

# Magnetický záznam dat (1)

- Magnetický záznam dat je prováděn působením magnetického pole na magneticky vodivý materiál
- K vyjádření jakosti magnetického pole se používají dvě veličiny:
  - intenzita magnetického pole:  $H$  [A/m]
  - magnetická indukce:  $B$  [T]
- Magnetická indukce vzniká působením intenzity magnetického pole

# Magnetický záznam dat (2)

- Mezi veličinami  $H$  a  $B$  platí vztah:

$$B = \mu \cdot H$$

kde  $\mu$  je veličina zvaná **permeabilita** [H/m]

- Pro  $\mu$  platí:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

kde  $\mu_0$  je **permeabilita vakua**

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \approx 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

$\mu_r$  je **relativní (poměrná) permeabilita**  
daného materiálu

# Magnetický záznam dat (3)

- Relativní permeabilita určuje, kolikrát je dané prostředí magneticky vodivější než vakuum a je bezrozměrná. Pro:
  - vakuum je  $\mu_r = 1$
  - vzduch je  $\mu_r \approx 1$
- Podle chování látek v magnetickém poli, tj. podle velikosti relativní permeability se látky dělí do tří skupin:
  - **diamagnetické** ( $\mu_r < 1$ ): např. měď, zinek, zlato, stříbro

# Magnetický záznam dat (4)

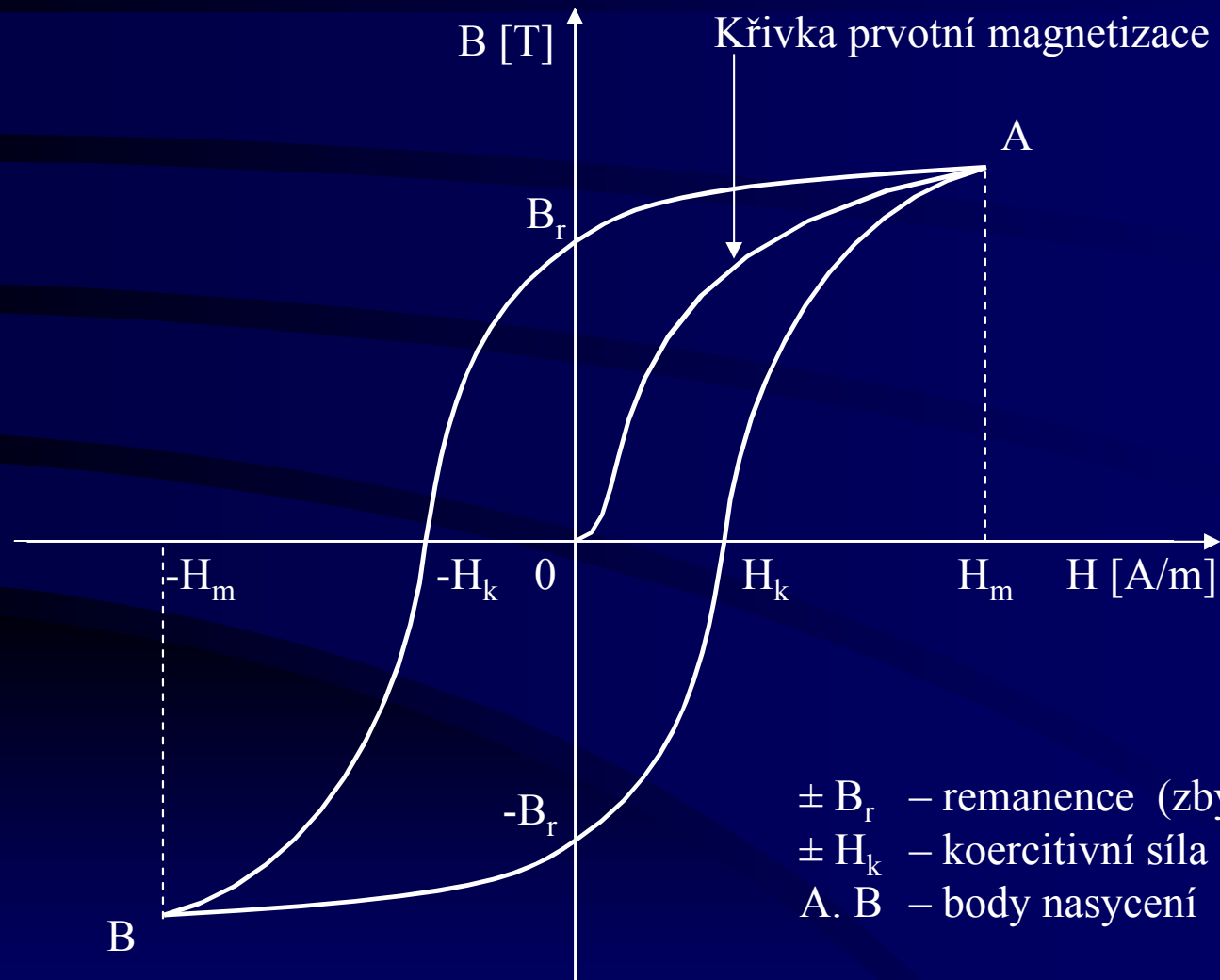
- paramagnetické ( $\mu_r > 1$ ): např. platina a hliník
- feromagnetické ( $\mu_r \gg 1$ ): např. železo, nikl, kobalt, ferity
- Z hlediska magnetického záznamu mají největší význam látky feromagnetické, z nichž bývají vyrobeny záznamové vrstvy např.:
  - pružných disků
  - pevných disků
  - magnetofonových pásek

# Magnetický záznam dat (5)

- Vznik hysterézní smyčky:
  - necht' feromagnetický materiál nemá žádnou magnetickou orientaci, tj. je ve stavu  $H = 0 \text{ A/m}$  a  $B = 0 \text{ T}$
  - tento materiál vložíme do cívky a do jejího vinutí zavedeme elektrický proud
  - hodnotu proudu postupně zvyšujeme, čímž vzrůstá intenzita magnetického pole vytvářeného cívkou
  - tím rovněž vzrůstá ve feromagnetickém materiálu magnetická indukce ( $B = \mu \cdot H$ )

# Magnetický záznam dat (6)

- Hysterézní smyčka:



