

CPU – AMD

Riadiaca jednotka,
inštrukčné sady, registre,
komunikácia a chiplet

Marek Onofrej
2. Ročník
Počítačové architektúry



Obr. 1: Ryzen ako symbol modernej éry AMD.

Cieľ prezentácie a osnova

1. Ako funguje CPU

- čo je CPU
- fetch–decode–execute–write-back
- riadiaca jednotka, registre, ALU/FPU

2. Vývoj AMD

- od klonov Intelu
- K5/K6/Athlon
- Athlon 64, Bulldozer, Zen

3. Súčasnosť a prax

- desktop, mobile, AI, EPYC, Threadripper
- diagnostika, BIOS, firmware, servis
- budúce smerovanie AMD

Čo je CPU

Central Processing Unit (centrálna procesorová jednotka)

- Spracovanie instrukcii programu v presnom poradi alebo mimo poradia (out-of-order)
- Riadenie prístupu k registrovom, cache, operacnej pamati a I/O
- Koordinacia s GPU, SSD, sieťou, chipsetom a operacnym systemom
- Snaha o rovnovahu medzi vykonom, latenciou, spotrebou a teplotou

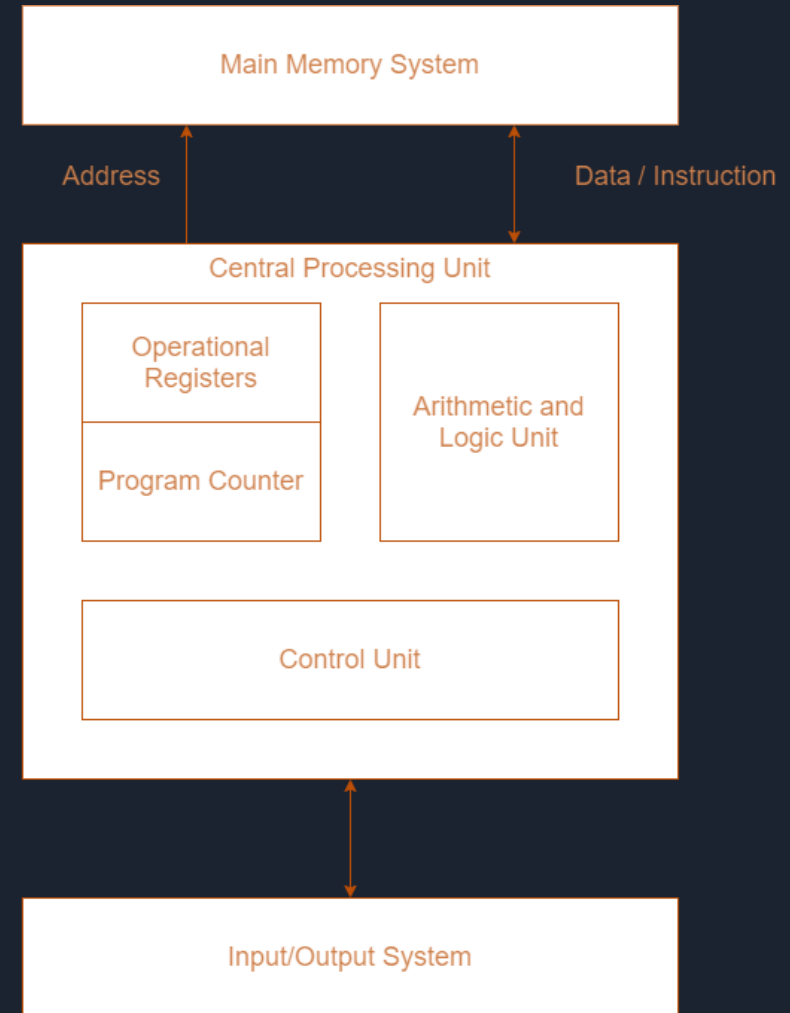


Schéma 1: Von Neumannová architektúra

Riadiaca jednotka: „mozog“ mikroarchitektúry

Control Unit (Riadiacia jednotka)

- Mozog samotného procesora
- Nevykonáva výpočty, ale *riadi* tok dát a inštrukcií
- Hovorí komponentom ALU (Aritmeticko-logická jednotka) a pamäti, čo majú robiť

