

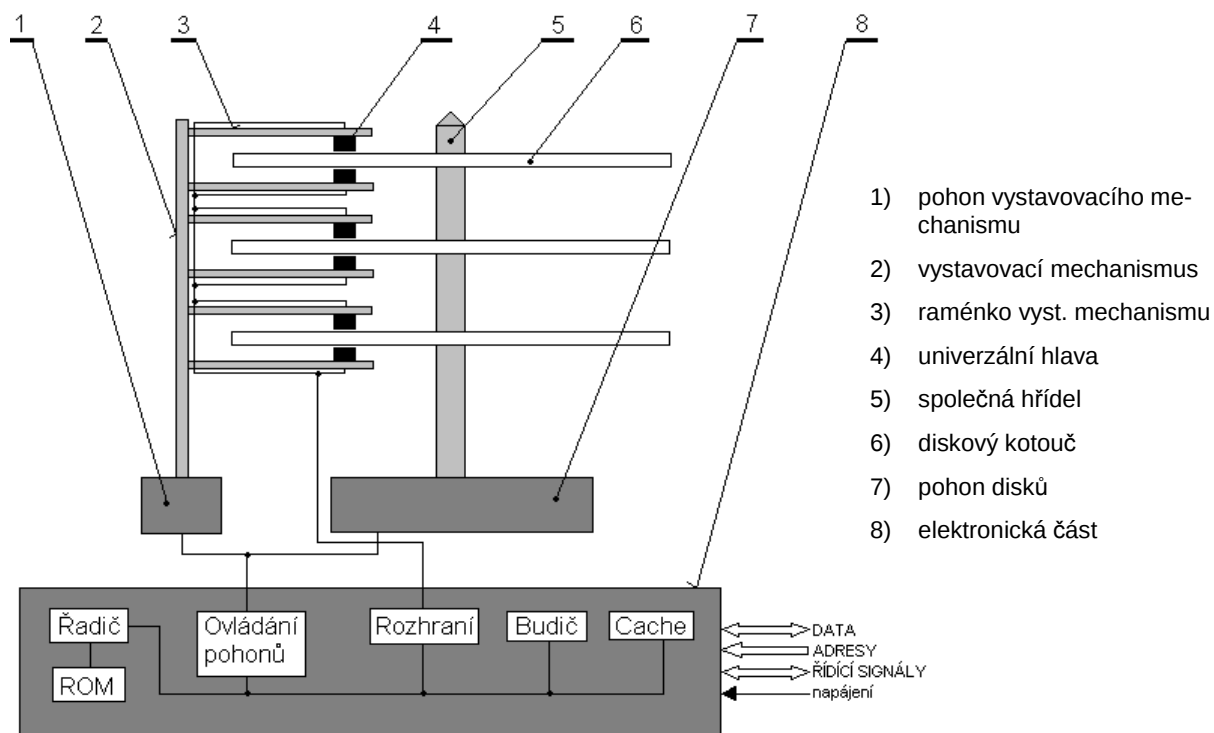
Hard disk (HDD) – pevný disk

Pevný disk je velkokapacitní paměť s pohyblivou magnetickou vrstvou, energeticky nezávislá. Používá se k ukládání nejdůležitějších programů a dat. Je zde nainstalován také operační systém.

Struktura – části disku můžeme rozdělit na:

