

Architektúra procesora

Riadiaca jednotka · Inštrukčné sady
Registre · Komunikácia · Chiplet

Jakub Keruľ

Počítačové architektúry | 2. ročník

Fakulta prírodných vied a informatiky
Univerzita Cyrila a Metoda v Trnave

2025 / 2026

AMD
CPU

Obsah prezentácie

01 História AMD a procesorov

02 Riadiaca jednotka – princíp funkčnosti

03 Inštrukčné sady (ISA) – x86-64, SIMD

04 Registre – typy a využitie

05 Komunikácia – pipeline, cache, Infinity Fabric

06 Chiplet dizajn – CCD, IOD, Zen

07 Súčasné procesory a vývoj do budúcnosti

08 Diagnostika, BIOS, testovanie, servis

AMD – Advanced Micro Devices



Rok založenia: 1969, Sunnyvale, CA

Zakladatelia: Jerry Sanders a 7 ďalších

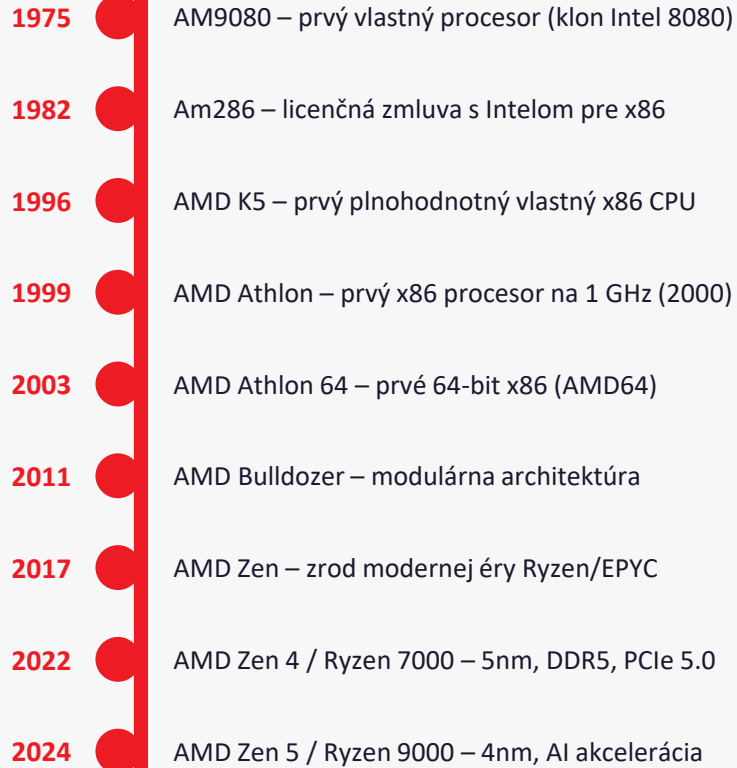
Zamestnanci: ~26 000 (2024)

Trhová kapital.: ~\$290 mld. (2024)

Produkty: CPU, GPU, FPGA, APU

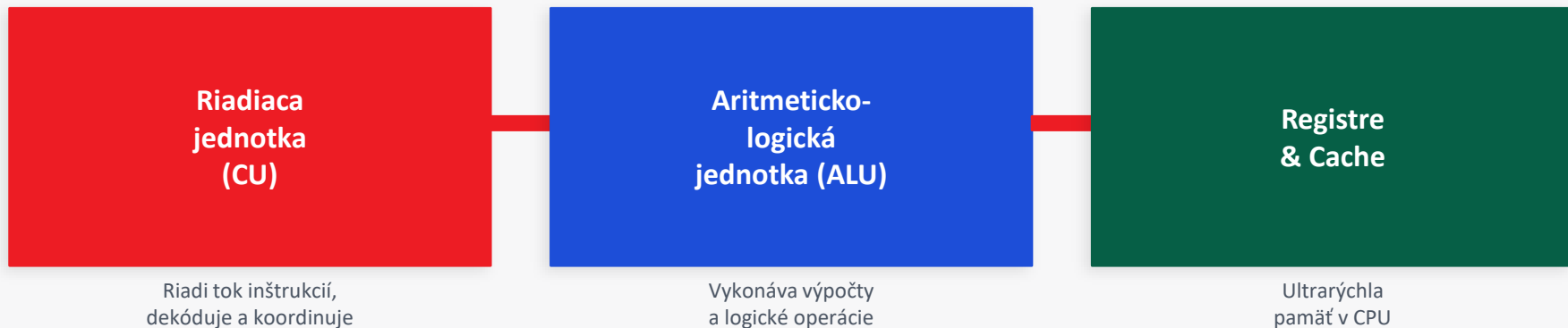
CEO: Dr. Lisa Su (od 2014)