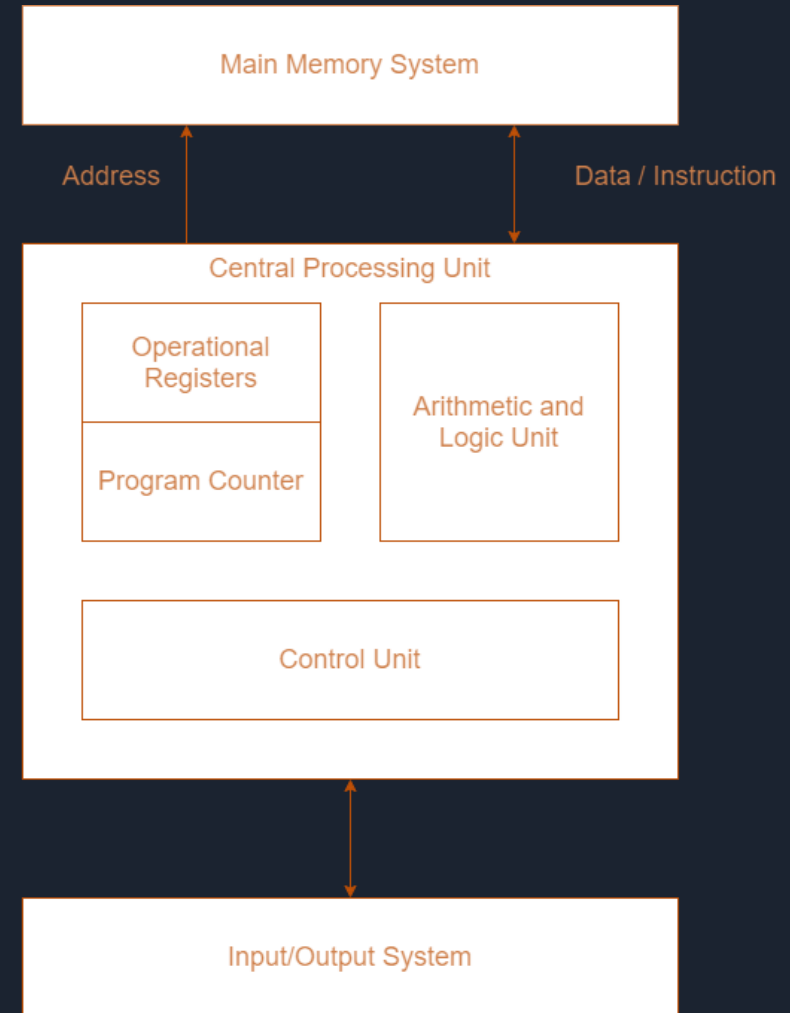
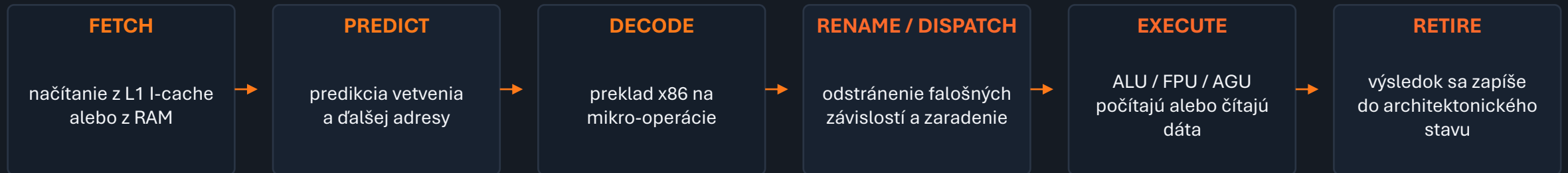


Schéma 1: Von Neumannová architektúra

Ako CPU vykonáva inštrukciu



Čo sa deje vo vnútri

- riadiaca jednotka vyberie ďalšiu inštrukciu a určí jej význam
- registre držia adresy, operandy a medzivýsledky priamo pri jadre
- ALU/FPU/LSU spracujú celočíselné, vektorové a pamäťové operácie
- výsledok sa uloží do registra alebo pamäte a inštrukcia sa ukončí

