

Struktura počítačů

Jan Outrata



KATEDRA INFORMATIKY
UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

přednášky



Součásti počítače

- čtvrtá generace počítačů (od 1973 dodnes) – **mikropočítač** (mikroprocesor)
- počítač jako osobní pracovní nástroj a pro zábavu
- dodnes „klasické“ řešení technického provedení počítače kompatibilní s **IBM PC** (1981):
 - procesor Intel 8088 (16/8-bitový, 4,77 MHz), 16/64–256 kB RAM, dvě diskety (floppy disk) 160 kB, prog. jazyk BASIC, operační systém MS DOS, 1500–3000 USD
 - další XT (1983, až 640 kB RAM, pevný disk až 20 MB), AT (1984, 16-bitový Intel 80286, až 16 MB RAM)
 - klony (HP, Compaq, Dell aj.), po PS/2 (1987) standardizace Intel a Microsoft
 - „alternativa“ Apple Macintosh (1984, 32/16-bitový Motorola 68000, 128 kB RAM) a Mac
- „IBM kompatibilní“: procesory **Intel x86 (80x86)** kompatibilní, otevřená „stavebnicová“ architektura (různí výrobci komponent a software, rozšiřující karty) → **počítačová sestava**

Osobní počítač (Personal Computer, PC)



IBM PC 5150 (1981), zdroj

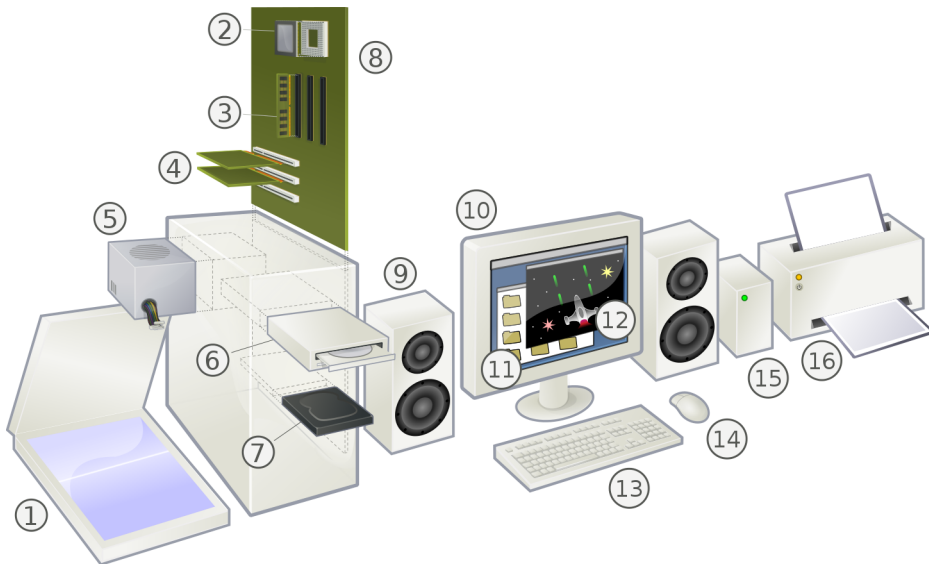
- čtvrtá generace počítačů (od 1973 dodnes) – **mikropočítač** (mikroprocesor)
- počítač jako osobní pracovní nástroj a pro zábavu
- dodnes „klasické“ řešení technického provedení počítače kompatibilní s **IBM PC** (1981):
 - procesor Intel 8088 (16/8-bitový, 4,77 MHz), 16/64–256 kB RAM, dvě diskety (floppy disk) 160 kB, prog. jazyk BASIC, operační systém MS DOS, 1500–3000 USD
 - další XT (1983, až 640 kB RAM, pevný disk až 20 MB), AT (1984, 16-bitový Intel 80286, až 16 MB RAM)
 - klony (HP, Compaq, Dell aj.), po PS/2 (1987) standardizace Intel a Microsoft
 - „alternativa“ Apple Macintosh (1984, 32/16-bitový Motorola 68000, 128 kB RAM) a Mac
- „IBM kompatibilní“: procesory **Intel x86 (80x86)** kompatibilní, otevřená „stavebnicová“ architektura (různí výrobci komponent a software, rozšiřující karty) → **počítačová sestava**
- **hardware** = technické vybavení počítače, fyzické součásti („železo“), elektronická a elektromechanická digitální zařízení
- **software** = programové vybavení počítače, operační systém a aplikace, **firmware** = základní „vestavěné“ programy pro funkčnost hardware, např. BIOS

Vnitřní součásti (ve skříni): základní deska, procesor s chladičem, moduly operační paměti, přídatné karty (grafická, zvuková, síťová aj.), pevné disky, mechaniky výměnných diskových médií (CD/DVD/BD, diskety, paměťové karty aj.), zdroj napájení/baterie, ventilátory

Vnější součásti: displej, klávesnice, myš, touchpad

Periferie: disková zařízení (pro pevné disky i výměnná média, přenosná), síťová zařízení (přepínače, směrovače, přístupové body, modemy, antény aj.), multimediální zařízení (reproduktory, mikrofon, webová kamera aj.), tiskárna, plotter, skenner, (grafický) tablet, trackball, joystick a další

- některé vnější součásti a periferie mohou být součástí skříně (notebook/. . . , tzv. all-in-one), např. displej, klávesnice, touchpad, síťová a multimediální zařízení aj.



