

13. Fyzická struktura

HDD: charakteristiky, technologie

- 01** Princip magnetického záznamu a čtení dat, základní pojmy, charakteristika HDD
- 02** Geometrie HDD - stopa, sektor, cylindr
- 03** Vystavovací mechanismy, teplotní kalibrace
- 04** Přístupová doba, kódování, prekompenzace, ZBR, MTBF, SMART
- 05** Proces výběru a zavedení OS, instalace OS přes UEFI

13. Fyzická struktura HDD

Princip magnetického záznamu a čtení dat (fyzická struktura HDD)

Konstrukce a základní složení disku:

- **Samotný disk (plotna)** je vyroben z **nemagnetického materiálu**, jako je:
 - hliník
 - sklo
 - keramika
- **Povrch disku** je **potažen tenkou vrstvou feromagnetického materiálu**, který umožňuje **uchovávání dat pomocí magnetických změn**. Nejčastěji:
 - **oxid železitý** (Fe_2O_3)
 - často **bývá smíchán s oxidem manganu** (MnO) nebo **oxidem barnatým** (BaO) pro zlepšení vlastností.
- Tento povrch má **vysokou permeabilitu** → znamená to, že materiál **dobře vede magnetické pole** a umožňuje tak snadnou změnu magnetizace.

Magnetické domény:

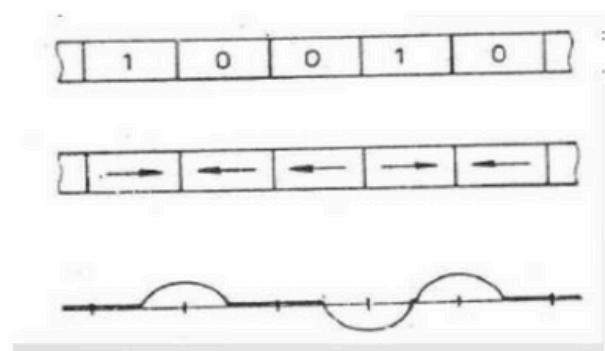
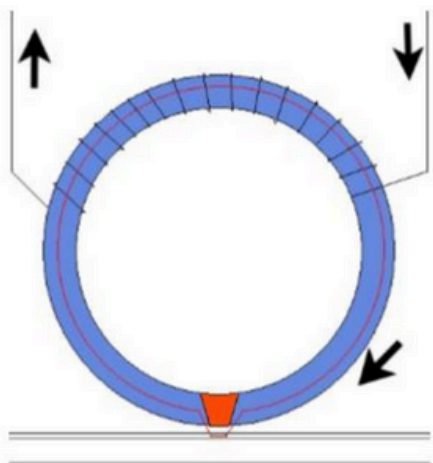
- Povrch je rozdělen na **mikroskopické oblasti** zvané **magnetické domény**.
- Každá doména má **určitou orientaci magnetického momentu**.
- Informace jsou uloženy jako **změny orientace těchto domén**:
 - orientace domény např. "**doleva**" = 0
 - orientace domény "**doprava**" = 1

Princip zápisu dat (TF – thin-film head = tenkovrstvá hlava)

- Zápisová hlava obsahuje **elektromagnetickou cívku**, která **vytváří magnetické pole**.
- Cívka má **úzkou štěrbinu**, která může být **vyplněna materiálem s nízkou permeabilitou**, aby se zabránilo nechtěnému ovlivnění okolních domén.
- Když cívkou **protéká elektrický proud**, **vznikne magnetické pole**, které **přemagnetizuje doménu na disku** a tím **změní její orientaci**.

Změnou směru proudu v cívce:

- **měníme směr** magnetického pole → **mění se i směr** magnetizace domény
- takto se zapisuje binární informace (1 a 0)



13. Fyzická struktura HDD

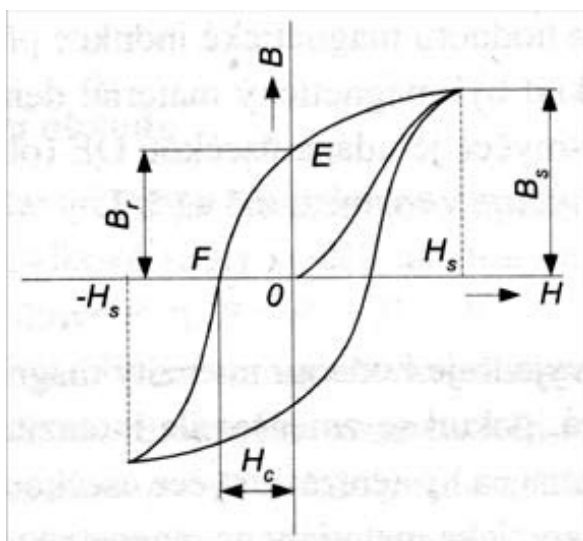
Hysterezní smyčka

Při zápisu dat na pevný disk se využívá **vlastnost feromagnetických materiálů**, které si dokážou „**pamatovat**“, jestli byly zmagnetizované **jedním nebo druhým směrem**. Tomuto jevu se říká **hystereze** a znázorňuje se pomocí **hysterezní smyčky**.