Prečo je to dôležité

- výkon nevzniká len frekvenciou, ale aj šírkou a efektivitou spracovania
- predikcia vetvenia, cache a plánovanie inštrukcií výrazne skracujú čakanie
- AMD dnes kombinuje vysoký počet jadier s čipletovým návrhom a rýchlou komunikáciou

Inštrukčné sady

Zaklad

- x86-64 / AMD64
- spätná kompatibilita s 32-bit x86
- aritmetika, skoky, load/store

SIMD / vektor

- SSE, AVX, AVX2, AVX-512
- FMA3 pre výpočty a media
- vyššia paralelizácia dát

Virtualizácia a bezpečnosť

- AMD-V / SVM, IOMMU
- AES, SHA, NX bit
- v serveroch aj SEV / SEV-SNP

Systemové inštrukcie

- riadenie prerušenia a správa stavu
- MSR, CPUID, energetické stavy
- dôležité pre OS, BIOS a hypervizor

Prečo je inštrukčná sada dôležitá?

- určuje, aké operácie procesor rozumie natívne
- ovplyvňuje kompatibilitu softvéru a operačných systémov
- rozšírenia SIMD zrýchľujú paralelné operácie nad viacerými dátami naraz
- virtualizačné a bezpečnostné inštrukcie sú dôležité najmä pre servery a podnikové PC

Registre

Skupiny registrov

GPR

RAX - R15
integer, adresy, pocitadla

Tok programu

RIP, RSP, RBP
instrukcie a zasobník

Stav a riadenie

RFLAGS, CRx, MSR
rezim, ochrana, system

Vektorove registre

XMM / YMM / ZMM
SIMD operacie

Hierarchia pamäťí

Registre

L1 cache

L2 cache

L3 cache

RAM

Komunikácia vo vnútri AMD CPU

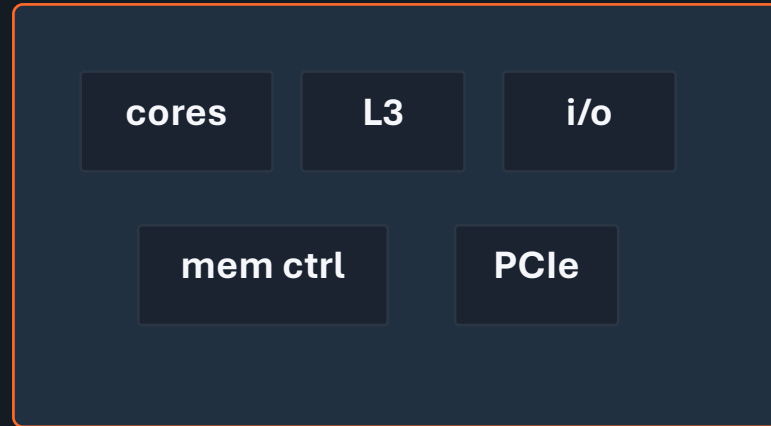


- CPU jadrá sú zoskupené v CCD blokoch.
- Pamäťový radič, PCIe a ďalšie I/O bývajú v samostatnom I/O die – teda nie priamo v CCD.
- Všetko musí prepájať rýchla interná komunikácia – pri AMD typicky Infinity Fabric.
- Práve toto rozdelenie umožnilo lepšie škálovanie moderných Ryzenov a EPYC procesorov.

- koherentná cache a fabric zabezpečujú, že jadrá pracujú s konzistentnými dátami
- oddelenie I/O die umožňuje kombinovať rôzne výrobné procesy pre jadrá a pre analógové / I/O časti
- v serveroch pribúda NUMA – latencia medzi čipletmi a medzi socketmi vplýva na škálovanie výkonu