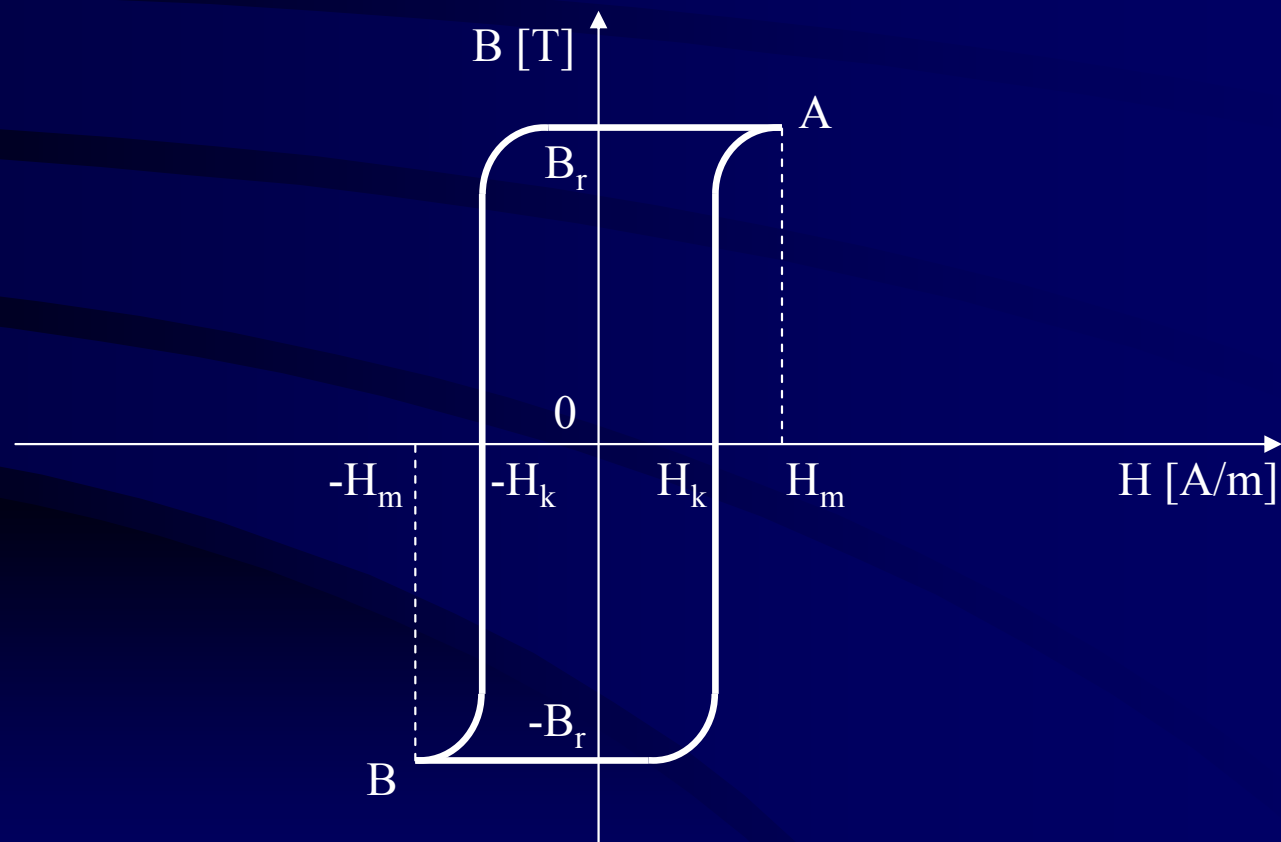
$\pm B_r$  – remanence (zbytkový magnetismus)  
 $\pm H_k$  – koercitivní síla  
A, B – body nasycení

# Magnetický záznam dat (7)

- Různé feromagnetické materiály mají různý tvar hysterézní smyčky
- Čím **větší je plocha** hysterézní smyčky, tím je materiál považován za **magneticky tvrdší**
- Naopak při **menší ploše** je materiál označován jako **magneticky měkčí**
- Materiály vhodné k výrobě médií pro magnetický záznam vyžadují, aby jejich hysterézní smyčka měla téměř pravoúhlý průběh

# Magnetický záznam dat (8)

- Hysterézní smyčka materiálu magnetického média:





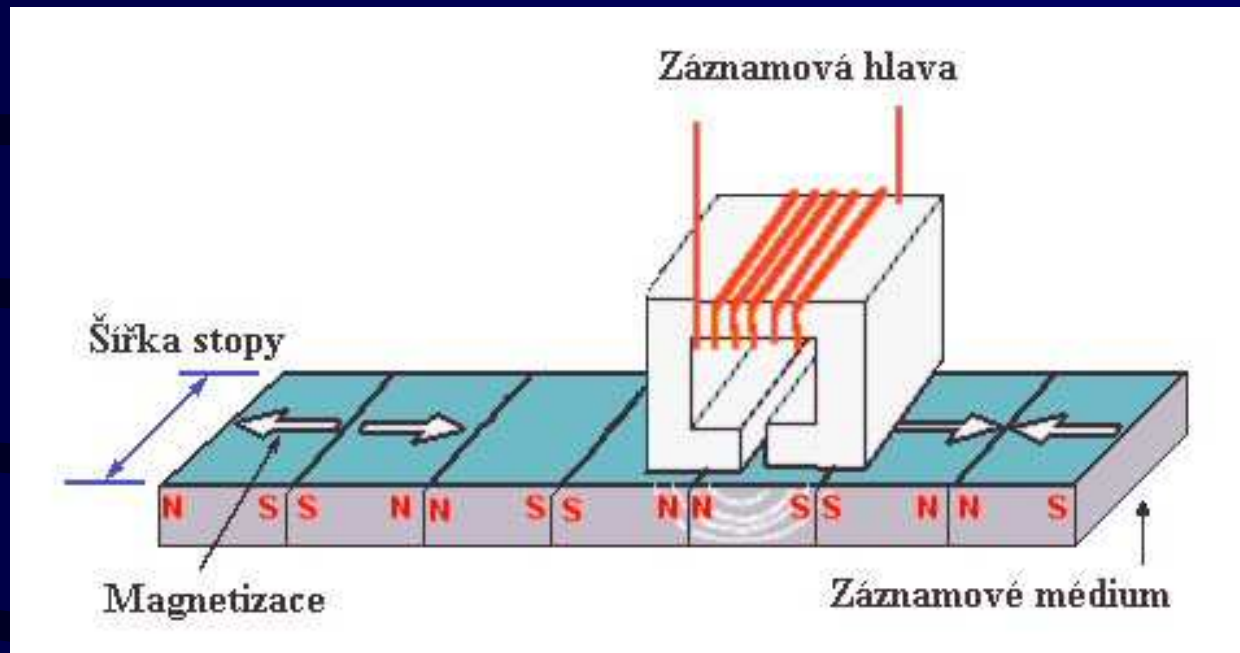
# Magnetický záznam dat (9)

- Záznam na magnetické médium (pružný disk, pevný disk, magnetofonová páska) je prováděn záznamovou hlavou
- Záznamová může rovněž sloužit i jako hlava čtecí
- Záznamová hlava se skládá z:
  - elektrického obvodu – cívky
  - magnetického obvodu – feromagnetického jádra

# Magnetický záznam dat (10)

- Feromagnetické jádro obsahuje štěrbinu (o šířce cca 1 mikron), která umožňuje uzavírání indukčních čar přes magnetické médium, které se nachází v těsné blízkosti hlavy
- V médiu takto vzniká magnetická indukce, která se poté, kdy přestaneme na materiál působit magnetickým polem, ustálí na hodnotě remanence a v médiu tak vznikají tzv. **elementární magnety**

# Magnetický záznam dat (11)



- Čtení je prováděno čtecí hlavou (konstruována stejně jako záznamová hlava), která se pohybuje nad médiem obsahujícím elementární magnety

# Magnetický záznam dat (12)

- Jejich magnetický tok se uzavírá přes feromagnetické jádro hlavy a v cívce vzniká indukované napětí, pomocí něhož se rozlišují jednotlivé zaznamenané bity
- Platí:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

kde  $\Phi$  značí magnetický tok [Wb]  
 $S$  značí plochu [m<sup>2</sup>]

# Modulace dat (1)

- Data se na magnetická média ukládají pomocí změn magnetického toku
- Tato změna může nastat z kladného toku na záporný nebo naopak ze záporného na kladný
- Každá takováto změna se při čtení projeví jako **impuls (P)**
- K reprezentaci dat na magnetickém médiu se tedy používá přítomnosti nebo nepřítomnosti impulsu (**mezera - N**)

# Modulace dat (2)

- Teoretická úvaha:
  - bit 1 zaznamenat (zakódovat) jako impuls
  - bit 0 zaznamenat (zakódovat) jako mezeru
- Takto realizované kódování by v praxi nikdy nefungovalo
- V okamžiku, kdy by následovala delší posloupnost nul, která by byla zaznamenána jako dlouhá posloupnost mezer bez jakýchkoliv impulsů, by došlo ke ztrátě synchronizace pevného disku s řadičem

