

CPU - Intel

JÁN SAMUEL ŠEMODA

2 APIN-BC



Úvod

- Čo je CPU a jeho úloha v PC
- Bloková štruktúra (core, cache, interconnect)
- Riadiaca jednotka (CU) a pipeline
- Inštrukčné sady (x86, x86-64, SIMD)
- Registre (GPR, flags, SIMD, control)
- Komunikácia: pamäť, cache, zbernica, PCIe
- Diagnostika, BIOS/UEFI, firmware, testy, servis
- Budúcnosť vývoja

Čo je CPU

CPU = centrálna jednotka spracovania, vykonáva strojové inštrukcie

Základné funkcie: výpočet, riadenie, práca s pamäťou, prerušenia

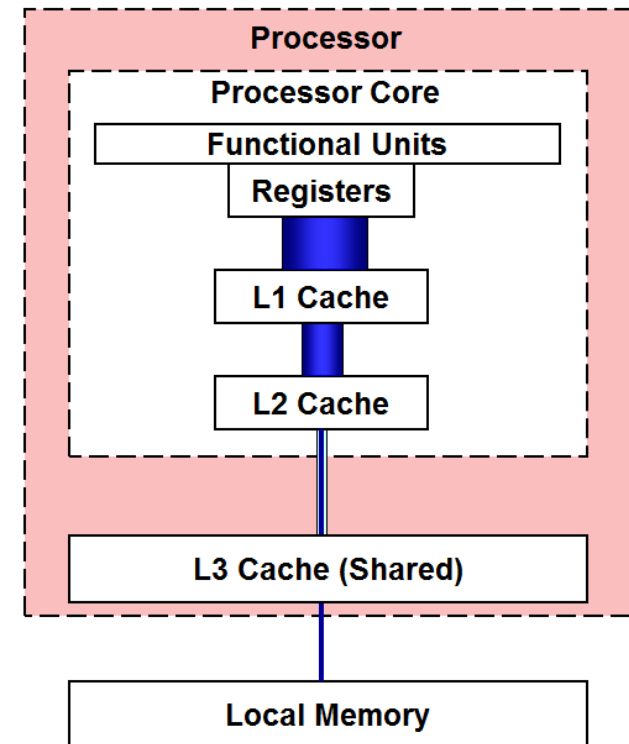
Výkon = kombinácia

- IPC - Instructions Per Cycle (počet inštrukcií za takt)
- frekvencia – 1 GHz = 1 miliarda cyklov za sekundu
- počet jadier – Jadro = výpočtová jednotka
 - Single-thread
 - Multi-thread
- cache a pamäť –
 - Cache - rýchla pamäť v CPU
 - Ram – pomalšia , latencia



Vnútročné bloky CPU

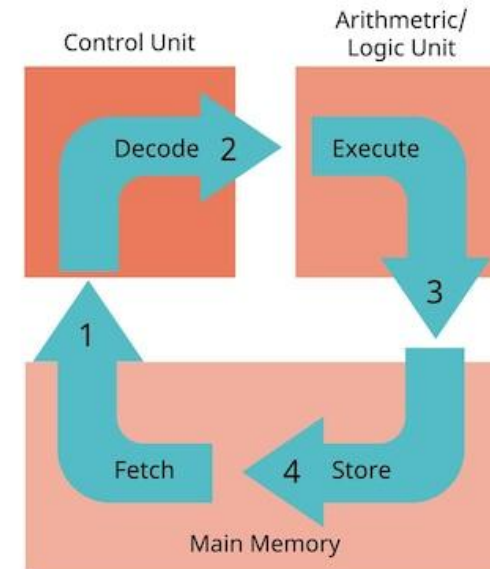
- Jadrá (cores) – výpočtové jednotky
- Cache (L1/L2/L3) – L1, L2 pre každé jadro L3 pre všetky jadrá
- Pamäťový radič (IMC)
- Interconnect (ring/mesh) medzi jadrami a cache
- I/O (PCIe linky, DMI k čipsetu)
- iGPU, NPU/akcelerátory podľa modelu