História AMD procesorov – Kľúčové míľniky

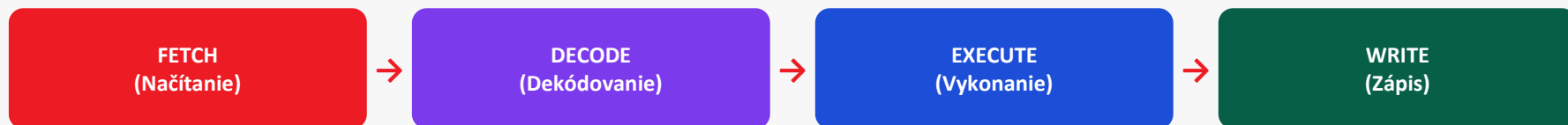
- 
- A vertical timeline on a light gray background. A thick red vertical line runs down the left side. Red circular markers are placed at each year on this line. To the right of each marker, the year and a description of a key milestone are listed in red text.
- 1975** AM9080 – prvý vlastný procesor (klon Intel 8080)
 - 1982** Am286 – licenčná zmluva s Intelom pre x86
 - 1996** AMD K5 – prvý plnohodnotný vlastný x86 CPU
 - 1999** AMD Athlon – prvý x86 procesor na 1 GHz (2000)
 - 2003** AMD Athlon 64 – prvé 64-bit x86 (AMD64)
 - 2011** AMD Bulldozer – modulárna architektúra
 - 2017** AMD Zen – zrod modernej éry Ryzen/EPYC
 - 2022** AMD Zen 4 / Ryzen 7000 – 5nm, DDR5, PCIe 5.0
 - 2024** AMD Zen 5 / Ryzen 9000 – 4nm, AI akcelerácia

Čo je CPU? – Základná architektúra

Procesor (CPU – Central Processing Unit) je hlavný výpočtový čip počítača. Vykonáva inštrukcie programov a riadi ostatné komponenty systému.

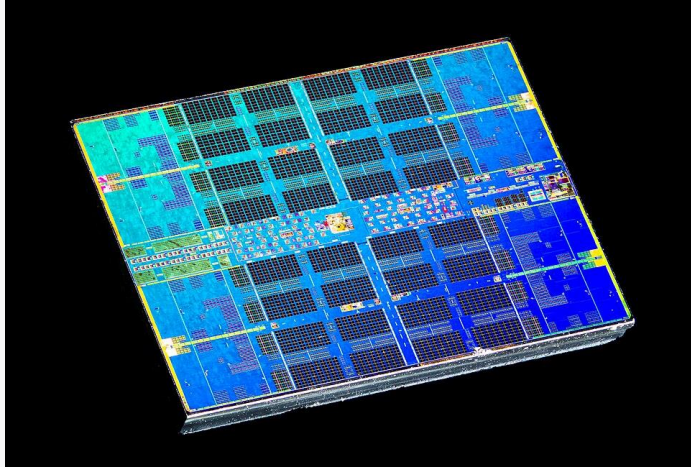


Základný cyklus procesora



Riadiaca jednotka (Control Unit)

Čo je riadiaca jednotka?



Riadiaca jednotka (RJ) je tzv. mozog procesora. Nepocita sama, ale riadi celok tok spracovania instrukcii a hovori ostatnym castiam CPU, co a kedy maju vykonat.

- ▶ Načítava inštrukcie z pamäte (Instruction Fetch)
- ▶ Dekóduje binárne inštrukcie do riadiacich signálov
- ▶ Riadi prenos dát medzi registrami, ALU a pamäťou
- ▶ Spravuje Program Counter (PC / RIP)
- ▶ Synchronizuje prácu celého procesora

Princíp činnosti riadiacej jednotky

1. FETCH

RJ načíta inštrukciu z pamäte podľa adresy v PC registri (RIP). Inštrukcia sa uloží do Instruction Register (IR).



2. DECODE

Dekodér rozloží binárny kód inštrukcie – identifikuje operačný kód (opcode) a operandy. Generuje riadiace signály.



3. EXECUTE

ALU alebo iná výkonná jednotka vykoná operáciu. RJ koordinuje zdroje a ciele dát cez internú zbernicu.



4. WRITEBACK

Výsledok sa zapíše späť do cieľového registra alebo pamäte. PC sa inkrementuje na ďalšiu inštrukciu.