Zápisová hlava vytvoří magnetické pole, které změní směr magnetizace v malé části povrchu disku – **magnetické doméně**. Díky hysterezi zůstane tato změna zachovaná i po vypnutí magnetického pole, což umožňuje trvalé uložení dat.

Důležité pojmy:

- **Remanence** – zbytková magnetizace: data zůstávají uložena i bez napájení.
- **Koercitivní síla** – velikost magnetického pole, která je potřeba pro přepsání dat.



Graf ukazuje, jak se chová feromagnetický materiál, když na něj působíme **magnetickým polem (H)**. Osa H je **síla magnetického pole** (např. od zápisové hlavy) a osa B je **výsledná magnetizace materiálu** – tedy jestli si doména „**pamatuje**“ **jedničku nebo nulu**.

0 – výchozí stav

- Tady začínáme, když na materiál nepůsobí žádné magnetické pole ($H = 0$) a materiál není zmagnetizovaný ($B = 0$).
- **V reálu se ale HDD nikdy nepoužívá ve stavu 0 – vždy je tam nějaká magnetizace z předchozího zápisu.**

E – plná magnetizace jedním směrem (1)

- Když začneme zvyšovat magnetické pole (H doprava), materiál se postupně zmagnetizuje až na maximum (B_s = saturační magnetizace).
- Tohle odpovídá tomu, že doména „nese“ například jedničku (1).

Po vypnutí pole – B_r (remanence)

- Když magnetické pole vypneme ($H = 0$), materiál zůstane částečně zmagnetizovaný – to je bod B_r .
- Díky tomu si materiál pamatuje, že tam byla jednička – to je princip trvalého zápisu!

Přepnutí na nulu – H_c (koercitivní síla)

- Abychom změnili doménu na opačný stav (např. nula), musíme přepólovat materiál.
- To se děje, když použijeme záporné magnetické pole, které dosáhne síly H_c – to je tzv. koercitivní síla.
- Po jejím dosažení se doména přepne na opačný směr → uložíme nulu (0).

F – opačná saturace

- Pokud budeme záporné pole dál zvyšovat, dostaneme se do opačné saturace ($-B_s$) – doména je plně magnetizovaná opačným směrem.
- Opět, když vypneme pole, zůstane remanentní magnetizace $-B_r$ (nula se „pamatuje“).

Shrnutí (co z toho vyplývá)

- HDD funguje tak, že **zápisová hlava mění směr magnetického pole**.
- Tím přepíná domény mezi dvěma stavy – **1 a 0**.
- Díky hysterezi se tento stav **uchová i bez napájení**.
- Remanence (B_r) = **trvalý zápis**.
- Koercitivní síla (H_c) = **síla potřebná k přepsání dat**.

13. Fyzická struktura HDD

Princip čtení dat (*MR hlava = Magnetorezistivní hlava*)

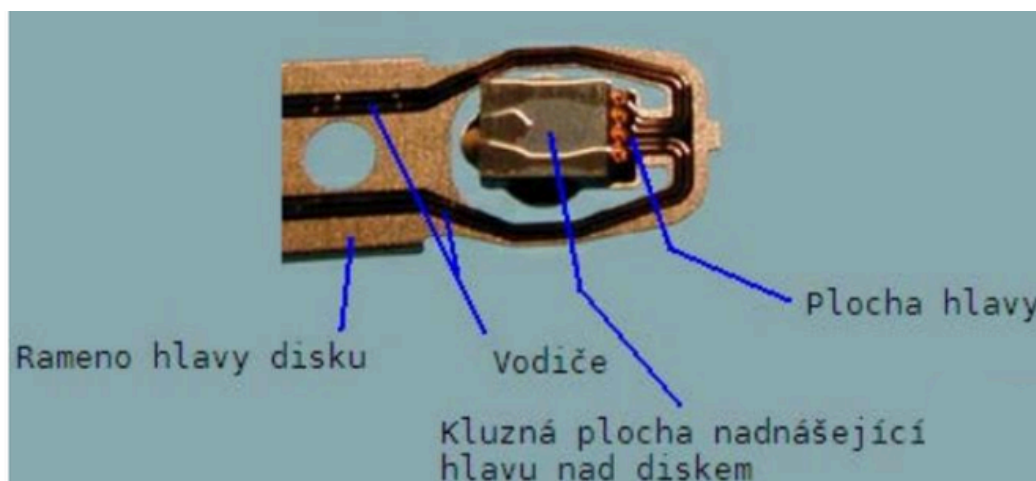
- Moderní disky používají místo klasického principu **indukce MR** (*magnetorezistivní*) nebo **GMR** (*obří magnetorezistence*) **čtecí hlavy**.