Ako CPU vykoná inštrukciu

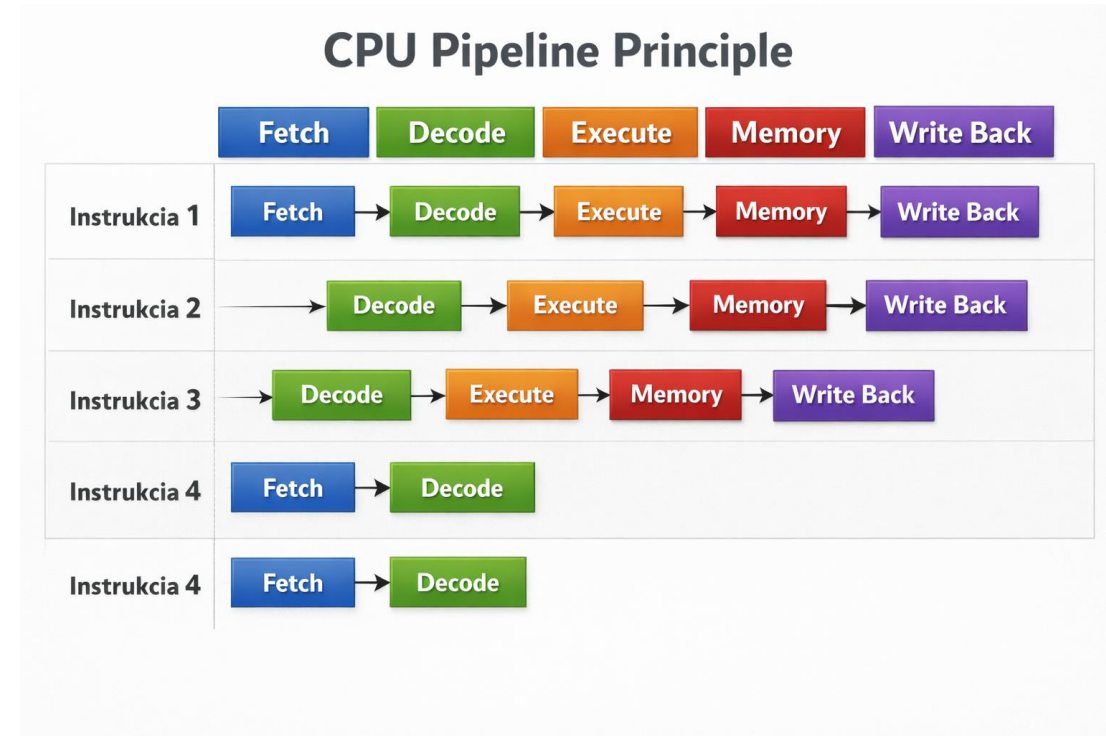
Fetch–Decode–Execute

- Fetch: načítanie inštrukcie z pamäte (cez cache)
- Decode: dekódovanie (pri x86 často na μ ops)
- Execute: vykonanie v jednotkách
 - ALU - celočíselné operácie
 - FPU – s plávajúcou čiarkou
 - SIMD - vektorové výpočty
- Write-back: zápis výsledku do registrov/pamäte



Pipeline a paralelizmus

- Pipeline = rozdelenie práce na fázy → vyšší takt
- Superskalárnosť = viac inštrukcií za takt
- Out-of-order = preusporiadanie kvôli výkonu
- Branch prediction = odhad skokov → menej čakania



Riadiaca jednotka (Control Unit)

Úlohy CU :