Hardvérová vs. Mikroprogramová riadiaca jednotka

Hardvérová (Hardwired)

- ✓ Logika implementovaná priamo v hradlových obvodoch
- ✓ Extrémne rýchla – fixné oneskorenie
- ✓ Komplikovaná na zmenu / rozšírenie
- ✓ Používa sa v RISC procesoroch
- ✓ AMD Zen: kombinácia hardvér + mikrokód

Mikroprogramová (Microprogrammed)

- ✓ Inštrukcie rozložené na mikrooperácie (μ ops)
- ✓ Uložené v Control Store (ROM)
- ✓ Flexibilnejšia – opraviteľná cez microcode update
- ✓ Historicky x86 CISC procesory
- ✓ AMD vydáva microcode patches (bezpečnosť)

Inštrukčné sady (ISA) – Prehľad

ISA (Instruction Set Architecture) definuje množinu inštrukcií, ktoré procesor dokáže vykonať. Je to rozhranie medzi softvérom a hardvérom.

x86-64 (AMD64)

Dominantná architektúra
pre PC a servery.
AMD zaviedla 64-bit rozšírenie v 2003.
Základný jazyk.

x87 FPU

Plávajúca desatinná
čiarka. Súčasť x86
od Intel 8087 (1980).
Matematická časť pre desatinné čísla.

MMX / 3DNow!

Prvé SIMD inštrukcie.
3DNow! bolo AMD
exkluzívne (1998).
CPU vie spracovať viacero info – pre Hry.

SSE / SSE2-4

Streaming SIMD.
128-bit registre XMM.
Rychlé multimediá.
CPU dostal viac priestoru na registre.

AVX / AVX2 AVX-512

256/512-bit SIMD.
Pre AI, vedecké
výpočty, video.
Ešte viac priestoru, až do 512bitov.

x86-64 (AMD64) – Architektúra inštrukčnej sady

2003

AMD rozšírila x86 na 64-bit (AMD64 / x86-64)

Intel

Následne prijal ako EM64T – dnes štandard

Módy

64-bit long mode, 32-bit compatibility mode, 16-bit real/protected

Registre

16 GPR (RAX–R15), každý 64-bit, jednoducho viac registrov

Pamäť

48-bit virtuálna adresa → 256 TB

Výhody

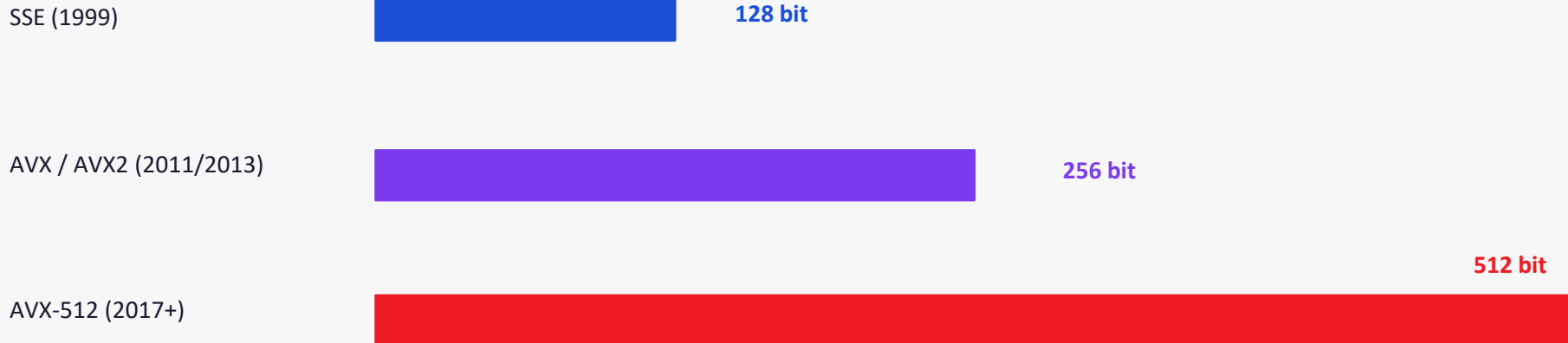
Priame adresovanie >4 GB RAM, viac registrov



SIMD Inštrukcie – SSE, AVX, AVX-512

SIMD (Single Instruction, Multiple Data) umožňuje jednou inštrukciou spracovať viacero dátových hodnôt súčasne – kľúčové pre AI, video, vedu.

Šírka registrov (vizualizácia):



Využitie AVX-512 v AMD Zen 4:

Strojové učenie (FP16/BF16) · Komprimácia dát · Kryptografia · Vedecké simulácie

Registre procesora – Typy a funkcie

Register je najrýchlejšia pamäť v počítači – priamo v CPU čipe. Prístupová doba ~1 cyklus hodín.

GPR General Purpose Registers

RAX, RBX, RCX...
16 × 64-bit registrov
Aritmetika, adresovanie
Ukladáme sem čísla na výpočet

Segment Segmentové registre

CS, DS, SS, ES, FS, GS
Segmentácia pamäte
Legacy + OS využitie

Flags RFLAGS register

Carry, Zero, Sign, Overflow
Výsledok porovnaní
Riadi podmienené skoky
Semafor

Control Riadiace registre

CR0–CR4, CR8
Ochranné módy, paging
Virtualizácia
Či beží niečo vo virtualke alebo nie napr.

