

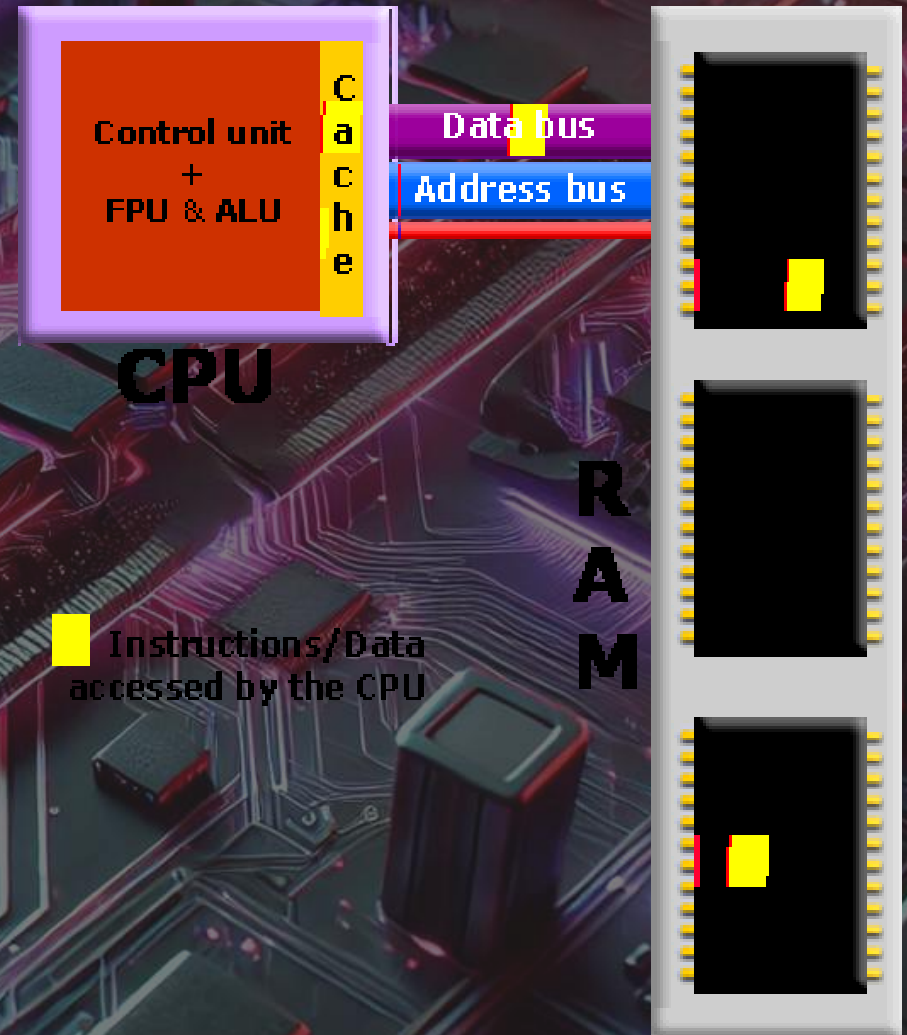


Operačná pamäť

Šimon Čalik
FPV UCM UPTI
2. Ročník
2024/2025

Čo je RAM

- Operatívne ukladanie dát, s ktorými pracuje procesor
- Shadowing = z disku na RAM
- Rýchly prístup aj rýchle prepisovanie jej obsahu
- Vybavovacia doba sa pohybuje od jednotiek po stovky nanosekúnd
- Energeticky závislá – pri vypnutí počítača sa jej obsah vymaže.



Záložní baterie pro BIOS

BIOS

IDE konektory pro HDD a CD

FDC konektor pro
disketové
mechaniky 3^{1/2"}

Sloty pro RAM

Northbridge

Patice pro CPU

Napájecí konektor ATX

Jumper pro RESET BIOSu

RAID

Southbridge čipové sady

Integrovaný obvod řadiče
pevných disků

AMR slot

Konektory
integrované
zvukové

PCI sloty

Grafický slot AGP

Vstupní a výstupní
porty (I/O porty)

Notch

FRONT



Pin 1

5 Volt
Notch

Buffer Notch

(Non-Buffer notch over)

Pin 84

DRAM: 1x16 or 2x8
5 Volt SOJ or TSOP

Buffer Chip

1"

varies



5 1/4" (standard)



30 pin SIMM



72 pin SIMM



MicroDIMM
(rare)



184 pin RAMBus RDRAM RIMM



100 pin DIMM
printer RAM



72 pin SODIMM
(rare)



144 pin SDRAM
SODIMM



200 pin DDR
SODIMM



200 pin DDR-2
SODIMM



168 pin SDRAM DIMM



184 pin DDR DIMM



240 pin DDR-2 DIMM



DDR2 FB-DIMM flat heatsink



204 pin DDR-3 SODIMM



240 pin DDR-3 DIMM



DDR-2 FB-DIMM
with large Apple MacPro heatsink



260 pin DDR-4 SODIMM



288 pin DDR-4 DIMM
note curved edge on pins

Parametre RAM

□ Parametre:

□ Kapacita – Veľkosť RAMky

- |MB, GB| (napr.: 2, 4, 8, 16, 32GB)

□ Typ – (napr.: SRAM, DRAM, ...)

□ Frekvencia – „Clock speed“ – Prenos dát z RAM na CPU, udáva počet cyklov, ktoré RAM vykoná za sekundu

- |MHz| (napr.: 3200 MHz, 3600 MHz, 6000 MHz, ...)

- $1 \text{ cyklus} = \frac{1}{\text{Frekvencia(Hz)}} \Rightarrow \frac{1}{3\,200\,000\,000} = 0,3125 \text{ ns}$

□ Latencia – udáva oneskorenie pri prístupe k dátam

- |CL| (napr.: CL9, CL10, CL11, ...)

- pre DDR = $\frac{\text{Latencia} * 2000}{\text{Frekvencia(MHz)}}$

- 3200 MHz a CL16 $\Rightarrow \frac{16 * 2000}{3200} = 10 \text{ ns}$

□ Priepustnosť – Označuje maximálne množstvo dát, ktoré môže RAM preniesť za jednu sekundu.

- závisí od frekvencie, šírky zbernice a typu pamäte.

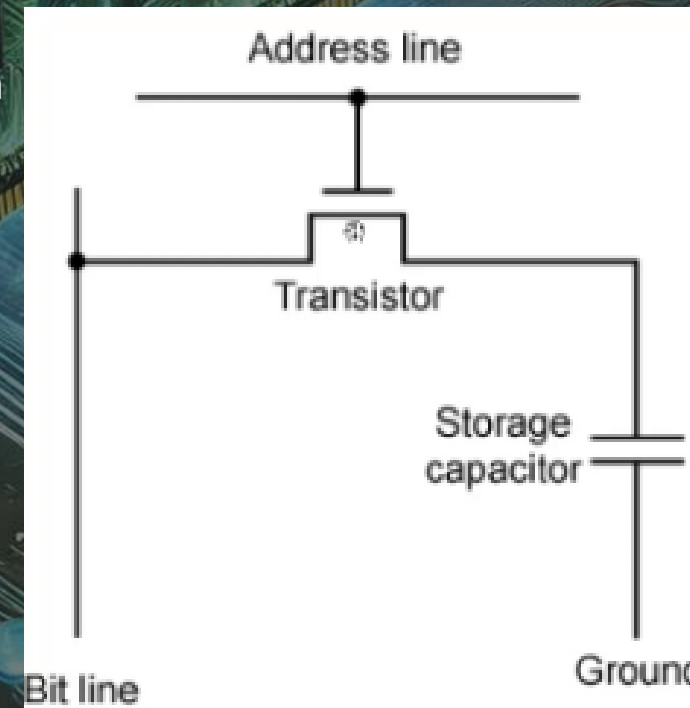
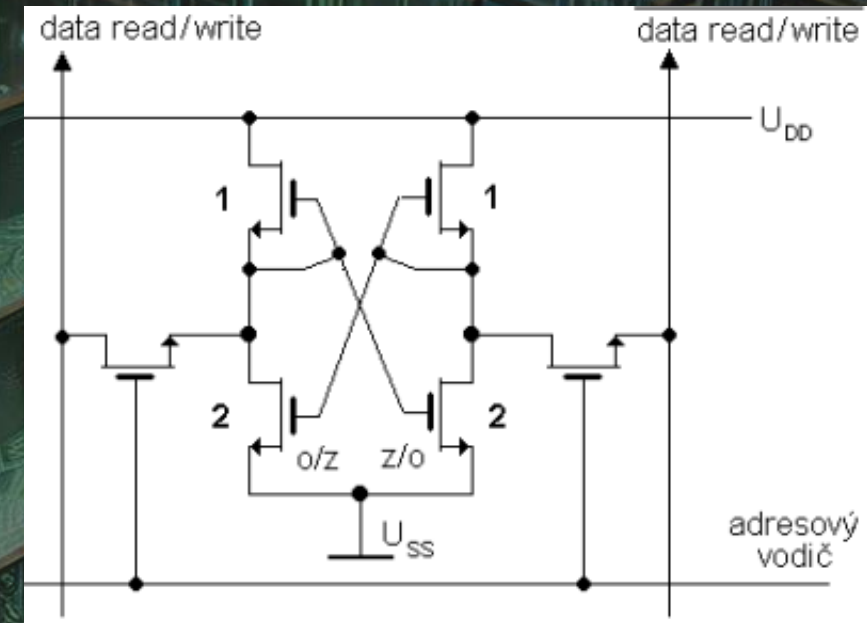
- |GB/s|

- $\text{Priepustnosť} = \text{Frekvencia(MHz)} * \text{šírka zbernice(B)} * \text{Počet prenosov za cyklus}$

- Pre DDR $\Rightarrow \text{Efektívna frekvencia} * 8 \text{ (Bajtov)}$

Typy RAMky

- Statická
 - Drží informáciu bez potreby refreshovania
 - Ukladá bity pomocou klopných obvodov tzv. flip-flops
 - Nižšia spotreba energie
 - Menšia kapacita
 - Vyššia cena
 - Využitie v Cache pamäti (L1, L2 a L3) v procesoroch
- Dynamická
 - Potreba refreshovania pre udržanie informácie.
 - Menšia, pomalšia ale lacnejšia ako SRAM
 - Pomalšie ako SRAM
 - Ukladá bity v kondenzátoroch, tie sa musia obnovovať/refreshovať
 - Vyššia spotreba energie
 - Lacnejšie ako SRAM
 - Využitie v hlavnej operačnej pamäti