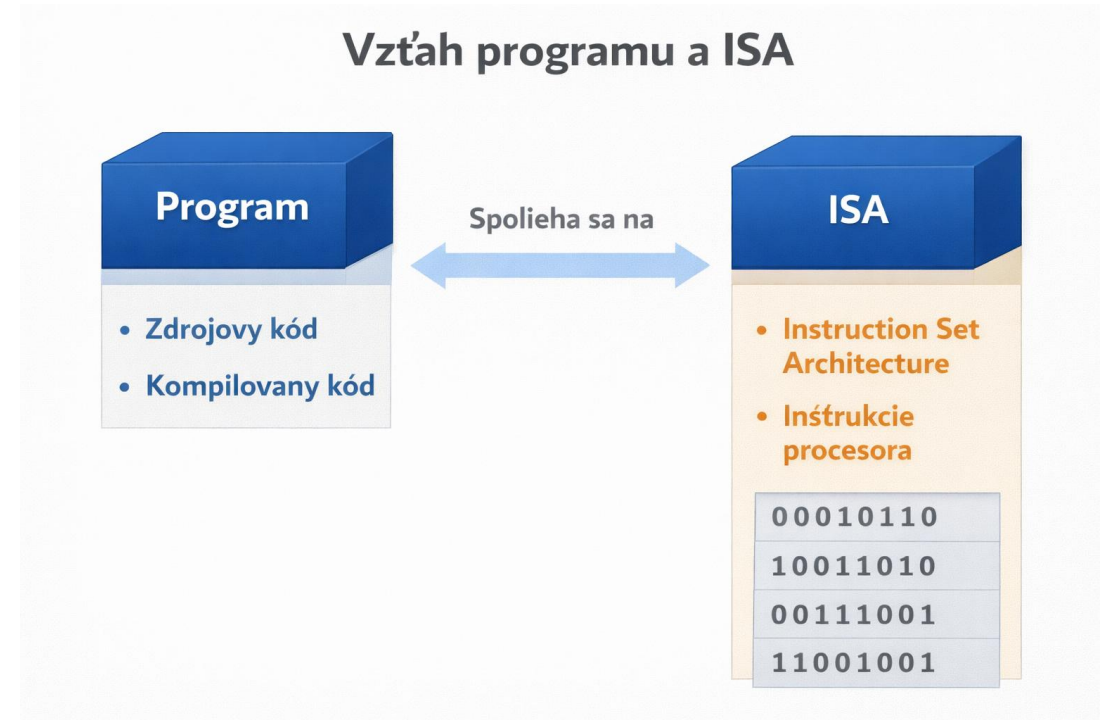
- Riadi tok inštrukcií a koordinuje jednotky v jadre
- Rozhoduje, kedy sa čo vykoná (signály, riadenie pipeline)
- Spracovanie prerušenia/výnimky (interrupt/exception)
- Spolupracuje s dekodérom a plánovačmi (scheduler)

Mikrokód v Intel CPU

- Časť riadenia je “hardwired” (rýchla logika)
- Zložité x86 inštrukcie môžu byť riešené mikrokódom
- Mikrokód sa dá aktualizovať (opravy chýb, bezpečnosť)
- Aktualizácie prichádzajú cez BIOS/UEFI alebo OS

Čo je ISA (Instruction Set Architecture)

- ISA = “jazyk” procesora
- Určuje: inštrukcie, registre, adresovanie, režimy
- Intel PC: x86 + x86-64 (Intel 64)



Základné typy inštrukcií

- **Aritmetika a logika (ALU):** sčítanie, odčítanie, AND/OR/XOR, porovnanie
(*príklady: ADD, SUB, AND, OR, XOR, CMP*)
- **Práca s dátami (presun + pamäť):** presun medzi registrami a pamäťou
(*príklady: MOV, LEA*)
- **Tok programu (riadenie):** skoky a podmienky, volanie funkcií
(*príklady: JMP, Jcc, CALL, RET*)
- **Stack (zásobník):** ukladanie/obnova hodnôt, návratové adresy
(*príklady: PUSH, POP*)
- **Privilegované / systémové:** len pre OS/hypervisor (ochrana, pamäť, HW)
(*príklady: HLT, CLI/STI, prístup ku control/MSR – podľa režimu*)

SIMD: SSE / AVX (Intel)