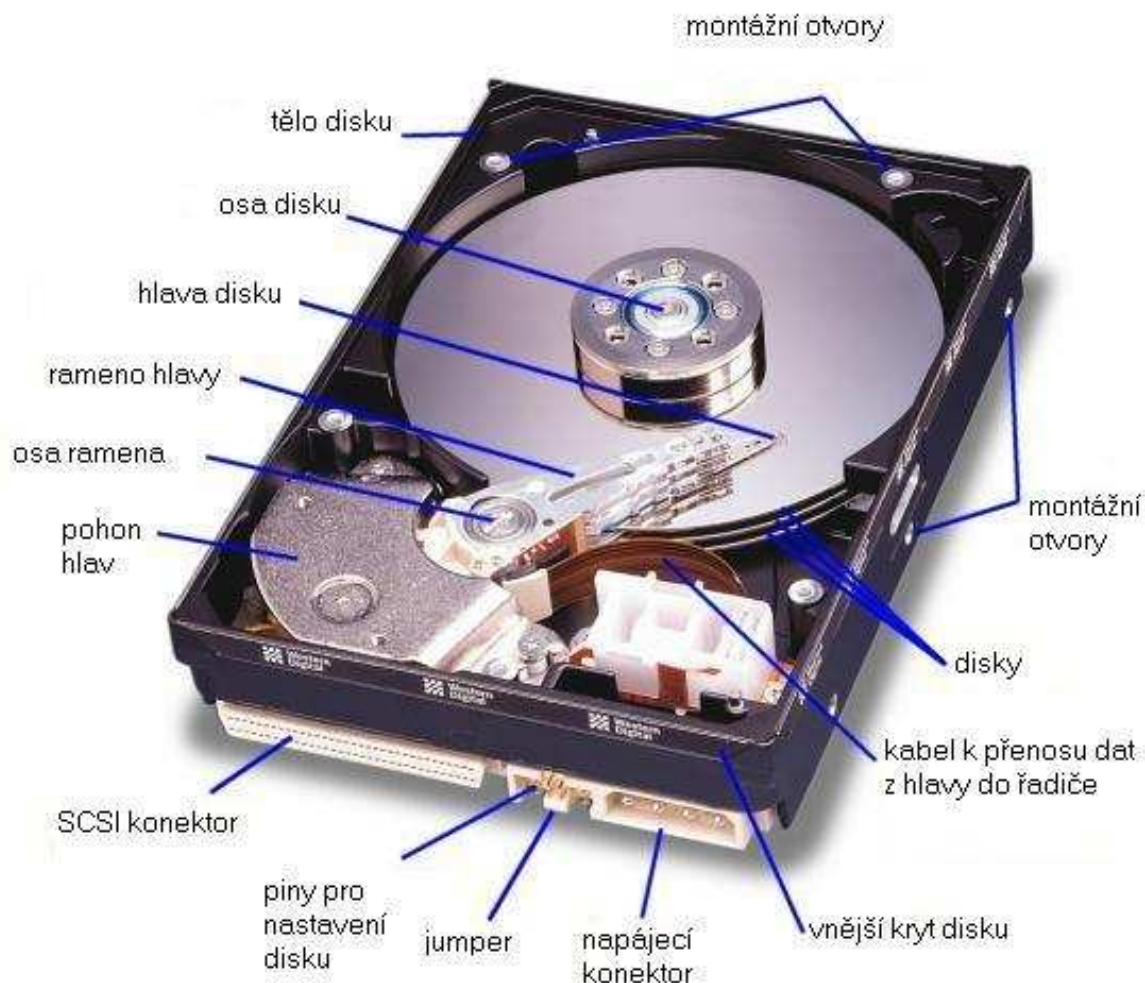
Disková jednotka - HDD		
HARDWARE – fyzická struktura		SOFTWARE (Firmware)
Elektromechanické části	Elektronické části	Geometrie disku (stopy, cylindry, sektory, cluster, strany, hlavy) Logická struktura, Souborové systémy
Disková hlava, hřídel, diskové kotouče, vystavovací (polohový) mechanismus, pohony	Deska s plošnými spoji (řadič, ROM, rozhraní, Cache), konektory, jumper	

Blokové schéma HDD



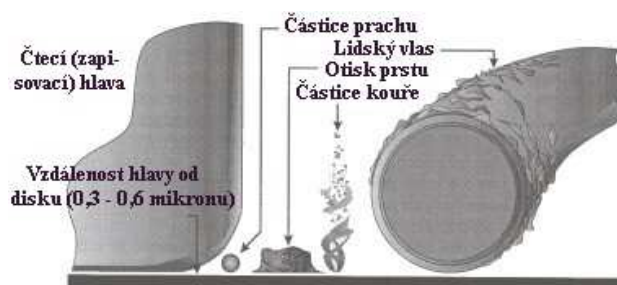
Elektromechanické části HDD (fyzická struktura)

Pohled na otevřený pevný disk

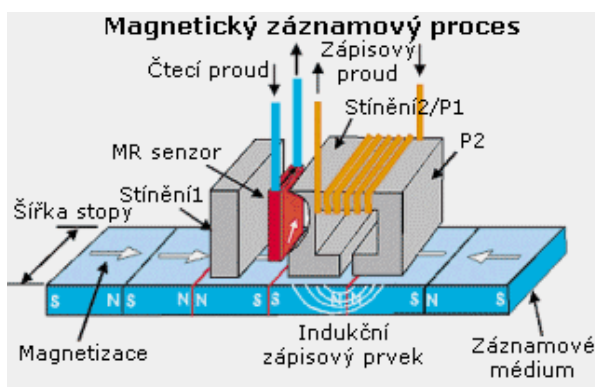
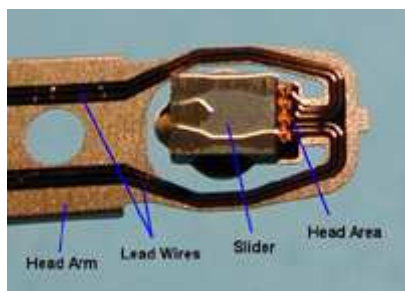