SRAM

- Rýchlosť
 - 1-20 ns
- Je tvorená bistabilnými klopnými obvodmi.
- Je rýchlejšia ako DRAM ale vďaka tomu že je komplikovanejšia konštrukcia jej bunky, sa jej cena zdvíha a tak sa využíva len keď je potrebná vysoká rýchlosť, napríklad v cache pamäti.
- Rozmerovo je väčšia, preto sa jej používa menej, to znižuje celkovú kapacitu SRAM.
- 6 tranzistorové SRAM sa najviac využívajú v komerčných čipoch
- Využíva sa pár KB až do cca 10 MB
- Aby sa informácia udržala v bunke je potrebné aby napájanie nekolísalo o viac ako 5-10% napájacieho napätia

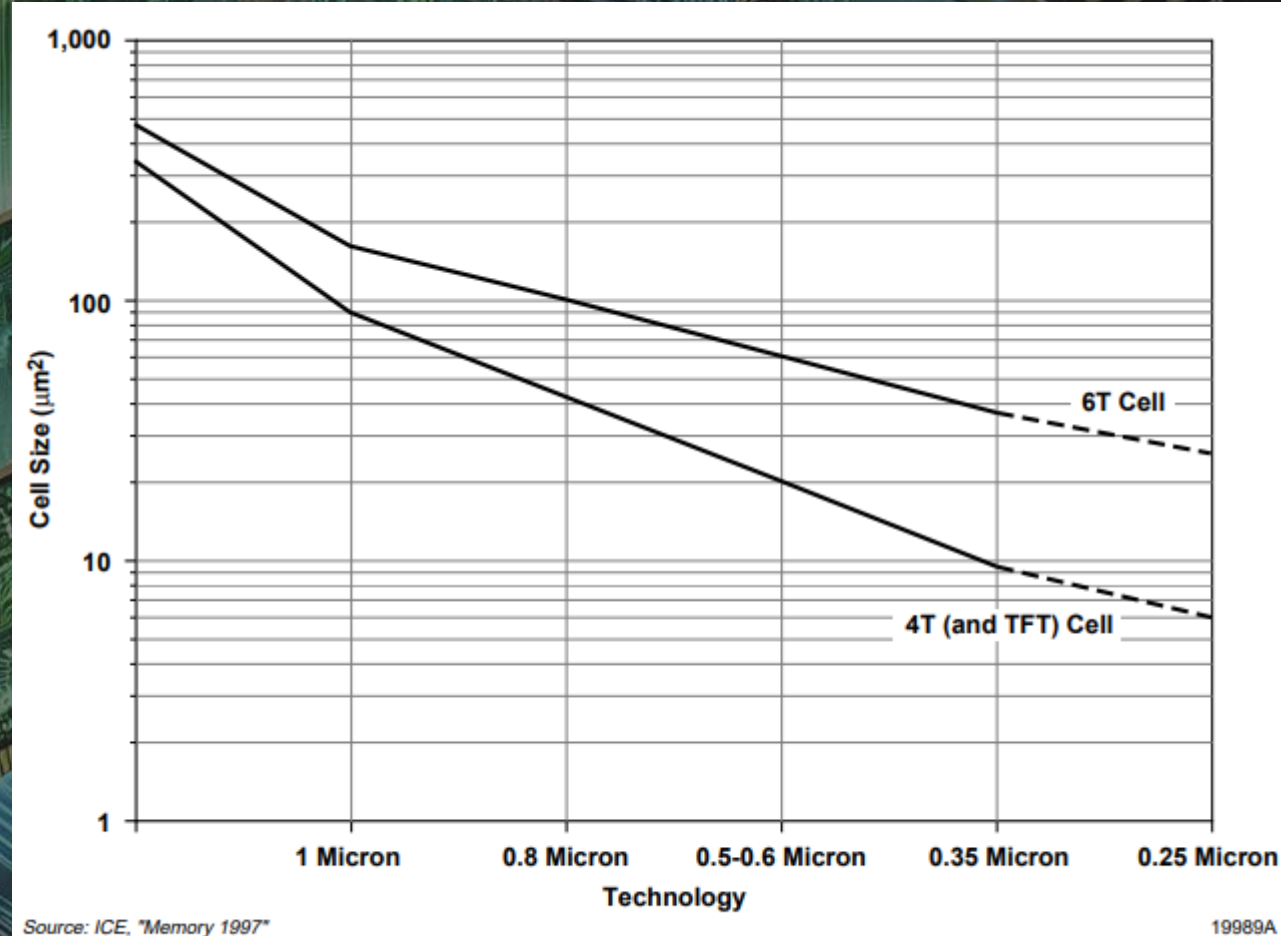


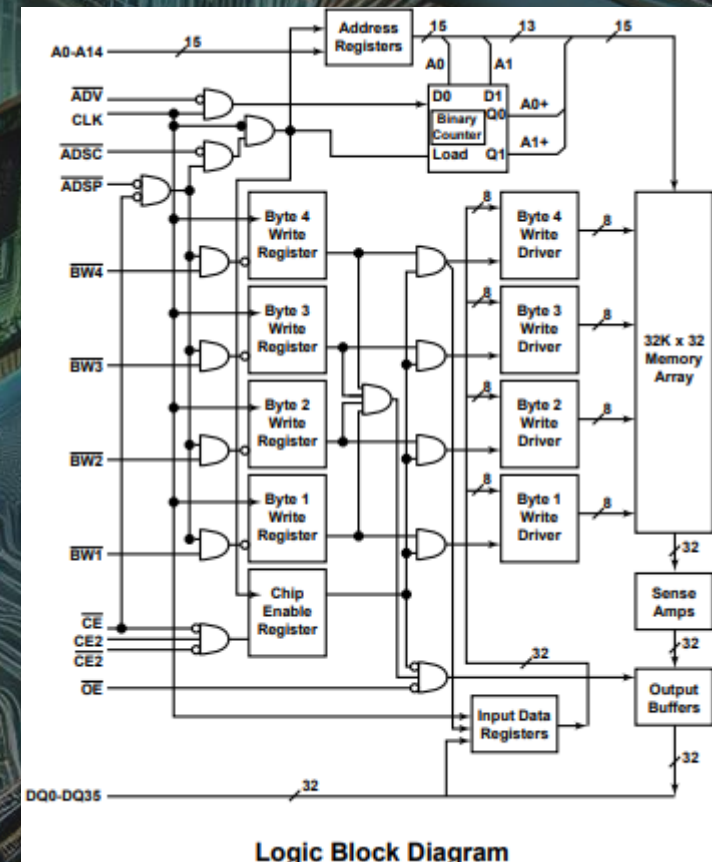
Figure 8-13. Trend of SRAM Cell Sizes

SRAM

- Ako procesor komunikuje s RAM:
 - Asynchrónna – pomocou 3 signálov
 - CS (Chip Select) / CE (Chip Enable) - Activates or deactivates the chip
 - OE (Output Enable) - Controls whether the chip sends data out
 - WE (Write Enable) - Controls whether data is written or read to the chip.
 - 8 bitový výstup
 - Využívaná v mikrokontroléroch
 - Frekvencia = 200 MHz

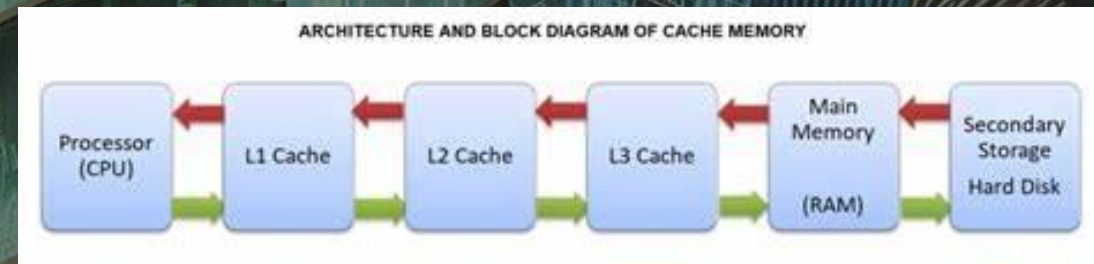
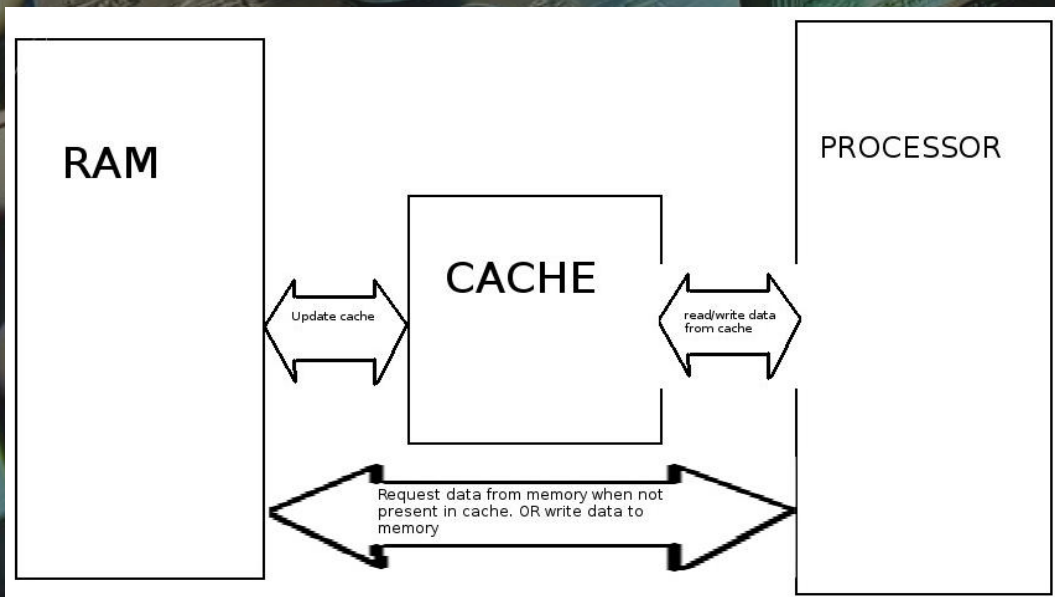
Po dopyt po veľmi rýchlych SRAM vznikli aj