- **SIMD = Single Instruction, Multiple Data**

- jedna inštrukcia spracuje *vektor* (viac prvkov) naraz

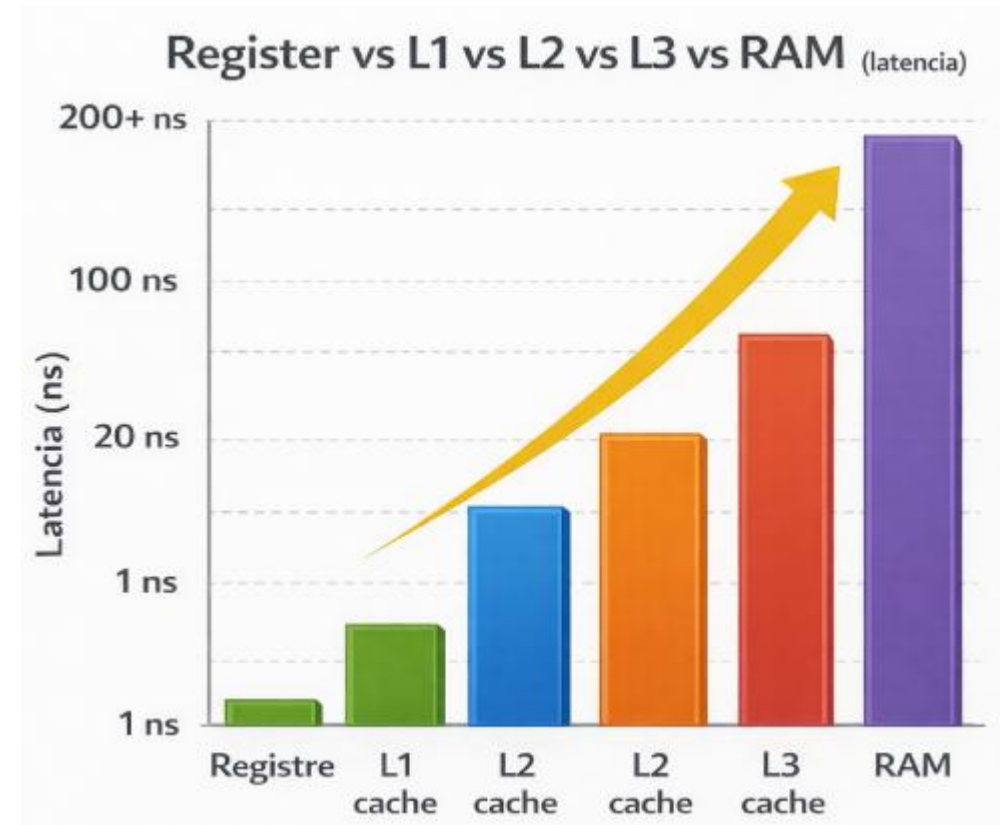
- **Na čo je to dobré:** video/obraz, zvuk, kompresia, šifrovanie, 3D, AI

- **Intel rozšírenia (príklady):**

- **SSE** - registre **XMM (128-bit)** npr. Intel Core i5-2500K , Intel Core i7-8700K
 - **AVX/AVX2** - registre **YMM (256-bit)** npr. Intel Core i7-3770K, Intel Core i7-4790K
 - **AVX-512** - registre **ZMM (512-bit)** (*nie každý Intel CPU ho má väčšinou workstation/server class*) npr. Intel Xeon , Intel Core i9-10980XE
 - **Príklad intuície:** namiesto 1× výpočet spravíš 4×/8×/16× naraz (podľa typu dát)

Registre = najrýchlejšia pamäť CPU

- Prístup je rýchlejší než cache a RAM
- CPU pracuje primárne s registrami
- Kompilátor optimalizuje, aby držal hodnoty v registroch



Aké registre má x86-64

- **Všeobecné registre (GPR – General Purpose, 64-bit):**
 - **RAX, RBX, RCX, RDX** – výpočty, dočasné hodnoty
 - **RSI, RDI** – často práca s adresami/dátami
 - **R8–R15** – ďalšie všeobecné registre (viac “miesta” pre kompilátor)
- **Registre toku programu:**
 - **RIP** – ukazuje na ďalšiu inštrukciu (Instruction Pointer)
- **Stack registre:**
 - **RSP** – vrch zásobníka (Stack Pointer)
 - **RBP** – základ rámca funkcie (Frame/Base Pointer) (*nie vždy používaný*)

Aké registre má x86-64

- **Stavový register:**

- **RFLAGS** – príznaky (Z=zero, C=carry, S=sign, O=overflow...)