Součásti počítače, zdroj

Skříň (case, chassis)

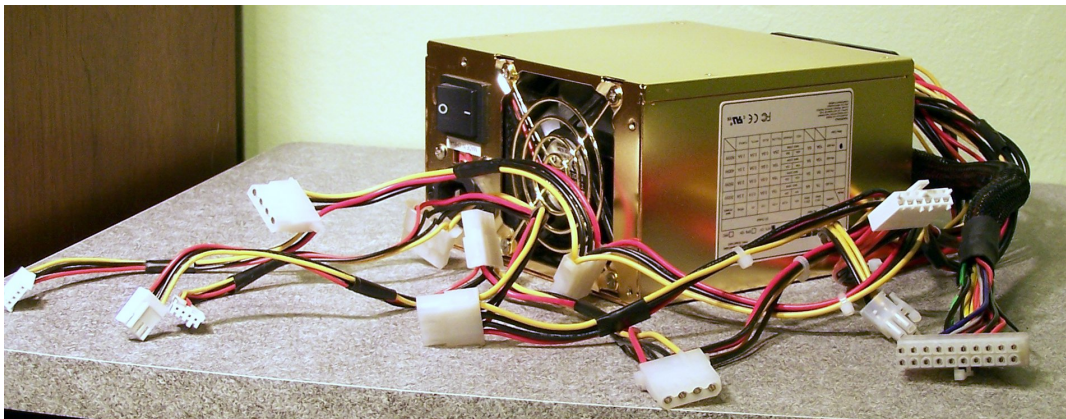
- = kovová (plechová) konstrukce s plastovými kryty a díly + ventilátory
 - provedení desktop, (mini/midi/big)tower, rack, notebook/ultrabook/..., mini atd.
 - korespondence s rozměry **základní desky**
 - **šachty** pro mechaniky výměnných diskových médií (5,25", 3,5"), panely konektorů, tlačítka pro zapnutí, popř. reset, signalizace a indikátory (LED) aj.
 - výrobci: Antec, AOpen, Cooler Master, Dell, Foxconn, Gigabyte, MSI, Zalman a další



Počítačová skříň (case, chasis), zdroj

Zdroj napájení (**Power Supply Unit, PSU**) nebo **Baterie**

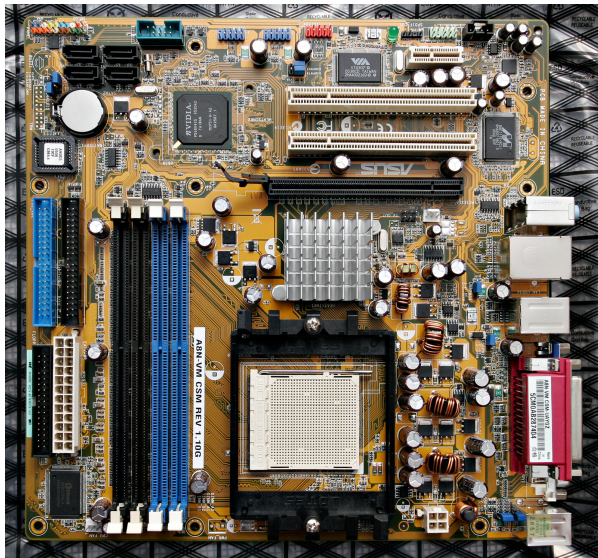
- napájení stejnosměrným el. proudem všech (vnitřních) součástí počítače, ze střídavého 230/110 V z el. sítě
- 3.3, 5 a 12 V (ATX), 250–2000 W pro osobní počítače, 25–300 W pro přenosné s baterií, více zdrojů (redundantních) pro servery a pracovní stanice, účinnost 70–90 % (80 Plus white až titanium)
- konektory (PSU) **hlavní** (P1, 20/24 pinů, do základní desky), **ATX12V** (P4, 4/8 pinů, do základní desky pro procesor), **(mini/Berg)Molex** a **SATA Power** (4 a 15 pinů pro disková zařízení IDE/PATA a SATA), **PCI-E Power** (6/8/12/16-pinů, pro grafické karty na sběrnici PCI Express, 75–662 W), dodatečné (6 pinů) a **IEC C14** (pro el. šňůru), (semi)modulární = odpojitelné kabely
- korespondence s rozměry základní desky a skříně – **ATX** (zmenšené SFX, TFX aj.)
- výrobci: ADATA, Antec, Enermax, Foxconn, FSP, OCZ, Seasonic a další



Zdroj napájení (Power Supply Unit, PSU), zdroj

- připojení a propojení všech ostatních zařízení
- = vícevrstvý (obvykle) obdélníkový plošný spoj s čipy a obvody propojujícími a konektory připojujícími ostatní zařízení pomocí vnitřních a vnějších **sběrnic**
- velikosti (form factor):
 - PC/XT, (Baby) AT (IBM, 1983–5) – pro IBM PC a první klony
 - **ATX** (Intel, 1995) – 244×305 mm, nejpoužívanější, de facto standard, varianty **micro** (desktop), mini, Flex, Extended (rack servery) aj.
 - BTX (Intel) – lepší chlazení a napájení než ATX, neujal se
 - mini/nano/pico/mobile **ITX** (VIA, 2001–7) – v embedded (tzv. jednodeskových) a minipočítačích
 - odpovídající skříň a napájecí zdroj
- výrobci: ASRock, Asus, Biostar, Foxconn, Gigabyte, Intel, MSI, Supermicro, VIA a další

Základní deska (mainboard, motherboard)



Základní deska (microATX), zdroj

Sběrnice (bus)