Jak funguje čtení u MR hlavy:

- MR hlava má **magnetorezistivní prvek**, který se **pohybuje nad záznamovou vrstvou**.
- Když tento **prvek přechází přes různě zmagnetizované domény**, mění se jeho **elektrický odpor**.
- Změna odporu se **převádí na změnu elektrického signálu**, který elektronika disku překládá na **digitální hodnoty – tedy 0 a 1**.

Rozdíl oproti zápisu:

- **Při zápisu:** Proud v cívce vytváří magnetické pole.
- **Při čtení:** Změny magnetického pole ovlivňují odpor MR prvku → vzniká elektrický signál.



Shrnutí rozdílu mezi hlavami:

Zápis - TF (Thin-Film): Elektromagnetická cívka mění magnetické pole a **přepisuje domény**

Čtení - MR (Magnetorezistivní): **Magnetická doména mění odpor MR prvku** podle orientace pole

Způsoby magnetického zápisu: LMR vs PMR

1. Podélný zápis (LMR – Longitudinal Magnetic Recording)

- Bity jsou **uloženy vodorovně (podélně)** vůči plotně disku.
- Směr magnetizace jednotlivých domén je **rovnoběžný s povrchem plotny**.
- Používal se ve **starších discích – jednoduchá výroba**, ale s vývojem nestačil nárokům na vyšší hustotu záznamu.

Nevýhody:

- Při vyšší hustotě záznamu dochází k jevu zvanému **paramagnetismus**:
 - vzájemné magnetické **ovlivňování sousedních domén** → **ztráta stability dat**.
 - Domény vzájemně **interferují**, **nelze je udržet izolovaně** → dochází ke **ztrátě informace**.
- **Omezená kapacita:** přiblížením domén dochází k nežádoucí demagnetizaci.

13. Fyzická struktura HDD

2. Kolmý zápis (PMR – Perpendicular Magnetic Recording)

- Využívá **kolmou** (svislou) **orientaci** magnetických domén vůči povrchu disku.
- Umožňuje **hustší uložení dat** – až **5× vyšší hustotu** než LMR.

Klíčové prvky PMR:

1. Asymetrický elektromagnet:

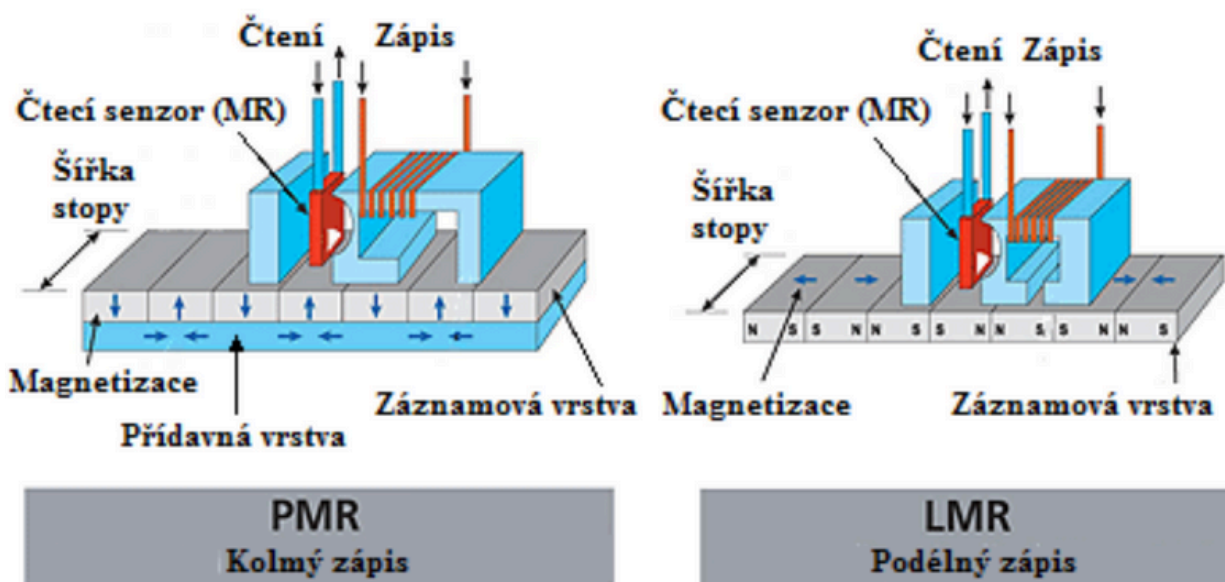
- **generuje magnetické pole** směřující **do hloubky** záznamové vrstvy, nikoli do šířky,
- tím **snižuje rušení** mezi sousedními bity.