- Synchronne – SSRAM
 - cykly čítania a zápisu má synchronizované s hodinami procesora
 - Používaná v PC a pracovných staniciach s procesormi Pentium alebo PowerPC
 - 32 bitový výstup
 - Frekvencia = 250 MHz



CACHE

- Cache, nazývaná medzipamäť / pomocná pamäť
 - slúži na ukladanie dát, ktoré sú opakovane používané
 - Do tejto pamäte si aplikácie ukladajú dáta preto, aby ich nemuseli neustále generovať nanovo. To prispieva k zrýchleniu a lepšej plynulosti zariadenia.
- napr.: najpočúvanejšie skladby na Spotify.
- 10-100x rýchlejšia ako DRAM



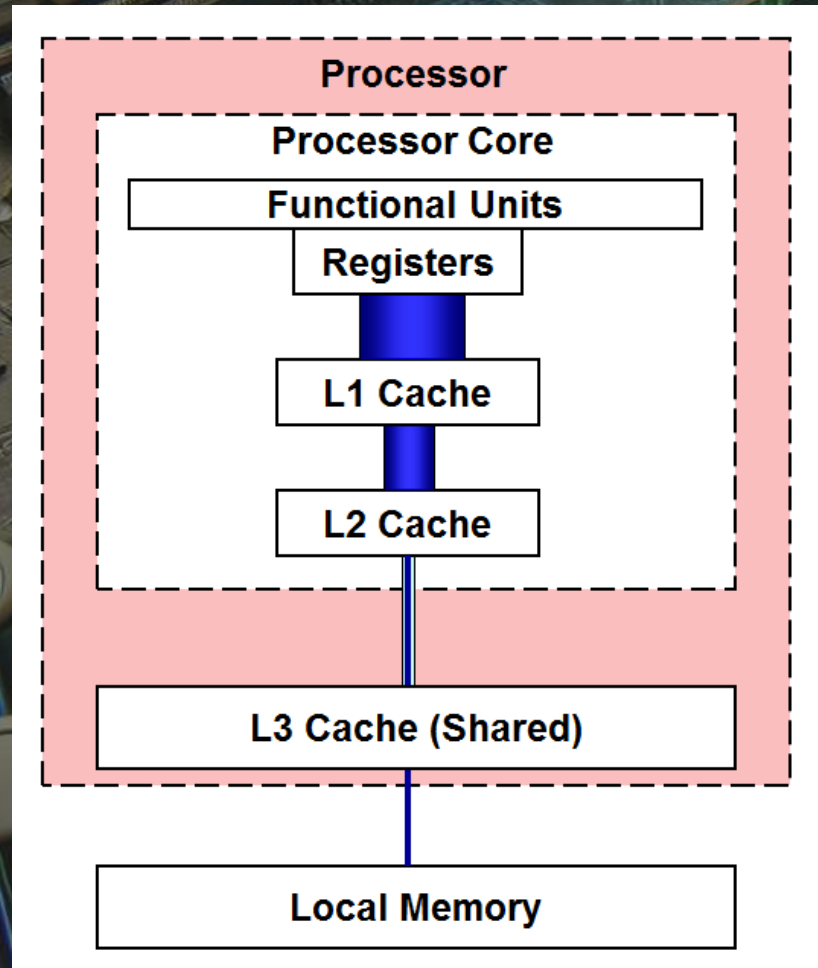
- Úroveň L1 (Level 1) cache, ktorá je rozdelená na dve časti – inštrukčnú cache (Instruction Cache) a dátovú cache (Data Cache)
- L2, L3 úrovne majú väčšiu kapacitu, ale sú pomalšie než úroveň L1.
- Cache pamäte na rôznych úrovniach je organizovaná hierarchicky, nižšia úroveň slúži ako medzipamäť pre vyššiu úroveň.

L1 – 32–128 KB, priamo v jadrách CPU. 1ns

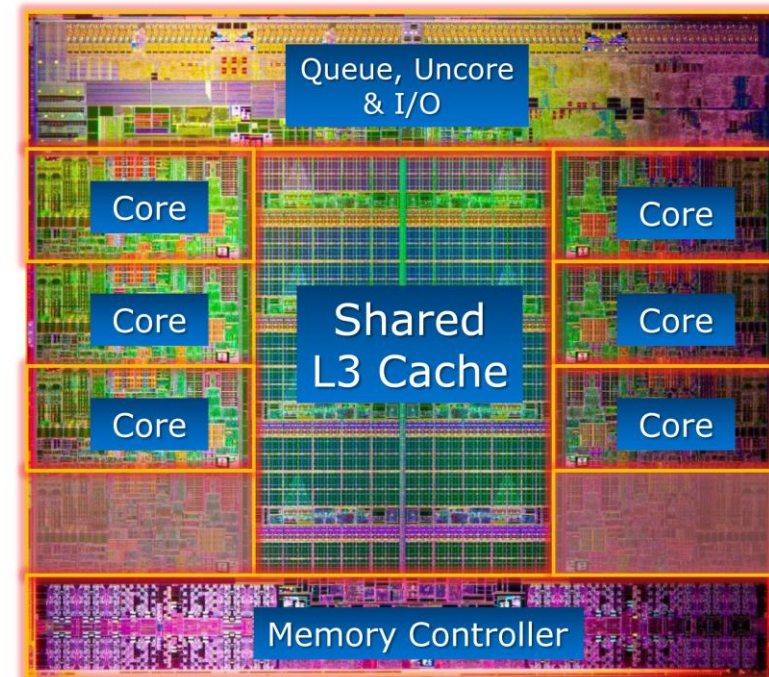
L2 – 256 KB – 1 MB zdieľaná/jednojadrová. 3ns

L3 – 8–64 MB, zdieľaná medzi viacerými jadrami. 12ns

CACHE

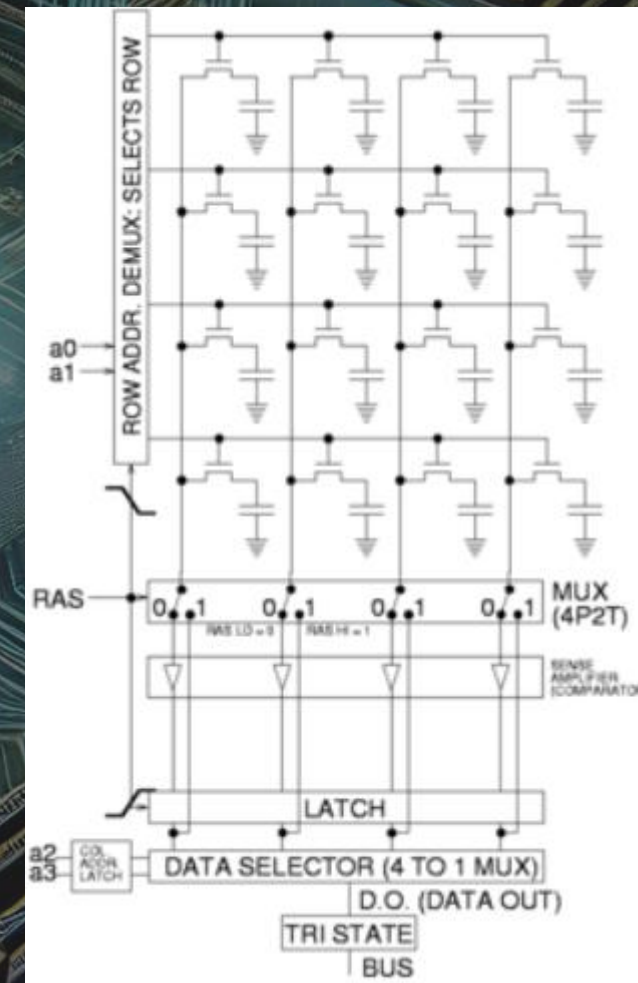


Intel® Core™ i7-3960X Processor Die Detail



DRAM

- Rýchlosť
 - 10-100ns
- Bunky tvorené tranzistorom a kondenzátorom, ich rozmery a kapacita je veľmi malá, preto je potrebné ich často obnovovať.
- Tranzistory (pikofarady)
- Ich výroba je menej nákladná a rozmerovo je menšia preto sa využíva viac a vo väčších kapacitách
- Konštrukcia je jednoduchšia než pri SRAM
- Vyššie kapacity
- Proces čítania je deštruktívny proces, pretože keď sa dáta čítajú, kondenzátory sa vybijú na 0