- = soustava (integrovaných) vodičů propojujících zařízení pro jejich komunikaci a přenos dat (řízeným **protokolem**)
 - parametry:
 - **šířka přenosu (bit)** – kolik bitů lze přenést na jeden „tik“ hodinového signálu
 - **frekvence (MHz)** – frekvence hodinového signálu pro synchronní řízení
 - **rychlost/propustnost (Mb/s)** – množství dat přenesených za sekundu, šířka \times frekvence
 - části:
 - **adresová** – výběr adresy v paměti nebo připojeného zařízení, šířka (typicky) 3 až 64 bitů
 - **datová** – přenos dat, šířka 1 až 128 bitů, udává „bitovost“ sběrnice
 - **řídící** – řízení připojených zařízení, šířka 1 až 8 bitů
 - vnitřní: součást základní desky, patice a sloty pro zařízení, vesměs paralelní
 - vnější (rozhraní): konektory pro kabely k zařízením, převážně kombinované a sériové
 - řízení různými řadiči zařízení – součást chipsetu (viz dále)

Vnitřní sběrnice

procesorová, systémová (CPU, front side bus, FSB)

- připojuje procesor(y), konektor = **patice (socket)**, příp. slot (nebo i napevno)
- 8 až 64-bitová, šířka datové části (většinou) koresponduje s adresní
- frekvence: 66/100/133/200/266/400 MHz

paměťová (memory bus)

- připojuje moduly operační paměti (RAM), konektory = **sloty**
- 64/128-bitová, frekvence FSB

Vnitřní sběrnice

rozšiřující, lokální (expansion, local bus)

- připojení **přídavných karet** – grafické, zvukové, síťové, multimediální, diskové řadiče, řadiče vnějších sběrnic aj.
- konektory = **sloty**, integrované „karty“ = součást (chipsetu) základní desky – např. zvuková, síťová, diskové řadiče, někdy i grafická (tzv. all-in-one)
- **ISA (Industry Standard Architecture)**: nejstarší (standardizovaná) pro IBM PC, 8/16-bitová, 4,77/8,33 MHz, manuální konfigurace karet pomocí propojek tzv. **jumperů** nebo v BIOSu, dnes se u PC téměř nevyskytuje, přetrvává v průmyslových počítačích
- **EISA (Extended ISA)**: zpětně kompatibilní s (16-bit) ISA, 8/16/32-bitová, 8,33 MHz, dnes nepoužívaná
- **VLB (VESA Local Bus)**: dodatečná k (16-bit) ISA pro grafické karty, 32-bitová, 25–50 MHz, dnes nepoužívaná

Vnitřní sběrnice

rozšiřující, lokální (expansion, local bus)

- **PCI (Peripheral Component Interconnect)** (Intel)
 - univerzální nejen pro IBM PC kompatibilní počítače, 32/64-bitová, 33/66/100/133 MHz
 - **Plug & Play** (PnP, 1992, Intel, Microsoft, Compaq) – standard pro **automatickou konfiguraci karet**
 - umožňuje zařízením **přímý přístup do operační paměti**
 - dnes postupně nahrazována PCI Express
- **AGP (Accelerated Graphic Port)** (Intel): pro grafické karty (propojení přímo s procesorem a operační pamětí), 32-bitová, 66 MHz = 1×, pak 2×, 4×, 8× (stejný slot, přenos více bitů v taktu), dnes (téměř) nahrazena PCI Express
- **PCI Express (PCI-E)**: nekompatibilní nástupce PCI (a AGP), 1–32-bitová, 1,25 GHz = 1×, pak 4× pro různé karty, 8×, 16× pro grafické karty (různé sloty)
- další: průmyslové (VME), ACR, AMR, CNR: pro modemové/komunikační a zvukové karty, dnes nepoužívané

Vnější sběrnice a rozhraní

Na ploše základní desky:

- konektory **rozhraní/sběrnice pevných disků a mechanik výměnných diskových médií** (CD/DVD/BD, diskety, paměťové karty aj.): IDE/PATA, (m)SATA, M.2 aj.
- patice pro BIOS, cache paměti apod.
- rozšiřující konektory pro **vnější sběrnice** (USB, FireWire, Thunderbolt aj.), multimediální zařízení (panely) aj.
- konektory (piny) pro další zařízení: zdroj napájení, ventilátory, tlačítka, signalizace a indikátory (LED), reproduktor ve skříni aj.

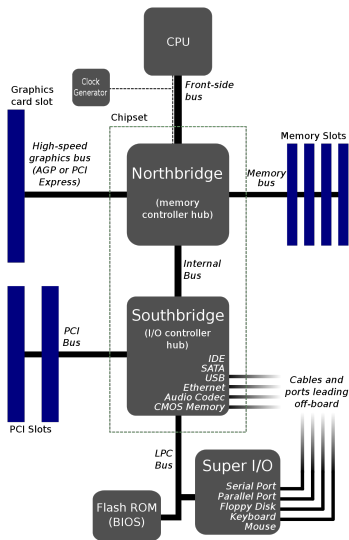
Konektory na (zadním) panelu základní desky:

- **integrovaných „karet“/čipů**: zvukové (jack, optické), síťové (RJ-45), grafické (VGA = D-SUB, DVI, HDMI, DisplayPort)
- **vnějších sběrnice** pro periferie: USB, FireWire, eSATA, I²C aj.
- **vstupně/výstupních (I/O) periférií** (čip **Super I/O**): klávesnice, myš (PS/2), paralelního (Centronics, LPT), sériového (RS 232, COM), MIDI aj. rozhraní (porty)

Chipset (čipová sada)

- = hlavní obvody (s pasivním kovovým chladičem) na základní desce pro řízení sběrnic a komunikaci všech připojených zařízení
- určuje podporované procesory, moduly operační paměti (RAM), sběrnice, integrovaná zařízení apod.
- **severní můstek, systémový řadič (north bridge, memory controller hub)**
 - propojuje procesorovou a paměťovou sběrnici (procesor, operační paměti) s rychlými vnitřními sběrnicemi (AGP, PCI Express) a jižním můstkem (můstky, interní sběrnice)
 - obsahuje, pokud je, **integrovanou grafickou „kartu“/čip**
- **jižní můstek, vstupně/výstupní řadič (south bridge, I/O controller hub)**
 - propojuje severní můstek a vnitřní sběrnice (PCI, PCI Express, ISA) s vnějšími (USB)
 - obsahuje **řadiče sběrnic/rozhraní, řadič diskových zařízení, řadič DMA** (Direct Memory Access, umožnění přímého přístupu zařízení do operační paměti), **integrované „karty“/čipy** (zvuková, síťová aj.)
- výrobci: Intel, AMD, NVidia, VIA, SiS a další