- **SIMD registre (pre multimédiá/vektory):**

- **XMM** (SSE, 128-bit), **YMM** (AVX/AVX2, 256-bit), **ZMM** (AVX-512, 512-bit)

- **Systémové registre (len privilegovaný režim):**

- **CR0/CR3/CR4** – režimy CPU, virtuálna pamäť (paging)
- **MSR** – model-specific registre (turbo, power, bezpečnosť...)

Registre v praxi

- **Volanie funkcie (CALL/RET):**
 - CALL uloží návratovú adresu na stack a skočí do funkcie
 - RET si návratovú adresu zo stacku zoberie a vráti sa späť
- **Stack (zásobník) sa používa na:**
 - návratové adresy (pri CALL)
 - lokálne premenné (ak sa nezmestia do registrov)
 - uloženie registrov (keď ich treba dočasne “odložiť”)
- **Čo je dôležité pri páde programu / BSOD:**
 - **RIP** = kde CPU práve vykonával (adresa inštrukcie)
 - **RSP** = kde je stack (čo sa dialo predtým)
 - **RFLAGS** = stavové príznaky (napr. výsledok porovnania)

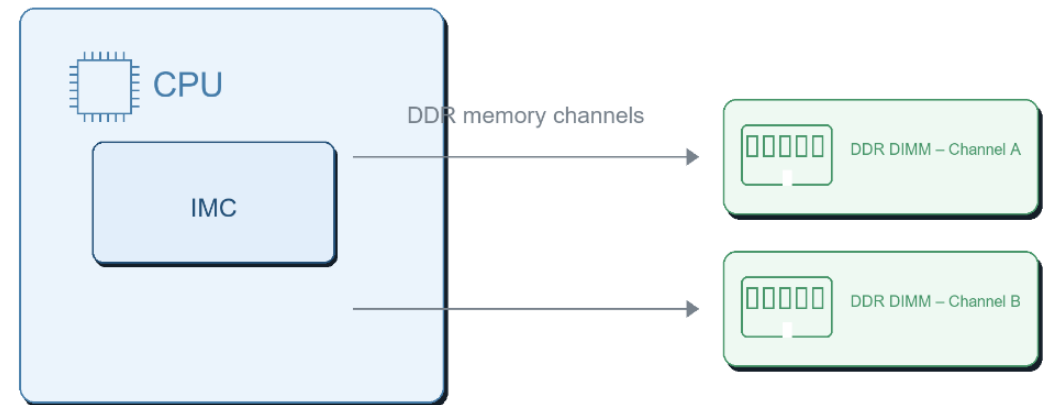
Cache hierarchia

- **Cache = rýchla pamäť v CPU**, ktorá drží často používané dáta/inštrukcie
- Úrovne cache:
 - **L1** (najmenšia, najrýchlejšia) – často zvlášť **L1I** (inštrukcie) a **L1D** (dáta)
 - **L2** (väčšia, o niečo pomalšia)
 - **L3 / LLC** (najväčšia, často zdieľaná pre viac jadier)
- **Cache line**: dáta sa prenášajú po blokoch (typicky **64 B**)
- **Cache hit vs miss**:
 - *hit* = dáta sú v cache - rýchlo
 - *miss* = CPU ide do RAM - veľké spomalenie