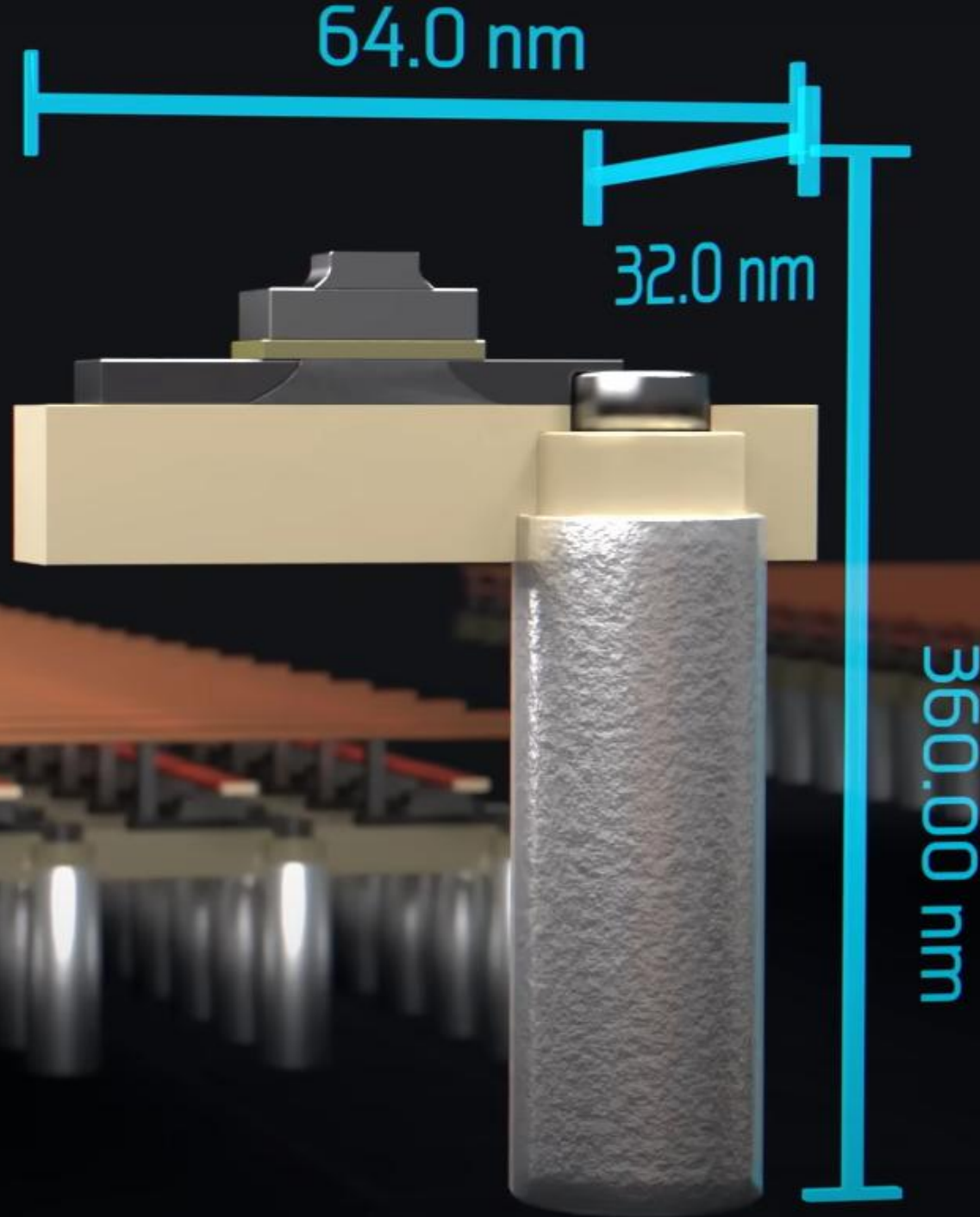
Blok pamäťových buniek DRAM

32 Banks
x 8 192 Columns
x 65 536 Rows

17 179 869 184 1T1C DRAM
Memory Cells



1T1C DRAM Memory Cell



640 nm

SHOWING 24 OF 64 Columns

DRAM Control

- Reading
- Writing
- Refreshing

Row Decoder

010110101001011
Row Selection

OPEN Row

1.0V
0.5V
0.0V

Column Multiplexer

1101010101
Column Selection

Write
Driver

Read
Driver

Input / Output

IO Data Wires

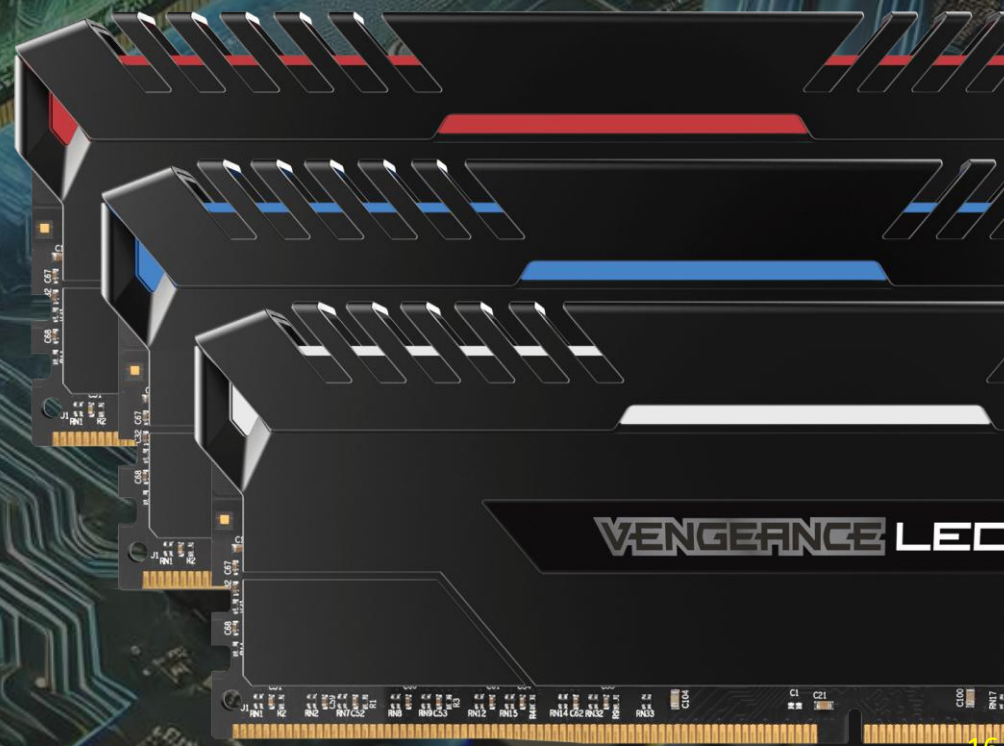
x8
To Memory Channel / CPU

Branch

DRAM

- SDRAM – Synchronous DRAM
 - zvyšuje výkon vďaka svojim pinom, ktoré sa synchronizujú s dátovým spojením medzi hlavnou pamäťou a procesorom
- ECC DRAM – Error-Correcting Code DRAM
 - Dokáže nájsť poškodené údaje a niekedy ich aj opraviť vďaka kódu na opravu chýb
- RDRAM – Rambus Dynamic RAM
- FPM DRAM (Fast Page Mode DRAM)
 - Pamäťová stránka sa udržiava v otvorenom stave, čím sa zrýchľuje čítanie viacerých bitov.
- DDR SDRAM – Double Data Rate Synchronous DRAM
 - dvojnásobná frekvencia prenosu dát než SDRAM
 - Kapacita modulov : do 1GB
 - Frekvencia: 333-400 Mhz
 - Latencia: CL2 – CL3
 - Napätie = 2,5V
 - Priepustnosť = 3.2 GB/s

- DDR2 SDRAM – Double Data Rate 2 Synchronous DRAM
 - Kapacita modulov : do 4GB
 - Frekvencia: 667 - 800 MHz
 - Latencia: CL5 – CL6
 - Napätie = 1,8V
 - Priepustnosť = 8.5 GB/s
- DDR3 SDRAM – Double Data Rate 3 Synchronous DRAM
 - Kapacita modulov : do 16GB
 - Frekvencia: 1 333 - 1 600 MHz
 - Latencia: CL9 – CL11
 - Napätie = 1,8V
 - Priepustnosť = 17.0 GB/s



DRAM

- SDRAM – Synchronous DRAM
 - zvyšuje výkon vďaka svojim pinom, ktoré sa synchronizujú s dátovým spojením medzi hlavnou pamäťou a procesorom
- ECC DRAM – Error-Correcting Code DRAM
 - Dokáže nájsť poškodené údaje a niekedy ich aj opraviť vďaka kódu na opravu chýb
- RDRAM – Rambus Dynamic RAM
- FPM DRAM (Fast Page Mode DRAM)
 - Pamäťová stránka sa udržiava v otvorenom stave, čím sa zrýchľuje čítanie viacerých bitov.
- DDR SDRAM – Double Data Rate Synchronous DRAM
 - dvojnásobná frekvencia prenosu dát než SDRAM
 - Kapacita modulov : do 1GB
 - Frekvencia: 333-400 Mhz
 - Latencia: CL2 – CL3
 - Napätie = 2,5V
 - Priepustnosť = 3.2 GB/s

- DDR4 SDRAM – Double Data Rate 4 Synchronous DRAM
 - Kapacita modulov : do 64GB
 - Frekvencia: 1866 – 2666 Mhz
 - Latencia: CL13 – CL18
 - Napätie = 1,2V
 - Priepustnosť = 28.8 GB/s
- DDR5 SDRAM – Double Data Rate 5 Synchronous DRAM
 - Kapacita modulov : do 64GB – 128GB
 - Frekvencia: 6400 MHz
 - Latencia: CL32+
 - Napätie: 1.1 V
 - Priepustnosť = 67.2 GB/s

Type of RAM	Year Invented
FPM-(Fast page mode RAM)-	1990
EDO RAM (Extended data out random access memory)	1994
SDRAM (Single dynamic RAM)	1996
RDRAM (Rambus RAM)	1998
DDR (Double Data Rate)	2000
DDR2	2003
DDR3	2007
DDR4	2012

DRAM

DDR



DDR2



DDR3



DDR4



- DDR4 SDRAM – Double Data Rate 4 Synchronous DRAM
 - Kapacita modulov : do 64GB
 - Frekvencia: 1866 – 2666 Mhz
 - Latencia: CL13 – CL18
 - Napätie = 1,2V
 - Priepustnosť = 28.8 GB/s
- DDR5 SDRAM – Double Data Rate 5 Synchronous DRAM
 - Kapacita modulov : do 64GB – 128GB
 - Frekvencia: 6400 MHz
 - Latencia: CL32+
 - Napätie: 1.1 V
 - Priepustnosť = 67.2 GB/s

	2000	2003	2007	2014	2020
	DDR	DDR2	DDR3	DDR4	DDR5
Power Consumption(V)	2.5	1.8	1.35/1.5	1.2	1.1
Transfer Rate(MT/s)	200-400	400-800	800-1866	1866-3200	4800-6400
Peak Transfer Rate(MB/s)	3200	6400	14928	25600	84000
I/O Bus Clock (MHz)	100-200	200-400	400-933	933-1600	1600 – 4800
DIMM Pins	184	240	240	288	288
SO-DIMM Pins	200	200	204	260	262