Základní deska (mainboard, motherboard)

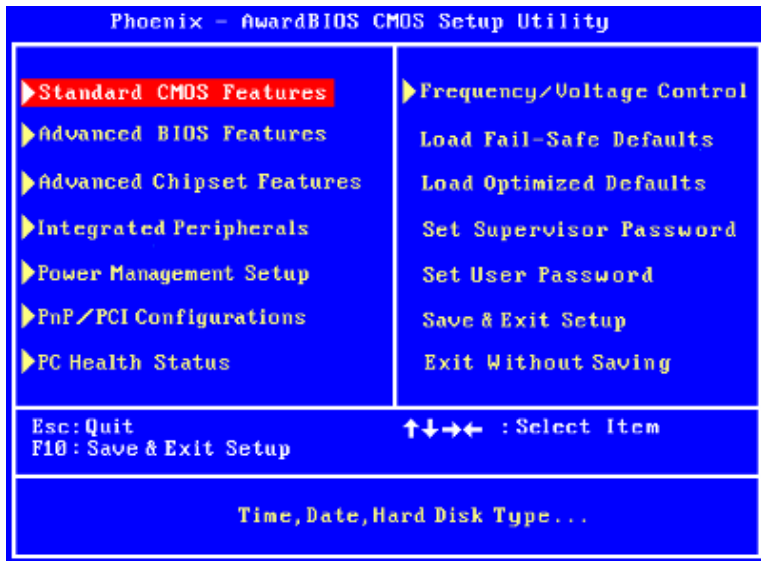


Blokové schéma základní desky, zdroj

BIOS, Basic Input Output System

- = program implementující **základní nízkoúrovňové služby**: start počítače a (prvotní) inicializace zařízení, základní vstupní a výstupní (obsluha klávesnice a myši, čtení z diskových zařízení, text a grafika na monitoru), udržování data a času, správa napájení, síťové aj.
 - rozhraní mezi hardwarem a operačním systémem – dnes **UEFI**
 - umožňuje **základní konfiguraci zařízení**, tzv. **SETUP**: zapnutí/vypnutí a nastavení parametrů (např. frekvence a napájení procesoru a modulů operační paměti RAM, integrovaných „karet“ /čipů – přerušení IRQ, DMA kanály aj.), diskové zařízení pro zavedení operačního systému, nastavení data a času apod.
- = firmware v paměti Flash EEPROM na základní desce, konfigurační data v paměti CMOS RAM zálohované baterií
 - výrobci: Award/Phoenix, Ami, **SeaBIOS**, **coreboot**

Základní deska (mainboard, motherboard)



SETUP BIOSu, zdroj

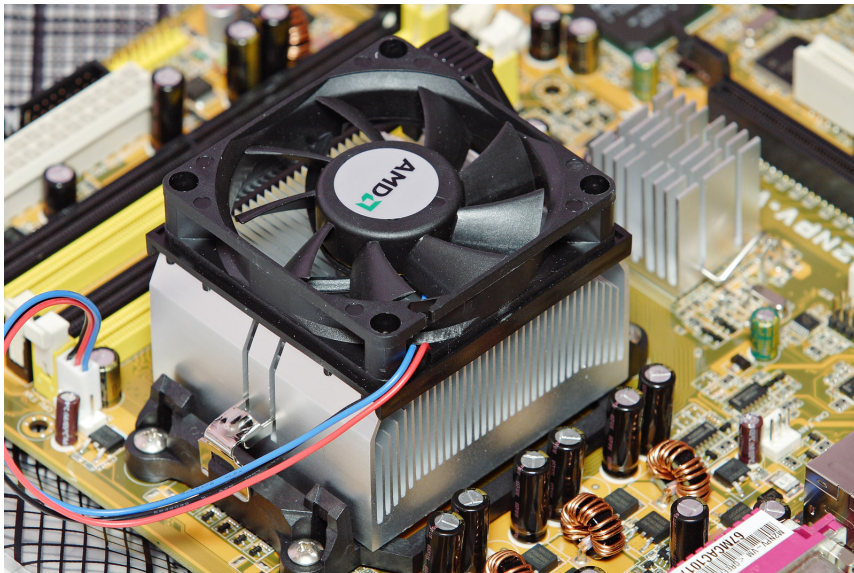
- = centrální výpočetní prvek počítače, vykonávající instrukce programů (včetně operačního systému)
- = **mikroprocesor** = integrovaný obvod/čip nejvyššího stupně integrace
 - patice (socket) – dnes téměř výhradní, pro piny nebo plošky vývodů procesoru (desítky až tisíce), např. DIP, PLCC, Socket X / PGA X / LGA X
 - slot – dříve, výjimečně, např. Slot 1, 2, A, konektor MMC
- pasivní (kovový chladič, heatsink) nebo aktivní chlazení (chladič s ventilátorem, heatpipes)
- výrobci: Intel, AMD, Arm (design), Apple (ARM), Broadcom (ARM), IBM, MediaTek (ARM), Qualcomm (ARM), Samsung (ARM), Texas Instruments (x86), Via (x86), Zhaoxin (x86) a další

Procesor (central processing unit, CPU)



Procesor (Intel Core), zdroj

Procesor (central processing unit, CPU)