Základem pevného disku je přibližně 1mm silná lehká plotna ve tvaru disku, vyrobená většinou ze slitin hliníku. Na této plotně se nachází magnetická vrstva a na ní je ještě nanesena tenká vrstva maziva, chránící magnetickou vrstvu před poškozením. Nad těmito vrstvami pluje na vzduchovém polštáři v nepatrné výšce čtecí a zápisová hlava. Při zápisu dat na pevný disk prochází čtecí a zápisovou hlavou proud, který zmagnetizuje magnetickou vrstvu. Při čtení pak tato magnetická vrstva indukuje v hlavě proud, který je snímán, zesilován a zpracováván dalšími obvody (ne u MR hlav). Magnetická vrstva se nanáší z obou stran plotny, tzn. každé plotně přísluší dvě hlavy. Do disku se většinou dává více ploten, které jsou spojeny středem disku (vřetenem) do svazku. Tím dochází ke zvýšení kapacity pevného disku. Otáčení svazku ploten umožňuje motor v jádru vřetene nebo na povrchu jednotky.

- a) *Disková hlava* – umístěna na pohyblivém raménku vystavovacího mechanismu, má zvláštní plošku aerodynamického tvaru, která způsobí vztlakem vzduchu, vznikajícím rotací disku, nadzdvihnutí „plovoucí“ hlavy. Hlava se pohybuje ve vzdálenosti řádu desetin mikronu nad povrchem disku.

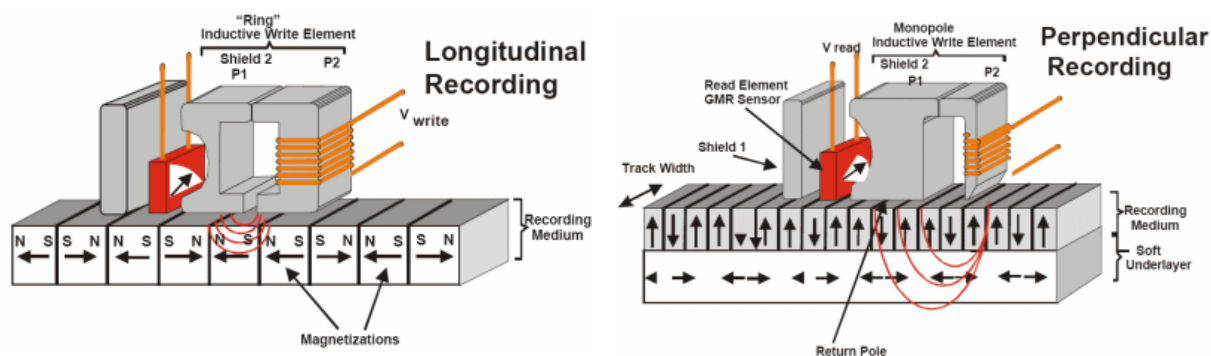


U starších disků a disket se pro čtení i zápis používají hlavy založené na principu magnetické indukce. Dnes se u disků používají magnetorezistivní - MR hlavy. Indukční hlavu používá pouze pro zápis, pro čtení se používá prvek založený na změně elektrického odporu při vystavení magnetickému poli. Na obrázku je znázorněn princip magnetického



záznamového procesu a sloučená MR hlava pohybující se nad rotujícím diskem. Indukční prvek zapíše bity informace jako zmagnetizované oblasti ve stopách, které jsou později čteny MR-senzorem. Přítomnost magnetického přechodu se dá přímo detekovat jako změna odporu. Zdokonalená verze MR hlaviček zvaná GMR (Giant MR) umožňuje číst ještě hustěji zaznamenaná data.

Ke zvýšení hustoty záznamu se přešlo z podélného záznamu na kolmý.



