścia-wyjścia
- **Poszczególne jednostki centralne różniły się między sobą:**
- mocą obliczeniową,
- objętością pamięci operacyjnej,
- liczbą i szybkością kanałów wejścia-wyjścia,
- wewnętrzną strukturą logiczną,
- konstrukcją
- techniką i technologią wytwarzania,
- posiadały jednakową architekturę logiczną, czyli działały według jednakowych zasad,
- **Dzięki temu charakteryzowały się:**
- wymienialnością oprogramowania pomiędzy różnymi jednostkami centralnymi,
- wykorzystaniem wspólnego zestawu urządzeń wejścia-wyjścia.
- Wszystkie urządzenia działały w oparciu o kod EBCDIC, umożliwiający reprezentację 256 znaków (litera, cyfra, znak graficzny, znak specjalny, znak sterujący). Jeden znak zajmował 8 bitów,
- **Pamięć operacyjna:**
- służyła do przechowywania rozkazów programu i danych,
- zorganizowana była w słowa o długości 32 bitów podzielone na 4 bajty,
- miała pojemność do 1 Megabajta,
- stosowana była początkowo pamięć ferrytowa, później pamięć półprzewodnikowa.

RIAD = klęska!

- **Procesor:**
- służył do realizacji rozkazów,
- wykonywał operacje arytmetyczne i logiczne na danych,
- odczytywał i zapisywał informacje z/do pamięci operacyjnej,
- inicjował w kanałach przesyłanie danych między urządzeniami wejścia-wyjścia a pamięcią operacyjną,
- wyposażony był w: 16 rejestrów ogólnych , 4 rejestry zmiennoprzecinkowe,
- umieszczone w pamięci lokalnej, znacznie szybszej niż pamięć operacyjna.
- **Urządzenia we-wy:**
- konsola operatorska w różnych wykonaniach:
 - drukarka znakowo-mozaikowa z elektryczną maszyną do pisania
 - monitor ekranowy alfanumeryczny z klawiaturą
- urządzenia kart dziurkowanych 80 kolumnowych: czytnik kart, perforator kart,
- urządzenia taśm dziurkowanych: czytnik taśmy, perforator taśmy.
- drukarki: drukarka wierszowa, drukarka znakowo-mozaikowa.
- systemy monitorów ekranowych (lokalnych)
- teleprocesor wraz z systemem monitorów ekranowych (zdalnych)
- pamięć masowa:
 - pamięć sekwencyjna na taśmach magnetycznych,
 - pamięć o dostępie bezpośrednim na dyskach i bębnach magnetycznych.

Komputer pod strzechą - „chiba nie”!

„640 K will be enough memory for each of us.”

Bill Gates

„I can't see absolutely any reason why people would even think about having a computer at home.”

Ken Olson, President and founder of Digital Equipment Corporation, 1977

„Elektronowe” biurka!

- Elwro 500, Elwro 513, Elwro 523 to 8 bitowy mikrokomputer przeznaczony do prac biurowych produkowany w Elwro od 1983,
- rozwinięciem był komputer Elwro 600,
- jednostka centralna:
 - procesor: 8080
 - pamięć ROM: 12 KB
 - pamięć operacyjna RAM: 48 KB
 - 4 równoległe, 8 bitowe kanały we/wy
 - 1 kanał szeregowy (opcja)
 - 8 poziomów przerwań
- pamięć masowa: 2 napędy dysków 8" pojemności ok. 256 kB (dysk jednostronny, pojedyncza gęstość)
- monitor: monochromatyczny Neptun 156 16 wierszy po 64 znaki
- drukarka: Robotron 1152 (rozetkowa)
- waga z biurkiem: ok. 200 kg
- system operacyjny: EMOS zgodny z CP/M 2.2.



Adam Słodowy zrobił Spectruma

- **Elwro 800 Junior**, 8-bitowy mikrokomputer domowy z procesorem Z-80 produkowany od 1986 przez Elwro dla szkół,
- systemu operacyjnego CP/J - wersji sieciowej CP/M. Wbudowany interpreter języka BASIC,
- możliwość pracy w sieci Junet. W jednym z trybów pracy jest programowo zgodny z Sinclair ZX Spectrum,
- procesor: Z80A 3,5 MHz
- pamięć: RAM: 64 KB, ROM: 24 KB
- grafika: 256 x 192 pikseli
- tekst: 32 (64) x 24 znaków
- kolory: 16 (8 - każdy po dwa tryby jasności)
- dźwięk: 1 kanał 10 oktav
- porty: RGB video, mono video, TV RF modulator, joystick (mysz, pióro świetlne), Centronics, serial RS-232C, 2 x sieć Junet, FDD (tylko w 800-3)
- stacja dyskietek: 5 1/4" 720 kB, 3,5"
- system operacyjny: CP/J, Basic



CRAY - szalony komputer!