RIP Instruction Pointer

Adresa nasledujúcej
inštrukcie. Automatická
inkrementácia.
Ukazuje na funkciu, po skončení sa presunie

SIMD XMM / YMM / ZMM

128/256/512-bit
SSE / AVX / AVX-512
32 × ZMM (Zen 4+)

AMD64 – Všeobecné registre (GPR)

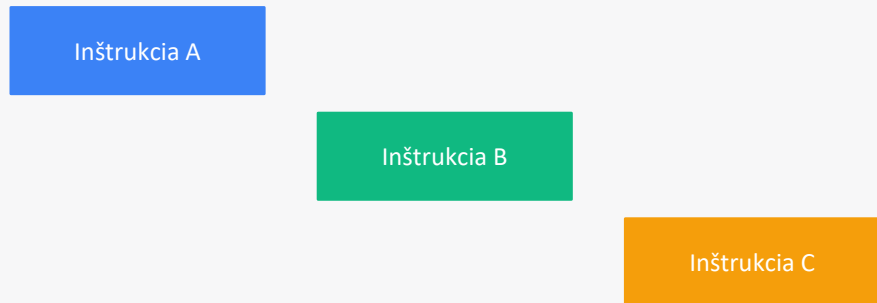
64-bit	32-bit	16-bit	8-bit (H/L)	Konvenčné využitie
RAX	EAX	AX	AH / AL	Akumulátor, návratová hodnota, vracia
RBX	EBX	BX	BH / BL	Base register, zachovávaný, drží
RCX	ECX	CX	CH / CL	Counter (slučky), počíta
RDX	EDX	DX	DH / DL	Dáta, I/O porty, nosí
RSI	ESI	SI	SIL	Source Index (reťazce), číta
RDI	EDI	DI	DIL	Destination Index, píše
RSP	ESP	SP	SPL	Stack Pointer, ukazuje
RBP	EBP	BP	BPL	Base Pointer (rámec zásobníka), rámčuje
R8–R15	R8D–R15D	R8W–R15W	R8B–R15B	Nové registre AMD64 (2003), rozširuje

Pipeline – Linková komunikácia v procesore

Pipeline umožňuje spracovávať viacero inštrukcií súčasne – každá je v inej fáze spracovania. AMD Zen 4 má 19-stupňový pipeline.



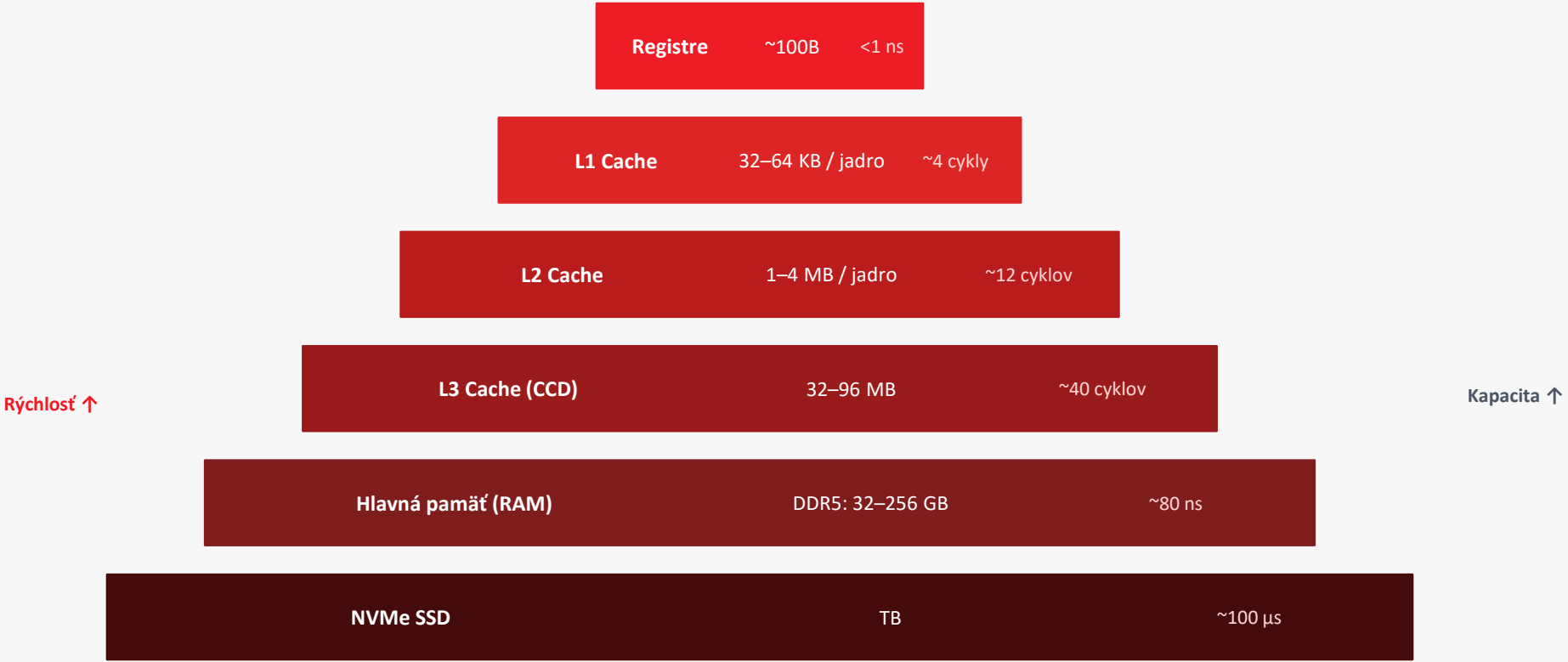
Vizualizácia – 3 inštrukcie v pipeline ($t = 1$):