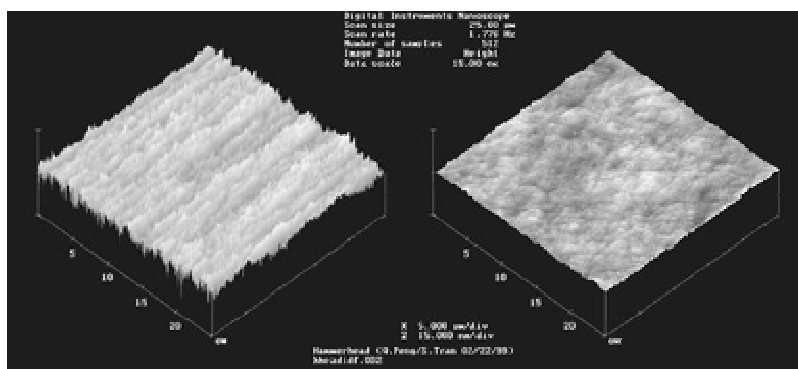
Kolmý zápis nahrazuje padesát let používaný podélný, u něhož byl klíčovým prvkem prsten-cový elektromagnet, mezi jehož póly bylo vyvoláváno pole, které procházelo (na obrázku znázorněno siločarami) také magnetizovatelnou látkou, kterou orientovalo vhodným směrem. U kolmého záznamu jsou základními prvky *asymetrický elektromagnet* a *stabilizační vrstva*. Ta je umístěna pod záznamovou a stará se o to, aby magnetické pole procházelo magnetizovatelnou látkou nikoli podélně, ale pokud možno kolmo. Asymetrická hlavička, kde jeden pól je výrazně tenčí, se stará o to, aby bylo pole směřováno více do hloubky než do šířky. Tím jsou prvky záznamové plotny orientovány nikoli podélně, ale svisle. Díky kolmému záznamu je možné dosáhnout asi pětinasobné kapacity.

b) *Pohon disku, hřídel* – na společné hřídeli je umístěno několik diskových kotoučů.

Na pohonu disku, otáčkách hřídele, je závislá průměrná čekací doba. Čím jsou otáčky větší, tím je čekací doba menší. Vyšší rychlost otáčení disku ještě nemusí znamenat přínos. Mezi rychlostí otáčení a provozními podmínkami platí: Čím více otáček, tím horší provozní podmínky. S rostoucím počtem otáček roste tvorba tepla uvnitř pouzdra disku, což zvyšuje nároky na ventilaci. Pokud tedy nemá takový disk dokonalou ventilaci, vede to k častějšímu výskytu chyb a tím i ke snížení životnosti. Průměrná rychlost otáčení je dnes 4200, 5400, 7200, 10000 a 15000 ot/min. Důležité tedy je, aby jeho pouzdro motor-ku pohánějícího plotny bylo vyrobeno z nemagnetické látky, která zajistí magnetické stínění motoru.

- c) *Diskové kotouče (plotny)* – jsou nejdůležitější částí disku, protože právě na nich jsou uložena data. První pevné disky měly plotny o velikosti 5.25", dnes jsou plotny velké 3.5" a 2.5". Menší průměr vede ke snížení kapacity disku, ale vede k úspoře energie, zmenšení hmotnosti, atd. V dnešních pevných discích bývají zpravidla 1-3 plotny, ale některé serverové řady disků mají kvůli kapacitě až 10 ploten. Každá plotna má dva povrchy, na kterých mohou být uložena data a každý povrch má svojí čtecí / zapisovací hlavu. Čím méně ploten disk má, tím lépe. Pokud má disk více ploten, je většinou hlučnější, více vibruje a pomaleji se roztáčí. Proto se výrobci disků snaží, aby měl pevný disk co největší kapacitu na plotnu a co nejméně ploten. Plotny jsou většinou vyrobeny z hliníkových slitin. Výjimkou je firma Hitachi (dřívější IBM), která již delší dobu vyrábí plotny ze skla. Vzhledem k tomu, že plotny musí být extrémně hladké a ploché, je to určitě výhoda (viz obrázek). Další výhodou skleněných ploten je větší odolnost vůči teplu a větší pevnost, nevýhodou je naopak křehkost, v případě, že je plotna příliš tenká.

Na levé straně plotna z hliníku, na pravé straně ze skla:



Magnetická vrstva nanesená na plotnu je buď z oxidu železa (kysličník železitý Fe_2O_3 u starších disků) nebo z velmi slabě naneseného magnetického substrátu, který je lepší pro dnešní vysokokapacitní disky (může totiž nést mnohem více informací na stejně velkém povrchu).

- d) *Vystavovací mechanismus* – jeho úkolem je vystavit hlavy nad požadovanou stopu. Důležitý je jeho pohon, který je dnes proveden pomocí kmitající cívky (v minulosti se používaly krokové motorky). Dvě cívky jsou umístěny v silném magnetickém poli permanentních magnetů. Přivedením elektrického proudu do cívek, vzniká jejich vlastní pole. Vzájemným silovým účinkem obou polí dochází k pohybu cívek i s raménkem, na jehož konci jsou hlavičky. K orientaci využívá zpětnou vazbu. Při ukončení práce s diskem a vypnutí počítače se hlavy musí přesunout do takzvané parkovací zóny, kde po zastavení ploten dosednou na jejich povrch. Pro parkovací zónu bývá většinou vyčleněna nejvnitřnější stopa disku.