2. Stabilizační vrstva:

- nachází se **pod záznamovou vrstvou**,
- její úkolem je **zachytit magnetické pole** a **stabilizovat svislou magnetizaci**.

Výhody PMR:

- **Vyšší hustota zápisu** → až pětinasobná kapacita oproti LMR.
- **Větší stabilita dat** – domény se neovlivňují tak snadno jako při podélném zápisu.
- Využívá se v **moderních pevných discích**.



Základní pojmy

Hustota zápisu

- Udává, **kolik bitů** lze **uložit na jednotku plochy** povrchu disku.
- Měří se v **bit/palec²** (*bpi²*).
- Čím **vyšší hustota**, tím **větší kapacita** disku při stejné velikosti.
- Např. v roce 2012 firma Seagate dosáhla hustoty záznamu 1 Tbit/palec² (*technologický milník*).

Záznamová vrstva

- Nachází se na **povrchu plotny** disku.
- Je tvořena **feromagnetickým materiálem** (např. *oxid železitý, CoCrPt sloučeniny*).
- Slouží k **uchovávání dat** změnou **orientace** magnetických domén.
- Data se zde **zapisují i čtou** pomocí **pohybující se hlavičky**.

Parkování hlaviček

- Proces, kdy se zapisovací/čtecí hlavičky po vypnutí disku **"odstaví"** z **povrchu disku**, aby **nedošlo k poškození**.

13. Fyzická struktura HDD

Dva způsoby parkování:

- **Do středu disku** – hlavičky se pomalu dosednou na neaktivní část plotny (*na tzv. rampu*) pomocí vzduchového polštáře.
 - Nevýhoda: při nárazu může dojít k poškození záznamové vrstvy.
- **Mimo plotny disku** – modernější řešení, kdy hlavičky vyjedou a zaparkují vedle disku.
 - Výhoda: vyšší bezpečnost proti otřesům.

Vzduchový polštář

- Velmi **tenká vrstva vzduchu**, na které se hlavička **vznáší nad rotující plotnou**.
- Výška vznášení je v řádu **mikrometrů** (μm) – naprosto **přesné vzdálenosti**.

Filtrace vnitřního prostředí HDD:

- **Recirkulační filtr** – zachytává **mikroskopické částičky** (*např. prach vzniklý třením hlavy o disk*).
- **Barometrický filtr** – **vyrovnává tlak uvnitř HDD** pomocí **ventilu**, který:
 - při změně tlaku **nasává nebo vypouští vzduch**,
 - **zajišťuje stabilní vnitřní prostředí**, důležité pro funkci vzduchového polštáře.

Počet otáček za minutu (RPM – Revolutions Per Minute)

- Udává **rychlost rotace** plotny disku.
- **Typické hodnoty**: (není potřeba nějak znát)
 - **Notebooky**: 4200 – 5400 ot/min
 - **Stolní PC**: 5400 – 7200 ot/min
 - **Servery/Workstation**: 10000 – 15000 ot/min
- **Vyšší RPM = rychlejší přístup k datům**, ale také **vyšší hluk, teplo a spotřeba**.

Fyzické formátování (Low Level Format – LLF)

- **Provádí se výrobcem disku** – uživatel LLF běžně neprovádí.
- Vytváří se tzv. **nízkoúrovňová struktura disku** – rozdělení na stopy, sektory a cylindry.
- Používá se **laser** a přesné proudy v cívce vystavovacího mechanismu (*aktuátor*).
- **Cílem je**:
 - kalibrace vystavovacích cívek, přesné nastavení pozic hlaviček, maximální přesnost záznamu.