DRAM

Crucial Pro DDR5 RAM 32GB Kit —————>

Corsair Vengeance RGB DDR5 32GB

Corsair Vengeance DDR5 32GB

G.SKILL Trident Z5 RGB DDR5 64GB

G.SKILL Trident Z5 Neo RGB DDR5

Crucial Pro DDR5 32GB Memory Kit

Corsair Vengeance DDR5 64GB RAM

Corsair Vengeance RGB DDR5 32GB

SP Silicon Power DDR5 32GB RAM

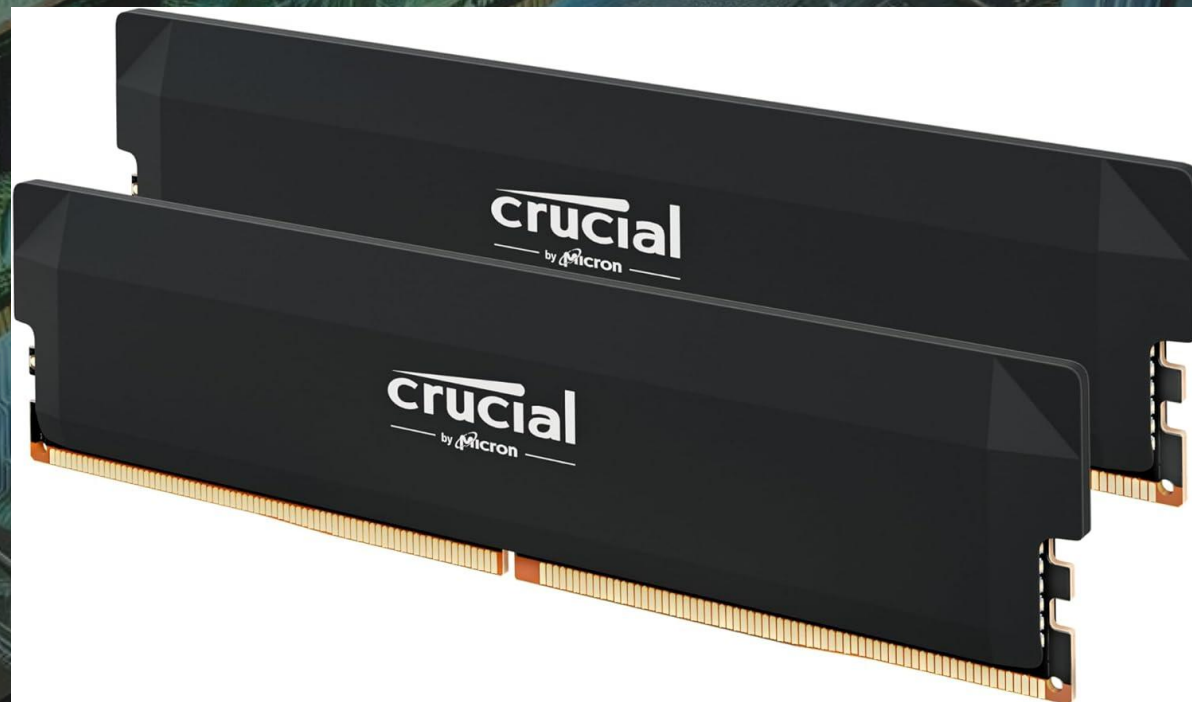
Corsair Vengeance RGB DDR5 32GB

Corsair Vengeance RGB DDR5 32GB

Corsair Vengeance DDR5 64GB

Crucial Pro DDR5 RAM 32GB Kit (2x16GB) 6000MHz CL36, Overclocking Desktop Gaming Memory, Intel XMP 3.0 & AMD Expo Compatible - Black CP2K16G60C36U5B

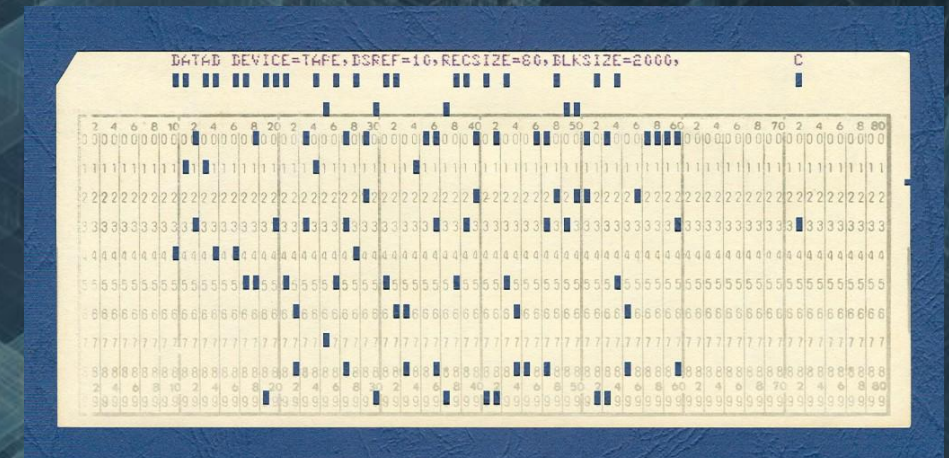
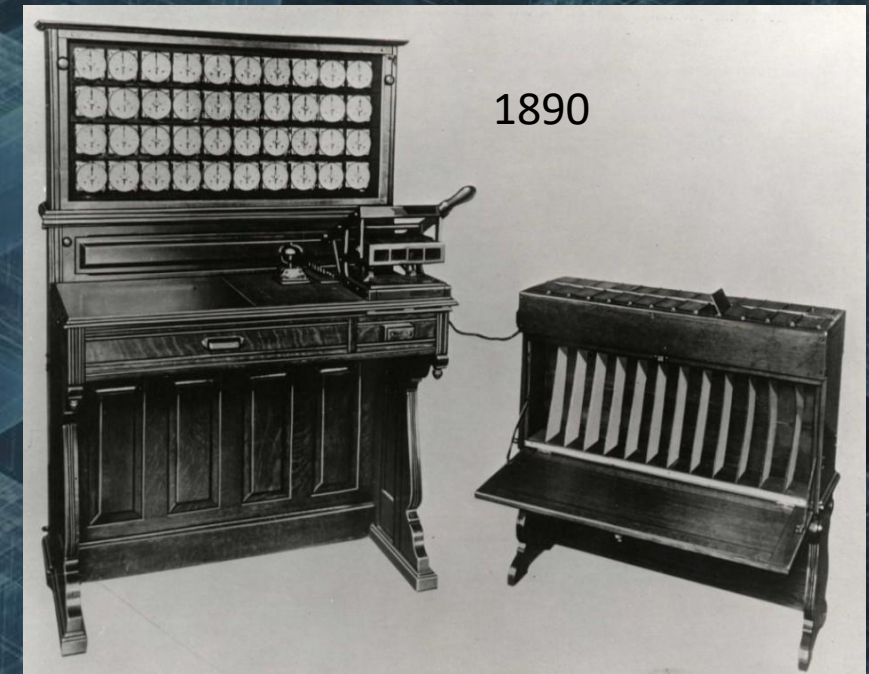
- 100 €
- 6 000 MHz
- CL36
- Kompatibilné s Intel Core Ultra series 2 & 13-14th Gen a vyššie
AMD Ryzen 9000 Series a vyššie



Najlepšie DDR5 SDRAM pamäte v roku 2025
rýchlosť, stabilita, kompatibilita a celková hodnota

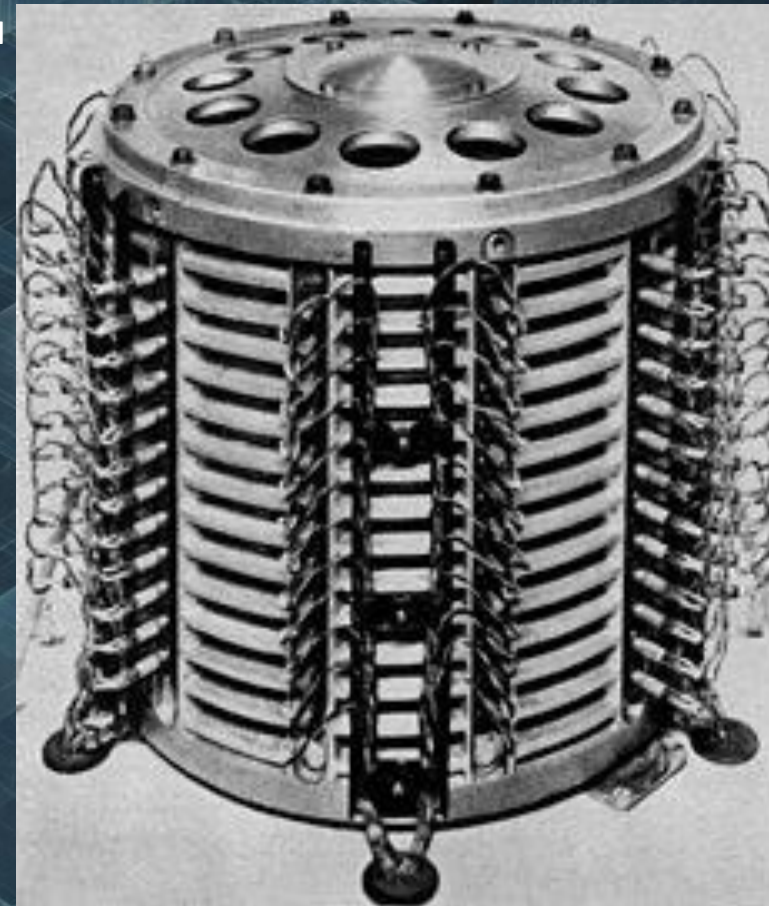
História

- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítky -1200 CPM = 1600znakov za sekundu