Elektronické části HDD

Řídicím centrem pevného disku je jeho elektronika. První pevné disky neměly v podstatě žádnou elektroniku a všechny příkazy pro disk musel obstarávat řadič (tehdy většinou umístěný jako rozšiřující karta v ISA slotu). S příchodem IDE (Integrated Drive Electronics – volně přeložitelné jako „elektronika integrovaná na disku“) se tento stav změnil. Všechny IDE disky už mají řadič integrovaný v sobě.

Elektronika sestává z desky s plošnými spoji, kde se nacházejí: řadič (mikroprocesor), paměti RAM (registry, cache), ROM, obvody rozhraní, konektory, konfigurační přepínače.

Hlavními funkcemi elektroniky jsou:

- ✓ kontrola rychlosti otáčení disku.
- ✓ kontrola přesunu hlav nad plotnami.
- ✓ zprostředkování všech operací čtení nebo zápis.
- ✓ „překlad“ geometrie disku.
- ✓ spravování vyrovnávací paměti (cache) a její optimalizace.
- ✓ doplnění pokročilých funkcí pro zvýšení rychlosti a spolehlivosti.
- ✓ zesilování signálů jdoucích z hlav a jejich převedení na „jedničky a nuly“ a naopak.
- ✓ řízení toku informací z/do disku.
- ✓ optimalizace pořadí požadavků na čtení a zápis (pro rychlejší vykonání).

- a) **Řadič** – jeho úkolem je na základě vnějších požadavků (instrukcí) řídit čtení/zápis dat na HDD. Svými řídicími impulsy rovněž koordinuje činnost všech částí HDD. Programy (mikrokód) podle kterých pracuje se nacházejí v paměti ROM.
- b) **ROM** – je v ní uložen miniaturní OS pevného disku (firmware), řízení pohonu, kódování a dekódování dat, pokus o odstranění chyb při čtení, nebo zápisu atd.
- c) **RAM (CACHE)** – statická RAM, která obecně slouží k dočasnému uložení dat mezi částmi počítače, které pracují různou rychlostí, jejím úkolem je urychlení přenosu dat. U HDD má kapacitu mezi 8 až 32 MB. Pokud se cache používá při zápisu (tzn. funguje write-back caching), data, která pošle systém pevnému disku, se uloží do cache a elektronika disku vyšle informaci o tom, že data byla úspěšně uložena. Teprve pak se stará o jejich skutečné uložení. Tento postup je v pořádku do té doby, dokud funguje přívod elektrické energie. Při výpadku se totiž ztratí všechna data v cache a co je horší, operační systém o tom neví, neboť dostal zprávu, že byl zápis úspěšně proveden. To může vést třeba k poškození operačního systému a nebo k úplné ztrátě dat !
- d) **Rozhraní**

Rozhraní Paralel ATA (PATA) – ATA rozhraní využívá 40ti-pinového konektoru, na nějž se připojují ploché datové kabely. Původní specifikace rozhraní ATA podporovaly přenosové módy PIO 0 až PIO 5 (Processor Input Output). PIO je režim využívající procesor k řízení přenosů dat a dle své verze dokáže poskytnout propustnost 2 až 22MB/s.

Od PIO módu se posléze přešlo k režimu DMA (Direct Memory Access – přímý vstup k paměti), díky kterému již disky nemusejí k přenosu dat využívat procesor, takže i méně zatěžovaly celý systém. Jednalo se o tzv. rozhraní Ultra ATA/33 a Ultra ATA/66, u nichž se díky výraznému zvýšení přenosových rychlostí objevil problém *parazitní kapacitní vazby*, kdy se signály jednotlivých datových vodičů navzájem ovlivňovaly. Řešením bylo, že původně 40ti-žilový plochý kabel byl doplněn o dalších 40 žil, které se postaraly o odrušení jednotlivých datových žil (stínění). Ultra ATA se dále vyvíjelo, až dosáhlo teoretické přenosové rychlosti 133MB/s u verze Ultra ATA/133 (UDMA 6).

Rozhraní Serial ATA (SATA) - Oproti PATA využívá původní verze SATA pouze 1bitovou šířku, ale při taktovací frekvenci 1500MHz = teoretická přenosová rychlost 1,5 Gbit/s.

Další verze SATA, označovaná jako SATA II, dosahuje teoretické přenosové rychlosti 3 Gb/s.