Charakteristika pevných disků

- HDD je PC zařízení sloužící k **trvalému nebo dočasnému ukládání dat**.
- **Ukládají se zde**:
 - **operační systém (OS)**
 - **programy**
 - **uživatelská data** (*soubory, dokumenty, multimédia...*)
- Data se ukládají pomocí **magnetické indukce** – změna magnetizace v záznamové vrstvě reprezentuje **binární informace** (*1 a 0*).
- **Výhody**:
 - Velká **kapacita** (*až v řádech TB*)
 - Nízká **cena** za 1 GB
- **Nevýhody**:
 - Mechanické části → **náchylnost k poškození** při otřesech nebo pádu
 - **Vyšší spotřeba** energie než SSD, **hlučnější provoz**

13. Fyzická struktura HDD

Geometrie HDD

Geometrie disku popisuje **logické a fyzické rozložení dat na plotnách disku**. Zahrnuje pojmy **stopa, sektor, cylindr**:

Stopa (Track)

- Je to **soustředná kružnice na povrchu plotny**.
- Slouží k **záznamu dat** při otáčení disku.
- Na každé plotně je **tisíce stop, číslují se od obvodu (0) směrem ke středu**.

Moderní parametry:

- **Šířka stopy:** 30–50 nm
- (limit perpendikulární technologie: ~25 nm)
- **Hustota:** 30 000 – 50 000 TPI (tracks per inch – stop na palec)

Sektor (Sector)

- Je to **kruhová výseč jedné stopy**.
- Představuje **nejmenší adresovatelnou jednotku disku**.
- Čísluje se **proti směru otáčení disku, od 1**.

Struktura sektoru:

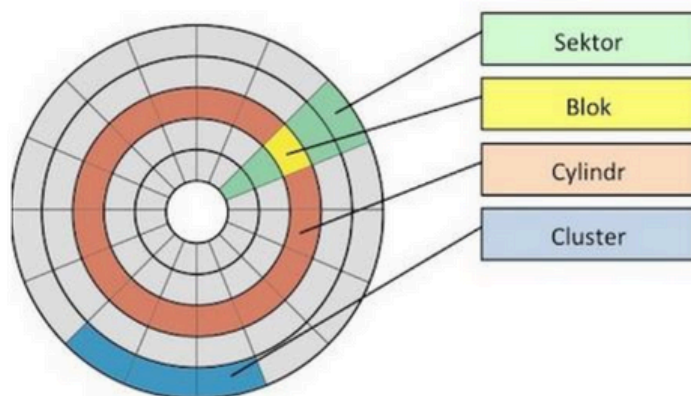
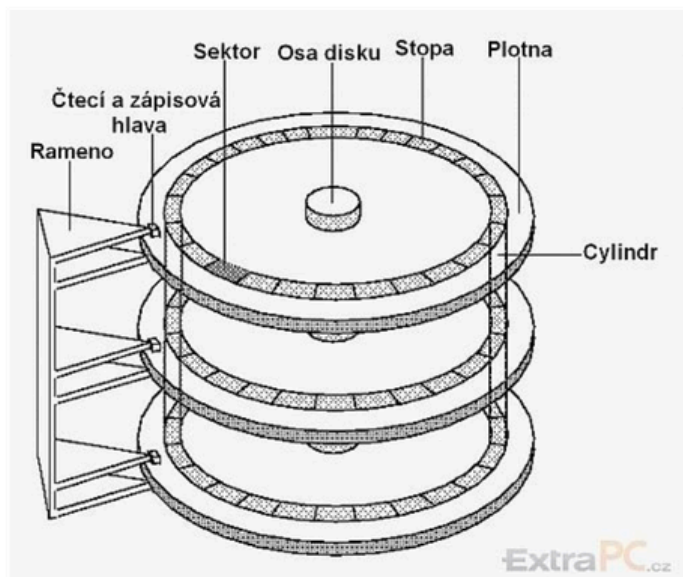
1. **Identifikační část** – určuje polohu:
 - **CHS** – Cylinder / Head / Sector
2. **Datová část** – obvykle 512 B (u novějších disků může být 4096 B – tzv. Advanced Format)
3. **CRC (Cyclic Redundancy Check)** – **zabezpečení integrity dat**

Cylindr (Cylinder)

- Vzniká **prolnutím všech stop** se stejným průměrem na více plotnách.
- Představuje **sadu stop**, které jsou v zákrytu nad sebou.
- Např. pokud má **disk 4 plotny**, jeden **cylindr tvoří 4 stopy** na stejné pozici na každé plotně.

Vlastnosti:

- Čísluje se **od obvodu dovnitř (stejně jako stopy)**.
- **Počet cylindrů = počet stop na jedné plotně**.