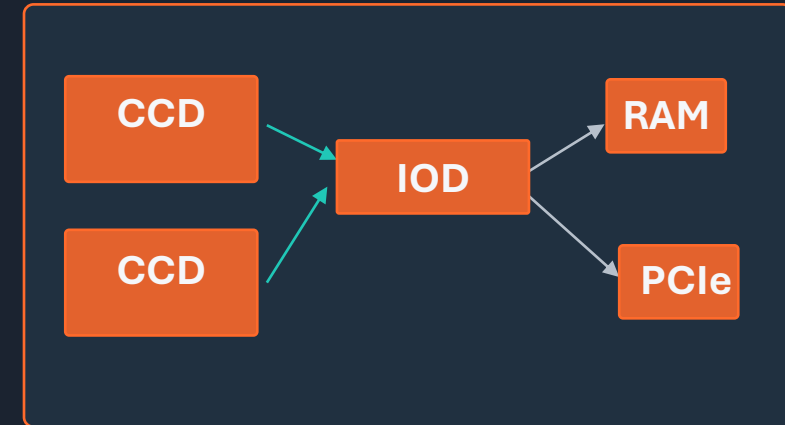
Monolit vs. chiplet

Monolitický čip



- + jednoduchšia vnútorná latencia
- – horšia výrobná výťažnosť pri veľkých čipoch
- – ťažšie škálovanie počtu jadier

Chipletový dizajn



- + lepšia výrobná ekonomika a škálovanie
- + jednoduchšie kombinovanie rôznych výrobných procesov
- – väčší dôraz na kvalitu interconnectu a latenciu medzi blokmi

Hlavné míľniky historického vývoja AMD CPU



Začiatky – klony Intelu



Obr. 2: AMD Am386DX-40.

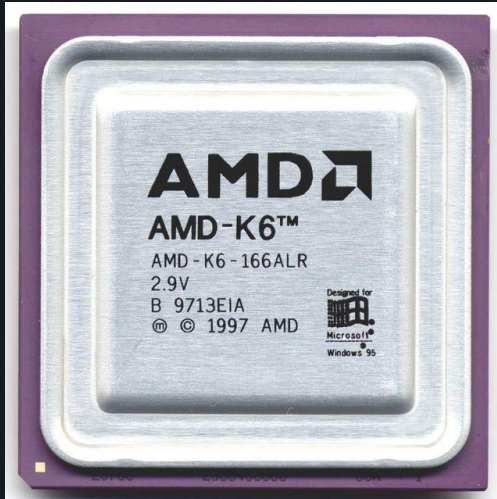
AMD v 70. a 80. rokoch vyrábalo aj kompatibilné návrhy k Intel čipom.

Prelomový bol najmä Am386 (1991), ktorý AMD definitívne posunul z role „second source“ ku konkurentovi.

Klony

- AMD bolo licenčný výrobca a vyrábalo kompatibilné x86 riešenia pre trh PC klonov.
- Am386 bol 100 % kompatibilný s Intel 80386 a predával sa vo veľkých objemoch.
- Táto etapa bola dôležitá, lebo AMD získalo know-how, výrobné skúsenosti aj pozíciu na trhu.
- Stále však nešlo o vlastnú architektonickú víziu – tá prišla až neskôr s K5/K6 a Athlonom.

K5, K6 a Athlon



Obr. 3: AMD K6.



Obr. 4: doska s procesorom AMD Athlon.

1996–1999

- K5 = prvý vlastnejší pokus AMD, ale nie úplne trhový hit.
- K6 = výrazne lepšia konkurencia v strednej triede; lacnejšia alternatíva k Pentiu.
- Athlon (1999) = veľký zlom. AMD sa stalo výkonnostne rešpektovaným hráčom.
- Pôvodný Athlon bol prvý desktopový x86 procesor s taktom 1 GHz.

