

Ukladanie údajov: HDD, SSD - rozhrania, spôsoby záznamu

Boris Vojtík
2. ročník APIN
2025/2026

Úvod do technológií ukladania

Magnetické úložiská (HDD)

Dáta uložené ako **magnetická polarita** na rotujúcich platniach.

Vyžaduje mechanický pohyb čítacích hláv.



Obrázok 1: HDD

Zdroj: www.wikipedia.org

Polovodičové úložiská (SSD)

Dáta uložené ako **elektrický náboj** v izolovaných bunkách.

Žiadne pohyblivé časti - čisto elektronický proces.



Obrázok 2: SSD

Zdroj: www.wikipedia.org

Základný rozdiel

Mechanický pohyb vs. čisto elektronický proces.

Kľúčové míľniky histórie

1956 IBM 305 RAMAC

Prvý komerčný HDD

Kapacita: 5 MB

Hmotnosť: 1 tona



Obrázok 3. IBM 305 RAMAC
Zdroj: www.wikipedia.org

1991 SanDisk SSD

Prvý komerčný SSD modul pre IBM

Kapacita: 20 MB

Cena: 1 000 \$



Obrázok 4. SunDisk SSD
Zdroj: www.wikipedia.org

Evolúcia

Od astronomických súm za megabajt po zlomky centov za gigabajt.

Konštrukcia HDD (Hard Disk Drive)

► Zánamové médium:

Magnetické platne (Platter): Disky s feromagnetickou vrstvou, na ktoré sa ukladajú dáta.

Hriadel' (Spindle): Motor, ktorý zabezpečuje rotáciu platní vysokou rýchlosťou.

► Čítací a zápisový mechanizmus:

Hlava (Head): Miniaturný senzor „letiaci“ nanometre nad platňou.

Rameno (Actuator Arm): Nosič hlavy, ktorý ju presne polohuje.

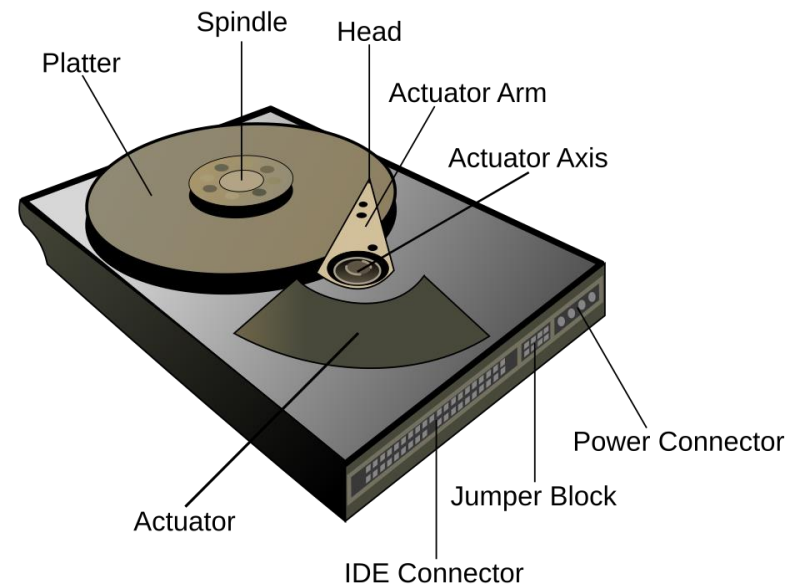
Os (Actuator Axis) a Aktuátor (Actuator): Elektromagnetický pohon, ktorý otáča ramenom po kruhovej úsečke.

► Pripojenie a konfigurácia:

Dátový konektor (IDE Connector): Rozhranie na prenos dát do počítača (na obrázku je starší typ IDE).

Napájanie (Power Connector): Vstup pre elektrickú energiu zo zdroja.

Jumper Block: Slúži na manuálne nastavenie režimu disku (napr. Master/Slave).



Obrázok 5. Komponenty HDD
Zdroj: www.wikipedia.org

Princíp magnetického zápisu

Magnetizácia domén

Orientácia magnetického poľa (Sever/Juh) reprezentuje 0 alebo 1.