13. Fyzická struktura HDD

Adresování – CHS vs LBA

CHS (Cylinder – Head – Sector)

- **Starší způsob adresace** dat na disku podle **fyzické geometrie**.
- Trojrozměrné číslování:
 - **C** – cylindr
 - **H** – hlavička
 - **S** – sektor
- Každý **sektor je určen souřadnicemi CHS**.
- Číslování začíná od **001**, první sektor na disku obsahuje:
 - **MBR** (Master Boot Record)
 - **Partition table**

LBA (Logical Block Addressing)

- **Modernější způsob adresace**, nahrazuje CHS.
- Funguje pomocí **lineárního číslování bloků** – každý **sektor má jedinečné číslo**.
- *Není třeba znát fyzickou geometrii disku (která už u moderních disků neodpovídá realitě).*
- **Číslování od 0** – např. **CHS 001 = LBA 0**
- **48bitová LBA adresa** = možnost adresovat až **2^{48} bloků**, tj. až **128 milionů GB (128 PB)**

Vystavovací mechanismus (aktuátor)

- Zajišťuje **pohyb hlavičky nad požadovanou stopu**.

Princip moderního aktuátoru:

- Cívka s vinutím je uložena v **permanentním magnetickém poli**.
- **Změnou proudu** v cívce → **vznikne magnetická síla**, která **pohybuje ramenem** s hlavičkami.
- **Např.:**
 - proud **2 mA** = stopa **0**
 - proud **4 mA** = stopa **1**
- **Výhody:**
 - velmi **vysoká přesnost** a **rychlost**
 - bez mechanického tření → vyšší spolehlivost

TCAL – Teplotní kalibrace

- Při provozu se disk **zahřívá**, což způsobuje:
 - **dilatační změny** (roztahování kovových částí)
 - nepatrné **posunutí polohy hlaviček** - mohou se naklánět a třít záznamovou vrstvu

Řešení:

- **Pravidelná kalibrace** hlaviček vůči stopám.
- Moderní disky provádí **teplotní kalibraci automaticky za chodu**.
- Zajišťuje **stabilitu přesnosti** čtení/zápisu.

13. Fyzická struktura HDD

Přístupová doba (Access Time)

- Doba, za kterou je disk schopen **najít a pracovat s požadovanými daty**.

Skládá se z:

1. **Vystavovací doba** (*Seek Time*) – čas, než se hlavička přesune nad správnou stopu
2. **Rotační latence** – čekání, než se správný sektor dostane pod hlavičku (*závisí na RPM*)
3. **Přepnutí hlavičky** – výběr správné hlavičky, řádově nanosekundy

Průměrná přístupová doba u HDD: ~8–15 ms

Největší zpoždění způsobují **mechanické části** (*pohyb hlavičky a otáčení disku*).

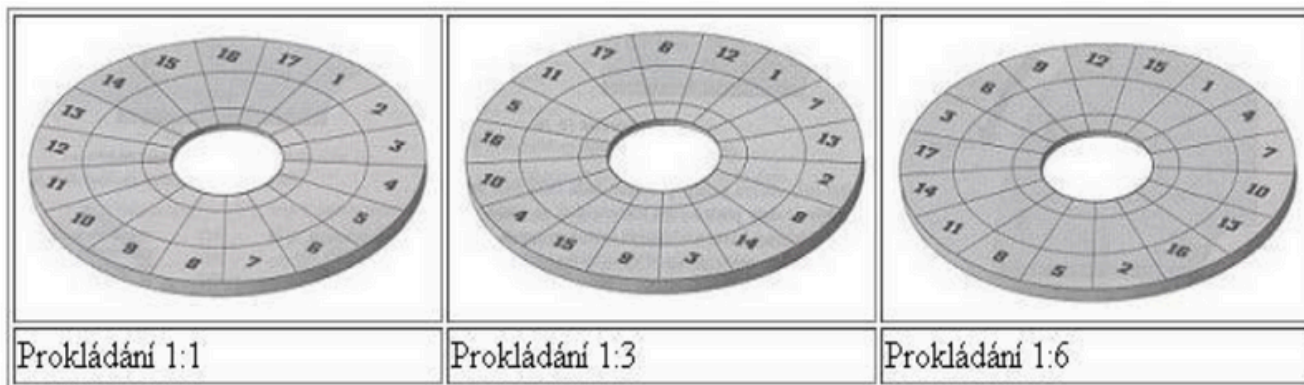
Prokládání (Interleaving)

- Kvůli **vysoké rychlosti otáčení disku** může dojít k tomu, že:
 - Po přečtení jednoho sektoru a jeho zpracování se **hlavička "nestihne" přesunout na další sektor** → **je už pryč**.
 - Musí se **čekat na další otočku** → **zpomalení**.