Rozhraní SATA kromě menších a skladnějších datových i napájecích SATA kabelů přineslo i technologii hot-swap, tedy schopnost připojit a odpojit zařízení za běhu počítače tak, aby je operační systém rozpoznal, což u PATA nebylo možné. Hot-swap mimo jiné podporují také rozhraní USB, FireWire, PCI-X a SCSI.

e) **Konektory** - pevný disk musí být propojen se zbytkem PC a také mu musí být dodávána elektrická energie.

- ✓ napájecí – 4 žilový, nelze jej zapojit opačně, +5V a +12V
- ✓ datové – počet vodičů je závislý na použitém řadiči – rozhraní PATA, SATA, SCSI. Konektory nelze zapojit opačně.



Datový PATA kabel



Datový SATA kabel

f) **Konfigurační přepínače**

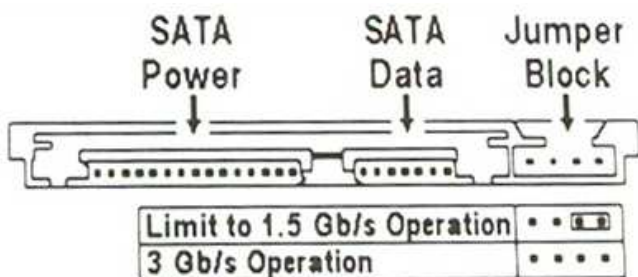
Disky s rozhraním PATA:



- ✓ Master pro připojení hlavního disku na daném kanálu
- ✓ Slave pro připojení sekundárního disku na daném kanálu
- ✓ Cable select (CS) pro automatické nastavení (u 80ti-žilového kabelu).

Disky s rozhraním SATA II:

- ✓ Omezení přenosové rychlosti rozhraní SATA II (3 Gb/s) na SATA I (1.5 Gb/s) z důvodu zpětné kompatibility s řadiči disků typu SATA I.



Geometrie pevného disku

Před zápisem jakýchkoliv dat je nutné pevný disk nejprve naformátovat. Formátování pevného disku zahrnuje tyto tři kroky:

1. Fyzické, neboli nízkourovňové formátování (LLF – low level format).
2. Rozdělení disku na oddíly.
3. Logické, neboli vysokoúrovňové formátování (HLF – high level format).

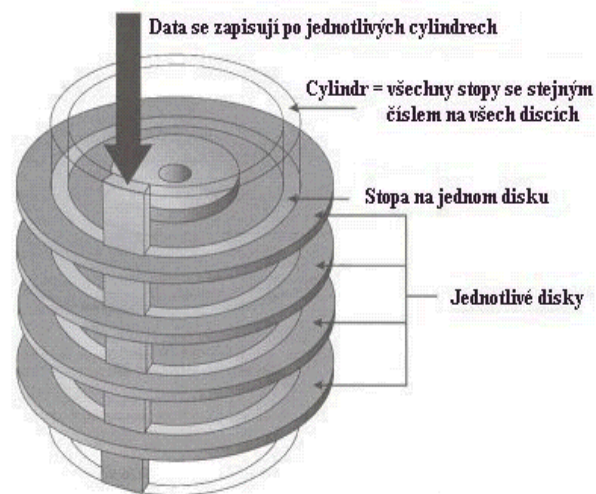
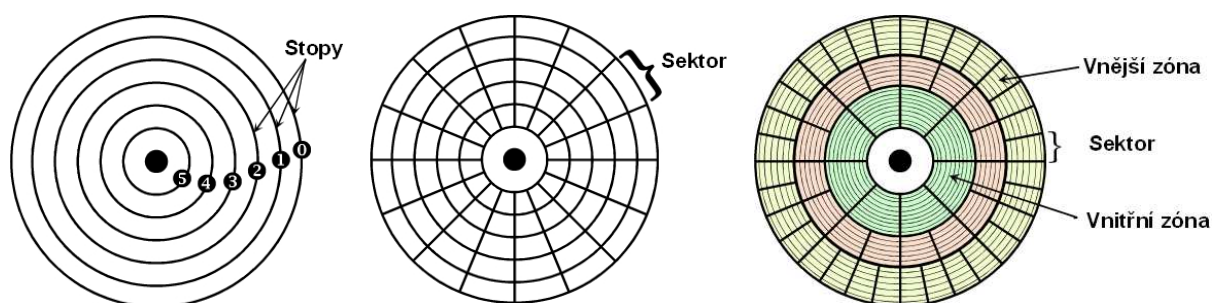
Nízkourovňové (fyzické) formátování

Toto formátování je prováděno přímo výrobcem disku. Během nízkourovňového formátování je plotna pomocí elektromagnetického záznamu rozdělena na stopy a sektory oddělené mezerami.