Indukcia a odpor

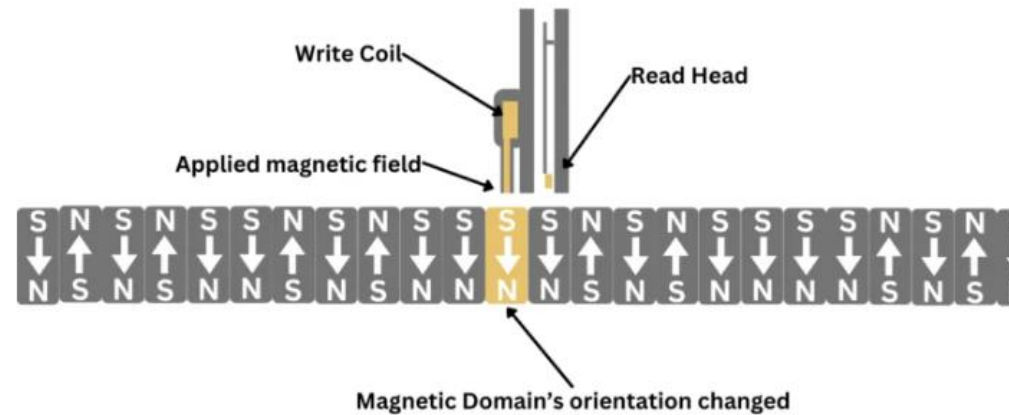
Pri čítaní hlava deteguje zmeny poľa a premieňa ich na elektrický impulz.

Binárna logika

Radič interpretuje fyzikálne zmeny magnetizmu ako digitálny kód pre CPU.

Bezpečné uloženie

Dáta zostávajú na platni aj po odpojení napájania.



Obrázok 5. Princíp magnetického zápisu dát
Zdroj: storedbits.com/how-does-a-hard-drive-work/

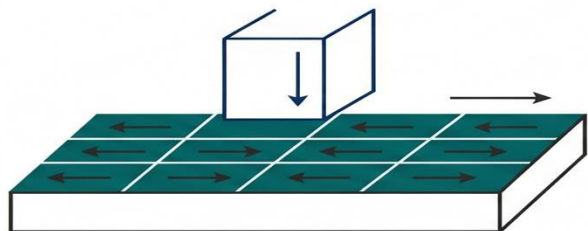
Spôsoby záznamu (LMR, PMR, SMR)

LMR

(Longitudinal)

Vodorovný zápis
Magnety ležia vodorovne.

Limitovaná hustota dát.

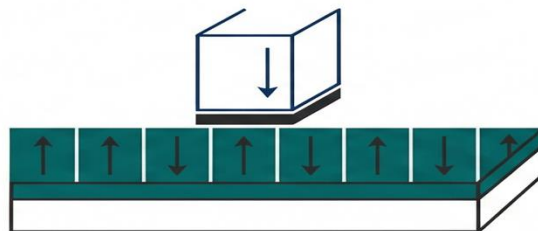


PMR/CMR

(Perpendicular)

Zvislý zápis
Magnety stoja zvislo.

Dnešný štandard pre vysoký výkon a kapacitu.



SMR

(Shingled)

Stopy sa prekrývajú ako strešná škridla.

O 25 % vyššia kapacita na rovnakej ploche.



Obrázok 6. Porovnanie spôsobu zápisov LMR, PMR, SMR
Zdroj: gemini.google.com

Obmedzenie SMR

Extrémne pomalý prepis dát, nevhodné pre NAS a RAID polia.

Kľúčové parametre HDD

► Otáčky (RPM)

5400: tiché, úsporné (notebooky, archívy).

7200: výkonný štandard pre desktopy.

10k/15k: Špičkový výkon pre servery.

► Data Cache

Vyrovňavacia pamäť (zvyčajne **64 - 512 MB**).

► Prístupová doba (latency)

Čas mechanického presunu hlavy
(v milisekundách).

► Hustota záznamu

Určuje, koľko dát sa zmestí na
jednu platňu.

Architektúra SSD (Solid State Drive)

▶ NAND Flash čipy

Polovodičové bloky, kde sú fyzicky uložené bity. Nepotrebujú energiu na udržanie dát.