- Cray-1A ważył - wraz z freonowym systemem chłodzenia - 5.5 tony,
- skracanie do minimum połączeń kablowych. sekcji połączonych w kształt podkowy; najdłuższy przewód w systemie miał 122 cm,
- wykorzystywał procesor wektorowy i zawierał 200000 specjalizowanych układów ECL,
- 12.5 ns okres zegara (80 MHz), 8 rejestrów wektorowych zawierających po 64 słowa, oraz 1 milion 64-bitowych słów szybkiej pamięci (8MB RAM),
- ponad 80 milionów operacji zmiennopozycyjnych na sekundę (80 MFLOPS), późniejszym okresie ustanowił rekord szybkości na poziomie 133 MFLOPS.
- skonfigurowany z 1 milionem słów RAM, maszyna i jej systemy zasilające pobierały około 115 KW mocy; systemy chłodzące oraz pamięć dyskowa podwajały tę liczbę.



Cray Operating System (COS)
(potem UniCOS, odmiana UNIXa firmy Cray),
Cray Assembler Language (CAL),
Cray FORTRAN (CFT), pierwszy automatycznie wektoryzujący kompilator języka FORTRAN

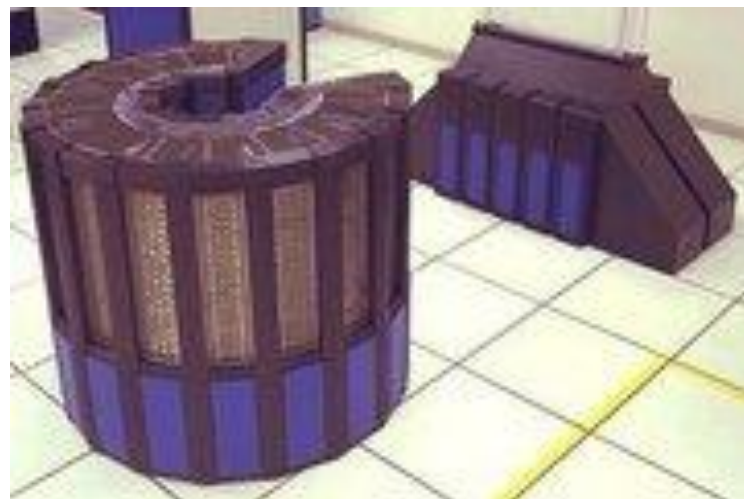
CRAY - szalony komputer!

- Cray X-MP był pierwszą maszyną wieloprocessorową Cray-a i najszybszym komputerem na świecie w latach 1983-1985,
- odziedziczył obudowę w kształcie podkowy po swoim poprzedniku,
- zastosowano bardziej upakowane układy (8 krotnie w porównaniu do poprzedniego komputera),
- okres zegara wynosił tylko 8,5 ns dostarczając około 55 MFLOPS na procesor i 235 MFLOPS dla całej maszyny,
- procesory posiadały wsparcie dla łańcuchowania potoków, równoległe potoki arytmetyczne i dostęp do pamięci współdzielonej poprzez kilka portów na procesor,
- był sprzedawany z 1 do 4 procesorów i z 1 do 16 megastów (8-128 MB) głównej pamięci RAM zaprojektowano upgrade architektury adresacji pamięci który powiększał zakres adresacji pamięci do 2 GB.



CRAY - szalony komputer!

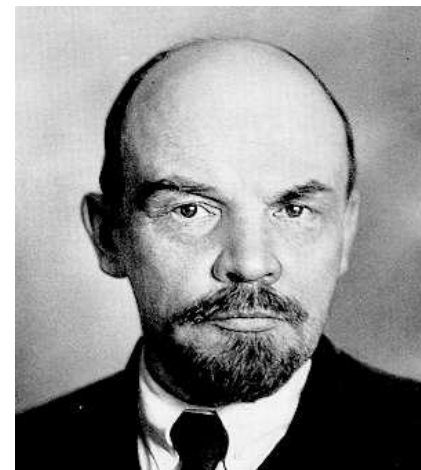
- Cray-2 był superkomputerem z procesorem wektorowym zaprojektowanym i oferowanym przez od początku 1985. Zastąpił Cray X-MP, który do tego czasu był najszybszym komputerem na świecie. Cray-2 został pokonany przez ETA-10G w 1990.
- Cray-2 był systemem wieloprocessorowym z pamięcią współdzieloną wykonany w technologii ECL i układami z arsenku galu (GaAs).
- składał się z prostego procesora pierwszoplanowego który wykonywał zadania systemowe, obsługiwał zadania I/O oraz synchronizował pracę pozostałych elementów systemu, od 1 do 4 wektorowych procesorów drugoplanowych oraz bardzo szybkiej pamięci współdzielonej
- procesory drugoplanowe wykonywały właściwe obliczenia. Okres zegara wynosił 4,1 ns (244 MHz)