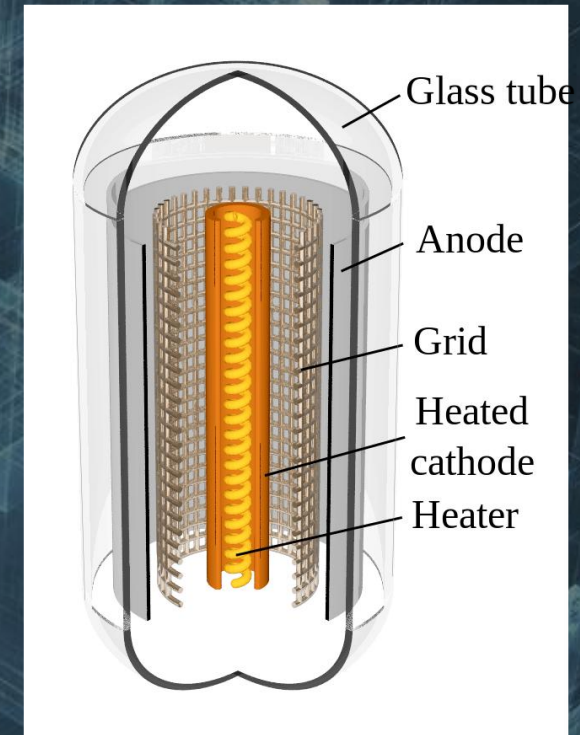
História

- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítiky -1200 CPM = 1600znakov za sekundu
- 1932 – Gustav Tauschek - pamäť bubnov
 - Kovový valec potiahnutý feromagnetickým materiálom
 - hlavice na čítanie a zápis



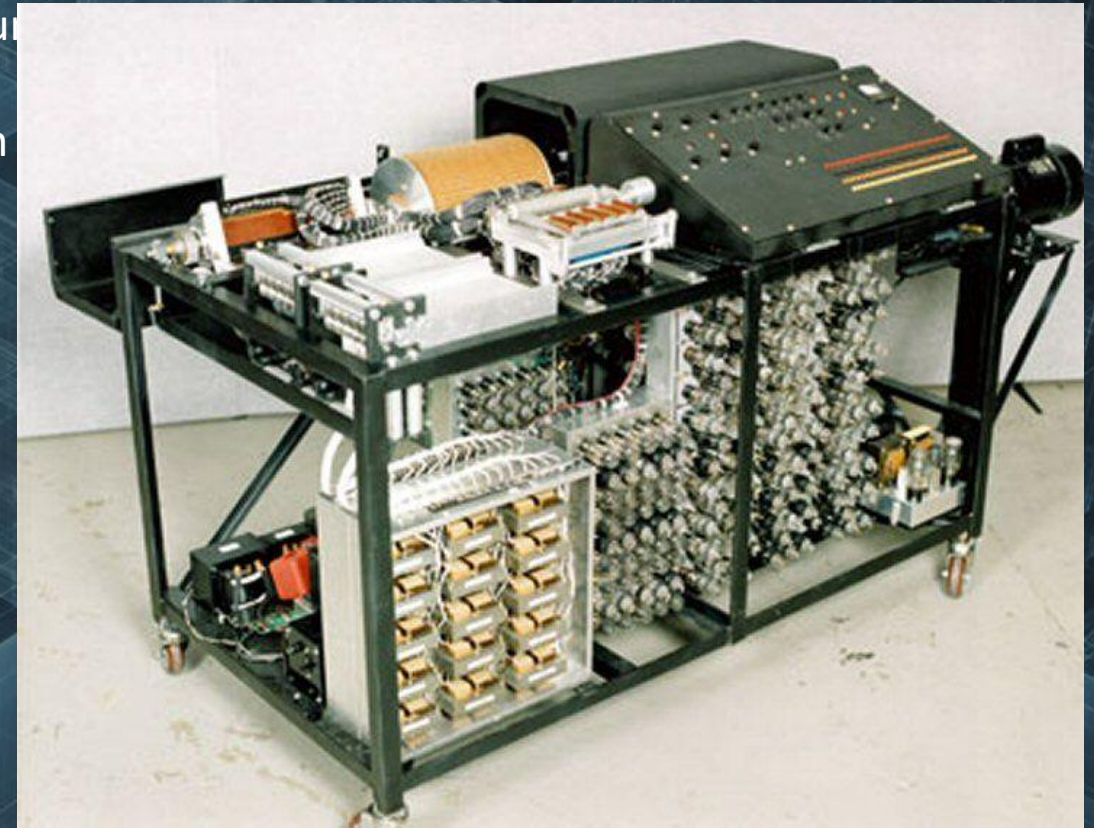
História

- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítky - 1200 CPM = 1600 znakov za sekundu
- 1932 – Gustav Tauschek - pamäť bubnov
 - Kovový valec potiahnutý feromagnetickým materiálom
 - hlavice na čítanie a zápis
- 1939 – John Ambrose Fleming - Vacuum tubes (1904)
 - prvý demonštrovaný PC - 100 MHz



História

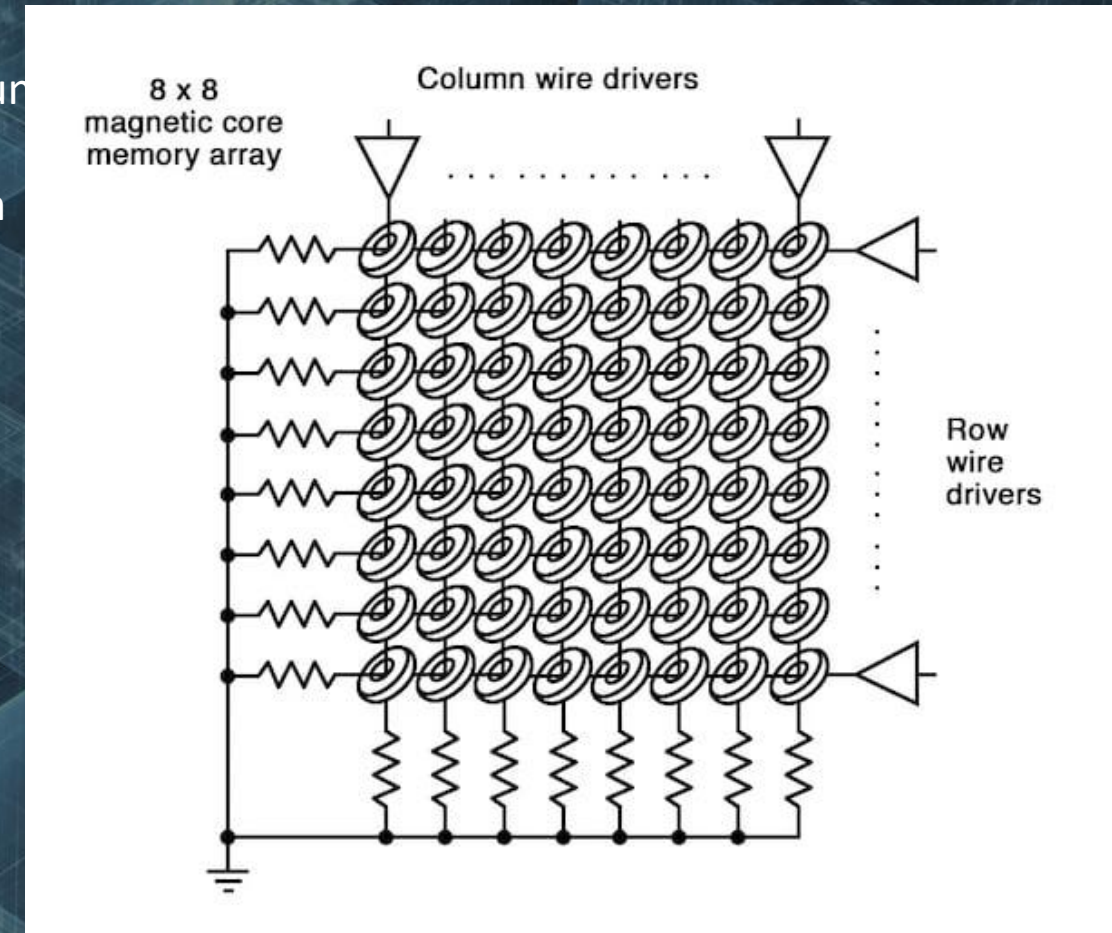
- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítky - 1200 CPM = 1600 znakov za sekundu
- 1932 – Gustav Tauschek - pamäť bubnov
 - Kovový valec potiahnutý feromagnetickým materiálom
 - hlavice na čítanie a zápis
- 1939 – John Ambrose Fleming - Vacuum tubes (1904)
 - prvý demonštrovaný PC - 100 MHz
- 1942 – kondenzátory namontované na dvoch otočných bubnoch => Počítač Atanasoff-Berry, 60 50-bitových slov



História

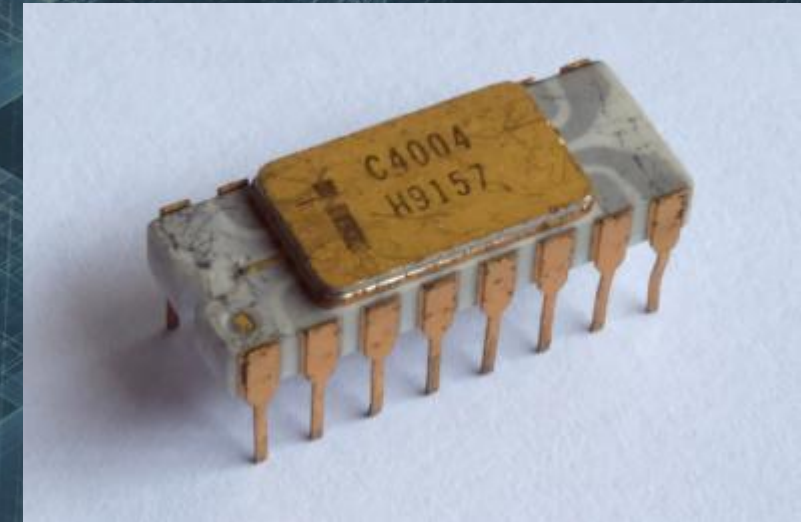
- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítiky - 1200 CPM = 1600 znakov za sekundu
- 1932 – Gustav Tauschek - pamäť bubnov
 - Kovový valec potiahnutý feromagnetickým materiálom
 - hlavice na čítanie a zápis
- 1939 – John Ambrose Fleming - Vacuum tubes (1904)
 - prvý demonštrovaný PC - 100 MHz
- 1942 – kondenzátory namontované na dvoch otočných bubnoch => Počítač Atanasoff-Berry, 60 50-bitových slov
- 1955 – Magnetické Jadrá

1890



História

- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítky - 1200 CPM = 1600 znakov za sekundu
- 1932 – Gustav Tauschek - pamäť bubnov
 - Kovový valec potiahnutý feromagnetickým materiálom
 - hlavice na čítanie a zápis
- 1939 – John Ambrose Fleming - Vacuum tubes (1904)
 - prvý demonštrovaný PC - 100 MHz
- 1942 – kondenzátory namontované na dvoch otočných bubnoch => Počítač Atanasoff-Berry, 60 50-bitových slov
- 1955 – Magnetické Jadrá
- 1968 – Robert Dennard z IBM patentoval jednotranzistorovú bunku DRAM
 - 1969 – Intel začína ako dizajnér čipov a vyrába 1 KB RAM čip
 - 1970 – Intel prvý všeobecne dostupný pamäťový čip DRAM.