▶ Controller (Radič)

„Mozog“ disku zabezpečuje:

- **Wear Leveling:** rovnomerné opotrebovanie buniek.
- **Error Correction (ECC):** oprava chýb pri čítaní.

▶ DRAM Cache

Rýchla pamäť pre mapovacie tabuľky (zrýchľuje prístup k dátam).

▶ Host Interface

Spojenie so systémom (SATA, PCIe).

Typy buniek (NAND Flash)

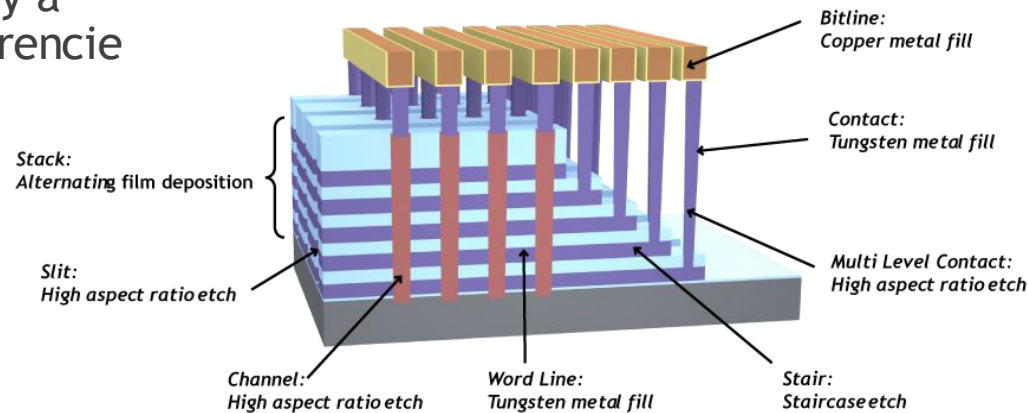
TYP	BITY NA BUNKU	ŽIVOTNOST'	RÝCHLOSŤ	CENA
SLC	1	Najvyššia	Extrémna	Vysoká
TLC	3	Stredná	Dobrá	Nízka
QLC	4	Nízka	Nižšia	Veľmi nízka
PLC	5	Vo vývoji	Najnižšia	Minimálna

Viac bitov na bunku = vyššia kapacita, ale nižšia rýchlosť a životnosť.

3D NAND technológia

► Limit 2D NAND

Bunky vedľa seba narážali na fyzikálne limity a vzájomné interferencie pri extrémnej miniaturizácii.



Obrázok 7. Vnútna architektúra 3D NAND čipu

Zdroj: semiengineering.com/3d-nand-challenges-beyond-96-layer-memory-arrays/

► Riešenie

Bunky sa ukladajú do stohu (**stack**) v stovkách vrstiev nad seba, čím sa dramaticky zvyšuje hustota dát.

► Architektúra mrakodrapu

Dáta pretekajú cez vertikálne kanály (**channel**).

Prístup k jednotlivým „poschodiam“ umožňujú stupňovité kontakty (**staircase etch**).

Rýchle prepojenie zabezpečujú metalické vedenia (**word line a bitline**)

► Výhody

Vyššia kapacita (TB) na menšej ploche, nižšia spotreba energie a vyššia životnosť buniek vďaka ich väčšiemu rozstupom v 3D priestore.

Rozhrania: Staršie (IDE / PATA)



Obrázok 8. Prepojovací kábel s PATA koncovkou
Zdroj: www.wikipedia.org

► IDE (Parallel ATA)

Paralelný prenos dát (široké 40/80-žilové káble).

► Technické limity

Max. 133 MB/s, problémy s rušením.

► Konfigurácia

Nutnosť ručne nastavovať disky cez jumpery (Master/Slave).

► Koniec éry

Prakticky vymizlo po roku 2005 kvôli nepraktickým káblom a nízkej rýchlosti.

Rozhrania: SATA 1-3

► SATA (Serial ATA)

Sériový prenos, tenké káble,
podpora **hot-swap** (výmena za
chodu).

► AHCI protokol

Optimalizovaný pre HDD,
predstavuje softvérové **úzke
hrdlo** pre moderné SSD.