Chladič procesoru s ventilátorem, zdroj

■ části:

- **řadič (řídící jednotka, central unit, CU)** – zpracovává instrukce programu nad daty čtenými a zapisovanými z/do registrů, do/z nich z/do operační paměti nebo vstupního/výstupního (I/O) zařízení
- **aritmicko-logická jednotka (ALU)** – realizuje výpočetní (aritmické a logické) operace, celočíselná a v plovoucí řádové čárce (FPU)
- **registry** – paměťové buňky pro instrukcemi zpracovávaná data
- **paměti cache** (různé, několika úrovní), **řadič cache** – pro části programu (instrukce) a data z/do operační paměti nebo I/O zařízení
- **sběrnice a stránkovací jednotka, řadič operační paměti** – pro práci s (virtuální) operační pamětí programů
- ...
- navenek von Neumannova architektura, vnitřně části dle harvardské (zvláště instrukční a datová cache)

■ frekvence:

- **vnitřní (taktovací)** – frekvence vykonávání instrukcí, 1 MHz až několik GHz (dnes dynamická), odvozena od frekvence FSB (jako násobek až např. 15, typicky od 3 do 7,5)
- **vnější** – frekvence FSB, určená severním můstkem chipsetu

Instrukční sada

- = množina instrukcí implementovaných v procesoru, pevně nebo upravitelně – instrukce složeny z tzv. **mikroinstrukcí**
- **CISC (Complex Instruction Set Computer)** – tzv. úplná instrukční sada, více instrukcí i pro déletrvající operace, např. IBM System/360, PDP, Motorola 68k, Zilog Z80, u PC navenek procesory Intel, AMD – sada **x86 (IA-32)**
- **RISC (Reduced ISC)** – tzv. redukováná instrukční sada, instrukce pouze pro základní jednodušší operace, složitější překladačem programu, např. IBM Power, ARM (A32, T32, A64), RISC-V, u PC interně novější procesory Intel, AMD – sada **x86 (x86-64)**
- instrukce přesunů a konverzí (mezi registry a operační paměti), aritmetické, logické (log. operace, posuvy, rotace), skoků (v programu) a přerušení, řídicí (pro režimy procesoru, virtuální paměť apod.) a další
- (dříve) **matematického koprocesoru (Floating Point Unit, FPU)** pro operace v plovoucí řádové čárce – sada x87, dnes součást CPU
- rozšířené, např. **vektorové** (Intel MMX, AMD 3DNow!, SSE, AVX aj.), **virtualizační** (Intel VT, AMD-V) aj.

Registry

- = paměťové buňky pro instrukcemi zpracovávaná data
 - u CISC různý význam, u RISC obvykle všechny univerzální
 - velikost dle datové (a adresní) části procesorové sběrnice – 8/16/32/64 bitů
 - **univerzální (datové)** – pro operandy, mezivýsledky a výsledky instrukcí: EAX (RAX), EBX (RBX), ECX (RCX), EDX (RDX)
 - se stanoveným **významem** – pro řízení vykonávání programu, např. EIP (RIP), EBP (RBP), ESP (RSP), EFlags, pro implicitní operandy a výsledky, např. ESI (RSI), EDI (RDI), pro řízení procesoru, např. CR_x, TR_x, a další
 - matematického koprocesoru: FP_x (zásobníkové ST(x))
 - dalších jednotek procesoru a rozšířených instrukčních sad: např. MM_x (X/Y/ZMM_x)

Vývoj (Intel x86)

- před: první 4-bitový (4004, 1971) a 8-bitové (8008, 8080, 1972–4), tisíce až desítky tisíc tranzistorů
- **8086** (1978): první **16-bitový** (x86-16), 8088 (1979) v IBM PC XT, segmentace paměti programu (až 1 MB RAM), FPU 8087 na základní desce
- **80286** (1982): **chráněný režim** běhu – **virtuální paměť** (až 16 MB RAM, až 1 GB virtuální, **TLB cache**), **úroveň ochrany běhu programu** (Ring 0–3), předtím **reálný režim** běhu, v IBM PC AT, stovky tisíc tranzistorů
- **80386** (1985): první **32-bitový** (IA-32, až 4 GB RAM), **stránkování paměti**, cache na základní desce, oprávnění segmentů virtuální paměti programu, klon AMD
- **80486** (1989): **pipelining** = fázové zpracování více instrukcí zároveň, **L1 a L2 cache** (jednotky a desítky kB, L2 na základní desce), integrovaná FPU, miliony tranzistorů, klony Cyrix, AMD

Vývoj (Intel x86)

- **Pentium** (P5, 1993): **harvardská koncepce** (L1 cache zvlášť pro instrukce a pro data), **superskalární architektura** = více (2) proudů vykonávání instrukcí současně (2 ALU), rysy RISC, AMD K5 (mikroarchitektura), Cyrix M
- **Pentium MMX** (1996): **vektorové instrukce MMX** – **architektura SIMD** (Single Instruction Multiple Data) = paralelní zpracování více dat (vektoru) jedinou instrukcí
- **Pentium Pro** (P6, 1995): **RISC jádro** (mikroinstrukce), paralelní (superskalární) jednotky, branch prediction = „předvídaní správného“ proudu, PAE (až 64 GB RAM), L0 cache (pro mikroinstrukce), až 1 MB L2 cache (druhý čip)
- **Pentium II** (1997): integrovaná L2 cache (stovky kB), verze **Celeron** i bez L2 cache, **Xeon** pro servery a pracovní stanice, **Mobile (M)** pro notebooky, AMD K6 (3DNow!)
- **Pentium III** (1999): vektorové instrukce SSE
- **Pentium 4** (Northwood, 2000): **HT (HyperThreading)** = simulace dvou procesorů (zdvojené registry), L3 cache, SSE2, plošky vývodů (místo pinů), desítky milionů tranzistorů, AMD Athlon, Duron