História

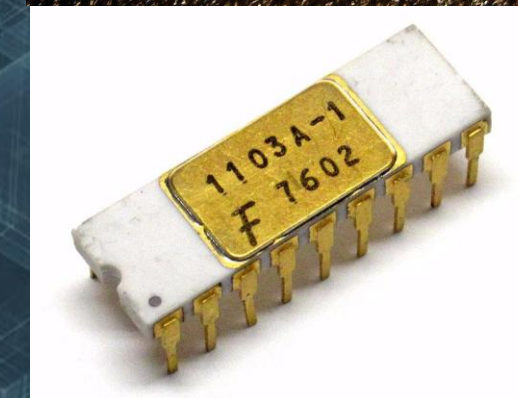
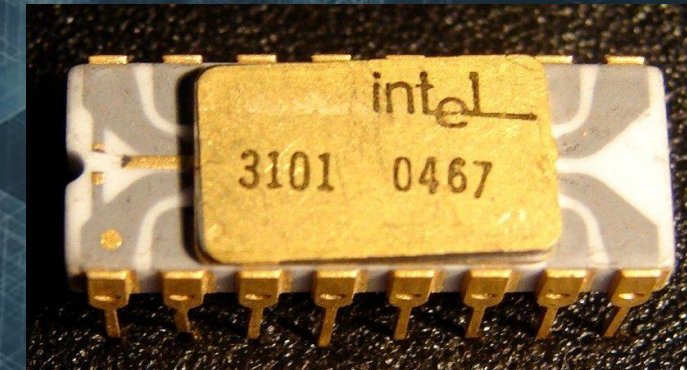
- 1834 – Charles Babbage vyvíjal analytický motor
 - dierne štítky -1200 CPM = 1600 znakov za sekundu
- 1932 – Gustav Tauschek - pamäť bubnov
 - Kovový valec potiahnutý feromagnetickým materiálom
 - hlavice na čítanie a zápis
- 1939 – John Ambrose Fleming - Vacuum tubes⁽¹⁹⁰⁴⁾
 - prvý demonštrovaný PC - 100 MHz
- 1942 – kondenzátory namontované na dvoch otočných bubnoch => Počítač Atanasoff-Berry, 60 50-bitových slov
- 1955 – Magnetické Jadrá
- 1968 – Robert Dennard z IBM patentoval jednotranzistorovú bunku DRAM
 - 1969 – Intel začína ako dizajnér čipov a vyrába 1 KB RAM čip
 - 1970 – Intel prvý všeobecne dostupný pamäťový čip DRAM.
- 1969 – SRAM
- 1996 – SDRAM
- 2000 – DDR SDRAM

Intel 3101 – prvá komerčná SRAM

Kapacita – 64 b

50 ns

16 pinov



Intel 1103 – prvá komerčná DRAM

1970

16 V

1024 b

300 – 580 ns

Budúcnosť

- DD6 SDRAM – 2025/2026
 - Prenosová rýchlosť = 12 800 MT/s až 16 800 MT/s.
 - 4 prenosové kanály (2x ako DDR5)
 - Priepustnosť = 134.4 GB/s+
 - Kapacita modulov až 256 GB

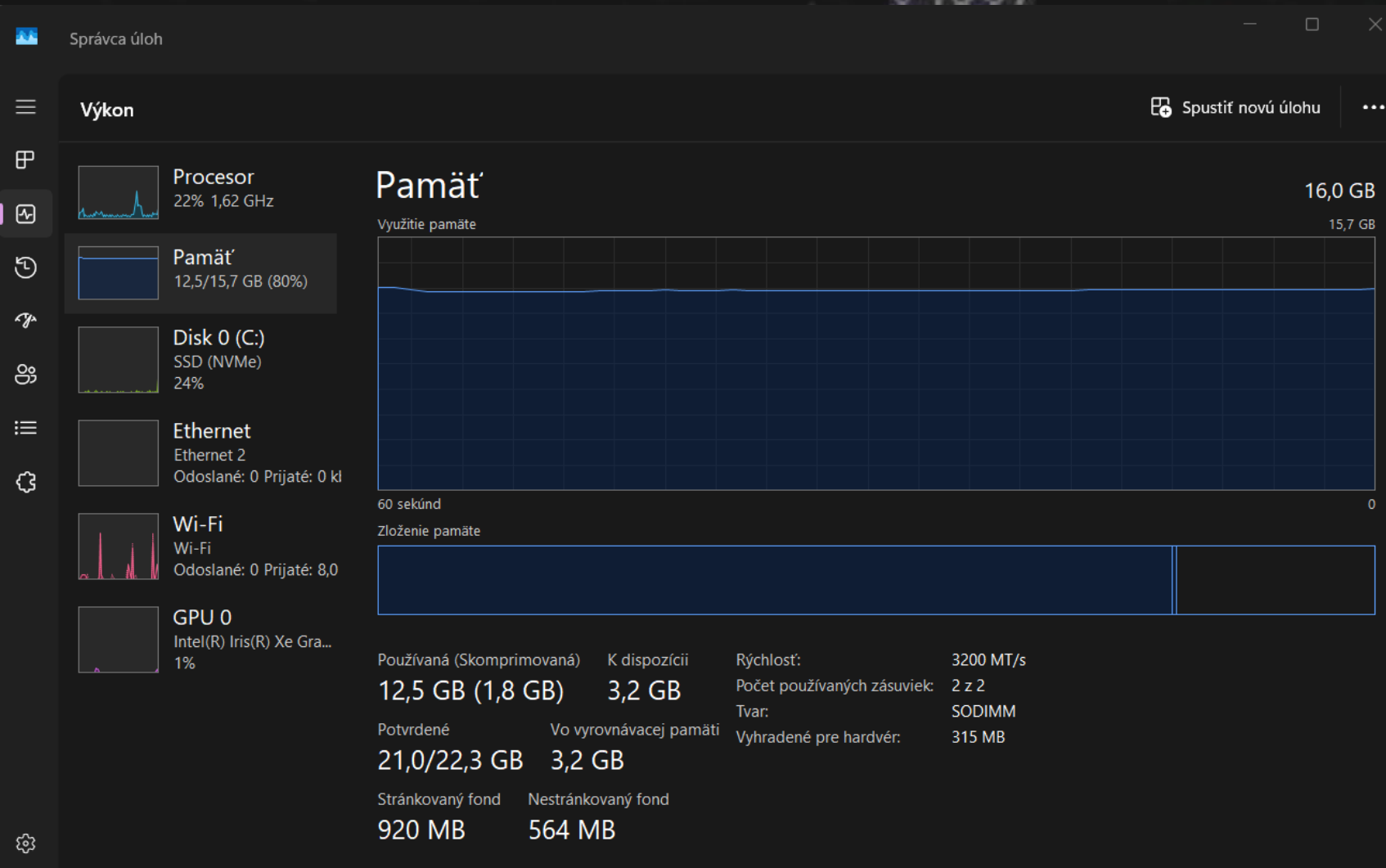


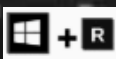
	JEDEC standard	OC modules
DDR	up to 400 MT/s	up to 533 MT/s
DDR2	up to 1,066 MT/s	up to 1,333 MT/s
DDR3	up to 2,133 MT/s	up to 2,666 MT/s
DDR4	up to 3,200 MT/s	up to 5,333 MT/s
DDR5	up to 6,400 MT/s	up to 8,4000 MT/s
DDR6*	up to 12,800 MT/s	up to 16,800 MT/s

Budúcnosť

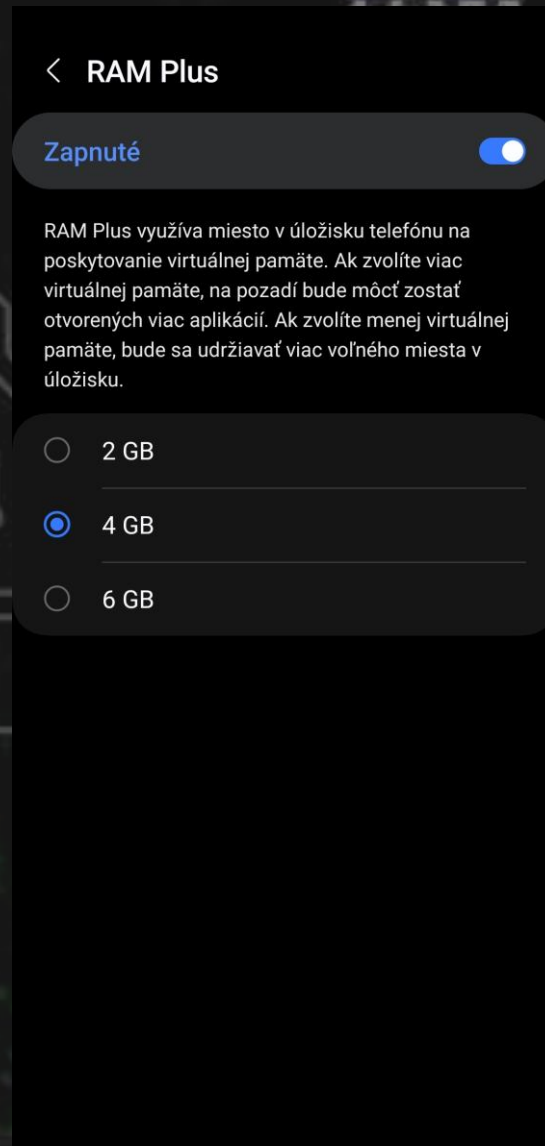
- GST467 – Nový materiál obsahujúci germánium, antimón a terbiu.
- Bol použitý ako jedna opakujúca sa vrstva v štruktúre zloženej z vrstiev, známej ako supermriežka
- Vďaka ktorému by mohla vzniknúť pamäť, ktorá nahradí RAM a sekundárnu pamäť. Mohla by byť rýchlejšia, lacnejšia a menej energeticky náročná
- Nový prototyp je formou pamäte so zmenou fázy (PCM), Prepína medzi stavmi s vysokým a nízkym odporom na materiáli podobnom sklu (0,1).
 - Keď materiál v PCM kryštalizuje – to predstavuje '1' - uvoľňuje veľké množstvo energie a má nízky odpor.
 - Keď sa topí, má vysoký odpor a absorbuje rovnaké množstvo energie - to predstavuje '0'.
- ULTRARAM je pamäť založená na náboji, kde je logický stav určený prítomnosťou alebo neprítomnosťou elektrónov vo Front Gate
 - UltraRAM využíva fyzikálny jav zvaný kvantový tunelovací rezonančný efekt:
 - Základom je dvojvrstvová štruktúra: veľmi tenké vrstvy polovodičových materiálov (napr. GaSb/InAs). Keď sa privedie napätie, elektróny môžu „preskočiť“ cez bariéru pomocou kvantového tunelovania. (0 alebo 1).