Obrázok 9. Prepojovací kábel s SATA koncovkou
Zdroj: www.wikipedia.org

► SATA III (6 Gb/s)

Reálne maximum okolo **550 MB/s**
(kvôli režii kódovania).

► Využitie

Stále štandard pre 2,5" disky a
veľkokapacitné úložiská.

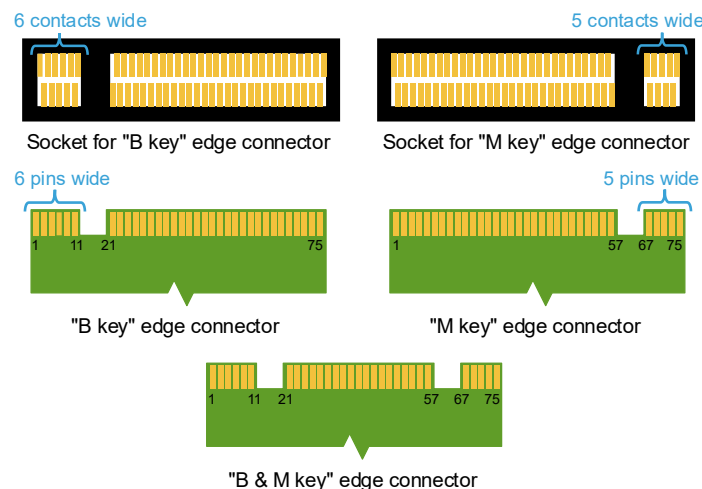
Rozhrania: NVMe a M.2

► M.2

Fyzický formát karty
(kompaktný, bez káblov).

► PCIe zbernica

Priama komunikácia s
procesorom (až Gen 5.0).



Obrázok 9. Porovnanie klúčov M.2
Zdroj: www.wikipedia.org

► NVMe

Non-Volatile Memory express:
Protokol stvorený priamo pre SSD.

► Latencia

Dramaticky nižšia vďaka
efektívnemu spracovaniu tisícov
úloh naraz.

► Výkon

Rýchlosti od 3 500 MB/s (Gen 3) až
po 12 000+ MB/s (Gen 5).

Rozhrania: SAS (Serial Attached SCSI)

► SAS

Enterprise riešenie pre servery a dátové centrá.

► Full Duplex

Schopnosť čítať aj zapisovať dáta súčasne (SATA vie len jedno naraz).

► Dual-porting

Pripojenie k dvom radičom naraz pre maximálnu bezpečnosť (redundanciu).

► Spoľahlivosť

Navrhnuté pre 100% zátťaž 24/7.



Obrázok 9. Prepojovací kábel s SAS koncovkou (SFF-8482)
Zdroj: www.wikipedia.org

SAS radič podporuje SATA disky, ale SATA radič SAS disky neprijme.

Správa: BIOS / UEFI

► Režim AHCI

Nutnosť pre SATA SSD, podpora:

NCQ: Optimalizuje poradie úloh (vyššia efektívnosť).

TRIM: Informuje SSD o zmazaných dátach (stála rýchlosť).

► Boot Priority

Nastavenie **poradia** pre štart systému.

► NVMe Protokol

V UEFI funguje **nezávisle od AHCI** (vlastný zásobník).

► CSM

Compatibility Support Module: musí byť **vypnutý** pre plnú podporu NVMe bootovania.

Diagnostika: S.M.A.R.T.

► S.M.A.R.T.

Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology.

Integrovaný diagnostický systém, ktorý nepretržite sleduje, analyzuje a vyhodnocuje zdravie disku.

► Sledované parametre

Monitoruje teplotu (ochrana pred prehriatím), počet zapnutí, prevádzkové hodiny a celkový objem zapísaných dát (TBW).

► Predikcia zlyhania

Včasným varovaním pred hroziacou poruchou umožňuje bezpečne zálohovať dáta skôr, než dôjde k definitívnemu hardvérovému kolapsu.