vizualizácia 512-bitového registra ZMM – používa sa v AVX-512 na spracovanie 64 pixelov (alebo čísel) naraz. Každé číslo (1–512) je pozícia jedného bitu v tomto obrovskom registri

Výhody: vysoký throughput · Nevýhody: hazardy dát, riadenia, štrukturálne

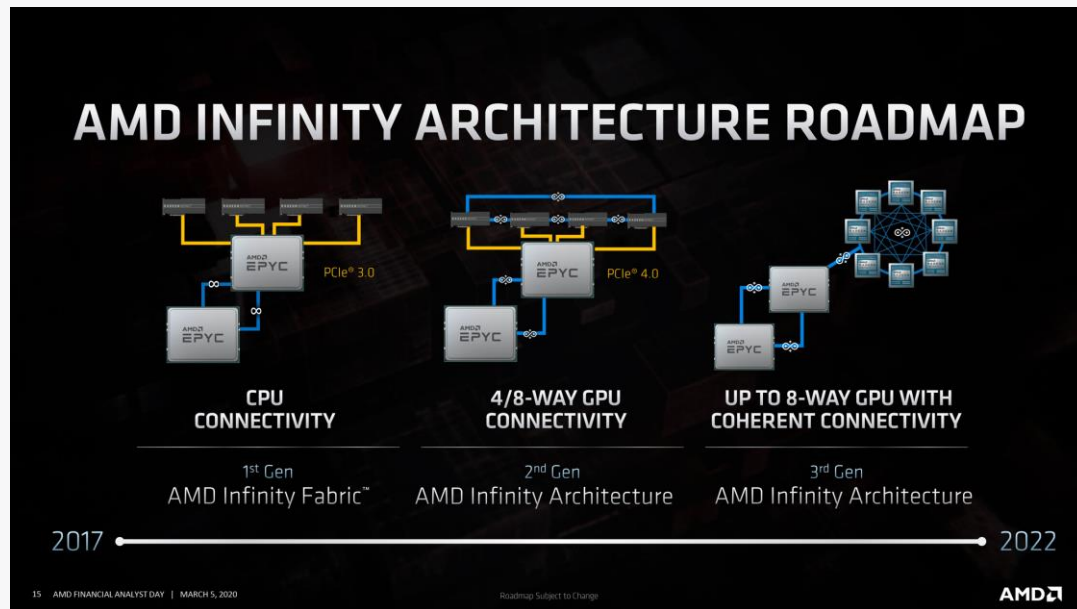
Pamäťová hierarchia – Cache v AMD CPU



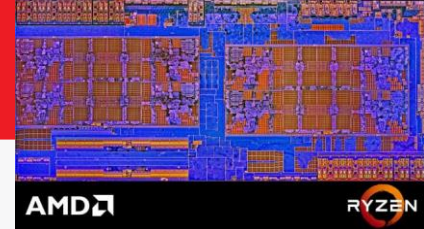
AMD Zen 4: L1I 32KB + L1D 32KB · L2 1MB · L3 32MB / 8 jadier (CCD)

Infinity Fabric – AMD Interconnect

- ▶ Proprietárna AMD zbernica pre prepojenie die → die
- ▶ Taktovaná synchronicky s pamäťou (UCLK/FCLK)
- ▶ Prenosová rýchlosť: ~500 GB/s (Zen 4, intra-CCD)
- ▶ Prepája CCD ↔ IOD, CPU ↔ GPU (APU, MI-séria)
- ▶ Infinity Fabric v2 (Zen 3+): lepšia latencia
- ▶ Škálovateľná na NUMA topológiu (EPYC Genoa: 12 CCD)



Chiplet dizajn – Motivácia a výhody



Tradičný monolitický CPU vs. Chiplet architektúra

Monolitický CPU

- ✗ Jeden veľký die → nižší yield
- ✗ Limitovaný počet jadier
- ✗ Všetky časti na rovnakom uzle
- ✗ Drahá výroba pri veľkých die

VS

Chiplet dizajn

- ✓ Malé die → vysoký yield
- ✓ Mixovanie výrobných uzlov
- ✓ Modularita – ľahké škálovanie
- ✓ Nižšia cena na jadro

AMD zaviedla Chiplet dizajn s Ryzen 3000 (Zen 2) v roku 2019 – revolúcia v CPU priemysle.