CPU a RAM priepustnosť, latencia a pamäťový radič

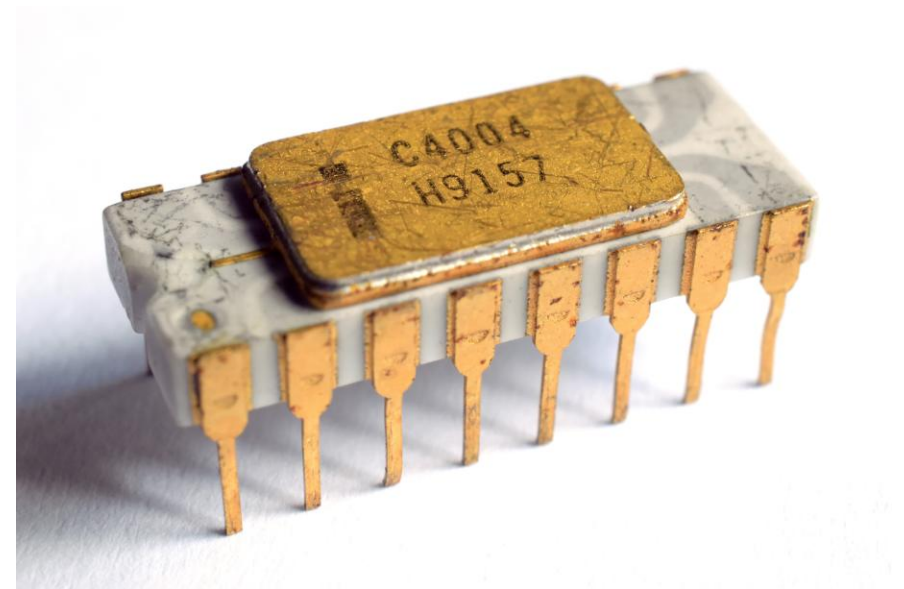
- **IMC (Integrated Memory Controller)** je v CPU → riadi DDR pamäť
- RAM ovplyvňuje výkon cez:
 - **Latenciu** (ako dlho trvá, kým prídu dáta)
 - **Priepustnosť** (koľko dát za sekundu sa prenesie)
- **Kanály pamäte (dual-channel)** zvyšujú priepustnosť



- **XMP v BIOS/UEFI:** vyšší takt RAM = často vyšší výkon, ale aj riziko nestability

História Intel CPU

- **1971 – Intel 4004:** prvý komerčný mikroprocesor (1 čip)
- **1978 – Intel 8086:** začiatok architektúry x86
- **1993 – Pentium:** vyšší výkon, modernejšie jadro
- **2006 – Intel Core:** dôraz na efektivitu a viac jadier
- **2010s – rozmach multijadrovosti a virtualizácie**
- **2020s – hybridné jadrá (P/E), efektivita, bezpečnosť**



Súčasnosc' Intel CPU

- Výkon dnes = **IPC + turbo + počet jadier + cache + RAM**
- **Power limity (PL1/PL2)** a chladenie určujú, ako dlho vydrží turbo
- **Thermal throttling**: ochrana pred prehriatím → zníženie taktu
- **Bezpečnosť** (mitigácie) môže mierne ovplyvniť výkon
- Rôzne typy jadier / akcelerátory podľa generácie (podľa modelu CPU)