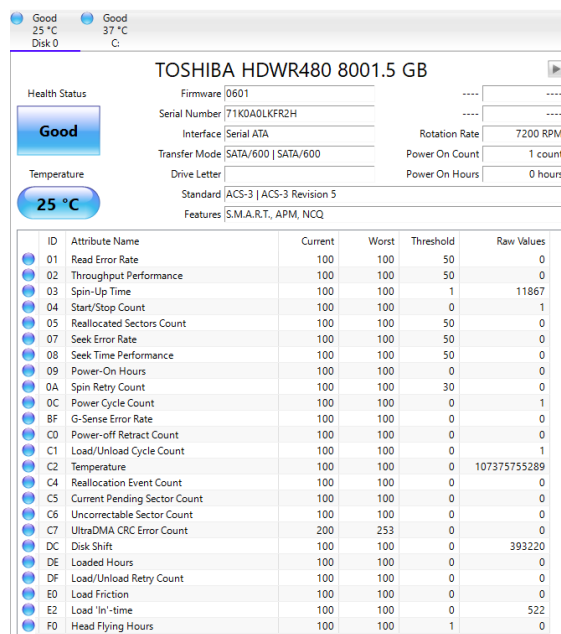
► Kritické chyby

Varuje pri náraste premapovaných sektorov (ID 05 u HDD) alebo pri nadmernom percentuálnom opotrebení buniek u SSD.

Nástroje: CrystalDiskInfo a Mark

CrystalDiskInfo

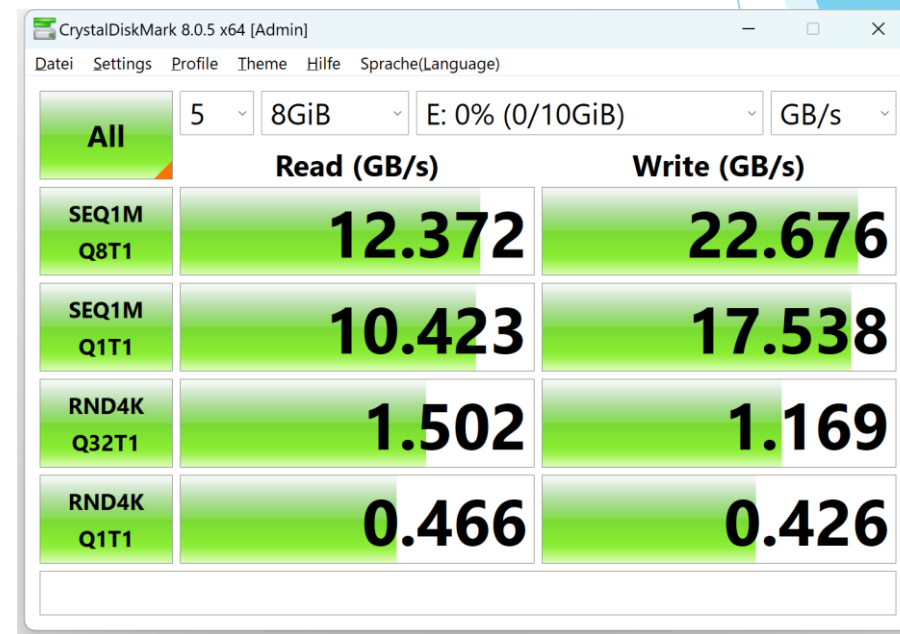
Sledovanie zdravia a teploty (S.M.A.R.T.).



Obrázok 10. Náhľad softvéru CrystalDiskInfo
Zdroj: www.wikipedia.org

CrystalDiskMark

Meranie reálneho výkonu (čítanie/zápis).



Obrázok 11. Náhľad softvéru CrystalDiskMark
Zdroj: www.wikipedia.org

Dôležitosť 4K testu

Kľúčový parameter pre svižnosť Windowsu - hovorí, ako rýchlo disk otvára tisíce malých systémových súborov.

Údržba: Firmware a TRIM

► Firmware update

Opravuje chyby a zvyšuje **stabilitu** radiča.

► TRIM (iba SSD)

Automatické **čistenie** buniek po zmazení súborov, aby bol ďalší zápis okamžitý.

► Defragmentácia

HDD: nutná pre usporiadanie dát (zrýchľuje čítanie).