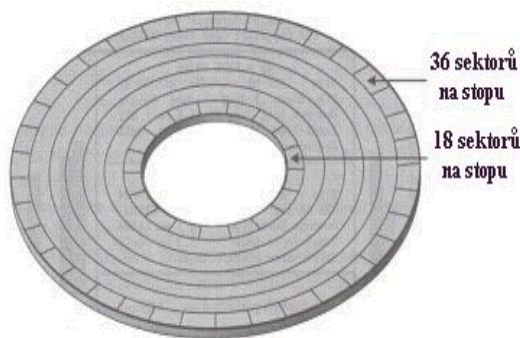
Stopa (track) je oblast pro ukládání dat ve tvaru soustředné kružnice. Počet stop na jedné straně plotny se může pohybovat od několika tisíc po desetitisíce. Každá stopa je rozdělena na menší části, kterým se říká sektory.

Sektor (sector) je část jedné stopy, ohraničená na začátku i konci identifikačními značkami, určujícími mimo jiné jeho číslo, polohu, začátek a konec. Jde o základní jednotku pro ukládání dat. Standardní sektory mají velikost 512 bajtů. Ve skutečnosti je to více, například 571 bajtů, z toho 512 bajtů připadá na ukládání dat a zbytek slouží k uložení identifikačních údajů sektoru.

Stopy a sektory se číslují. Sektory v jedné stopě jsou očíslovány od čísla 1, zatímco stopy, hlavy nebo cylindry se číslují od čísla 0. Nultá stopa je na vnějším okraji plotny.



Cylindr je sada stop se stejným číslem na různých stranách ploten. Takové stopy se nacházejí nad sebou ve stejné vzdálenosti od středu plotny a vytváří pomyslný válec. Pojem cylindr je významný především z hlediska efektivního čtení a zápisu dat. Hlavičky se totiž nemohou pohybovat nezávisle, ale nacházejí se vždy nad sebou. Z toho také plyne, že nejefektivnější je číst data ze sektorů, které jsou na jedné stopě a jejichž stopy jsou ve stejném cylindru. Jedině tak lze v nejkratší době přečíst maximální množství informací.



U všech moderních disků se při nízkoúrovňovém formátování používá metoda zónového zápisu (ZBR – zone bit recording). U zónového zápisu se stopy (cylindry) seskupují do zón s různým počtem sektorů ve stopě. Vnější stopy jsou totiž podstatně delší než stopy u středu disku. V dlouhých stopách na vnějším okraji plotny je sektorů více a v kratších stopách u středu méně. Používání ZBR tedy zvyšuje kapacitu disku.

Cluster - Operační systém si potom z jednotlivých sektorů skládá alokační jednotky nazývané clustery. Cluster je nejmenší použitelné množství dat pohromadě. **Použití clusterů umožňuje výrazně snížit režii při adresaci a evidenci uložených dat.** Velikost clusteru je dána především velikostí diskového oddílu a použitým souborovým systémem. Jeden cluster může obsahovat například 4, 8, 16, 32, 64, ... sektorů. Jeden cluster nemůže být obsazený daty ze dvou souborů, i když je zaplněn jen z části. Má-li soubor velikost např. 1kB a velikost clusteru je nastavena na 4kB, zabere soubor na pevném disku 4kB (zbývající 3kB nebude možné dále využít!). Většina specializovaných nástrojů umožňuje délku alokačního bloku měnit (v mezích souborového systému).

Geometrie disku tedy udává hodnoty následujících parametrů:

1. Počet stop (tracks)
2. Počet sektorů (sectors)
3. Počet cylindrů
4. Počet a velikost clusterů
5. Počet čtecích / zapisovacích hlaviček (heads) - tento počet je shodný s počtem aktivních ploch, na které se provádí záznam. Většinou každý jednotlivý disk má dvě aktivní plochy a k nim příslušné čtecí (zapisovací) hlavy.

Kapacita disku se vypočítá jako součin CHS – cylindry x hlavičky x sektory.

Čím větší bude hustota stop na záznamové vrstvě (tedy čím menší budou stopy samotné) a čím menší budou záznamové a čtecí hlavy, tím víc dat lze na záznamovou vrstvu uložit.