Vývoj (Intel x86)

- **Itanium** (2001): první 64-bitový (IA-64, emulace IA-32), pro servery a pracovní stanice
- **Pentium 4** (Prescott, 2004), **Pentium D** (2005): **64-bitové** (EM64T = x86-64), **dvě jádra** ~ dva procesory, SSE3, VT, AMD Athlon 64/FX/X2, Opteron, Sempron X2 (AMD-V) aj.
- **Core** (2006): 32-bitové, nová architektura
- **Core 2** (2006): 64-bitové, **vícejádrové** (2–4, sdílená L2 cache jednotky MB), SSE 4, AMD Phenom, Athlon II
- **Core i3/5/7** (2008–10–): sdílená L3 a L4 cache (desítky MB), různé mikroarchitektury (generace), AVX, verze **Atom** pro netbooky apod., **Xeon Phi** pro servery a superpočítače, AMD APU (CPU+GPGPU, Bulldozer), Ryzen, Epic (architektury Zen 1-4)

= paměťové zařízení pro ukládání (= zápis), uchování a získání (= čtení) (binárních) dat

- parametry:

- **kapacita, přenosová rychlost, přístupová doba** (od požadavku do uložení/vydání dat)
- spolehlivost/výdrž (doba mezi poruchami/použití), cena za bit aj.

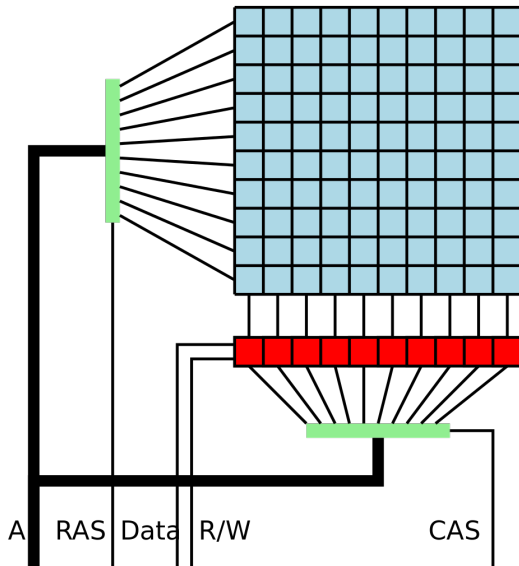
- dělení:

- možnost zápisu: ne = ROM, jednou, opakovaně = RWM
- přístup k datům: přímý = RAM, sekvenční, asociativní
- energetická závislost: neudrží data bez energie = volatilní
- trvanlivost: data potřeba periodicky obnovovat = dynamické
- fyzikální princip: elektronické, magnetické, optické, ...
- ...

- **vnitřní** – pro krátkodobé ukládání (spuštěných) programů a (operačních) dat, např. registry procesoru, operační (RAM) a cache paměti, paměti přidavných karet (pro operační data), pro dlouhodobé ukládání např. paměti pro firmware a konfigurační data (např. BIOS)
 - menší kapacity (do desítek GB), vyšší přenosové rychlosti (až desítky TB/s), přístupová doba do desítek ns, spolehlivé, ROM i RWM, přímý a asociativní přístup, energ. závislé i nezávislé, statické i dynamické, elektronické
- **vnější** – pro dlouhodobé ukládání programů a (jiných) dat, např. pevné disky, výměnná disková média (CD/DVD/BD, diskety, paměťové karty aj.) a jiná disková zařízení
 - větší kapacity (až stovky TB), nižší přenosové rychlosti (do jednotek GB/s), přístupová doba ms (přímý přístup) až min (sekvenční přístup), méně spolehlivé, RWM, energ. nezávislé, statické



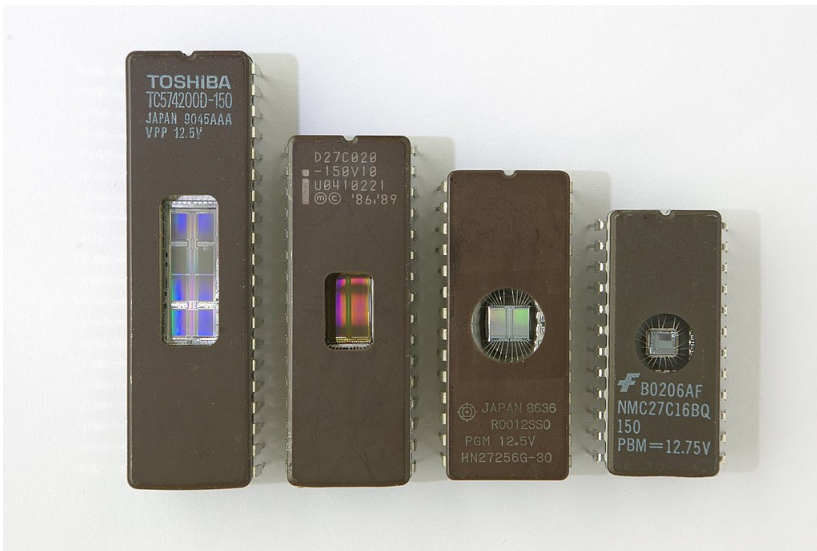
- zapojeny jako matice **paměťových buněk** (s kapacitou 1 bit)
- buňky určeny dekodovanou **adresou** (řádkovou částí byty/slova, sloupcovou bity) na adresní části sběrnice, hodnota (zesílená) na datové části
- **pouze pro čtení (ROM, Read Only Memory)** – nevolatilní, statické, použití např. pro firmware (dříve)
- **i pro zápis (RWM)** – např. **RAM (Random Access Memory)**, volatilní, dynamické i statické, rychlejší než ROM, použití všude jinde než ROM