produkowany dla Amerykańskich Departamentów Obrony oraz Energii, wykorzystywane były głównie do badań nad bronią nuklearną lub w badania oceanograficznych (za pomocą sonaru).

„Kompjuter - eta jest’” i klasyfikacja

- jednostka centralna - procesor
- pamięć operacyjna
- urządzenia wejścia-wyjścia
- magistrale
 - von Neumann (!)
- SISD - Single Instruction Single Data
- SIMD - Single Instruction Multiple Data
- MISD - Multiple Instruction Single Data
- MIMD - Multiple Instruction Multiple Data



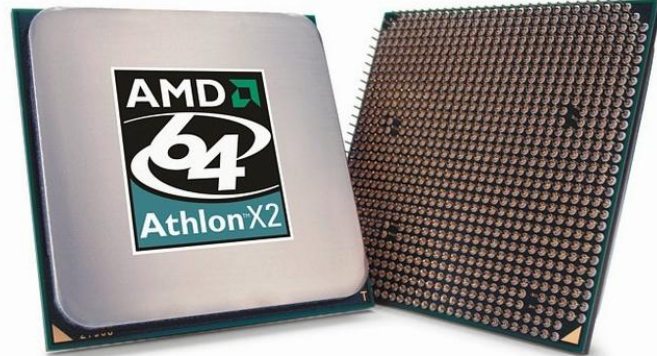


Komputer - jak drużynowy

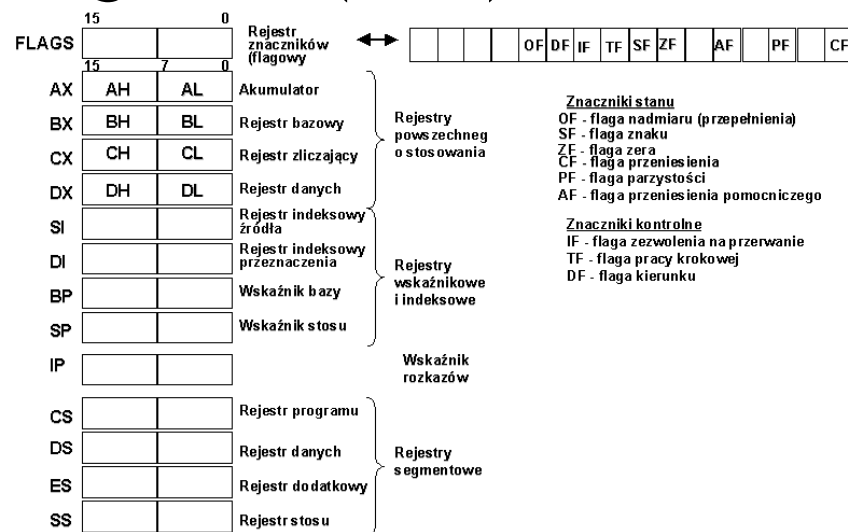
- są wśród nas wszędzie!
- ogólnego przeznaczenia
- specjalizowane, dedykowane



Procesor - czyli serce!



- jednostki arytmetyczno-logiczne (ALU)
- reprezentacja danych
- rejestry
- rejestry specjalne:
- PC, SP, PSW, ...
- system przerwań
- praca wielozadaniowa
- RISC, CISC
 - organizacja listy rozkazów



CISC	RISC
Complex instructions taking multiple cycles	Simple instructions taking 1 cycle
Any instruction may reference memory	Only LOADS/STORES reference memory
Not pipelined or less pipelined	Highly pipelined
Instructions interpreted by the microprogram	Instructions executed by the hardware
Variable format instructions	Fixed format instructions
Many instructions and modes	Few instructions and modes
Complexity in the microprogram	Complexity is in the compiler
Single register set	Multiple register sets