Athlon 64 a Opteron

Prelom roku 2003

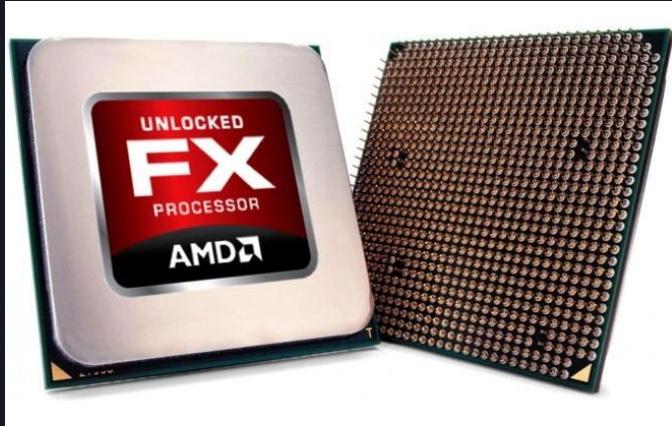
- AMD uviedlo architektúru AMD64 – 64-bitové rozšírenie x86, ktoré sa stalo dnešným štandardom.
- Opteron cieľil na servery, Athlon 64 na bežných používateľov a hráčov.
- Dôležitá bola aj integrácia pamäťového radiča priamo do CPU.
- V kombinácii s HyperTransportom to bol veľký technologický náskok voči vtedajšiemu Intelu.

32-bit x86 vs. AMD64

Vlastnosť	x86 (32-bit)	AMD64
Počet GPR	8	16
Šírka operandu	32 bit	64 bit
Adresovanie	obmedzenejšie	väčší priestor + RIP-relative
Kompatibilita	starý softvér	64-bit + kompatibilný mód
Smerovanie trhu	limity RAM	rast serverov, virtualizácie a workstation

Tab. 1: Významné rozdiely medzi 32-bit x86 a AMD64.

Bulldozer



Obr. 5: AMD FX / Bulldozer éra.

- Bulldozer (2011) stavil na modulárny návrh: časť zdrojov mala byť zdieľaná medzi „dvoma jadrami“.
- Na papieri to vyzeralo dobre pre viacvláknové úlohy, ale v praxi bola slabšia efektivita aj IPC.
- AMD v tom období zaostávalo voči Intelu vo výkone na jadro aj v spotrebe.
- Je to dôležitý míľnik, lebo práve po Bulldozeri musela prísť zásadná zmena – Zen.

**Ambícia:
veľa vlákien**



**Realita:
slabší IPC**

Zen – návrat AMD

Ryzen v roku 2017 znamenal pre AMD návrat medzi technologických lídrov.

Zen

2017

návrat IPC a SMT

Zen 2

2019

chiplet v
desktape

Zen 3

2020

lepšia cache a
latencie

Zen 4

2022

5 nm, AM5,
DDR5, PCIe 5.0

Zen 5

2024–2026

AI, vyššia
efektivita,
škálovanie

Súčasný portfólio AMD CPU

AMD dnes pokrýva viac samostatných vetiev. Najlepšie je chápať ich ako rôzne odpovede na rôzne typy práce.

Ryzen desktop

hry, bežné PC, AM5

Ryzen mobile

notebooky, efektivita,
APU

Ryzen AI

AI PC, NPU, Copilot+

Threadripper

workstation, render,
CAD

EPYC

server, cloud,
virtualizácia

Semi-custom

PS5, Xbox, Steam Deck

Desktop AMD dnes: Ryzen 9000, X3D a AM5

Na desktope AMD stavia najmä na platforme AM5 a rodine Ryzen 9000 so Zen 5.

- Ryzen 9000 prináša Zen 5; mainstream ide až do 16 jadier / 32 vlákien.
- X3D modely používajú 3D V-Cache a sú veľmi silné najmä v hrách a úlohách citlivých na latenciu cache.
- AM5 znamená DDR5, PCIe 5.0, EXPO, PBO a ekosystém dosiek pre ďalšie upgrady.