CCD a IOD – Anatomia AMD Chiplet CPU

CCD – Core Chiplet Die

Výrobný uzol: TSMC 4nm (Zen 5)

8 procesorových jadier

L1, L2, L3 cache

Branch predictor

Prefetcher

Jeden Ryzen 9000X má 1–2 CCD

↔
Infinity
Fabric

IOD – I/O Chiplet Die

Výrobný uzol: TSMC 6nm

Memory controller (DDR5)

PCIe 5.0 radič

USB, SATA, NVMe

Infinity Fabric hub

Security processor

Jeden na každý Ryzen CPU

Výhoda mixu: CCD na špičkovom nóde pre výkon, IOD na staršom (lacnejšom) nóde pre I/O funkcie.

Zen architektúra – Generácie a vývoj

Gen	Rok	Uzol	Kódové meno	Kľúčové zlepšenie	Pamäť / I/O
Zen 1	2017	14nm	Summit Ridge	+52% IPC vs Excavator	DDR4, PCIe 3.0
Zen 2	2019	7nm	Matisse	Chiplet debut, +15% IPC	DDR4, PCIe 4.0
Zen 3	2020	7nm	Vermeer	+19% IPC, CCD redesign	DDR4, PCIe 4.0
Zen 4	2022	5nm	Raphael	DDR5, PCIe 5.0, AVX-512	+13% IPC
Zen 5	2024	4nm	Granite Ridge	AI rozšírenia, VNNI, +16% IPC	DDR5, PCIe 5.0

Relatívne IPC (Zen 1 = 100):