# Modulace dat (3)

- Nebylo by tedy možné přesně určit, kolik mezer (nul) bylo přečteno
- Impulsy pomáhají vzájemně synchronizovat čtená data a řadič disku
- Data musí být na disk zaznamenávána tak, aby nikdy nedošlo k dlouhé posloupnosti mezer
- Na magnetické médium se však vejde větší počet mezer a impulsů, je-li počet impulsů menší

# Modulace dat (4)

- Je tedy nutné zvolit vhodný kompromis, aby při čtení dat nedošlo ke ztrátě synchronizace a zároveň, aby vlivem přehnaně velkého počtu impulsů nedocházelo k plýtvání médiem a tím k jeho menší kapacitě



# FM modulace

- V případě použití modulace **FM** (Frequency Modulation) se jednotlivé bity zakódují následovně:

Bit	Zakódování
0	PN
1	PP

- Příklad:
  - bitový vzorek: **101101101**
  - zakódovaný bitový vzorek: **PPNPPPPNPPPPNPP**
- FM vykazuje příliš velký počet impulsů

# MFM modulace (1)

- **MFM** (Modified Frequency Modulation) redukuje počet impulsů
- MFM modulace se používala u prvních pevných disků a dodnes se používá při záznamu na pružné disky
- Jednotlivé bity se zakódují následovně:

Bit	Zakódování
0	PN jestliže je v řetězci 00 NN jestliže je v řetězci 10
1	NP

# MFM modulace (2)

- Příklad: je dán bitový vzorek: 101100

Vzorek	Zakódování v MFM	Počet impulsů	Zakódování v FM	Počet impulsů
101100	NPNNNPNNPN	4	PPNP PPPPNPN	9

- Celkový počet impulsů je menší než u FM modulace
- Počet po sobě následujících mezer je max. 3
- Díky těmto vlastnostem je MFM modulace asi o 20% úspornější než FM modulace

# RLL modulace (1)

- Modulace **2,7 RLL** (Run Length Limited) používá následující kódovací schéma:

Vzorek	Zakódování v RLL	Počet impulsů	Zakódování v MFM	Počet impulsů
00	PNNN	1	PNPN	2
01	NPNN	1	PNNP	2
100	NNPNNN	1	NPNNPN	2
101	PNNPNN	2	NPNNNP	2
1100	NNNNPNNN	1	NPNPNNPN	3
1101	NNPNNPNN	2	NPNPNNNP	3
111	NNNPNN	1	NPNPNP	3

## RLL modulace (2)

- Jednotlivé vzorky a jejich zakódování jsou voleny tak, aby mezi dvěma impulsy byly minimálně 2 a maximálně 7 mezer
- Toto kódování je asi o 50% úspornější než MFM kódování a bylo používáno u starších pevných disků
- Moderní pevné disky používají většinou nějakou modifikaci 2,7 RLL kódování, označovanou např. **ARLL**, **ERLL**, **EPRML** apod., která poskytuje ještě větší úsporu

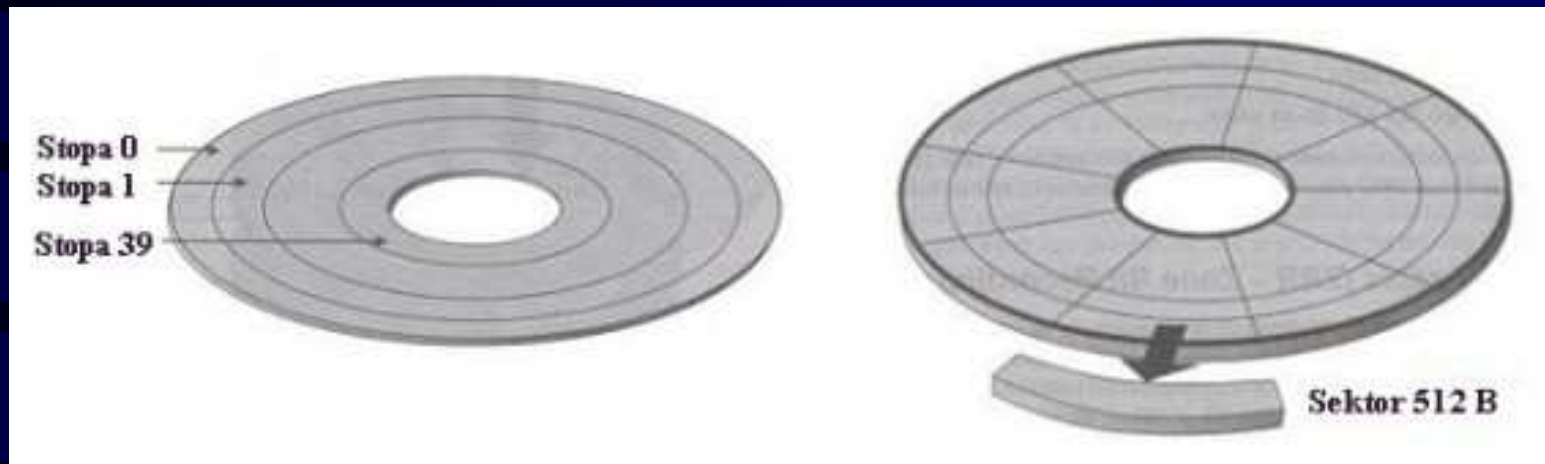
# Pružné disky (1)

- **Pružný disk (FD - Floppy Disk, **disketa**)** je přenosné médium pro uchování dat
- Pružný disk je tvořen plastovým kotoučem, na jehož povrchu je vrstva oxidu železa
- Celý kotouč je uzavřen v obdélníkovém pouzdře, vystlaném hebkým materiálem, které jej chrání před nečistotou mechanickým poškozením a ve kterém se kotouč při práci otáčí

## Pružné disky (2)

- V obalu je vyříznutý tzv. **čtecí otvor**, kterým přistupuje čtecí a zapisovací hlava k médiu
- Záznam dat na médium je prováděn magneticky
- Jednotlivá data jsou zapisována do soustředných kružnic, tzv. **stop (tracks)**, na obě strany diskety
- Každá stopa je rozdělena ještě na tzv. **sektory (sectors)**, jež tvoří nejmenší úsek média, na který je možné zapisovat

# Pružné disky (3)



- Vlastní zápis na pružný disk bývá prováděn s kódováním MFM



# Pružné disky (4)

- Parametry pružných disků:

Velikost	Hustota	Stopy	Sektory	Strany	Kapacita sektoru	Kapacita diskety
5 <sup>1/4</sup> “	DD	0 - 39	1 - 9	0 - 1	512 B	360 kB
5 <sup>1/4</sup> “	HD	0 - 79	1 - 15	0 - 1	512 B	1,2 MB
3 <sup>1/2</sup> “	DD	0 - 79	1 - 9	0 - 1	512 B	720 kB
3 <sup>1/2</sup> “	HD	0 - 79	1 - 18	0 - 1	512 B	1,44 MB

- **Tpi** (tracks per inch), jednotka která udává počet stop na jeden palec. Diskety:
  - 5<sup>1/4</sup>“ HD mají hustotu záznamu 96 tpi
  - 3<sup>1/2</sup>“ HD mají hustotu záznamu 135 tpi

# Pružné disky (5)

- Pružný disk  $5\frac{1}{4}$ " a  $3\frac{1}{2}$ ":



# Mechaniky pružných disků (1)

- Mechanika pružných disků (FDD – Floppy Disk Drive) je zařízení pro čtení a zapisování na pružné disky
- Dnes se u počítačů PC používají zejména 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub>“ HD mechaniky



# Mechaniky pružných disků (2)

- Kromě mechanik pro pružné disky se u dnešních počítačů také velmi často používají i mechaniky pro jiné typy disků (ZIP, LS120, JAZZ apod.), které poskytují vyšší rychlost a větší kapacitu
- Mechaniky pružných disků jsou připojeny k **řadiči pružných disků (FDD controller)**, který řídí jejich činnost

# Mechaniky pružných disků (3)

- Řadič pružných disků bývá integrován:
  - společně s řadičem pevných disků a popř. I/O kartou na samostatné desce, která je potom zapojena do některého ze slotů rozšiřující sběrnice
  - přímo na základní desce počítače
- Standardní řadič podporuje připojení max. 2 mechanik pružných disků
- Připojení disketových mechanik k řadiči je provedeno pomocí kabelu se 34 vodiči

# Mechaniky pružných disků (4)

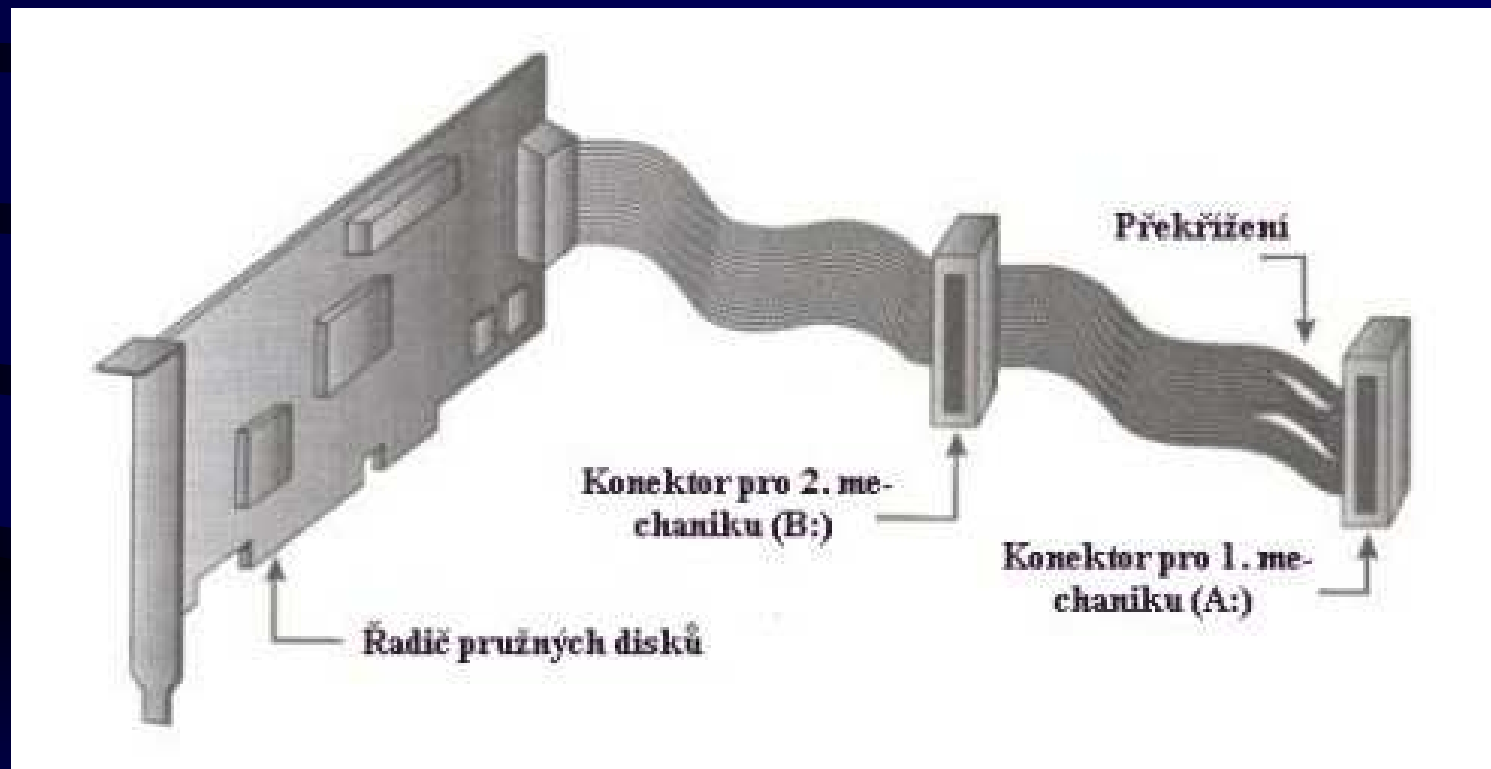
- Tento kabel může mít až 5 konektorů:
  - 1 pro připojení k řadiči
  - 2 pro připojení mechaniky 5<sup>1/4</sup>“:
    - 1 pro případ zapojení jako první mechaniky (v MS-DOSu a MS-Windows A:)
    - 1 pro případ zapojení jako druhé mechaniky (v MS-DOSu a MS-Windows B:)
  - 2 pro připojení mechaniky 3<sup>1/2</sup>“ (analogicky jako u mechanik 5<sup>1/4</sup>“):
    - 1 pro případ zapojení jako první mechaniky (A:)
    - 1 pro případ zapojení jako druhé mechaniky (B:)

# Mechaniky pružných disků (5)

- Propojení řadiče s 2. disketovou mechanikou je provedeno přímo (1:1), tj. kontakt 1 je na řadiči spojen s kontaktem 1 mechaniky, kontakt 2 s kontaktem 2 atd.
- Propojení první mechaniky již není (1:1), ale propojující kabel je překřížen
- Podle tohoto překřížení je tedy rozlišeno, která mechanika je první a která je druhá

# Mechaniky pružných disků (6)

- Zapojení mechanik pružných disků:





# Mechaniky pružných disků (7)

- Čtení z (popř. zápis na) pružného disku v mechanice probíhá ve třech krocích:
  - vystavení čtecích (zapisovacích) hlav na požadovanou stopu pomocí krokového motorku
  - pootočení diskety na příslušný sektor
  - zápis (čtení) sektoru

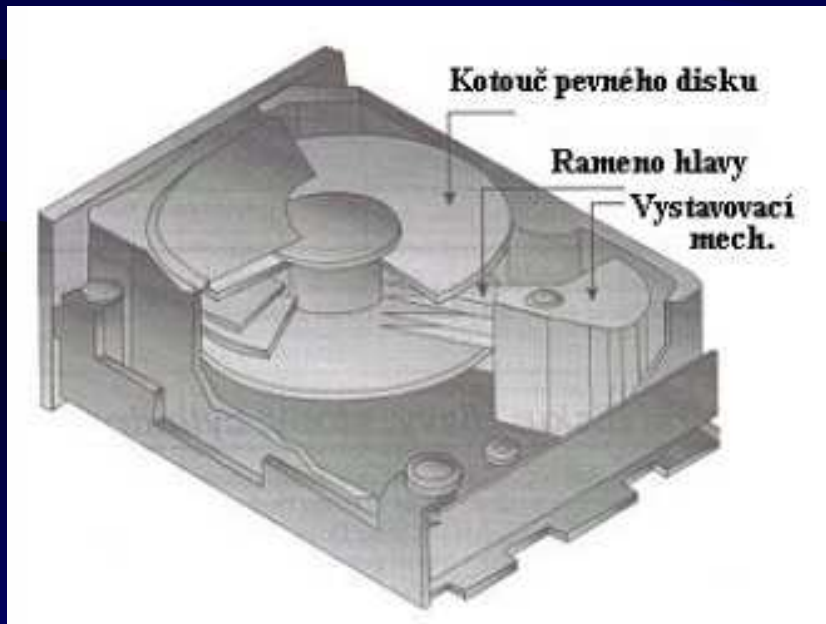
# Pevné disky (1)

- Pevný disk (Hard Disk, Winchester disk, HDD – Hard Disk Drive) je médium pro uchování dat s vysokou kapacitou záznamu
- Jedná se o uzavřenou nepřenosnou jednotku



# Pevné disky (2)

- Uvnitř této jednotky se nachází několik nad sebou umístěných rotujících kotoučů (disků)
- Tyto disky se otáčejí po celou dobu, kdy je pevný disk připojen ke zdroji elektrického napájení

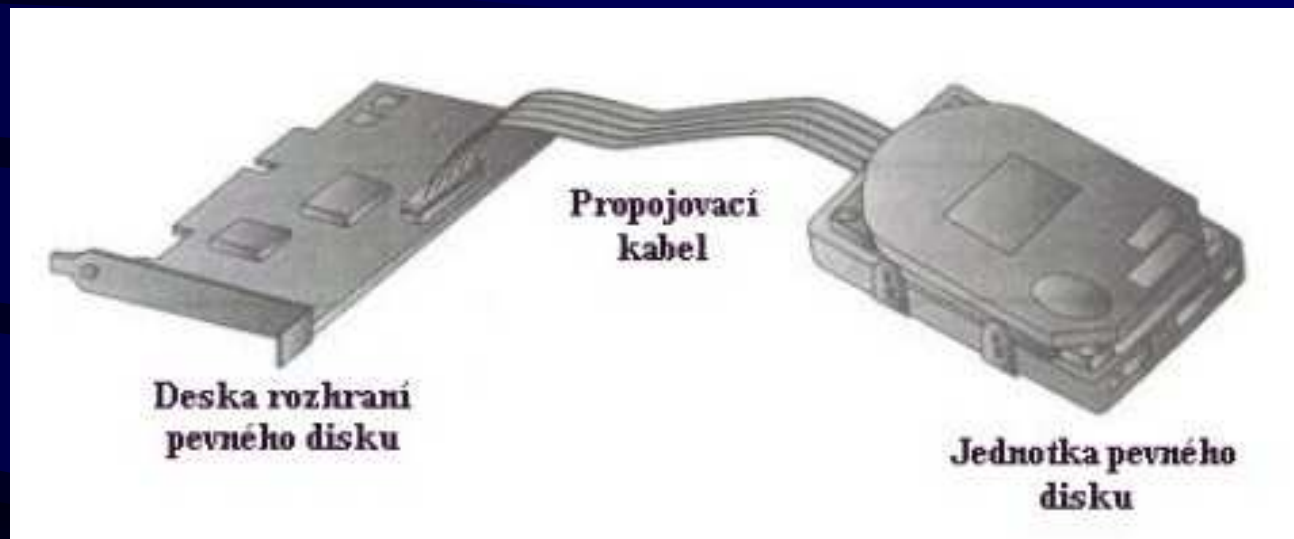


# Pevné disky (3)

- Díky tomuto otáčení se v okolí disků vytváří tenká vzduchová vrstva, na níž se pohybují čtecí/zapisovací hlavy
- Vzdálenost hlav od disku je asi 0,3 až 0,6 mikronu
- Podsystem pevného disku se skládá z:
  - diskových jednotek
  - desky rozhraní pevných disků
  - příslušných kabelů propojujících diskové jednotky s deskou rozhraní

# Pevné disky (4)

- Podsystem pevného disku:



# Parametry pevných disků (1)

- **Kapacita:**
  - množství informací, které lze na pevný disk uložit
  - např.: 10 MB - 500 GB
- **Přístupová doba:**
  - doba, která je nutná k vystavení čtecích/zapisovacích hlav na požadovaný cylindr
  - např.: 3,6 - 65 ms
- **Přenosová rychlost:**
  - počet bytů, které je možné z disku přenést za jednu sekundu
  - např.: 700 kB/s - řádově desítky MB/s

# Parametry pevných disků (2)

- **Počet otáček:**
  - počet otáček kotoučů pevného disku za jednu minutu
  - např.: 3600, 5400, 7200, 10000, 15000 otáček/min
- **Kapacita cache paměti:**
  - kapacita vyrovnávací cache paměti pevného disku
  - cache paměť pevného disku je realizována jako paměť typu DRAM
  - např.: 0 - 8 MB

# Parametry pevných disků (3)

- **Velikost:**
  - průměr disků použitých ke konstrukci pevného disku
  - např.: 2"; 3<sup>1/2</sup>", 5<sup>1/4</sup>"
- **Počet cylindrů:**
  - počet stop (cylindrů) na každém disku (řádově stovky až tisíce)
- **Počet hlav:**
  - odpovídá počtu povrchů, na které se provádí záznam
  - např: 2 - 16 hlav



# Parametry pevných disků (4)

- **Počet sektorů:**
  - počet sektorů na každé stopě
  - kapacita jednoho sektoru je standardně 512 B
  - např. 8 - řádově stovky sektorů na stopu
- **Mechanismus vystavení hlav:**
  - mechanismus, pomocí kterého se vystavují čtecí (zapisovací) hlavy na příčinný cylindr
  - může být realizován pomocí:
    - krokového motorku - u starších pevných disků
    - elektromagnetu - u novějších (moderních) pevných disků

# Parametry pevných disků (5)

- **Typ rozhraní:**
  - určuje, jaký typ rozhraní musí být v počítači osazen, aby bylo možné tento pevný disk připojit
  - např.: ST506, ESDI, IDE, ATA (EIDE), SCSI, SATA
- **Podpora S.M.A.R.T.:**
  - podpora pro technologii **S.M.A.R.T.** (Self Monitoring Analysis And Reporting Technology)
  - pracuje tak, že disk sám sleduje určité své parametry a vlastnosti, jejichž změna může indikovat blížící se poruchu

# Parametry pevných disků (6)

- umožňuje uživatele informovat o běžně nepozorovatelných problémech při práci pevného disku, např.:
  - chybné čtení (chybný zápis) sektoru
  - kolísání rychlosti otáček
  - teplota uvnitř pevného disku
  - počet realokovaných (vadných sektorů)
  - doba provozu disku
  - počet zapnutí pevného disku
- uživatel je tímto upozorňován, že by měl provést zálohu dat (výměnu pevného disku) ještě dříve, než dojde k havárii disku a tím i ztratě dat

# Parametry pevných disků (7)

- **Typ hlav:**
  - typ čtecích (zapisovacích) hlav, které jsou použity při konstrukci pevného disku
  - např.:
    - **Ferrite Heads:**
      - používány u prvních HDD (s kapacitou do 50 MB)
    - **MIG - Metal In Gap:**
      - podobné jako ferrite heads
      - díky vylepšené konstrukci dovozovaly kapacity do 100 MB
    - **TFI - Thin Film Inductance:**
      - využívají technologii nanášení tenkých vrstev
      - umožňují odstranit poměrně velké jádro cívky a nahradit jej malou destičkou na níž je nenesena feromagnetická slitina

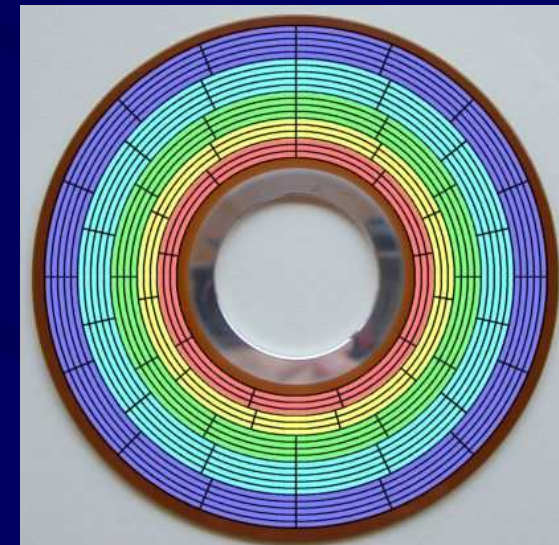
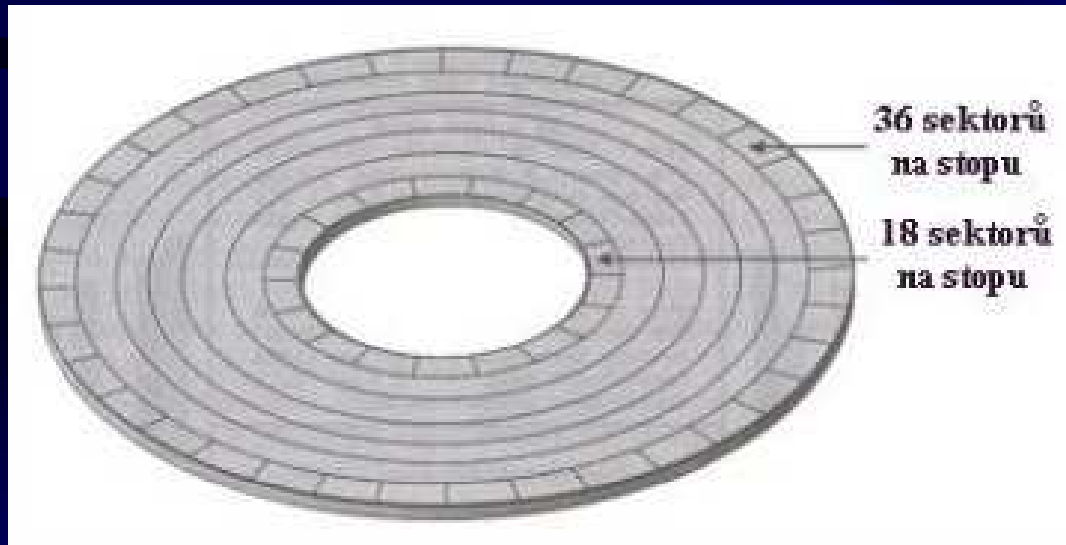
# Parametry pevných disků (8)

- používány pro zápis i čtení u disků s kapacitou do 1 GB
- dodnes používány pro zápis (pro čtení je použit magnetorezistivní senzor)
- **AMR** - Anisotropic Magnetoresistive:
  - pro zápis využívají TFI hlavu a pro čtení AMR senzor
  - používány u disků s kapacitou do 30 GB
- **GMR** - Giant Magnetoresistive:
  - pro zápis využívají TFI hlavu a pro čtení GMR senzor
  - používány u disků s kapacitou nad 30 GB
- **Metoda kódování dat:**
  - způsob, kterým jsou data při zápisu na disk kódována
  - např.: MFM, RLL, ARLL, ERLL, EPRML

# Parametry pevných disků (9)

- ZBR:

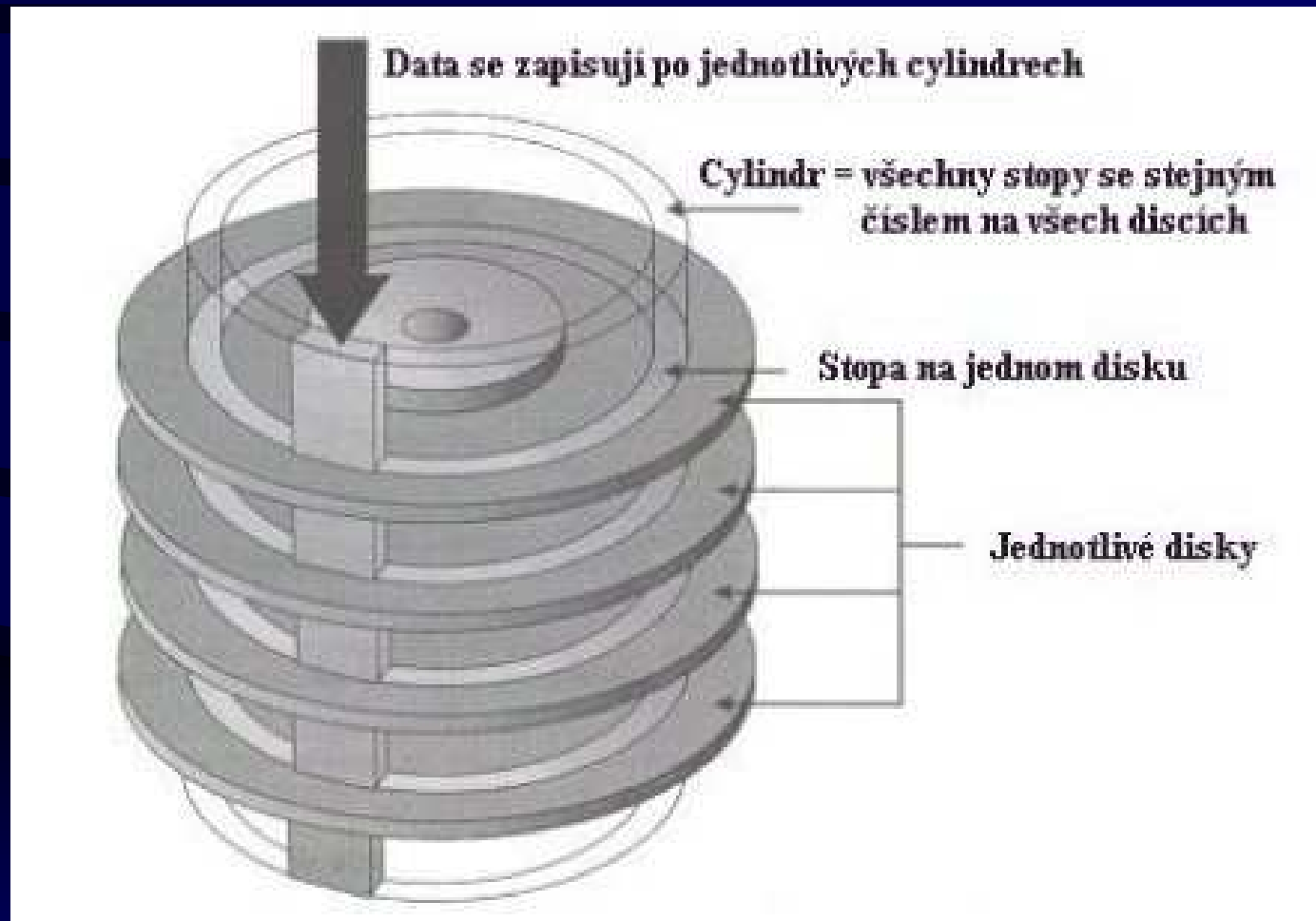
- metoda, která dovoluje zapisovat na stopy, jež jsou vzdálenější od středu pevného disku (jsou větší), vyšší počet sektorů



# Geometrie pevných disků (1)

- Jednotlivé disky (kotouče), ze kterých se celý pevný disk skládá, jsou podobně jako u pružného disku rozděleny do soustředných kružnic nazývaných **stopy (tracks)**
- Každá stopa je rozdělena do **sektorů (sectors)**
- Množina všech stop na všech discích se stejným číslem se u pevných disků označuje jako **válec (cylinder)**

# Geometrie pevných disků (2)





# Geometrie pevných disků (3)

- Geometrie disku udává hodnoty následujících parametrů:
  - počet čtecích/zapisovacích hlav:
    - shodný s počtem aktivních ploch, na které se provádí záznam
  - počet stop:
    - počet stop na každé aktivní ploše disku
    - stopy disku bývají číslovány od nuly, přičemž číslo nula je číslo vnější stopy disku

# Geometrie pevných disků (4)

## – počet cylindrů:

- shodný s počtem stop
- číslování cylindrů je shodné s číslováním stop

## – přistávací zóna (landing zone):

- číslo stopy (cylindru), která slouží jako přistávací zóna pro čtecí/zapisovací hlavy

## – počet sektorů:

- počet sektorů, na které je rozdělena každá stopa
- může být variabilní (v případě použití techniky ZBR)

# Činnost pevného disku (1)

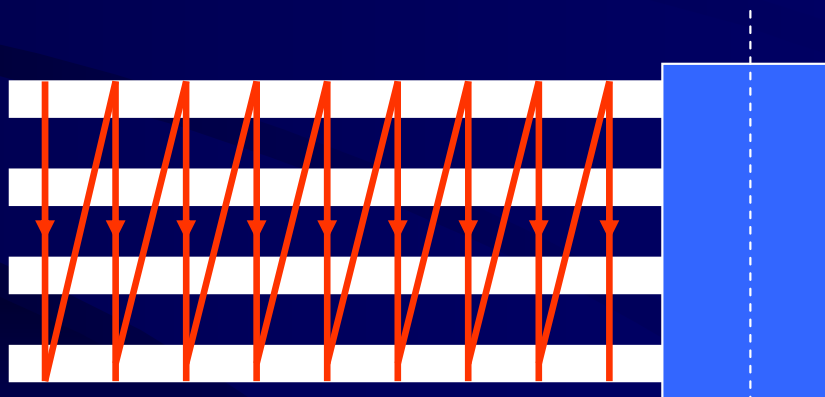
- Zápis (čtení) na (z) pevný(ého) disk probíhá podobně jako u pružného disku na magnetic-kou vrstvu ve třech krocích:
  - vystavení zapisovacích (čtecích) hlav na příslušný cylindr
  - pootočení disků na patřičný sektor
  - zápis (načtení) dat



# Činnost pevného disku (2)

- Fyzické uložení dat na pevný disk bývá prováděno pomocí:
  - **vertikálního mapování (vertical mapping)**:
    - data jsou zapsána (čtena) postupně do (z) jednotlivých stop stejného cylindru
    - poté je proveden přechod na následující cylindr

Kotouč  
HDD

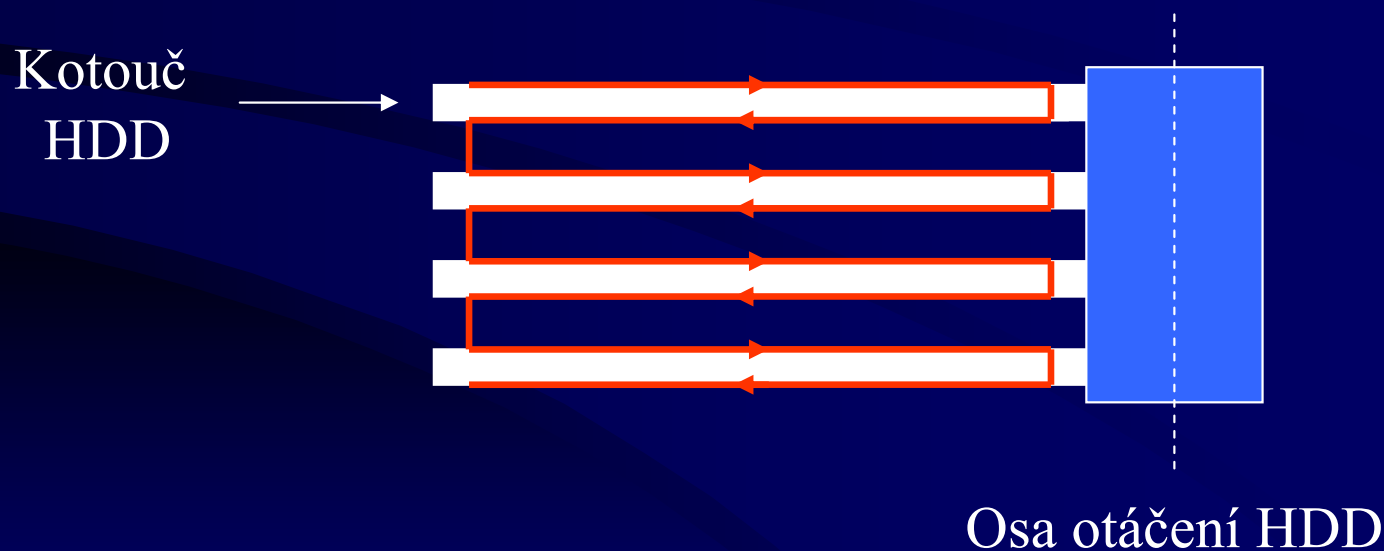


Osa otáčení HDD

# Činnost pevného disku (3)

## – horizontálního mapování (horizontal mapping):

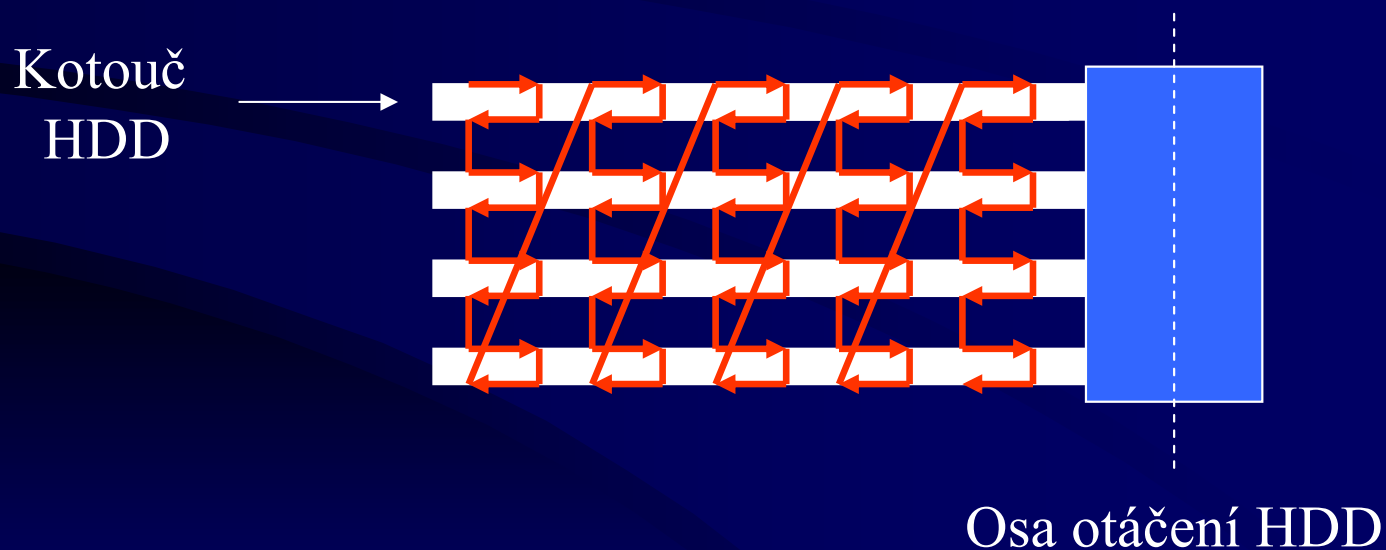
- data jsou zapsána (čtena) postupně do (z) jednotlivých stop stejného povrchu
- poté je proveden přechod na následující povrch
- méně používané



# Činnost pevného disku (4)

– kombinace vertikálního a horizontálního mapování (vertical/horizontal mapping):

- uvnitř zón je použito horizontálního mapování
- mezi zónami je použito vertikálního mapování



# Činnost pevného disku (5)

- Na základě parametrů HDD lze určit jeho maximální přenosovou rychlost:

$$V_{\max} = (P_{\text{sec}} \cdot 512 \cdot P_{\text{ot}}) / (60 \cdot 2^{20}) \quad [\text{MB/s}]$$

– kde

- $P_{\text{sec}}$  značí počet sektorů na jednu stopu
  - $P_{\text{ot}}$  značí počet otáček HDD za minutu
  - 512 je kapacita jednoho sektoru (v bytech)
- Poznámka: u disků s technikou ZBR je nutné použít počet sektorů v krajní vnější zóně

# Možnosti zvyšování kapacity pevných disků (1)

- Kapacitu pevných disků lze zvýšit:
  - **zvětšením rozměrů disku**: nevhodné řešení
  - **zvětšením počtu povrchů**: omezené možnosti
  - **volbou kódování**: menší počet impulsů (a větší počet mezer) dovoluje uložit více informací
  - použitím **ZBR**: technika dovolující uložit na různé stopy různý počet sektorů (na krajní stopy vyšší počet)



# Možnosti zvyšování kapacity pevných disků (2)

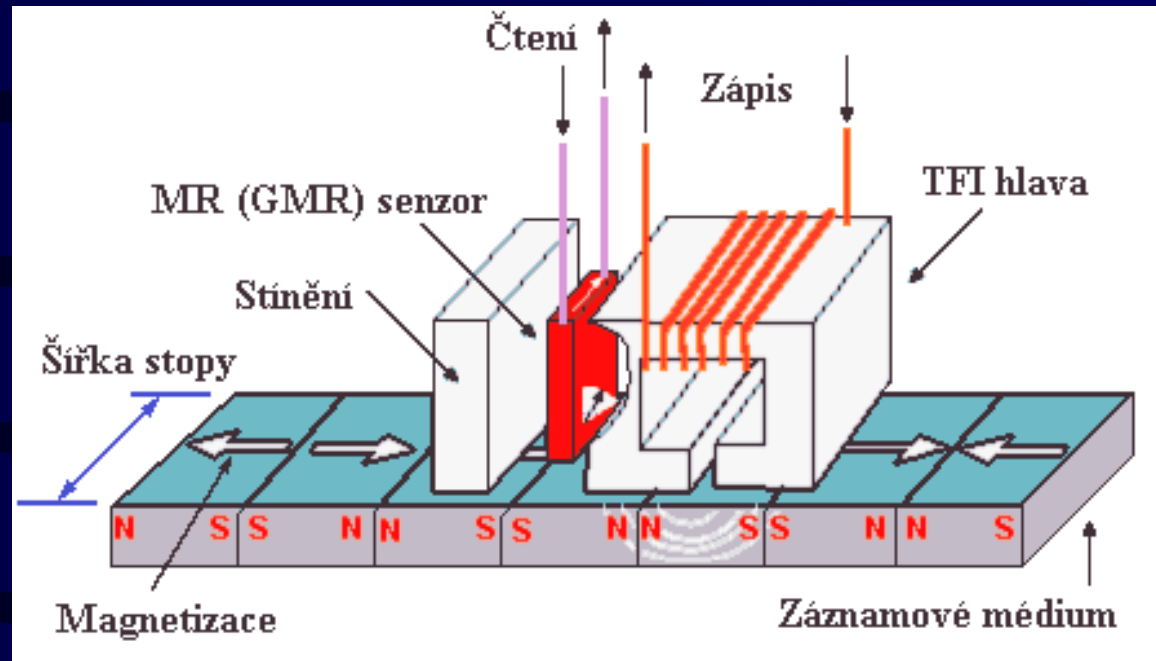
## – zvýšením hustoty záznamu:

- vyžaduje zmenšení rozměrů elementárního magnetu
- vede k nutnosti snížení intenzity magnetického pole vytvářeného zapisovací hlavou (v opačném případě by při záznamu docházelo k destrukci okolních informací)
- zmenšení rozměrů elementárního magnetu způsobí i menší hodnotu jeho výsledného magnetického toku
- vyžaduje vyšší citlivost čtecí hlavy
- původní (TFI) hlava svou citlivostí nedostačuje
- v současné době se používají tzv. **magnetorezistivní hlavy (MR heads)**

# Magnetorezistivní hlavy (1)

- Magnetorezistivní hlavy se skládají ze dvou částí:
  - **TFI hlava**: slouží pouze pro zápis dat
  - **magnetorezistivní senzor**: slouží ke čtení dat
- Magnetorezistivní senzor je vyroben ze slitin, které pokud jsou vystaveny působení magnetického pole, mění svůj elektrický odpor

# Magnetorezistivní hlavy (2)



- Výhodou tohoto řešení je, že magnetorezistivní senzor vykazuje při čtení mnohem větší citlivost než dříve používaná TFI hlava

# Magnetorezistivní hlavy (3)

- Podle typu magnetorezistivního senzoru je možné tento typ hlav dále rozdělit na:
  - AMR hlavy:
    - anisotropní magnetorezistivní hlavy
    - max. hustota záznamu cca 3 Gb/in<sup>2</sup>
  - GMR hlavy:
    - giant magnetorezistivní hlavy
    - max. hustota záznamu cca 10 Gb/in<sup>2</sup> až 35 Gb/in<sup>2</sup>
- Pozn.: TFI hlava dovoluje max. hustotu záznamu do 1 Gb/in<sup>2</sup>

# AMR hlavy

- AMR senzor bývá nejčastěji vyroben ze slitiny Ni a Fe
- V této slitině se vodivé elektrony pohybují s menší volností (dochází k častějším kolizím s atomy), když jejich pohyb je rovnoběžný s magnetickou orientací materiálu, tzv. **magnetorezistivní efekt**
- Jestliže se elektrony v materiálu pohybují s menší volností, potom je elektrický odpor tohoto materiálu větší

# GMR hlavy (1)

- Giant magnetorezistivní senzor využívá giant magnetorezistivního jevu
- GMR senzor je vyroben ze čtyřech vrstev (tzv. filmů):
  - citlivá vrstva (sensing layer): slitina Ni a Fe
  - vodivý oddělovač (conducting spacer): Cu
  - pevná vrstva (pinned layer): Co
  - výměnná vrstva (exchange layer): antiferomagnetický materiál

## GMR hlavy (2)

- První tři vrstvy jsou velmi tenké, takže dovolují, aby se vodivé elektrony pohybovaly z citlivé vrstvy přes vodivý oddělovač do pevné vrstvy a nazpět
- Magnetická orientace pevné vrstvy je držena přilehlou výměnnou vrstvou, zatímco magnetická orientace citlivé vrstvy se mění podle působení magnetického pole elementárního magnetu

# GMR hlavy (3)

- Změna magnetické orientace citlivé vrstvy způsobuje změnu elektrického odporu celého magnetorezistivního senzoru (vyjma výměnné vrstvy)
- GMR senzory využívají kvantové povahy elektronů, které mají dva směry spinu
- Vodivé elektrony, jejichž směr spinu je shodný s magnetickou orientací materiálu, se pohybují volně a způsobují tak malý odpor celého senzoru



# GMR hlavy (4)

- Naopak u vodivých elektronů, jejichž spin je opačný vzhledem k magnetické orientaci materiálu, dochází k častějším kolizím s atomy vrstev, ze kterých je senzor vyroben, což způsobuje jeho větší elektrický odpor