Príklad modelu

Ryzen 9 9950X3D

Jadrá

16 / 32

Boost

až 5,7 GHz

AM5

DDR5
PCIe 5.0
X3D

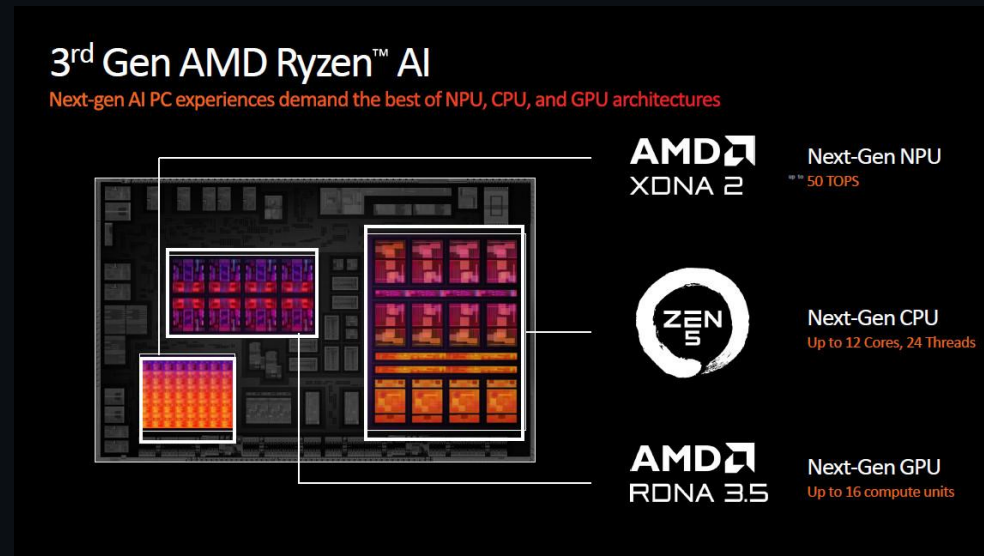


Obr. 6: Ryzen 9 9950X3D – ukážka dnešného high-end desktop CPU AMD.

Mobilný a AI segment: CPU + iGPU + NPU

V notebookoch sa CPU mení na heterogénny balík, kde rozhoduje výkon na watt aj lokálna AI akcelerácia.

- Ryzen AI 300 / PRO 300 spája Zen 5 jadrá, integrovanú grafiku RDNA a NPU XDNA 2.
- AMD uvádza NPU výkon 50+ TOPS pre nové AI PC a lokálne AI úlohy bez cloudu.
- Pre notebooky je kľúčové, aby CPU zvládalo vysoký výkon pri nízkej spotrebe a teplote.
- AI funkcie sa presúvajú z cloudových služieb priamo do zariadenia – kamera, audio, summarizácia, inferencia.



Obr. 7: AMD Ryzen AI – ukážka heterogénneho balíka CPU, NPU a integrovanej grafiky.

Workstation a server: Threadripper, EPYC



Threadripper PRO 9000 WX

až 96C / 192T
8-kanálové DDR5 RDIMM
veľa PCIe 5.0 liniek
render, simulácie, CAD,
lokálna AI

EPYC 9005

až 192 jadier
12-kanálové DDR5
masívne I/O a vysoká hustota
cloud, HPC, virtualizácia,
databázy



Semi-custom riešenia



PlayStation 5



Xbox Series S/X



Steam Deck

Obr. 10 - 12: AMD semi-custom zariadenia – konzoly a handheld.

APU / semi-custom: CPU a grafika v jednom navrhovanom riešení pre konkrétne zariadenie.

Kde sa v tom nachádzajú moje zariadenia

Notebook

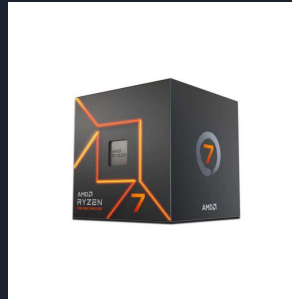
Ryzen 5 7535HS



Zen 3+ · 6C/12T
35–54 W · mobilná trieda

Desktop

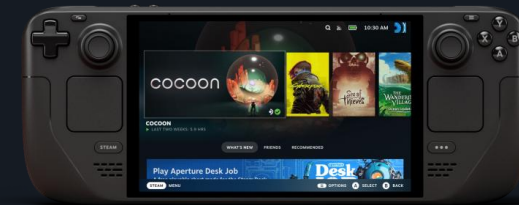
Ryzen 7 7700



Zen 4 · 8C/16T
65 W · AM5 · chiplet

Steam Deck

custom AMD APU



Zen 2 · 4C/8T
4–15 W · handheld

Metriky merania CPU

Najčastejšie pojmy

Frekvencia

koľko cyklov za sekundu (GHz)

IPC

koľko práce CPU urobí za jeden cyklus

Jadrá / vlákna

paralelizácia a multi-thread výkon

Cache

koľko dát sa zmestí blízko jadra

TDP / spotreba

tepelný a energetický profil

Výkon / watt

efektivita architektúry

Latencia / priepustnosť RAM

ako rýchlo prídu dáta z pamäte

Ako to preložiť do praxe?