Parametry HDD

Formát disku	1.8“, 2.5“, 3.5“, 5.25“ (starší HDD, dnes se již neprodávají)
Rozhraní	Ultra ATA/33, Ultra ATA/66, Ultra ATA/100, Ultra ATA/133, Serial ATA I/150, Serial ATA II/300, SCSI
Kapacita	[GB], [TB]
Otáčky	[ot/min], [RPM] (angl. RPM – Rotates Per Minutes) 4200, 5400, 7200, 10000, 15000 ot/min
Vyrovňovací paměť	[MB]
Přístupová doba	[ms] Udává se hodnota pro čtení / zápis
Počet ploten	počet ploten úzce souvisí z celkovou kapacitou disku

Odolnost proti otřesům	přetížení při nárazu disku [G] Vybavení <i>G-senzorem</i> , který je schopen rozpoznat, kdy pevný disk padá na zem. Integrovaný systém umí v takovém případě zaparkovat hlavičky na bezpečná místa, kde nedojde k jejich poškození.
Spotřeba energie	[W] udává se při stavu IDLE (disk je nečinný) a při čtení / zápisu.
Hmotnost	[g]

Technologie S.M.A.R.T.

Pomocí technologie S.M.A.R.T (*Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology*) se periodicky měří a sledují vlastnosti a chování pevného disku a při detekci kritických hodnot dojde k odeslání varování operačnímu systému. Jde tedy o technologii, která za určitých podmínek dokáže předvídat selhání pevného disku.

Oblasti poškození disku dělíme do dvou kategorií:

1. *Předvídatelné* – zde řadíme především:
 - a. mezní výšku hlaviček nad záznamovou plochou (při kritických hodnotách může dojít ke kolizi hlaviček s plotnou – HEAD CRASH, tedy fyzické nenávratné poškození datové oblasti disku).
 - b. počet vadných sektorů.
 - c. čas potřebný k roztočení ploten (indikace poruchy motoru).
 - d. teplota (zvýšená teplota disku, měřená podle interních teplotních čidel, ukazuje na problémy s motorem, nebo ložisky disku).
 - e. *použití ECC* - ECC (Error Correction Code - kód pro opravu chyb). Z praxe je známo, že lepší je mít rychlejší disk a akceptovatelné množství chyb, které opraví ECC, než stoprocentně bezchybný disk, který je pomalý. Pokud se ovšem ECC používá příliš často, snižuje se výkon a disk patrně není v pořádku.
2. *Nepředvídatelné* - disk se poškodí bez předchozího varování a zařazujeme mezi ně poškození náhlým přepětím, mechanická poškození v důsledku špatného zacházení (např. pád disku) nebo poškození částí disku vlivem nadměrného tepla či vnějšího silného magnetického pole.

Technologie NCQ

NCQ (*Native Command Queing*) se projeví, pokud jsou spuštěny aplikace se současným přístupem na pevný disk. Při použití NCQ pevný disk sám optimalizuje (tedy optimálně změní) pořadí, ve kterém jsou vykonány požadavky (instrukce) pro zápis nebo čtení. Tato optimalizace může redukovat nadbytečný pohyb hlaviček disku. Tím se zvýší rychlost přenosu dat mezi řadičem a diskem a také se mírně sníží opotřebení disku. Uplatnění nachází NCQ především u serverů s častým přístupem na disk. V případě přístupu jedné aplikace na disk ovšem přínos ve výkonu znát není.

Technologie AAM

AAM (*Automatic Acoustic Management*) je technologie, pomocí které lze řídit hladinu hluku a výkon pevných disků. AAM ovlivňuje rychlost pohybu hlaviček pevného disku - tím je přímo ovlivněna přístupová doba pevného disku. AAM nemá vliv na přenosovou rychlost pevného disku.

AAM ovlivňuje pouze intenzitu zvuku vydávaného při pohybu ("seek") hlaviček pevného disku (zvuk známý jako "chroustání" či "cvakání"), neovlivní však hladinu permanentního hluku, který vydávají rotující plotny pevného disku - ta je ovlivněna především použitými ložisky (klasická vs. fluidní) a rychlostí rotace ploten (5400 ot/min, 7200 ot/min, atd.).

Příklad pevného disku:

Typ	Seagate Barracuda ST3750640NS
Formát	3.5"
Kapacita	750 GB
Rozhraní	Serial ATAII/300
Otáčky	7200 ot/min
Cache paměť	16 MB
Počet ploten	4
Přístupová doba	8.5 ms (čtení) / 9.5 ms (zápis)
Technologie S.M.A.R.T.	ano
Technologie NCQ	ano
Podpora AAM	ne
Odolnost proti otřesům	63 G / 225 G (disk v činnosti / nečinnost)
Hlučnost	2.7 dB
Spotřeba energie	průměrně 13 W
Hmotnost	720 g