Řešení: Faktor prokládání (*Interleave factor*)

- Data se **nezapisují do po sobě jdoucích sektorů**, ale např. do **každého n-tého sektoru**.
- Faktor **1:n**:
 - Např. při faktoru **1:3** jsou sektory zapsány takto: **1, 4, 7...**
 - Po zpracování sektoru 1 je právě nad hlavou sektor 4 → **není třeba čekat**.

Zvyšuje efektivitu přenosu dat u pomalejších systémů zpracování (*starší řadiče, CPU*).



13. Fyzická struktura HDD

Kódování dat na pevném disku

Obecný princip:

- Data jsou na disku **reprezentována změnami magnetického toku**.
- Změna z **kladného na záporný** (*nebo opačně*) = impuls, který je detekován při čtení.
- **Přítomnost nebo nepřítomnost impulsu** odpovídá **binárnímu zápisu** (*1 a 0*).
- Problém nastává u **dlouhé řady nul** (*mezer*) → může dojít ke **ztrátě synchronizace řadiče**.

Řešení: použití **kódovacích metod**, které **zajišťují pravidelné impulsy** kvůli synchronizaci.

Typy kódování:

FM

- **Jednoduché, ale zastaralé.**
- 0 → PN (*impuls, mezer*)
- 1 → PP (*impuls, impuls*)
- **Nevýhoda:** Příliš **mnoho impulsů** → **nízká hustota** záznamu.

MFM - stačí jen zmínit, není třeba znát dopodrobna

- **Snížení počtu impulsů** pro vyšší hustotu:
 - 0 → PN (pokud následuje další 0)
 - 0 → NN (pokud následuje 1)
 - 1 → NP
- **Úspora až 20 %** oproti FM.

RLL (*Run Length Limited*)

- Data jsou kódována tak, aby mezi impulsy bylo:
 - **minimálně 2 a maximálně 7 mezer**
- **Úspora až 50 %** oproti MFM.
- Používá se u **starších HDD**, ale efektivní.

PRML, EPRML (*Partial Response Maximum Likelihood*)

- Moderní pokročilé metody:
 - Používají **matematické modely a filtry**.
 - Předpovídají, **jaký bit byl pravděpodobně zapsán**.
- **Vyšší přesnost** při vysoké hustotě zápisu.

Prekompenzace - spíš nezmiňovat, každý má na definici jiný názor

- **Problém:** Stopy blíže středu disku jsou **kratší a hustší**, což vede ke **slučování magnetických bitů** → **ztráta dat**.
- Řadič proto **předem upravuje zápis dat tak**, aby vliv magnetických polí mezi bity **nezpůsobil chyby**.
- Umožňuje **stabilní záznam i v těsnějším prostředí** → bez prekompenzace by byla data ve středu disku nestálá.

ZBR – Zone Bit Recording (Zónový záznam)

- Disk je **rozdělen do zón** – každá **zóna obsahuje různý počet sektorů na stopu**.
- Na **vnějších stopách** (*delších*) je **více sektorů**, uvnitř méně.
- **Velikost sektorů** je všude **stejná** (*např. 512 B*), ale jejich **počet na stopu se mění**.
- **Výhoda:** **vyšší využití prostoru disku**, rovnoměrné zatížení.

13. Fyzická struktura HDD

MTBF – Mean Time Between Failures

- **Střední doba mezi poruchami** – ukazuje spolehlivost zařízení.
- **Získává se:**
 - **prakticky:** provozem **více disků** až do poruchy → **průměr**
 - **simulačně:** zátěžové **testy a statistika**
- Např. hodnota **1 000 000 h MTBF** znamená **teoreticky 1 porucha na milion hodin provozu**.

Pozor: MTBF neznamena, že disk vydrží milion hodin – je to **statistický průměr pro velké množství disků**.

SMART – Self Monitoring, Analysis and Reporting Technology

- **Monitorovací systém** zabudovaný do disku.
- Sleduje **vnitřní parametry HDD v reálném čase**.
- **Umožňuje předvídat poruchy** a včas **varovat uživatele** (např. systémem).

Předvídatelné chyby (SMART je detekuje):

- Výška hlaviček
- Počet vadných sektorů
- Čas roztočení disku
- Teplota disku

Nepředvídatelné chyby:

- Výpadek napájení
- Mechanické poškození (např. pád)
- Přehřátí
- Vnější magnetické pole

SMART data lze zobrazit např. přes programy: **CrystalDiskInfo, HDDScan, nebo BIOS/UEFI**.