- Hry často milujú vysoké IPC, frekvenciu a veľkú cache.
- Render a kompilácia využijú veľa jadier a vlákien.
- Notebook preferuje výkon na watt a nižšie TDP.
- Server preferuje škálovanie jadier, pamäť a I/O.
- AI PC navyše sleduje aj výkon NPU v TOPS.

UEFI, AGESA a nastavenia platfomy

- EXPO – nahratie DDR5 profilu pre vyššiu priepustnosť pamäte
- PBO / Curve Optimizer – jemné zvýšenie výkonu alebo undervolt
- SVM / IOMMU – virtualizácia a passthrough zariadení
- fTPM, Secure Boot, Memory Context Restore a ďalšie bezpečnostné a boot voľby
- BIOS update býva povinný pri nových CPU a pri opravách compatibility / bezpečnosti



Diagnosticke nástroje a správa zariadenia

Identifikácia

CPU-Z
HWiNFO
lscpu

→ typ CPU, jadra, takt,
napätie, pamäť

Ladenie

AMD Ryzen Master

→ profily, monitoring,
PBO, Eco Mode, Curve
Optimizer

Firmware / BIOS

UEFI Flash
vendor utility

→ update BIOSu, reset
CMOS, recovery

Stabilita / logy

Event Viewer
WHEA
lm-sensors

→ chyby jadra, RAM, idle
pády, teploty

Server management

BMC / IPMI / DASH

→ vzdialená správa a
alarmy

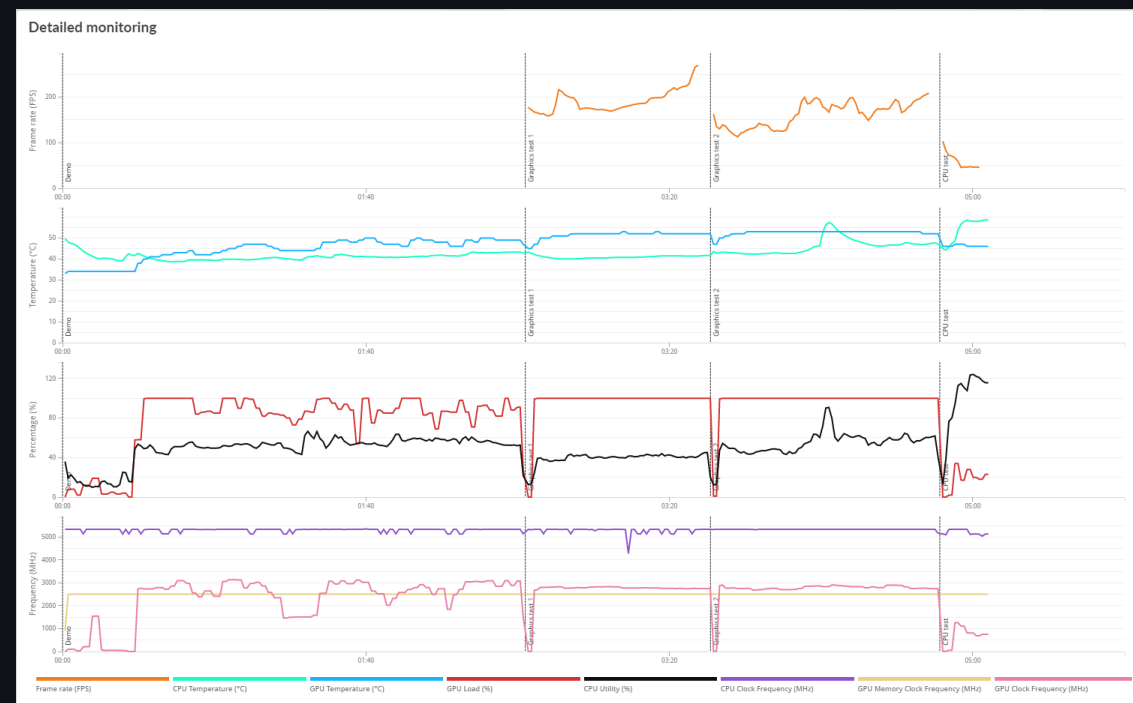
Testovanie výkonu a stability

Na meranie výkonu

- CPU-Z – základné info o CPU a single / multi thread benchmark
- Cinebench – rýchly test render výkonu
- AIDA64 – širší balík testov, cache a pamäť
- Herné benchmarky – dôležité pri X3D a desktopoch