SSD: Škodlivá! Zbytočne vyčerpáva P/E cykly. Windows namiesto nej automaticky spúšťa optimalizáciu cez TRIM.

► Pozor !

Externé defragmentačné nástroje môžu SSD **poškodiť** nadmerným zápisom.

Poruchy: Mechanika vs. Opotrebenie

Zlyhania HDD (mechanické)

Najčastejšie ide o poškodenie hláv, zadretie motora alebo stratu magnetizmu; porucha je často sprevádzaná varovným „cvakaním“.

Zlyhania SSD (elektronické)

Vyčerpanie limitovaných P/E cyklov (zápisov) buniek alebo náhle zlyhanie radiča, kedy disk bez varovania „zmizne“ zo systému.

Možnosť záchrany dát

Kým z HDD je v špecializovanom laboratóriu záchrana často možná, z (šifrovaného) SSD je po smrti radiča prakticky vylúčená.

Záverečné odporúčanie

Žiadna technológia nie je nesmrteľná - jedinou stopercentnou ochranou pred stratou dát je **pravidelná záloha**.

Budúcnosť HDD: HAMR a MAMR

HAMR

Heat-Assisted Magnetic Recording

Zápis s asistenciou lasera, ktorý bodovo zohreje platňu na 450 °C pre vyššiu hustotu.

MAMR

Microwave-Assisted

Využitie mikrovln pre stabilnejší zápis pri vysokej hustote.

Cieľ

Udržať HDD relevantné pre cloudové úložiská (kapacity 30 TB - 100 TB v blízkej budúcnosti).

Budúcnosť SSD a DNA storage

► PCIe 6.0/7.0

Extrémne rýchlosti (32+ GB/s) vyžadujúce aktívne chladenie.

► DNA Storage

Ukladanie binárneho kódu do reťazcov DNA.

Hustota: 1 gram DNA = 215 PB (petabajtov) dát.

Životnosť: tisíce rokov bez straty dát.

► Kapacita vs. Rýchlosť

Proces zápisu a čítania je zatiaľ extrémne pomalý, no vďaka trvácnosti tisícov rokov ide o ideálne médium pre „večné“ archívy ľudstva.

Zhrnutie: HDD vs. SSD

HDD

Kapacita a cena

Bezkonkurenčný pomer ceny a kapacity; ideálna voľba pre objemné archívy, NAS servery a kamerové systémy (CCTV).

SSD

Výkon a odolnosť

Okamžitý štart systému, blesková odozva aplikácií, absolútne tichý chod a vysoká fyzická odolnosť voči nárazom (žiadna mechanika).

Zlaté pravidlo

Najlepšiu efektivitu dosiahnete kombináciou **NVMe SSD** pre operačný systém a prácu + **HDD** pre statické dáta (filmy, fotky, zálohy).

Záver

Kým HDD limituje mechanické opotrebenie motora a hláv, u SSD je kľúčovým faktorom životnosti počet prepisov (P/E cykly).

Ďakujem za pozornosť!

Priestor na vaše otázky.

Kontakt: vojtik2@ucm.sk

Literatúra a zdroje

- ▶ MESSMER, Hans-Peter. Architektura PC: encyklopedie. 2. vyd. Praha: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-803-5.
- ▶ WESTERN DIGITAL. HAMR Technology: The Future of HDD Storage [online]. 2024 [cit. 2026-04-04]. Dostupné na: <https://blog.westerndigital.com/hamr-technology-future-hdd-storage-capacity/>
- ▶ SEAGATE. CMR and SMR Hard Drives [online]. 2023 [cit. 2026-04-04]. Dostupné na: <https://www.seagate.com/products/cmr-smr-list/>
- ▶ KINGSTON TECHNOLOGY. Understanding NAND Flash: SLC, MLC, TLC, QLC and PLC [online]. 2024 [cit. 2026-04-04]. Dostupné na: <https://www.kingston.com/en/blog/pc-performance/difference-between-slc-mlc-tlc-3d-nand>
- ▶ KINGSTON TECHNOLOGY. PC Performance - Kingston Knowledge Centre [online]. 2024 [cit. 2026-04-04]. Dostupné na: <https://www.kingston.com/en/blog/pc-performance>