Súčasnú AMD procesory – Ryzen 9000 & EPYC

Desktop

Ryzen 9 9950X

16C/32T, 5.7GHz, 64MB L3, 170W

Desktop

Ryzen 9 9900X

12C/24T, 5.6GHz, 64MB L3, 120W

Desktop

Ryzen 5 9600X

6C/12T, 5.4GHz, 32MB L3, 65W

HEDT

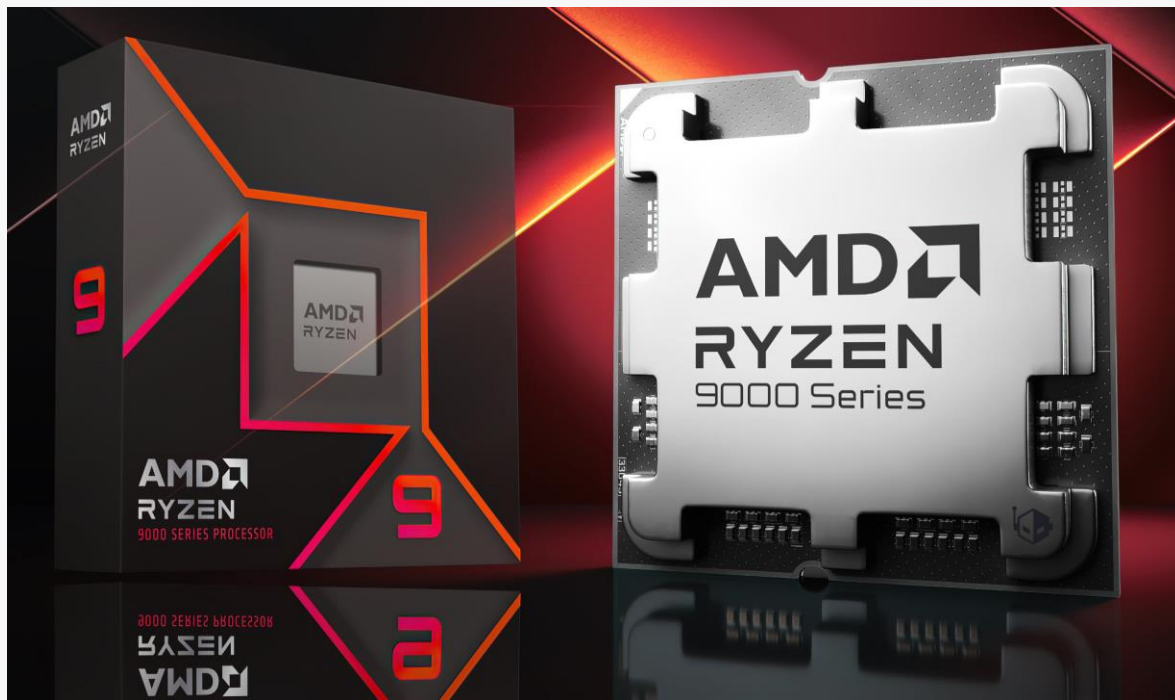
Threadripper 7000

96C/192T, 5.1GHz, SP6 socket

Server

EPYC Genoa 9654

96C, 384MB L3, 12x CCD



Porovnanie AMD vs. Intel – 2024

Vlastnosť	AMD Ryzen 9 9950X	Intel Core Ultra 9 285K
Jadrá / vlákna	16C / 32T	24C / 24T (hybrid)
Max. takt	5.7 GHz	5.7 GHz
L3 cache	64 MB	36 MB
Výrobný uzol	TSMC 4nm	Intel 20A / 3nm
TDP (PL1)	170 W	125 W
Pamäť	DDR5-5600	DDR5-6400
PCIe	5.0 × 24	5.0 × 20
Chiplet	Áno (2× CCD + IOD)	Nie (monolitický)
Cena (MSRP)	~\$700	~\$590

Vývoj do budúcnosti – AMD vízie 2025+

Zen 6 / 3nm

2025–2026

Očakávané ďalšie IPC zlepšenia, TSMC 3nm/N3E uzol. Lepšia energetická efektívnosť pre notebooky a AI.

3D V-Cache++

2025+

Rozšírenie 3D-stohovanej cache aj pre nové generácie. Primárne pre herné a vedecké workloady.

Chiplet 3.0

2026+

Vylepšená Infinity Fabric 3, rýchlejšie die-to-die prepojenie. Mixovanie GPU + CPU chipletov.

Ryzen AI (NPU)

Teraz

Integrovaný Neural Processing Unit pre Windows AI funkcie. AMD XDNA 2 architektúra v Ryzen AI 300.

EPYC Turin+

2025

Až 192 jadier na socket. Dominancia v HPC a AI inference serveroch (MI300X + EPYC kombinácia).

Heterogénna AI

2026+

Špecializované die pre AI výpočty priamo v CPU packagi. Konkurencia ARM + NVIDIA integráciám.

Diagnostické nástroje pre AMD CPU

CPU-Z

Zobrazí presné informácie o procesore: stepping, mikroarchitektúra, napätia, takt, cache.

OS: Windows | Freeware

Techpowerup

Monitorovanie teplôt, taktu, výkonu, spotreby v reálnom čase. Alerty.

OS: Windows | Freeware

HWiNFO64

Detailné senzory – napätie per-jadro (VID), package power, STAPM.

OS: Windows | Freeware

AMD Ryzen Master

Overclocking & monitoring v systéme Windows. AMD exkluzívny nástroj.

OS: Windows (AMD only) | Freeware

AMD µProf

AMD profiler pre vývojárov – analýza výkonu, hotspots v kóde.

OS: Windows / Linux | Freeware

BIOS / UEFI – Nastavenia pre AMD CPU

Expo / XMP

Aktivácia rýchleho profilu DDR5/DDR4 pamäte. AMD Expo = natívny štandard.

PBO / PPT

Precision Boost Overdrive – zvýši TDP limity pre automatický boost taktu.

CPU Ratio

Manuálne nastavenie multiplikátora všetkých jadier.

SoC Voltage

Napätie pre IOD (pamäťový radič). Kritické pre stabilitu DDR5.

FCLK

Takt Infinity Fabric. Ideál = 1:1 s UCLK (polovica DDR5 rýchlosti).

Microcode

BIOS update = nový microcode AMD. Opravy bezpečnosti (Zenbleed...).



Testovanie stability, výkonu a záťažové testy

Cinebench R23/2024

CPU rendering benchmark.
nCb skóre – štandardné porovnanie.
Meria single-core aj multi-core výkon.

Prime95

Záťažový stres test.
Small FFTs = max. teplo.
Ovečuje stabilitu OC.

OCCT

All-in-one stres test.
Monitorovanie počas záťaže.
Detekcia chýb a instabilit.

AMD µProf

Profesionálny profiler.
Analýza IPC, cache miss.
Optimalizácia kódu.

HWiNFO + MSI AB

Logging teplôt a taktu
počas hry / práce.
Long-term monitoring.

MemTest86

Testovanie pamäte.
Odhalí OC nestabilitu.
Bootable nástroj.

Možné poškodenia CPU a servisné postupy

Prehrievanie

Nedostatočné chladenie, chybná pasta. Prejaví: throttling, BSOD, vypínanie. Riešenie: výmena pasty, čistenie chladiča.