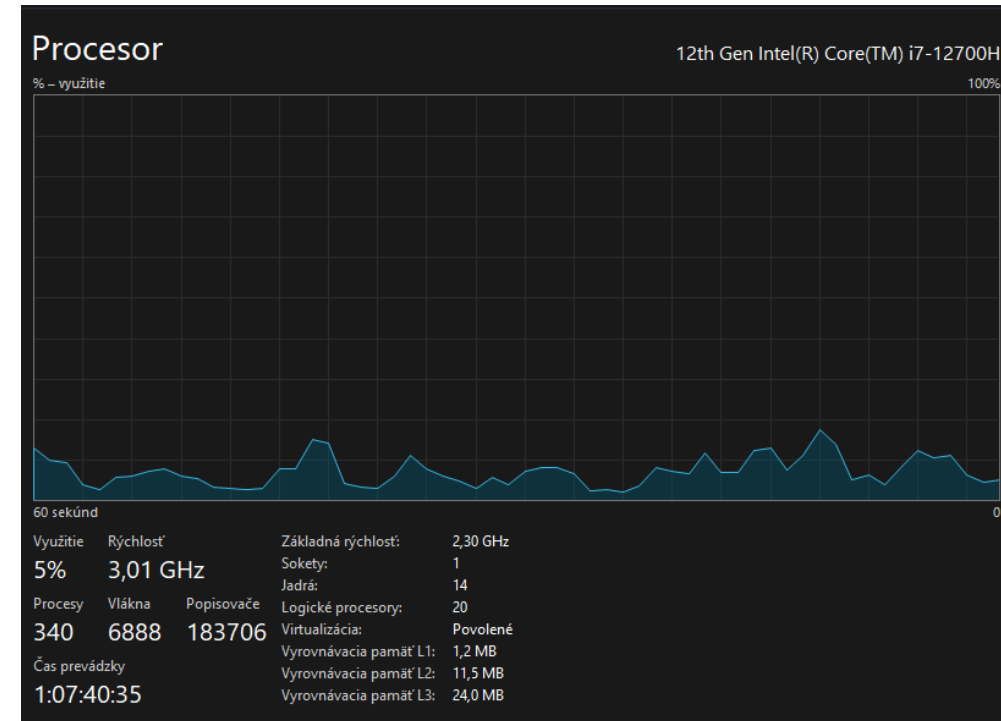
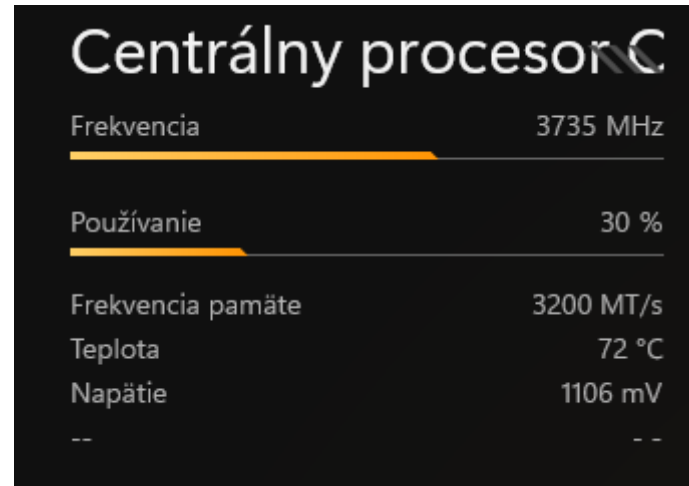


Budúcnosť CPU

- Viac **heterogénnych jadier** (výkonové + úsporné)
- Viac **špecializovaných jednotiek** (AI, multimédiá, crypto)
- Trend k **modulárnym návrhom (čiplety)** a lepším prepojeniam
- Dôraz na **výkon na watt** (spotreba a chladenie)
- Rýchlejšie prepojenia CPU–RAM–I/O (nižšia latencia)

Diagnostika CPU v praxi

- **Task Manager:** využitie CPU, takt, počet jadier/vlákien
- **HWiNFO / CPU-Z:** frekvencie, napätia, teploty, throttling
- **Event Viewer (WHEA):** hardvérové chyby (CPU/RAM/PCIe)
- Základné otázky diagnostiky:
 - Je problém **teplota**, **napájanie**, alebo **nestabilita**?