Na test stability

OCCT, Prime95, AIDA64 stress test
→ sledujú teplotu, napätie, chladenie a chyby pri záťaži.



Obr. 16: Screenshot grafu z 3DMark (Time Spy)

Možné poškodenia a servisné riziká

Teplo a chladenie

zlá pasta
slabý pritlak chladiča
prach a zlé airflow
throttling a nestabilita

RAM a nastavenia

agresívne EXPO
príliš nízky undervolt
CO/PBO mimo stability
idle pády a WHEA

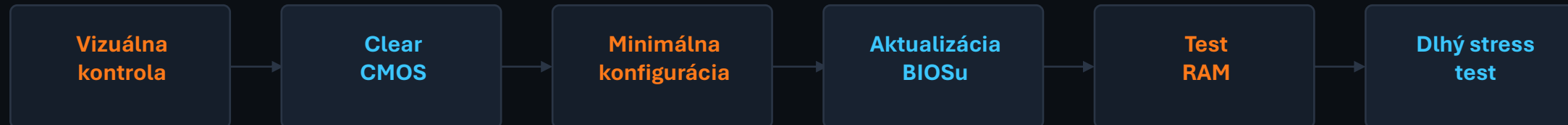
Napájanie a firmware

nestabilný zdroj / VRM
zlá verzia BIOSu
neúspešný flash
AGESA bugy

Mechanické chyby

poškodený socket
zlé osadenie CPU
skrat pod doskou
chybný chladič

Odporúčaný servisný postup



Vyvoj do buducnosti - ake su vizie AMD

Venice a TSMC N2

AMD uviedlo, ze EPYC „Venice“ je prvym HPC produktom privedenym na TSMC N2 a je krokom k dalsiemu serverovemu CPU skoku.

AI v klientskych CPU

NPU sa z notebookov rozsiruje na desktop a roadmapa klientskych CPU pocita s dalsim rastom AI vykonu.

Viac chipletov a nove balenie

chiplet + 3D packaging + rychlejsia fabric maju zvyisit hustotu vykonu aj energeticku efektivitu.

Bezpecnost a confidential compute

serverove CPU budu dalej tlacit izolaciu VM, bezpecny firmware a vyssiu spolahlivost v datacentre.

Ďakujem za pozornosť

Zdroje

HENNESSY, John L. a PATTERSON, David A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 6. vyd. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2017. ISBN 978-0-12-811905-1.

STALLINGS, William. Computer Organization and Architecture: Designing for Performance. 11. vyd. Londýn: Pearson, 2018. ISBN 978-0-13-499719-3.

ADVANCED MICRO DEVICES. AMD64 Architecture Programmer's Manual Volume 1: Application Programming [online]. Santa Clara: AMD Corporation, 2024 Dostupné na: <https://www.amd.com/en/support/tech-docs/amd64-architecture-programmers-manual-volume-1-application-programming>

CUTRESS, Ian. The AMD Zen and Ryzen 7 Review: A Deep Dive on 1800X, 1700X and 1700. AnandTech [online]. 2. marec 2017 Dostupné na: <https://www.anandtech.com/show/11170>

HPCWIRE. AMD Tapes Out 1st HPC Product on TSMC 2nm Process with 'Venice' EPYC CPU. HPCwire [online]. 15. apríl 2025 Dostupné na: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/amd-tapes-out-1st-hpc-product-on-tsmc-2nm-process-with-venice-epyc-cpu/>

WALTON, Steven. AMD Ryzen 7 7800X3D Review: The New Gaming Champion. TechSpot [online]. 4. apríl 2023 Dostupné na: <https://www.techspot.com/review/2657-amd-ryzen-7800x3d/>