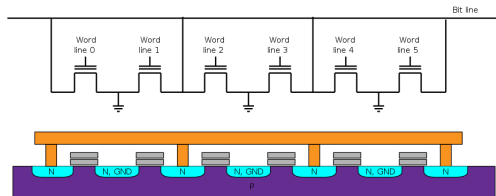
Organizace vnitřní paměti (DRAM), zdroj

Paměti ROM

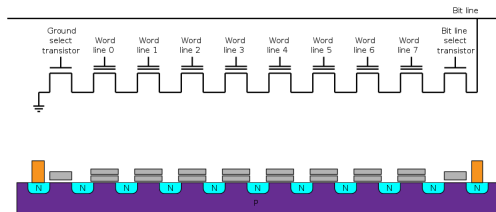
- **ROM** (1965) – data (log. hodnoty) formou masky propojů „zapsána“ trvale a neměnně při výrobě
- **PROM (Programmable ROM)** (1970) – (typicky) z výroby samé log. **1**, jediná změna větším napětím na log. **0** **programátorem PROM** (přepálení pojistky na propoji)
- **EPROM (Erasable PROM)** (1971) – log. hodnoty formou el. náboje v MOSFET tranzistoru = paměťová buňka, zapsány programátorem EPROM, výmaz celé paměti UV zářením (odvedením náboje, „okénko“ v čipu)
- **EEPROM (Electrically EPROM)** (1976) – výmaz opačným napětím než zápis
- **Flash EEPROM** (1984/7)
 - přepisovatelné buňky, uspořádané do skupin paralelně (NOR) nebo sériově (NAND), pro 1 (SLC) a více bitů (MLC, TLC, QLC, PLC) \rightsquigarrow RWM
 - organizace po blocích (desítky až stovky kB), nižší výdrž a trvanlivost než EEPROM (\rightarrow FTL mezivrstva pro rozložení zápisů na celou paměť)
 - dnes používaná i pro vnější paměti (NAND např. paměťové karty, Flash a SSD disky, NOR vestavěné)



Čipy paměti EPROM, zdroj



Skupina paměťových buněk NOR flash paměti (MOS), zdroj



Skupina paměťových buněk NAND flash paměti (MOS), zdroj



Statická RAM (SRAM) (1963)

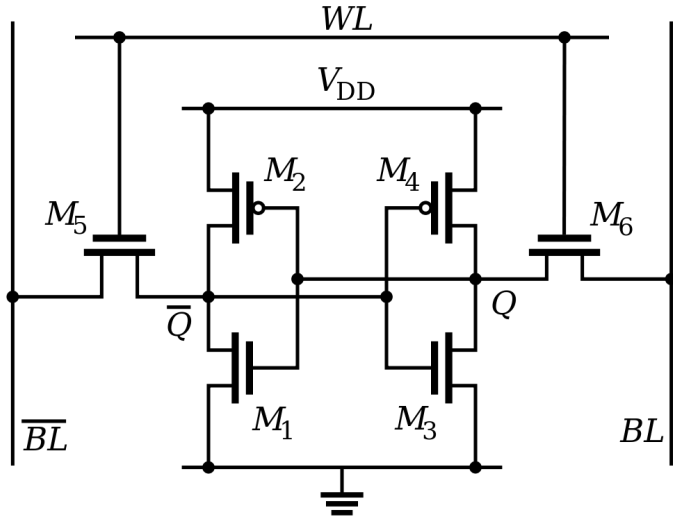
- rychlé (přístupová doba jednotky ns, rychlost až desítky TB/s), ale složité → použití: cache paměti
- realizace buňky: **bistabilní klopný obvod**, např. v technologii MOS (4–10 MOSFET tranzistorů)

Statická RAM (SRAM) (1963)

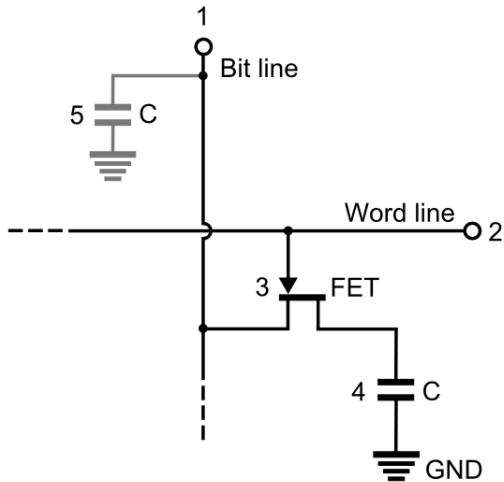
- rychlé (přístupová doba jednotky ns, rychlost až desítky TB/s), ale složité → použití: cache paměti
- realizace buňky: **bistabilní klopný obvod**, např. v technologii MOS (4–10 MOSFET tranzistorů)

Dynamická RAM (DRAM) (1965)

- realizace buňky: **kondenzátor + tranzistor** (FET) – log. hodnoty formou el. náboje, vybíjení samovolně i čtením ⇒ periodická obnova (čipsetem) = **refresh**
- kondenzátor + refresh = větší přístupová doba (jednotky až desítky ns), menší rychlost (až stovky GB/s), ale jednoduché → použití: operační paměti



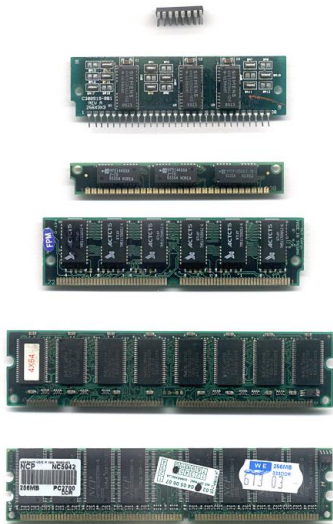
Paměťová buňka SRAM paměti (CMOS), zdroj