Moderní záznamové technologie HDD

SMR – Shingled Magnetic Recording (Šindelový záznam)

- U SMR se **magnetické stopy mírně překrývají** – podobně jako šindele na střeše.
- Zápisová hlava **vytváří širší stopu**, než je potřeba ke čtení.
- Stopy se překrývají tak, že se **zachová čitelnost, ale zvýší se hustota zápisu**.
- Vhodné pro **sekvenční zápis dat** (např. zálohy, archivy), **nevhodné pro častý přepis**.

Výhoda: vyšší kapacita na stejném prostoru

Nevýhoda: přepis dat v překrytých stopách je pomalý – **nutnost přepisovat celé bloky**.

HAMR – Heat-Assisted Magnetic Recording

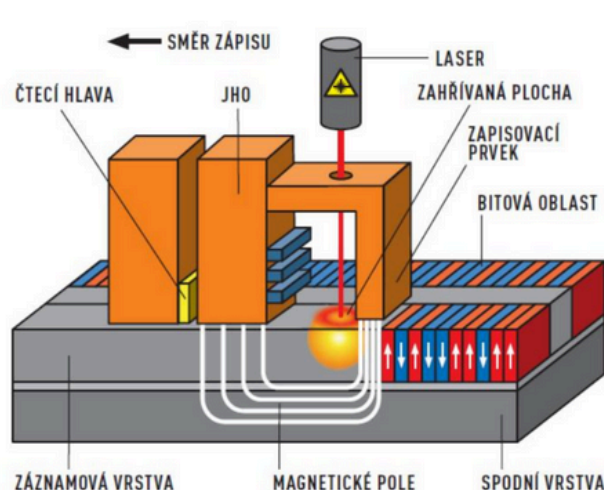
- Laserem se **zahřeje velmi malá oblast záznamové vrstvy** → dočasně se sníží její koercitivita (odolnost proti změně magnetizace).
- Poté se **do zahřátého místa zapisuje pomocí klasické magnetické hlavy**.
- Záznamová vrstva je z materiálů, které reagují na magnetické pole pouze **při vyšších teplotách** (např. slitiny železa a platiny).
- Po ochlazení se záznam **"uzamkne"** → **velmi stabilní**.

Výhoda: extrémní **hustota zápisu**, vysoká odolnost dat

Nevýhoda: složitá a **drahá výroba**, vyšší energetické nároky

Cíl: **zdvojnásobení kapacity disků** oproti PMR/SMR

13. Fyzická struktura HDD

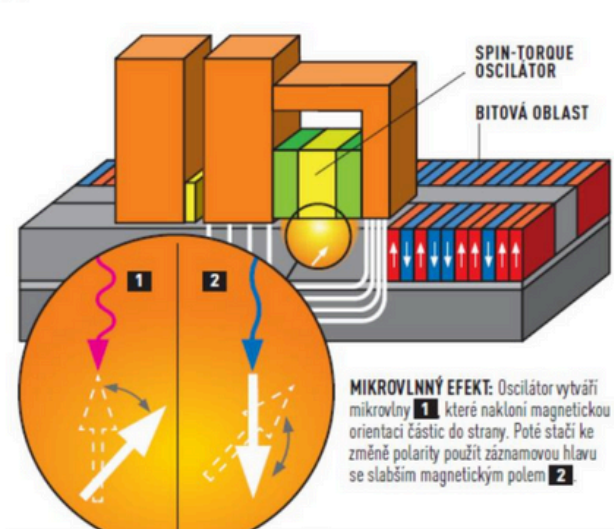


MAMR – Microwave-Assisted Magnetic Recording

- Nahřívá záznamovou oblast **pomocí mikrovlnného záření**.
- Využívá **spin-torque oscilátor**, který vytváří **lokální vysokofrekvenční pole (GHz)** → **snižuje potřebné magnetické pole pro přepis**.
- Funguje při **nižších teplotách než HAMR** → **levnější a spolehlivější na výrobu**.

Výhoda: vysoká hustota zápisu bez potřeby laseru

Použití: alternativní technologie pro budoucí generace HDD



Technologie	Princip	Výhoda	Nevýhoda
SMR	Překrývání stop	Vysoká kapacita	Pomalejší přepis
HAMR	Laserové zahřátí místa před zápisem	Velmi vysoká hustota a stabilita	Výroba, teplotní zátěž
MAMR	Zahřátí mikrovlnami	Menší složitost než HAMR	Vyžaduje speciální řadiče