Piny socketu

AM5 má piny na základnej doske (LGA). Ohnutie = nefunkčný systém. Jemné narovnanie ihly.

Prepätie (OC)

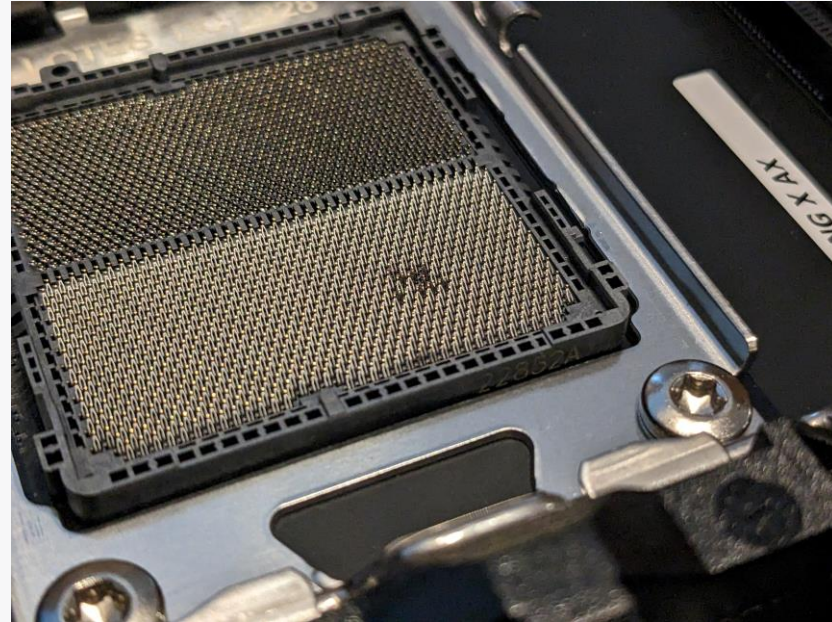
Nesprávne napätia pri OC. Degradácia tranzistorov – skrátená životnosť alebo okamžitá závada.

ESD poškodenie

Elektrostatický výboj počas montáže. Prevencia: antistatický náramok, práca na kovov. povrchu.

Zenbleed / CVE

Softvérové zraniteľnosti CPU. Riešenie: BIOS update = nový microcode patch od AMD.



Záver

- ✓ AMD zaviedla chiplet dizajn – revolúcia v CPU priemysle od Zen 2 (2019)
- ✓ Riadiaca jednotka koordinuje celý fetch→decode→execute cyklus
- ✓ AMD64 (x86-64) sa stal štandardom 64-bit výpočtov na celom svete
- ✓ Infinity Fabric umožňuje škálovateľné prepojenie tisícok jadier (EPYC)
- ✓ Zen 5 s AVX-512 a NPU posúva AMD do éry AI-natívnych procesorov
- ✓ Diagnostika (HWiNFO, Ryzen Master) a BIOS (PBO, Expo) sú kľúčové nástroje

Ďakujem za pozornosť!



Otázky?

Rád zodpoviem akékoľvek
otázky k téme AMD CPU.

Jakub Kerul'
jakub.kerul@student.ucm.sk

Zoznam použitej literatúry (ISO 690)

- [1] AMD. AMD Processor Architecture [online]. Santa Clara: Advanced Micro Devices, Inc., 2024 [cit. 2024-11-10]. Dostupné z: <https://www.amd.com/en/technologies/cpu-architecture>
-
- [2] INTEL CORPORATION. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual. 2024. Santa Clara: Intel, 2024.
-
- [3] PATTERSON, David A. a HENNESSY, John L. Computer Organization and Design: ARM Edition. 1. vyd. Waltham: Morgan Kaufmann, 2017. ISBN 978-0-12-801733-3.
-
- [4] AGNER FOG. The microarchitecture of Intel, AMD, and VIA CPUs [online]. DTU, 2024 [cit. 2024-11-10]. Dostupné z: <https://agner.org/optimize/microarchitecture.pdf>
-
- [5] AMD. Software Optimization Guide for AMD EPYC™ 9004 Series Processors. Sunnyvale: AMD, 2023. Pub. 57647.
-
- [6] ANANDTECH. AMD Zen 5 Architecture Deep Dive [online]. 2024 [cit. 2024-11-10]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/21469/amd-zen-5-architecture>
-
- [7] WIKICHIP. AMD Zen 5 Microarchitecture [online]. 2024 [cit. 2024-11-10]. Dostupné z: https://en.wikichip.org/wiki/amd/microarchitectures/zen_5
-
- [8] FRITZCHENS FRITZ. Die Shot Photography of AMD Processors [online]. Flickr, 2023 [cit. 2024-11-10]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/130561288@N04/> (CC BY 4.0)