Paměťová buňka DRAM paměti, [zdroj](#)

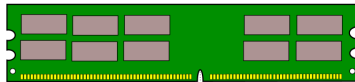
Dynamická RAM (DRAM)

- **asynchronní:** řídicí signály adresy (RAS, CAS), zápisu a datového výstupu
 - FPM (Fast Page Mode) – rychlejší čtení sousedních dat, moduly DIP (čipy do patice) aSIPP, SIMM (čipy na kartě do slotu)
 - EDO (Extended Data Out) – částečné překrývání operací přístupu, moduly SIMM
- **synchronní:** řídicí signál „hodin“ (CS), **časování paměti (CAS latency)** = trvání operací přístupu, např. CL9(-1-1-1), standard JEDEC PCn-xxxx
 - (SDR) **SDRAM** (Synchronous DRAM, 1992) – synchronní s FSB, SGRAM pro grafické karty, moduly **DIMM**, SO-DIMM a MicroDIMM pro notebooky
 - RDRAM (Rambus DRAM, 1996) – užší rychlejší paměťová sběrnice, moduly RIMM
 - **DDRn SDRAM** (Double Data Rate SDRAM, 1998) – 2 datové přenosy v 1 cyklu, 2^{n-1} násobná rychlost přenosu (a FSB), GDDRn pro grafické karty, LPDDRn pro mobily
 - **HBMn** (High Bandwidth Memory, 2013) – „stohování“ SDRAM (8, 12), širší sběrnice (nový řadič), vyšší rychlost přenosu (až jednotky TB/s)
- výrobci modulů: Corsair, HyperX, Kingston, Crucial, Samsung, Transcend a další
- výrobci čipů: Micron, Samsung, SK Hynix, Winbond a další

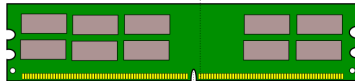


Moduly DRAM, zdroj

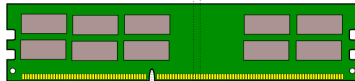
DDR



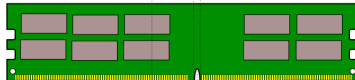
DDR 2



DDR 3



DDR 4



Porovnání modulů DDR SDRAM, zdroj

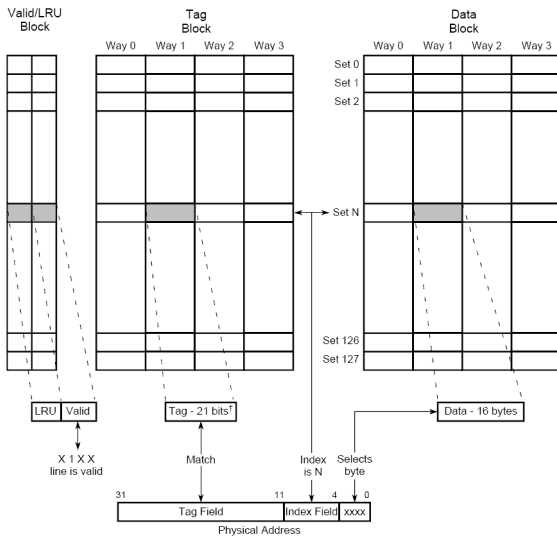
Cache

- = rychlejší (a menší) **mezipaměť** pro rychlejší (opakovaný) přístup k často používaným datům v pomalejší paměti, např. operační, diskovém zařízení, počítačové síti apod.
- využití toho, že se často a opakovaně používají stejné části paměti (např. u operační paměti programu a dat)
- hardwarová typicky statická RAM (SRAM), softwarová v operační paměti nebo na úložném zařízení
- čtení dat z paměti přes cache:
 - **cache hit** = požadovaná data jsou v cache a načtena z ní
 - **cache miss** = požadovaná data nejsou v cache, načtena z paměti a uložena do cache
- zápis dat přes cache do paměti:
 - **write-through** – ihned při zápisu do cache
 - **write-back** – až později, např. při přeplnění cache, vyšší výkon
- při obsazení místa nahrazení dat v cache – typicky metodou **Least Recently Used (LRU)**, tj. nejdéle nepoužitých

CPU cache

= pro procesor při přístupu do operační paměti (RAM) – SRAM

- (dnes) součást procesoru, více druhů: instrukční a datová – více úrovní L0–4, TLB aj.
- organizace do bloků dat (jednotky až desítky bytů) a asociace s bloky operační paměti – části adresy: tag, index (jednotky bitů) a offset v bloku dat
- **přímo mapovaná** ~ tabulka s indexovanými řádky a sloupci pro tag, blok dat a další informace (platnost dat, pro metodu nahrazení bloku, synchronizační aj.)
 - přístup k bloku dat na základě indexu a porovnání tagu = cache hit/miss
 - rychlé a jednoduché, ale adresy se stejným indexem mapované do stejného bloku → hodně cache miss ⇒ nízký výkon
- **plně asociativní** ~ jednořádková tabulka se sloupci pro více tagů a bloků – výběr neplatného nebo nahrazeného
 - adresa bez indexu, přístup pouze na základě porovnání tagů
 - flexibilita a využitelnost, ale velký tag, hodně porovnání ⇒ nízký výkon, nepoužívají se
- **n -cestně asociativní** ~ tabulka s indexovanými řádky a sloupci pro n tagů a bloků
→ méně cache miss, menší tag, méně (n) porovnání ⇒ nejpoužívanější, n od 2 do 8



† 20 bits for the IntelDX4™ processor

Schéma 4-cestně asociativní CPU cache (Intel 486), zdroj