Nástroje na diagnostiku RAM

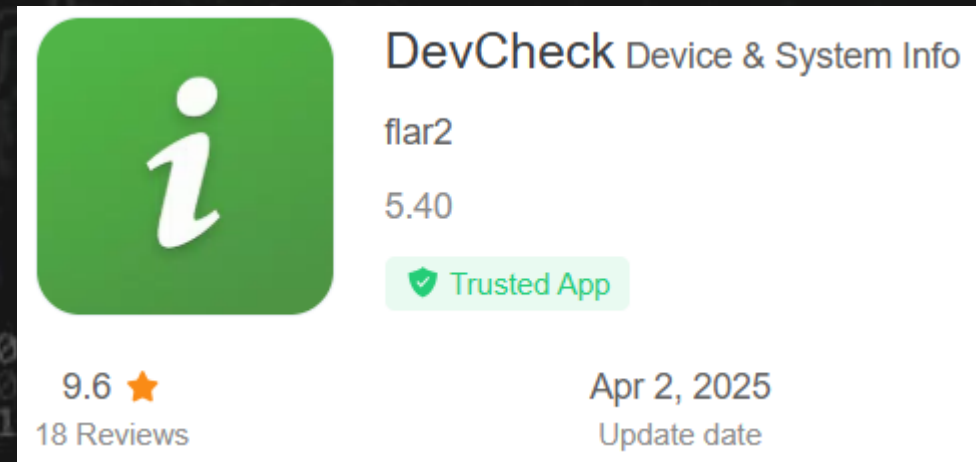


- Pomalý výkon
- Časté zamrzanie alebo zlyhávajúce
- Error: "low memory"
"out of memory"
- Windows Memory Diagnostic
 - Integrovaná v Windows 11
 spustiť => mdsched
 - Systém počítača sa reštartuje a spustí sa nástroj Windows Memory Diagnostic, ktorý vykoná dôkladnú analýzu pamäte RAM počítača a zistí problémy. Po dokončení testu sa systém reštartuje a v oznamovacej oblasti sa zobrazia výsledky testu.
- MEMTEST64
- Memory compatibility tools

Nástroje na diagnostiku RAM



- DevCheck
- CPU-Z
- AIDA64



Zdroje:

- GEEKSFORGEEEKS. Random Access Memory (RAM) [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.geeksforgeeks.org/random-access-memory-ram>
- GEEKSFORGEEEKS. SRAM Full Form [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.geeksforgeeks.org/sram-full-form/>
- **GEEKSFORGEEEKS**. DRAM Full Form [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.geeksforgeeks.org/dram-full-form/>
- **GeeksforGeeks**. Cache Memory. [cit.: 5.4.2025. 5.4.2025 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.geeksforgeeks.org/cache-memory/>
- STUDYTONIGHT. Random Access Memory (RAM) [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.studytonight.com/computer-architecture/random-access-memory>
- SAXENA, Vishal. SRAM Architecture. [online]. University of Delaware. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.eecs.udel.edu/~vsaxena/courses/ece518/Handouts/SRAM%20Architecture.pdf>
- DUTTA, Prabal. SRAM Technology [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://web.eecs.umich.edu/~prabal/teaching/eecs373-f11/readings/sram-technology.pdf>
- HOWSTUFFWORKS. How RAM Works [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://computer.howstuffworks.com/ram.htm#pt2>
- DIFFEN. Rozdiel medzi dynamickou a statickou náhodnou prístupovou pamäťou [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: https://www.diffen.com/difference/Dynamic_random-access_memory_vs_Static_random-access_memory#:~:text=Because%20SRAM%20does%20not%20need%20to%20refresh%2C%20it,DRAM%20to%20store%20a%20certain%20amount%20of%20data.
- EE TIMES. Využitie výkonu systému s pamäťami SRAM s vyššou hustotou [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: https://www.eetimes.com/take-advantage-of-system-performance-with-higher-density-srams/?utm_source=chatgpt.com
- ALZA.SK. Latencia RAM (operačné pamäte) [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: [Latence RAM \(operační paměti\) | Alza.sk](https://www.alza.sk/latencia-ram-operacni-pamat/)
- GURU99. Rôzne typy RAM (náhodná prístupová pamäť) vysvetlené [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.guru99.com/different-types-ram-random-access-memory.html>
- HP. Čo je DRAM (Dynamická náhodná prístupová pamäť)? [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-dram-dynamic-random-access-memory?msockid=0e88974426c16bf73b90827027ce6a96>
- ENCYKLOPÉDIA POZNANIA. Historické pamiatky – Bubnová pamäť [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/257/historicke-pamate-bubnova-pamat>
- ENCYKLOPÉDIA POZNANIA. Historické pamäte – Feritová pamäť [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/258/historicke-pamate-feritova-pamat>
- ZONES.SK. Operačná pamäť [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.zones.sk/studentske-prace/informatika/3145-operacna-pamat/>
- WCCFTECH. História RAM: Výlet pamäťou [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://wccfttech.com/history-ram-trip-memory-lane/>
- GREELANE. História počítačovej pamäte [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.greelane.com/sk/humanities/hist%C3%B3ria-a-kult%C3%BAra/history-of-computer-memory-1992372/>

Zdroje:

- ALL ABOUT CIRCUITS. Jay W. Forrester a vynález magnetickej jadrovej pamäte [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.allaboutcircuits.com/news/jay-w-forrester-and-the-invention-of-magnetic-core-memory/>
- LIVE SCIENCE. Universal memory breakthrough replaces RAM and flash for next-generation computers with major speed boost [online]. 2024. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.livescience.com/technology/electronics/universal-memory-breakthrough-replaces-ram-flash-next-generation-of-computers-major-speed-boost>
- LANCASTER UNIVERSITY. UltraRAM: Nová pamäťová technológia pre budúce počítače [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://en.wikipedia.org/wiki/UltraRAM>
- RF WIRELESS WORLD. Rozdiel medzi DDR1, DDR2, DDR3 a DDR4 [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-DDR1-DDR2-DDR3-DDR4.html>
- PCWORLD. DDR6 RAM: Nový štandard pamäte, vysvetlený [online]. 2024. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.pcworld.com/article/2237799/ddr6-ram-what-you-should-already-know-about-the-upcoming-ram-standard.html>
- HOW-TO GEEK. Ako otestovať pamäť RAM počítača na problémy [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.howtogeek.com/260813/how-to-test-your-computers-ram-for-problems/#option-2-boot-and-run-memtest86>
- TECHLOG360. DDR1, DDR2, DDR3 a DDR4 RAM: Aké sú ich rozdiely? [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: https://techlog360.com/ddr1-ddr2-ddr3-ddr4-ram-differences/#The_Future_of_RAM
- GURU99. Rôzne typy RAM (náhodná prístupová pamäť) vysvetlené [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.guru99.com/different-types-ram-random-access-memory.html>
- HOW-TO GEEK. L1 vs L2 vs L3 cache: Aký je medzi nimi rozdiel? [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.howtogeek.com/891526/l1-vs-l2-vs-l3-cache/#:~:text=Cache%20memory%20is%20both%20extremely%20fast%2C%20often%20between,can%20get%20the%20data%20from%20the%20cache%20instead.>
- TECHBOX. Čo je to cache v CPU a na čo je to dobré? [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.techbox.sk/co-je-to-cache-v-cpu-a-na-co-je-to-dobre>
- VOSVETEIT.SK. Čo je to Cache pamäť a mali by ste ju pravidelne premazávať vo vašom smartfóne? [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://vosveteit.zoznam.sk/co-je-to-cache-pamat-a-mali-by-ste-ju-pravidelne-premazavat-vo-vasom-smartfone/>
- STRYKO.SK. RAM – operačná pamäť – čo to je, ako funguje, výhody, riziká [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.stryko.sk/co-je-to-ram-operacna-pamat/>
- ROOT.CZ. Statické a dynamické pamäte [online]. 2008. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.root.cz/clanky/staticke-a-dynamicke-pameti/>
- HPOBCHOD.SK. Veľký sprievodca operačnou pamäťou RAM pre notebooky [online]. 2024. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://www.hpobchod.sk/document.asp?dc=kolko-ram-potrebuje>
- HARDWARE LIBRE. Typy pamäte RAM: všetko, čo potrebujete vedieť o hlavnej pamäti [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://sk.hwlibre.com/typy-pam%C3%A4te/>
- TONKO.EU. Operačná pamäť [online]. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: <https://tonko.eu/ite/Hardware/Operacnapam%C3%A4t>
- TŘÍSKA, Jaromír. Vnútna pamäť počítača – fyzické aj logické riešenie [online]. 2006. [cit. 5.4.2025]. Dostupné na: https://ssjh.sk/pkep/mechanik%20po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%BDch%20siet%C3%AD/vnutorna_pamat.pdf