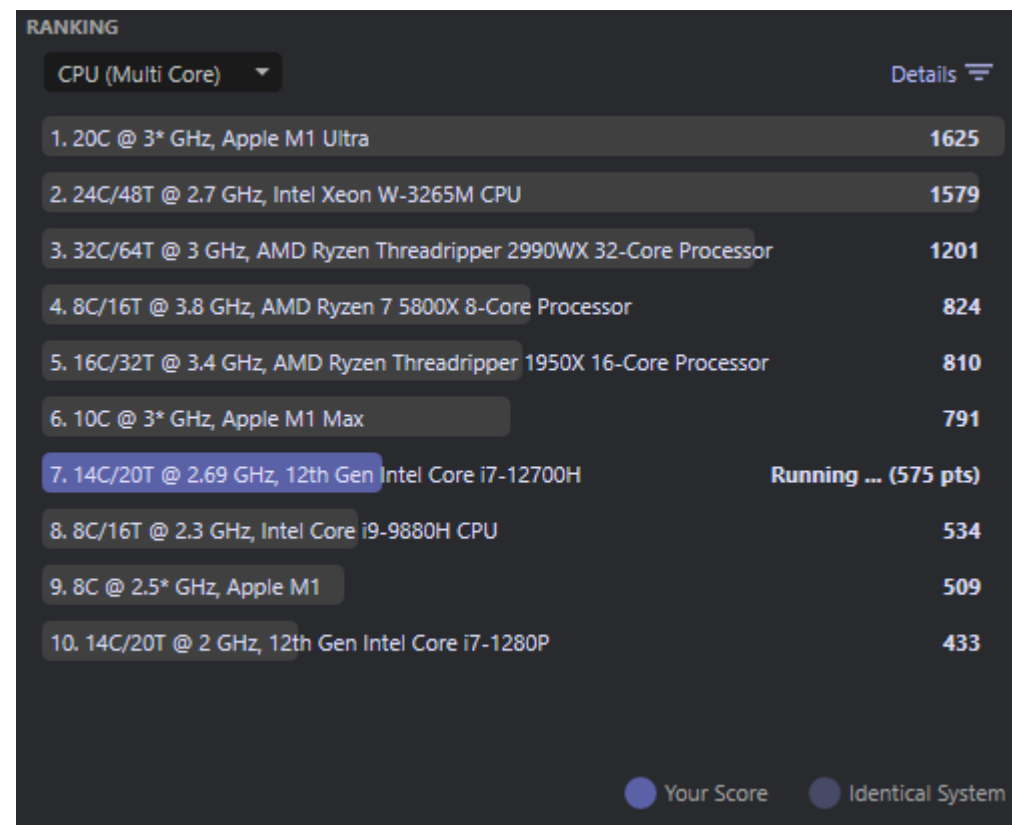
BIOS/UEFI, firmware a testovanie stability

■ BIOS/UEFI nastavenia (čo často ovplyvní stabilitu):

- XMP (RAM profil)
- limity výkonu (power/turbo limity)
- C-states / správanie úsporných režimov
- aktualizácia BIOS = často aj **microcode update**

■ Testovanie:

- výkon: **Cinebench**
- stabilita: **OCCT / Prime95 / AIDA64**
- vždy sledovať: **teploty, napätie, throttling**



The screenshot shows a 'RANKING' table for 'CPU (Multi Core)' benchmarks. It lists various processors and their scores. The 7th entry, '14C/20T @ 2.69 GHz, 12th Gen Intel Core i7-12700H', is highlighted in blue and shows 'Running ... (575 pts)'. At the bottom, there are two circular indicators: a blue one for 'Your Score' and a grey one for 'Identical System'.

RANKING	
CPU (Multi Core)	Details
1. 20C @ 3* GHz, Apple M1 Ultra	1625
2. 24C/48T @ 2.7 GHz, Intel Xeon W-3265M CPU	1579
3. 32C/64T @ 3 GHz, AMD Ryzen Threadripper 2990WX 32-Core Processor	1201
4. 8C/16T @ 3.8 GHz, AMD Ryzen 7 5800X 8-Core Processor	824
5. 16C/32T @ 3.4 GHz, AMD Ryzen Threadripper 1950X 16-Core Processor	810
6. 10C @ 3* GHz, Apple M1 Max	791
7. 14C/20T @ 2.69 GHz, 12th Gen Intel Core i7-12700H	Running ... (575 pts)
8. 8C/16T @ 2.3 GHz, Intel Core i9-9880H CPU	534
9. 8C @ 2.5* GHz, Apple M1	509
10. 14C/20T @ 2 GHz, 12th Gen Intel Core i7-1280P	433

● Your Score ● Identical System

Servis CPU

- **Prehrievanie:** prach, zlá pasta, zle nasadený chladič
- **Throttling:** teplotný alebo power limit
- **Nestabilita:** RAM (XMP), BIOS, OC, napájanie
- **Mechanické poškodenie:** piny v sockete, ohnutie, zlá montáž
- Servisný “checklist”:
 - vyčistiť + skontrolovať ventilátory
 - nová pasta / dotiahnuť chladič
 - BIOS default + test RAM
 - záťažový test + monitoring



Ďakujem za pozornosť

Zdroje:

INTEL CORPORATION. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual [online]. Santa Clara: Intel Corporation.

<https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/intel-sdm.html>

INTEL CORPORATION. Intel® Architecture Instruction Set Extensions and Future Features Programming Reference [online]. Santa Clara: Intel Corporation.

<https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical>