

MASARYKOVA UNIVERZITA  
FAKULTA INFORMATIKY



# **Vnější paměti a principy jejich činnosti**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Bc. Jan Hána**

Brno, 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

**Vedoucí práce:** RNDr. Jaroslav Pelikán, Ph.D.

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu práce RNDr. Jaroslavu Pelikánovi, Ph.D., za rady a ochotu při konzultacích. Dále děkuji mé rodině za podporu, bez které by tato práce nemohla vzniknout.

## **Shrnutí**

Tato diplomová práce popisuje různé typy vnějších pamětí, jejich vlastnosti, technickou realizaci a principy jejich činnosti, které dokumentují animace vytvořené v prostředí Macromedia Flash. Pozornost je taktéž věnována optickým mechanikám, které slouží pro zápis na optická média a jejich čtení.

## **Abstract**

This thesis studies various types of data storage devices, their properties, the technical implementations and their working behaviour which is demonstrated by animations created in Macromedia Flash. Furthermore, special attention is given to different kinds of optical drives which allow reading or writing data to or from various optical discs.

## **Klíčová slova**

Vnější paměti, HDD, SSD, CD, DVD, Blu-ray, disketa, magnetická páska, Flash, Macromedia Flash.

## **Keywords**

Data storage devices, HDD, SSD, CD, DVD, Blu-ray, floppy disk, magnetic tape, Flash, Macromedia Flash.

# Obsah

Prohlášení.....	i
Poděkování.....	ii
Shrnutí.....	iii
Abstract.....	iii
Klíčová slova.....	iv
Keywords.....	iv
Obsah.....	v
1 Úvod.....	1
2 Vlastnosti a rozdělení vnějších pamětí.....	2
2.1 Přístup.....	2
2.2 Datová kapacita.....	2
2.3 Vybavovací doba.....	3
2.4 Přenosová rychlost.....	3
2.5 Cena za bit.....	3
2.6 Spolehlivost.....	3
2.7 Pohyblivost při činnosti.....	4
2.8 Energetická závislost.....	4
2.9 Dynamičnost.....	4
2.10 Destruktivnost při čtení.....	4
2.11 Hustota zápisu dat.....	5
3 Vnější paměti s magnetickým záznamem dat.....	6
3.1 Disketa.....	6
3.1.1 Fyzická organizace a hustota dat.....	7
3.1.2 Disketové mechaniky.....	9
3.1.3 Nástupci klasických disket.....	14
3.2 Pevný disk.....	17
3.2.1 Části pevných disků.....	18
3.2.1.1 Plotny.....	18
3.2.1.2 Čtecí a zápisové hlavy.....	21
3.2.1.3 Vystavovací mechanismy.....	23
3.2.1.4 Vzduchový filtr a pohlcovač vlhkosti.....	25
3.2.2 Fyzická organizace dat.....	25
3.2.3 Parametry a využití.....	26
3.3 Pásková média.....	27
3.3.1 Fyzická organizace dat.....	28
3.3.2 Použití.....	29
3.4 Magnetooptické disky.....	30
4 Vnější paměti s optickým záznamem dat.....	31
4.1 Parametry a složení optického média.....	31
4.2 Fyzická organizace dat.....	32
4.3 Druhy optických médií.....	32
4.3.1 CD.....	33
4.3.2 DVD.....	34

4.3.3 HD DVD.....	38
4.3.4 Blu-ray (BD).....	39
4.4 Optické mechaniky.....	40
5 Statické vnější paměti.....	46
5.1 Obecný princip technické realizace a fyzické organizace dat.....	46
5.2 Druhy statických vnějších pamětí.....	47
5.2.1 Přenosná média typu Flash.....	48
5.2.2 SSD.....	52
6 Principy činnosti vnějších pamětí s magnetickým záznamem dat.....	55
6.1 Fyzikální fakta související s magnetickým záznamem dat.....	55
6.2 Princip magnetického záznamu dat.....	60
6.3 Princip čtení magneticky zaznamenaných dat.....	62
6.3.1 Princip čtení dat pomocí elektromagnetu.....	63
6.3.2 Princip čtení dat pomocí magnetorezistivního senzoru.....	63
7 Principy činnosti vnějších pamětí s optickým záznamem dat.....	68
7.1 Lisování optických disků typu ROM.....	68
7.2 Princip zápisu dat na optické disky.....	70
7.3 Princip čtení dat z optických disků.....	77
8 Principy činnosti statických vnějších pamětí.....	80
8.1 Princip zápisu do paměťové buňky typu Flash.....	82
8.2 Princip čtení paměťové buňky typu Flash.....	83
8.3 Princip zápisu do pole paměťových buněk typu Flash.....	84
8.4 Princip čtení pole paměťových buněk typu Flash.....	85
9 Závěr.....	87
10 Literatura.....	88
11 Příloha.....	97

# 1 Úvod

Počítačové paměti jsou zařízení sloužící pro uchovávání informací. Elementárně se rozdělují na vnitřní (primární) a vnější (sekundární). Mezi vnitřní se řadí zejména operační paměť počítače, ve které jsou uloženy právě spuštěné programy, s nimiž operuje mikroprocesor. Jako vnější lze označit například pevné disky, optické disky typu Blu-ray nebo paměťová úložiště SSD. Tato diplomová práce je zaměřena na druhou zmíněnou skupinu – vnější paměti. Mezi první druhy vnějších pamětí se řadí papírové děrné štítky, děrné pásky a magnetické bubnové paměti, které sloužily i jako paměti vnitřní. Jsou však dávno překonány modernějšími technologiemi. Z tohoto důvodu zde nejsou nijak hlouběji popisovány a rozebírány.

Těžištěm práce bylo nastudování problematiky technické realizace různých typů vnějších pamětí (magnetické, optické a elektrické) a interpretace získaných znalostí prostřednictvím vytvoření sady animací, které budou dokumentovat jejich funkci. Součástí zadání také bylo popsat jejich vlastnosti a rozdělení. Výsledné animace se v různých formátech nachází na přiloženém kompaktním disku. Svým tématem tato práce navazuje na mou práci bakalářskou, jež pojednává o paměťových obvodech a principech jejich činnosti.

Začátek této diplomové práce je věnován obecnému popisu vlastností pamětí. V následujících třech kapitolách je pozornost zaměřena na jednotlivé druhy pamětí s magnetickým, optickým a elektrickým principem zápisu dat a jejich vlastností. Další tři kapitoly jsou pak věnovány technickým realizacím zmíněných typů vnějších pamětí. Úryvky textu z těchto kapitol jsou použity ve vytvořených animacích. Práce se také zabývá mechanikami, které slouží pro manipulaci s daty na některých výměnných médiích.

Pro zhotovení demonstračních animací byla zvolena zkušební verze aplikace Macromedia Flash Professional 8.0<sup>1</sup>. Tento program sice slouží primárně pro tvorbu reklamních upoutávek na Internetu, jeho využití jsou však daleko rozsáhlejší. Při tvorbě animací byl použit objektově orientovaný programovací jazyk ActionScript 2.0. Druhou pomůckou k realizaci animací byl program FidoCadJ<sup>2</sup> 0.23.2, který slouží především pro kreslení elektronických schematických obvodů. Výhodou využití právě těchto dvou aplikací je skutečnost, že obě pracují s vektorovou grafikou. To umožnilo jejich snadnou kooperaci.

---

1 Zkušební verze je ke stažení na stránce <http://www.instaluj.cz/macromedia-flash>.

2 Zdarma ke stažení na stránce [http://www.stahuj.centrum.cz/podnikani\\_a\\_domacnost/CAD-a-technika/fidocadj/](http://www.stahuj.centrum.cz/podnikani_a_domacnost/CAD-a-technika/fidocadj/).



## 2 Vlastnosti a rozdělení vnějších pamětí

Tato kapitola shrnuje rozdělení pamětí dle jejich vlastností. Některé vlastnosti (například elektrickou nezávislost) mají všechny typy vnějších pamětí stejné. Jsou zde proto uvedeny pouze pro úplnost.

### 2.1 Přístup

Podle toho, zda doba, za kterou se z paměti obdrží požadovaná informace, závisí na tom, na jakém místě paměťového média se daná informace nachází, se rozlišují paměti s přímým a sekvenčním přístupem. Pokud má paměť přímý přístup, pak to znamená, že z každého místa (specifikovaného jeho adresou) je bitový záznam získán v konstantním, předem známém (nebo alespoň téměř přesně odhadnutelném) čase. Zástupci vnějších pamětí s přímým přístupem jsou paměti typu Flash (včetně SSD), pevné disky, diskety a optické a magnetooptické disky. Mezi vnější paměti se sekvenčním přístupem se řadí magnetická a (dnes již nepoužívaná) děrná páska. U nich se před zpřístupněním požadovaných dat musí část záznamového materiálu, na kterém se bitová informace nachází, přetočit na správné místo. To znamená sekvenčně projít všechna data, jež jsou mezi aktuální a cílovou pozicí pásky.

### 2.2 Datová kapacita

Datová kapacita je hodnota vyjadřující množství informací, které je možné do paměti uložit. Vyjadřuje se v bajtech<sup>1</sup> (B). Jelikož je potřeba uchovávat mnoho informací, je bajt jednotkou příliš malou a používají se jeho násobky, které se označují jako kilobajty (kB), megabajty (MB), gigabajty (GB), terabajty (TB) a petabajty (PB)<sup>2</sup>. Stejně násobky a předpony se používají také pro bity. V dnešní době paměti u běžných stolních a přenosných počítačů dosahují až jednotek terabajtů. Jelikož počítače pracují s dvojkovým kódem (nuly a jedničky), předpony bajtů mají základ v mocninách dvojky. Například jeden kilobajt je  $2^{10}$  (1 024) bajtů, jeden megabajt  $2^{20}$  (1 048 576) bajtů, jeden gigabajt  $2^{30}$  (1 073 741 824) bajtů, terabajt  $2^{40}$  bajtů atd. Z toho tedy vyplývá, že pokud se převádí jednotky mezi sousedními řády, nenásobí (případně nedělí) se tisícem, ale číslem 1 024.

Výše zmíněné přepočty mezi řády jsou běžně uváděny v literatuře zaměřené na oblast informačních technologií. Lze se ovšem také setkat se stejným přepočtem řádů, který se používá u mezinárodní soustavy jednotek (SI). V takovém případě je jeden kilobajt  $10^3$  (1 000) bajtů, jeden megabajt  $10^6$  (1 000 000) bajtů, jeden gigabajt  $10^9$  (1 000 000 000) bajtů atd. Výše zmíněným a následujícím mocninám  $2^{10}$ ,  $2^{20}$ ,  $2^{30}$  a  $2^{40}$  pak

---

1 Jeden bajt se skládá z osmi elementárních logických hodnot, kterým se říká bity (b).

2 Dalšími řády jsou exabajty (EB), zettabajty (ZB) a yottabajty (YB).

odpovídají označení kibibajt<sup>1</sup> (KiB), mebibajt (MiB), gibibajt (GiB), tebibajt (TiB) a pebibajt (PiB)<sup>2</sup>. V této práci se k vyjádření datové kapacity užívá předpon a přepočtů uvedených v předchozím odstavci.

### **2.3 Vybavovací doba**

Jedná se o dobu, která uplyne od zadání požadavku ke čtení (k zápisu) po zpřístupnění (uložení) dané informace. Někdy se k jejímu vyjádření používá termín přístupová doba. Výrobci se snaží tento parametr minimalizovat. Pokud paměť zpřístupňuje v sobě uložené informace v dlouhém časovém intervalu, vede to k plýtvání času a výkonu zařízení pracujícího s touto pamětí. U nejrychlejších paměťových obvodů s přímým přístupem se vybavovací doba pohybuje v řádech jednotek až desítek nanosekund (ns) [1]. Naopak v případě pomalých pásek se sekvenčním přístupem se pak v závislosti na délce pásky a rychlosti jejího převíjení jedná typicky o desítky sekund [2].

### **2.4 Přenosová rychlost**

Přenosová rychlost charakterizuje objem informací, který je možno z paměti přečíst (do paměti zapsat) za jednotku času. Tou jsou standardně sekundy. Základní jednotkou přenosové rychlosti je tedy bajt za sekundu, což se značí B/s, případně Bps (z anglického výrazu byte per second). Místo slovního spojení přenosová rychlost se lze také setkat s ekvivalentními termíny propustnost a šířka pásma [3].

### **2.5 Cena za bit**

Cena paměťového média, která je vydělena jeho kapacitou v bitech. Cena za bit zpravidla klesá s rostoucí kapacitou a snižující se přenosovou rychlostí úložného média. Vnější paměti jsou tak díky své velké datové kapacitě poměrně levné, srovnají-li se s pamětmi vnitřními.

### **2.6 Spolehlivost**

Stejně jako u všech ostatních technických zařízení se i u vnější paměti může vyskytnout porucha. Parametr, který se snaží podchytit poruchovost, se nazývá spolehlivost. Tu popisuje střední doba mezi dvěma poruchami<sup>3</sup> a je nejčastěji udávána v hodinách, případně s přepočtem na roky [3]. Typická hodnota pro pevný disk se pohybuje okolo 1 000 000 hodin (asi 114 let). Čím je tato hodnota větší, tím je paměť spolehlivější. Tento parametr je výsledkem extrapolací intenzivních testů prováděných v laboratořích, neboť jej kvůli dlouhé životnosti pevných disků nelze zjistit z běžného provozu.

---

1 Anglický výraz kibibyte je zkratkou pro kilo binary byte.

2 Dalšími řády jsou exbibajt (EiB), zebibajt (ZiB) a yobibajt (YiB).

3 K vyjádření spolehlivosti se využívá zkratky MTBF (Mean Time Between Failures) nebo MTTF (Mean Time To Failure).

Z údaje střední doby mezi dvěma poruchami vychází další parametry, jako je například AFR (Annualized Failure Rate – roční míra poruchovosti). Udává se v procentech a vypočítá se jako padesátinásobek převrácené hodnoty střední doby mezi dvěma poruchami (v letech) [4].

Jelikož pro statistické určení této veličiny není dosud zaveden žádný platný standard [5], může být údaj o spolehlivosti zavádějící.

Kromě výše uvedených parametrů MTBF (MTTF) a AFR existují také odlišné interpretace této vlastnosti. Jednou z nich může být například jedna chyba na počet bitů toku [6].

## **2.7 Pohyblivost při činnosti**

Dle této ne příliš často zmiňované vlastnosti se rozlišuje, zda se paměť při své činnosti nějakým způsobem pohybuje. Příkladem pohyblivých pamětí mohou být otáčející se kotouče disket a magnetické pásky, které se při čtení a zápisu převíjejí. Téměř všechny vnější paměti jsou v tomto ohledu dynamické. Výjimku zde tvoří paměti Flash a SSD, jež neobsahují žádné pohyblivé části.

## **2.8 Energetická závislost**

Je-li paměť energeticky závislá (nestálá, prchavá, volatilní, přechodná) [7], ztrácí ihned po odpojení od zdroje elektrického napájení uložené informace. Energeticky nezávislé (stálé, permanentní, neprchavé, nevolatilní, nepřechodné) paměti jsou naopak ty, které k udržení uložených informací nepotřebují elektrickou energii. Paměti, ze kterých se kvůli charakteru jejich technické realizace mohou informace ztratit za dobu v řádech jednotek až desítek let, se obecně považují za energeticky nezávislé. O všech vnějších pamětech je tedy možno hovořit jako o energeticky nezávislých.

## **2.9 Dynamičnost**

Dle tohoto kritéria se paměti rozdělují na statické a dynamické. Statické paměti v sobě automaticky uchovávají všechna data po celou dobu připojení k elektrickému napájení. Naproti tomu existují paměti dynamické, které mají tendenci ztrácet uloženou informaci, přestože jsou připojeny ke zdroji elektrické energie. To však není případ vnějších pamětí, které jsou všechny statické.

## **2.10 Destruktivnost při čtení**

Na základě této vlastnosti se dělí paměti na destruktivní a nedestruktivní při čtení. Pokud se přečte informace z paměťového obvodu destruktivního při čtení, o uložená data se touto operací přijde. Aby se o právě přečtenou informaci definitivně nepřišlo, je třeba ji po přečtení znovu zapsat. To na rozdíl od pamětí nedestruktivních při čtení, s jejichž daty

se po přečtení nic nestane, vyžaduje režii a čas navíc. Všechny typy vnějších pamětí jsou nedestruktivní při čtení.

### **2.11 Hustota zápisu dat**

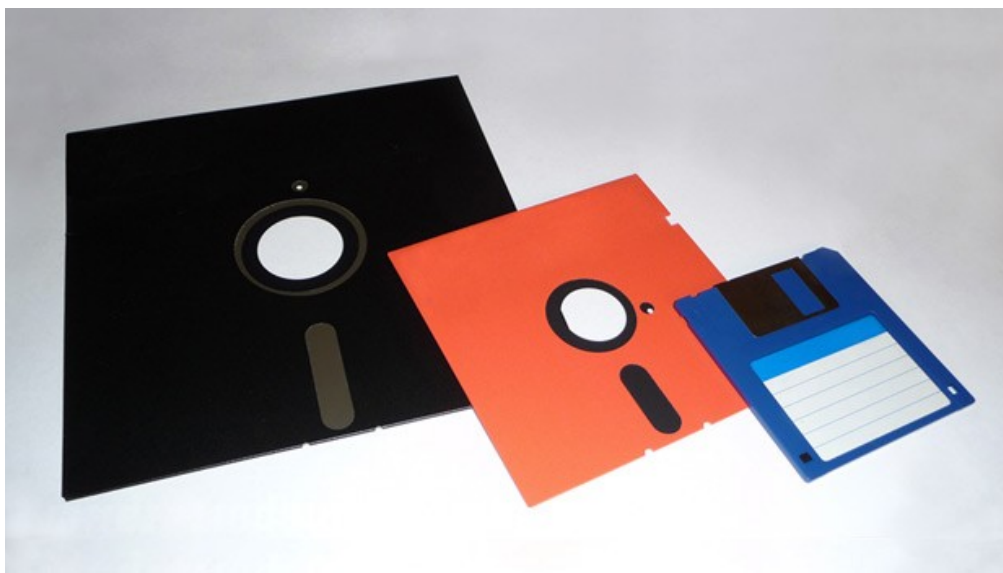
Hustota zápisu dat poskytuje do určité míry informaci o tom, kolik dat lze na danou paměť uložit. Jedná se o vyjádření počtu bajtů, které se dají uchovávat na určité ploše příslušného média. Jelikož se počítačové technologie vyvíjely především v zemích, kde byla jednotka délky jeden palec, udává se dodnes hustota zápisu dat v palcových jednotkách [5], [7]. Typicky se jedná o kB/in<sup>2</sup>, MB/in<sup>2</sup> nebo GB/in<sup>2</sup>. Palec čtvereční (in<sup>2</sup>) odpovídá ploše čtverce se stranou o velikosti 2,54 centimetrů.

### 3 Vnější paměti s magnetickým záznamem dat

Paměti s magnetickým záznamem dat se navzájem technologicky velmi podobají, jsou však využívány k různým účelům (uchovávání dat, se kterými procesor momentálně nepracuje, zálohování, přenos velkých objemů dat mezi počítači).

#### 3.1 Disketa

S výrobou první diskety se začalo roku 1967 v laboratoři IBM [8]. Jedná se o tenký plastový (mylarový) kotouč [9] o průměru 8 palců (20,32 centimetrů), jehož kapacita je 80 kB [10]. Povrch kotouče je potažen oxidem železa, který tvoří magnetickou vrstvu pro záznam dat [9]. Celý kotouč je napevno uložený v tuhém ochranném plastovém pouzdře. Nelze jej tedy bez následků vytáhnout. Mezi záznamovou vrstvou a pouzdrem se nachází hebký ochranný materiál. Ten plní funkci lapače prachu. Jelikož je kotouč i s pouzdrem částečně ohebný, používá se pro diskety také termín pružný disk (anglicky floppy disk, zkráceně FD).



Obrázek 3.1: 8" disketa, 5,25" disketa a 3,5" disketa [12]

Nástupcem prvního typu se stala disketa, jejíž kotouč má průměr 5,25 palců (13,335 centimetrů). Na první pohled se liší pouze velikostí, což je zřejmé z obrázku 3.1. Navzdory menšímu rozměru však disponuje větší datovou kapacitou, která se u tohoto typu liší podle použité technologie. Těmi jsou dvojnásobná hustota zápisu (double density – DD) a vysoká hustota zápisu (high density – HD). Přitom platí, že diskety s technologií vysoké hustoty zápisu pojmu více dat než diskety s technologií dvojnásobné hustoty zápisu. Kromě výše zmíněných způsobů pro navyšování datové kapacity existuje ještě technologie oboustranného záznamu (double sided – DS), která se s předešlými typy záznamů kombinuje ve snaze nabídnout co největší prostor pro data uživatelů [11].

Modernější nástupce 5,25palcové diskety s magnetickým kotoučem o průměru 3,5 palců (8,89 centimetrů) dostal do výbavy o něco pevnější plastové ochranné pouzdro, kovový střed a výsuvnou kovovou (v některých případech levnější plastovou) ochranu otvoru, kterým se zpřístupňují data čtecím hlavám. U tohoto modelu se objevila vylepšená technologie extra density – ED (mimořádná hustota zápisu), která je také označována jako quad density – QD (čtyřnásobná hustota zápisu) [11]. Dalšími technologiemi pro hustší zápis se již klasické diskety nedočkaly [14].

Typ diskety	Velikost alokační jednotky	Velikost alokační jednotky
5,25 palců, 360 kB	2 sektory	1 024 bajtů
5,25 palců, 1,2 MB	1 sektor	512 bajtů
3,5 palců, 720 kB	2 sektory	1 024 bajtů
3,5 palců, 1,44 MB	1 sektor	512 bajtů
3,5 palců, 2,88 MB	2 sektory	1 024 bajtů

Tabulka 3.1: Standardní velikost alokačních jednotek pro různé formáty disket [5]

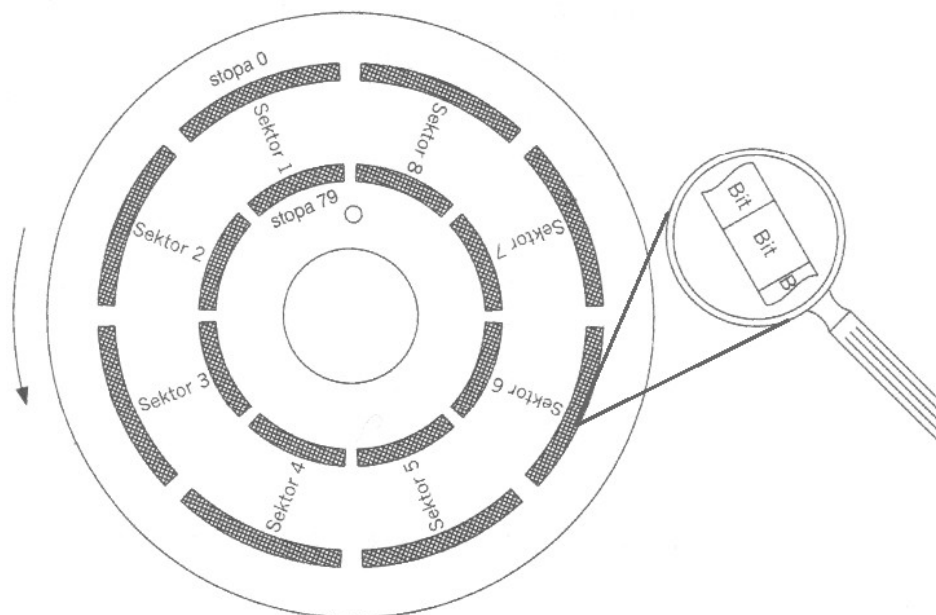
### 3.1.1 Fyzická organizace a hustota dat

Fyzická organizace dat je u disket všech výše zmíněných formátů disket ve své podstatě vždy stejná. Jedničky a nuly se do magnetického kotouče zapisují do soustředných kružnic, tzv. stop. Každá jednotlivá stopa je jednoznačně identifikována pomocí svého čísla. Jejich počet se liší v závislosti na typu diskety a použité technologii záznamu dat. Všechny stopy jsou pak dále rozděleny do tzv. sektorů, ze kterých se skládají nejmenší adresovatelné jednotky<sup>1</sup>. Sektory mají typicky velikost 512 bajtů [13]. Zjednodušený princip rozdělení magnetického kotouče na stopy a sektory dokumentuje obrázek 3.2. Je také vidět, že stopy se číslují od nuly (od kraje do středu), zatímco sektory dostávají svá čísla od jedničky [13], [14].

První disketa byla zřetelně větší než nejnovější 3,5palcový model. Přesto však měla podstatně menší kapacitu. To je důsledek postupného zvětšování hustoty záznamu. Existují dva typy hustot<sup>2</sup> [14]. První z nich je hustota horizontální. Je charakterizována maximálním počtem stop na jeden palec (TPI – tracks per inch). Samozřejmě platí, že čím více stop se vměstná do délky jednoho palce, tím větší datovou kapacitou bude disketa disponovat. Dalším typem hustoty je hustota lineární, kterou definuje množství uložených dat v rámci délky jednoho palce (BPI – bits per inch). Z logiky věci opět vyplývá, že čím blíže k sobě budou jednotlivé bity situovány, tím více jich dokáže magnetický kotouč ve výsledku pojmout.

1 Nejmenší prostor disketového prostoru, který je operační systém schopen při zápisu souboru přidělit, se nazývá alokační jednotka (dříve také cluster) [5].

2 U některých typů vnějších pamětí se udává hustota v palcích čtverečních [7].



Obrázek 3.2: Rozdělení magnetického kotouče diskety na stopy a sektory [13]

Jak již bylo naznačeno na začátku této kapitoly, existují diskety se záznamovou vrstvou pro data z obou stran (DS). Je jich dokonce naprostá většina [8]. Dvojice stop (každá z jedné strany magnetického kotouče), které si navzájem číselně odpovídají, tvoří tzv. cylinder (válec). Ve skutečnosti však tyto dvojice válec v pravém slova smyslu netvoří, neboť stopy na horní straně záznamového média jsou vždy posunuty o 4 nebo 8 stop směrem dovnitř. Je to dáno faktem, že ani dvojice hlav (čtecích a zároveň záznamových) není v disketové mechanice situována přesně naproti sobě [5].

Velikost diskety	5,25 palců	5,25 palců	3,5 palců	3,5 palců	3,5 palců
Kapacita diskety	360 kB	1,2 MB	720 kB	1,44 MB	2,88 MB
Hustota záznamu	DD	HD	DD	HD	ED
Stop na palec	48	96	135	135	135
Bajtů na palec <sup>1</sup>	735	1 206	1 090	2 179	4 359
Bajtů v sektoru	512	512	512	512	512
Sektorů ve stopě	9	15	9	18	36
Šířka stopy (mm)	0,300	0,155	0,115	0,115	0,115
Stop na stranu	40	80	80	80	80
Stran	2	2	2	2	2
Magnetická složka	Oxid železa	Kobalt <sup>2</sup>	Kobalt <sup>2</sup>	Kobalt <sup>2</sup>	Baryum <sup>2</sup>
Tloušťka (mm)	0,002540	0,001270	0,001778	0,001016	0,002540

Tabulka 3.2: Parametry nejpoužívanějších disket [5], [8], [9], [14]

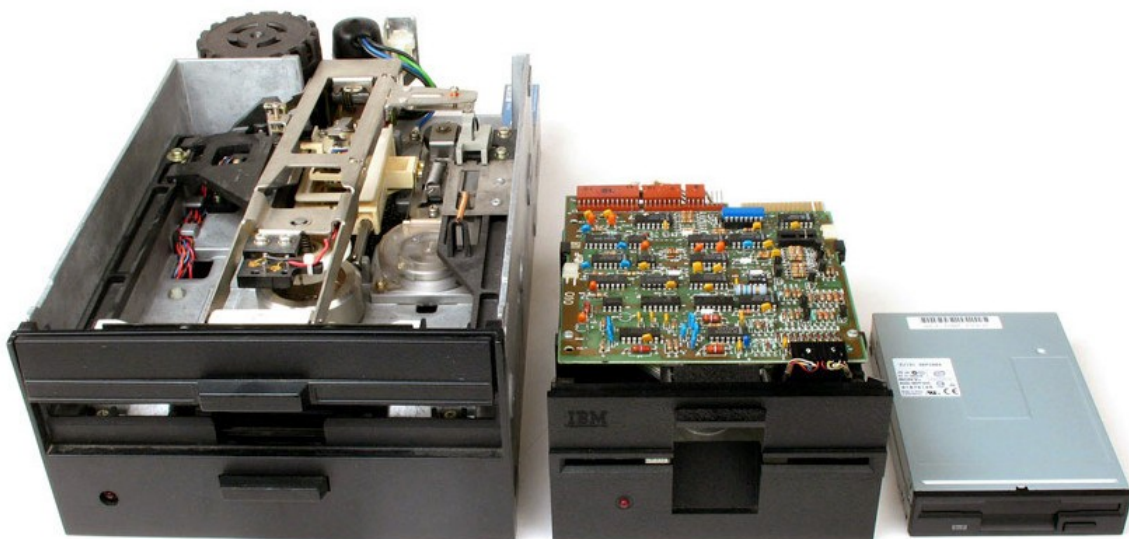
<sup>1</sup> Počet bajtů je zaokrouhlen na celá čísla.

<sup>2</sup> Jedná se o sloučeninu na bázi kobaltu (dražší komponenta) a železa (levnější komponenta), případně barya (dražší komponenta) a železa (levnější komponenta) [5], [9].

U jednotlivých rozměrů disket byly zmíněny různé technologie pro zvýšení hustoty záznamu (DD, HD, ED). Z tabulky 3.2 lze vyčíst, že pro zvýšení kapacity se nejčastěji zvětšovala lineární hustota. Pokud se zvýšil počet sektorů ve stopě a stopa měla stále stejný počet bajtů, došlo logicky k navýšení počtu bajtů v rámci délky jednoho palce, což se ve výsledku pozitivně projevilo na kapacitě diskety. V rámci 5,25palcových disket došlo také ke zvyšování hustoty horizontální, když se počet stop na stranu zvýšil z počtu 40 na dvojnásobek [8].

### 3.1.2 Disketové mechaniky

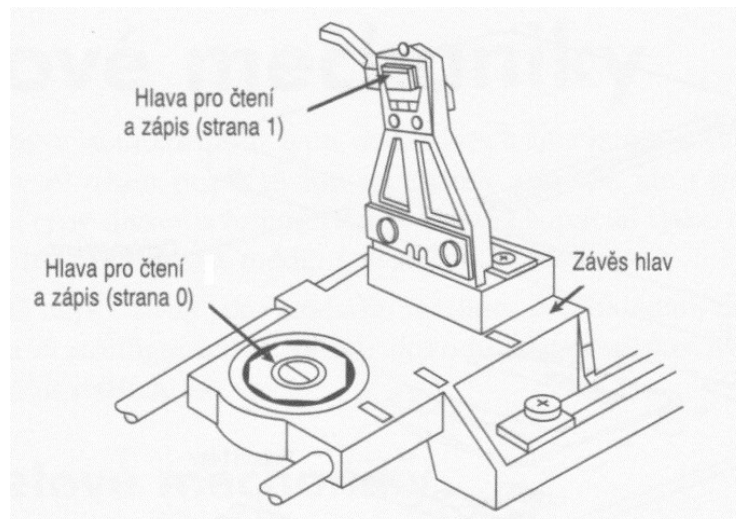
Aby se mohlo s disketami pracovat, je potřeba mít v počítači (v dnešní době spíše mimo něj) příslušné zařízení, které z nich bude umět data číst a také je na ně zapisovat. Toto zařízení se nazývá disketová mechanika (obrázek 3.3) a používá se pro ni označení FDD (Floppy Disk Drive – jednotka/mechanika pružného disku). Existují různé druhy mechanik pro různé rozměry a typy disket. Všechny mechaniky se bez ohledu na jejich druh v jádru skládají ze stejných součástí. Těmi nejdůležitějšími jsou hlavy pro čtení a zápis, jejich pohon, pohon mechaniky, řídicí deska s elektronikou a konektory.



Obrázek 3.3: 8", 5,25" a 3,5" disketová mechanika [12]

Nejdůležitější funkce každé disketové mechaniky vykonávají bezesporu čtecí a zápisové magnetické hlavy, které se při činnosti dotýkají povrchu média [3]. Jelikož většina běžně používaných disket dovozovala zápis dat na obě strany plastového kotouče, byla i většina disketových mechanik vybavena dvěma hlavami [8]. Každá z nich pracuje u jedné strany diskety a obě dokáží data číst i zapisovat. Spodní hlava (hlava 0) je oproti horní (hlava 1) vždy posunuta o kousek dál od středu mechaniky [5]. Pokud disketová mechanika disponuje pouze jednou hlavou, pak je to hlava na spodní straně. Namísto horní hlavy se pak v takovém případě nachází pouze přítlačný polštářek.





Obrázek 3.4: Sestava hlav mechaniky pro oboustranné diskety (DS) [8]

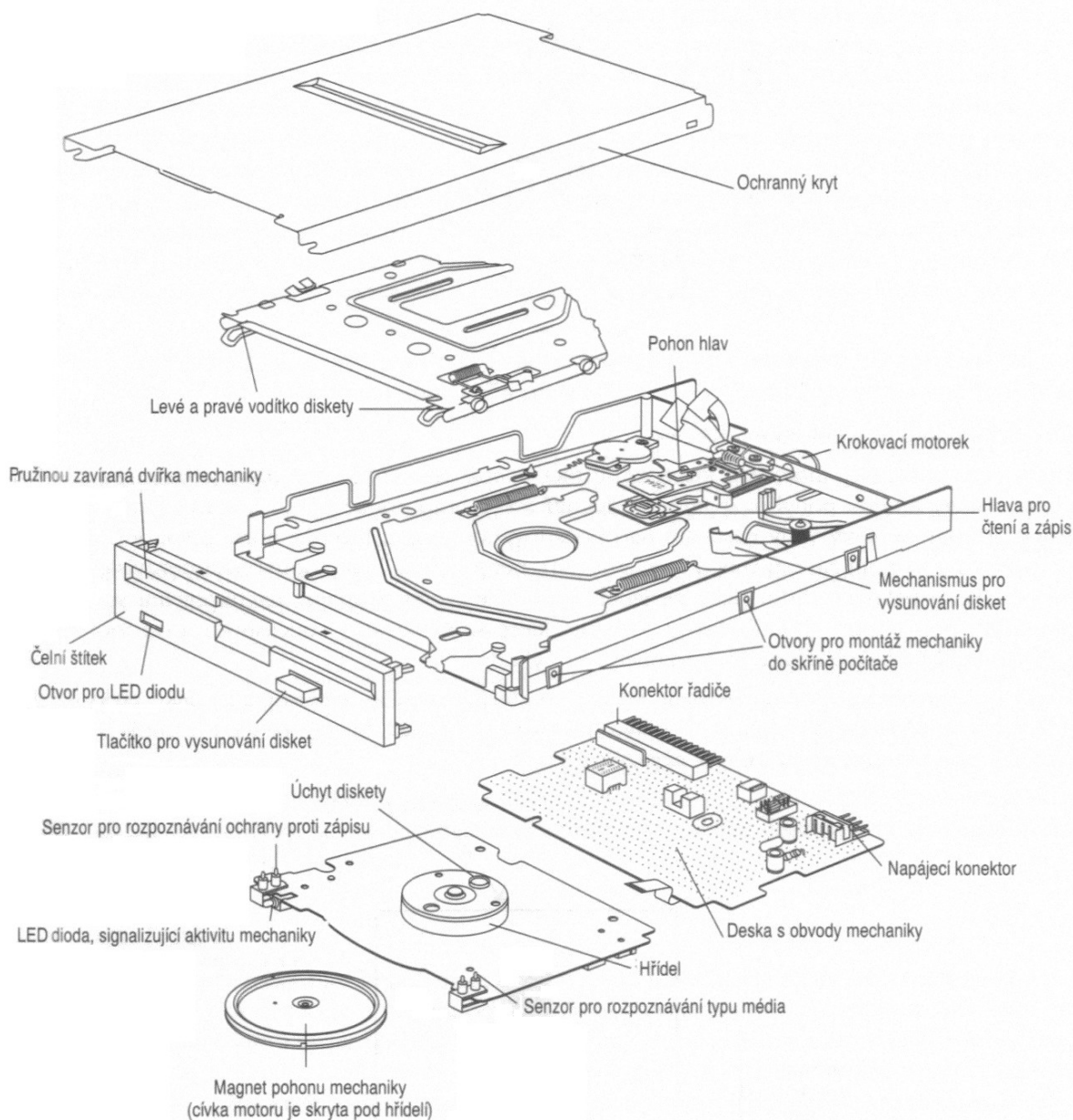
Závěs hlav (viz obrázek 3.4) je pohyblivý, ovládán je krokovacím motorkem a v případě mechanik s podporou oboustranných disket se jednotlivé hlavy nemohou pohybovat nezávisle na sobě [8]. Hlavy se díky pohybu, který se realizuje ve směru od středu disketové mechaniky k její zadní části a zpět, mohou vystavit nad požadovanou stopu na disketě.

Vystavení sektoru pod magnetickou hlavu zařizuje pohon mechaniky, který otáčí disketovým kotoučem. Rychlost otáčení je 300 otáček za minutu<sup>1</sup> [8]. Od této rychlosti a od rychlosti vystavení magnetické hlavy na požadovanou stopu prostřednictvím krokovacího motorku se odvíjí přenosová rychlost. Jedna otáčka diskety trvá 200 milisekund (v případě mechanik o rychlosti 300 otáček za minutu / 5 otáček za sekundu) a typický čas vystavení čtecích a záznamových hlav z jedné strany diskety na druhou je 200 – 250 milisekund [5], [9], [13]. Čas potřebný k přístupu k náhodnému sektoru (512 bajtů) na disketě se pohybuje v rozmezí 400 – 600 milisekund [11]. Aby se mohly diskety otáčet, jsou po vložení do mechaniky uchyceny za svůj střed, který je napevno fixován k mylarovému kotouči. V případě 5,25palcových pružných disků jde o pevné přitlačení diskety k mechanice [7]. Modernější 3,5palcové diskety mají ve svém kovovém středu dva otvory. Jeden uprostřed a jeden u kraje. Do prostředního se zasouvá hnací osa motoru, takže žádné pevné zafixování není v tomto případě zapotřebí [13].

Disketové mechaniky musí umět kromě samotného čtení a zápisu dat i další úkony. Jedním z nich je zjistit, zda není právě vložená disketa chráněna proti zápisu. U 5,25palcových disket se na kraji obalu v místě, pod kterým není umístěn kotouč, nachází malý výřez (viz obrázek 3.6). Jedná se především o ochranu souborů na disketě před jejich nechtěným přepsáním. Dalším pro uživatele přívětivým faktem je, že na uzamčenou disketu se nemůže dostat počítačový virus [14]. Rozpoznání uzamčení diskety mohlo probíhat dvěma způsoby. Prvním je mechanické rozpoznání toho, zda je otvor zalepen. Pokud nějaká páska tento výřez v disketě zacelovala, nešlo na dané médium data

<sup>1</sup> Výjimku tvoří 5,25palcové diskety s kapacitou 1,2 MB [13]. Otáčí se rychlostí 360 otáček za minutu.

zapisovat. Novější 5,25palcové mechaniky již tento způsob rozpoznávání nevyužívaly. Namísto toho sloužila ke stejnému účelu světelná závora, nebylo tedy možné používat k uzamčení disket průhledné lepící pásky. Instalační disky programů se vyráběly bez zářezů, jelikož se nepředpokládalo jejich přepisování [5]. V případě disket o 3,5 palcích bylo zamykání disket řešeno o něco komfortněji. Na obrázku 3.7 je vyobrazen otvor, jenž může být zacloněn plastovým přepínačem, což by znamenalo možnost na disketu zapisovat data. V opačném případě, kdy mechanika detekuje otevřený stav přepínače, by byl zápis nemožný [14].



Obrázek 3.5: Schéma disketové mechaniky pro 3,5" diskety [5]

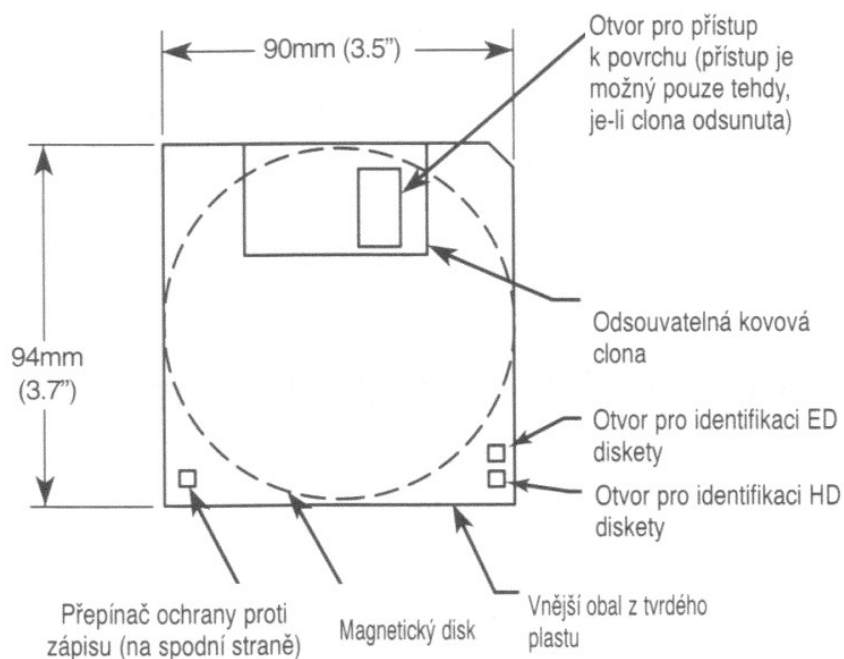
Na obrázku 3.7 lze vpravo dole vidět ještě další dva otvory. Disketová mechanika díky nim rozpozná, je-li vložená disketa typu HD, nebo ED. Diskety s technologií DD žádné

takový otvory na tomto místě nemají, čímž jsou pro disketové jednotky také rozpoznatelné [14].



Obrázek 3.6: 5,25" disketa [14]

Ochranný obal 5,25palcových disket obsahuje tzv. indexový otvor. Na jednom místě je takto proděravěn i plastový kotouč. Při překrytí obou děr se stane část diskety průhlednou, což je signál pro disketovou mechaniku, že se magnetický kotouč nachází v nulové pozici (začátek stopy) [14]. Diskety o velikosti 3,5 palců žádný takový malý otvor skrz médium nemají. Jako náhrada je použit krajní otvor v jejich kovovém středu [13].



Obrázek 3.7: 3,5" disketa [5]



*Obrázek 3.8: Kovový střed 3,5" diskety s indexovým otvorem a středovým přichycovacím otvorem*

Mezi mechanikami pro diskety jednotlivých velikostí platí zpětná kompatibilita. Například mechanika, která slouží pro 3,5palcové diskety typu ED, dokáže pracovat i se staršími disketami s označením HD o stejných rozměrech [11]. Samozřejmě to však neznamená, že by HD disketu bylo možné v takové mechanice spolehlivě přeformátovat na větší kapacitu [8].

Kapacita použitelná pro uživatele se projeví až po naformátování dané diskety. Během procesu formátování se na kotouči diskety vytváří zároveň fyzická (stopy, sektory) i logická (zaváděcí sektor<sup>1</sup>, FAT<sup>2</sup>, ...) struktura [3]. Během toho dojde k vymazání všech uložených dat (včetně případných virů). Logická struktura zabírá na každé disketě nějaký datový prostor, čímž uživatele ochudí o určitou část datové kapacity. Je však potřebná, jelikož by bez ní neuměl operační systém s disketou pracovat. Jako příklad úbytku místa po formátování lze uvést 3,5palcovou disketu typu ED, která má kapacitu 2,88 MB. Je také známa pod názvem 4MB disketa, jelikož 4 MB je její nenaformátovaná kapacita [8]. Takový objem dat nelze ve skutečnosti na pružný disk uložit, protože aby byl schopen s daty operovat, musí být nejdříve naformátován.

Přestože diskety prošly od svého vzniku nemalým vývojem, nejsou již dnes v praxi využívány, neboť byly nahrazeny zařízeními s lepší přenosovou rychlostí a větší datovou kapacitou. I ve skříních novějších počítačů však mají diskety a jejich mechaniky stále vyhrazeny své místo. Je tomu tak díky skutečnosti, že disketové mechaniky umožňují čtení a zápis bez jakéhokoli ovladače – jsou totiž řízeny přes BIOS<sup>3</sup> [14]. Při vážné poruše počítače lze v případě nouze z disket spustit DOS nebo speciální distribuci Linuxu a pokusit se o nápravu problému. V dnešní době se v počítačových skříních nalézají disketové mechaniky velice vzácně. Je-li potřeba s pružnými disky pracovat, volí se často

1 Zaváděcí sektor (boot sector) obsahuje systémové informace. Jsou jimi např. celkový počet sektorů, počet sektorů na stopu atd. Jedná se o sektor 1 ve stopě 0 na straně 0 [13].

2 File Allocation Table (tabulka lokalizující soubory) uchovává podrobné informace o tom, kde se na médiu nachází jednotlivé soubory. Na základě těchto informací se přiděluje fyzické místo nově zapisovaným souborům [5]. Téměř vždy se na disketě vyskytuje ve dvou kopiích [8].

3 BIOS (Basic Input-Output System – základní vstupně-výstupní systém) tvoří rozhraní mezi hardwarem a softwarem.

externí disketová mechanika, která se připojuje prostřednictvím USB<sup>1</sup> (Universal Serial Bus) portu.



*Obrázek 3.9: Externí 3,5'' disketová mechanika pro připojení do USB [15]*

### 3.1.3 Nástupci klasických disket

Kromě klasických disket a jejich mechanik se lze setkat s méně rozšířenými nástupci tohoto média. Původní diskety bylo třeba něčím nahradit, neboť uživatelům postupem času přestávala k přenosu velkých objemů dat a zálohování stačit jejich kapacita [8]. Dalším důvodem byla poměrně vysoká cena za bit.

Pro nárůst kapacity se volila cesta navyšování horizontální hustoty, tedy přidávání stop. Jedním ze zástupců, který se snažil nahradit klasické diskety, je 3,5palcový disk Floptical. Název je zkratkovým slovem anglických výrazů floppy (pružný) a optical (optický). Konstrukce obalu i kotouče je téměř shodná s pružným diskem na obrázku 3.7 a záznam i čtení dat probíhají stejně jako u předchůdce – magneticky [8]. Má-li dojít k navýšení počtu stop, musí být ve výsledku stopy užší. To s sebou však nese negativum v podobě zvýšení nároků na přesnost vystavování čtecích a zápisových hlav [5]. Vystavování hlav nad danou stopu dovádí k dokonalosti právě optická složka floptických mechanik. Speciální optický mechanismus k přesnému umístění využívá tzv. servo informace, které jsou na každém disku Floptical umístěny při jeho výrobě. Servo stopy jsou do disku vypáleny nebo vyraženy a nelze je odstranit ani formátováním [8]. Laserový paprsek se stará o čtení informací z těchto pomocných stop, což mu umožňuje přesné vystavení čtecích/zápisových hlav. Díky této technologii vzrostla hustota stop ze 135 stop na palec na 1 250 stop na palec<sup>2</sup> [16]. Na disky Floptical je proto možné uložit až 21 megabajtů. Přenos dat lze realizovat rychlostí až 10 megabajtů za sekundu, čemuž napomáhá rychlost otáčení disku 720 otáček za minutu [8]. Jelikož však floptickým mechanikám chyběla podpora ze strany operačních systémů a výrobců systémových BIOSů, nedošlo k jejich masivnímu rozšíření, jak tomu bylo v případě klasických disket [5], [8].

1 Univerzální sériová sběrnice, která umožňuje k počítači připojit až 127 periferních zařízení [13].

2 Každá stopa obsahuje v případě disků Floptical 27 sektorů po 512 bajtech [8].

Na velmi podobném principu jako mechaniky disků Floptical pracují i mechaniky s označením LS-120. Písmena LS jsou zkratkou výrazu „Laser Servo“ a číslo 120 udává počet megabajtů, které je možno na diskety LS-120 uložit [5]. Mechanika si pomocí čtecího/zápisového laserového paprsku na disketě vytváří referenční stopy, díky nimž je zabudovaný optický senzor schopen přesně navádět hlavy nad magnetickými datovými stopami. Horizontální hustota je 2 490 stop na palec [8]. Magnetický kotouč se v mechanice otáčí rychlostí 720 otáček za minutu a maximální přenosové rychlosti se v závislosti na použitém rozhraní pohybují od 440 do 1 100 kilobajtů za sekundu, což je až pětadvacetkrát<sup>1</sup> více než standardní diskety o kapacitě 1,44 megabajtů [5]. Mechaniky LS-120 jsou kompatibilní s původními disketami o velikosti 3,5 palců (pouze kapacity 720 kilobajtů a 1,44 megabajtů). Pro každý ze dvou druhů médií, se kterými tedy lze v mechanice operovat, se používají rozměrově odlišné čtecí/záznamové hlavy [13]. Pro práci s klasickými disketami slouží hlavy širší, užší pak zajišťují čtení a zápis na modernější disky typu LS-120. Tyto disky mají po vzoru starých 3,5palcových disket ve své levé dolní části posuvný přepínač ochrany proti zápisu. Na pravé dolní straně se pak nachází otvor pro detekci typu média. Jelikož mechanika LS-120 získala postupem času oblibu [8], rozhodli se výrobci toto zařízení i v něm používané médium modernizovat. Druhá generace mechanik nesoucí označení LS-240 pak pracuje s rozměrově stejnými médii o dvojnásobné kapacitě – 240 megabajtů. Díky zvýšeným otáčkám (1500 otáček za minutu) nabízí ještě lepší přenosovou rychlost – až 600 kilobajtů za sekundu [17].



Obrázek 3.10: Médium LS-120 (označováno též jako SuperDisk) [16]

Většího rozšíření se dočkaly zejména mechaniky Zip [3]. Ty nejsou s klasickými 3,5palcovými disketami kompatibilní a používají svá vlastní speciální magnetická média.

<sup>1</sup> Údaj platí pro čtení. Zápis byl oproti standardním disketám o kapacitě 1,44 megabajtů rychlejší pouze dvacetkrát [5].

Disk Zip má oproti starým disketám asi dvakrát větší tloušťku a chybí na něm jakýkoli přepínač ochrany proti zápisu (viz obrázek 3.11). Na rozdíl od Floptical a LS-120 se servo informace nachází přímo mezi daty a k jejich čtení není potřeba relativně drahých optických zařízení [14]. Naváděcí informace se načítají 120krát za jednu otáčku disku, to znamená každé 3 stupně. Rychlost otáčení je u prvních Zip mechanik 3 000 otáček za minutu<sup>1</sup> (50 otáček za sekundu) [14] a díky této vysoké hodnotě je rychlost přenosu dat vyšší než u předchůdců. V závislosti na použitém rozhraní a verzi mechaniky se tato rychlost pohybuje od 440 kilobajtů za sekundu do 7,5 megabajtů za sekundu [5], [18]. Disky Zip jsou velmi náchylné k úplnému zničení při vystavení magnetickému poli, které kromě sektorů může poškodit i servo informace [14]. V takovém případě je disk nenávratně zničen, jelikož se naváděcí informace zapisují během vytváření média a poté je již nelze upravovat. Existují tři generace Zip mechanik a k nim příslušících přenosných médií. Jedná se o zařízení pro práci s disky o kapacitách 100 megabajtů, 250 megabajtů a 750 megabajtů. Všechny Zip mechaniky jsou zpětně kompatibilní, takže ve verzi pro 750 megabajtů lze pracovat s disky obou předchozích generací [3]. Ačkoliv se Zip mechaniky těšily velké podpoře ze strany počítačového průmyslu [8], jejich pověst však degradovala ve chvíli, kdy se asi 100 000 uživatelů setkalo s jevem zvaným klapot smrti (click of death) [5]. Jedná se o zvuk, který mechanika (konkrétně mechanismus vystavování hlav) vydává, když se opakovaně pokouší číst část disku. Uživatel si pak může být jist, že došlo ke zničení disku nebo mechaniky.



Obrázek 3.11: Médium Zip s kapacitou 100 megabajtů [16]

Pokusů o nahrazení klasických 3,5palcových pružných disků proběhla spousta. Lišily se od sebe datovou kapacitou, fyzickou velikostí média, použitými technologiemi

<sup>1</sup> U nejnovějších verzí Zip mechanik se magnetický disk otáčí rychlostí 3 676 otáček za minutu (více než 60 otáček za sekundu) [18].

i spolehlivosti. Kromě výše zmíněných lze dále vyjmenovat následující disky: Click! (kapacita 40 megabajtů), Caleb it (zpětná kompatibilita se standardními disketami o velikosti 3,5 palců, kapacita 144 megabajtů), Bernoulliho disk (využití Bernoulliho jevu, kapacita až 200 megabajtů), Sony HiFD (kapacita 200 megabajtů, zpětná kompatibilita se standardními disketami o velikosti 3,5 palců), SyQuest (kapacita až 1,5 gigabajtů, tuhý magnetický kotouč), Jaz (kapacita až 2 gigabajty), Castlewood Orb (kapacita až 5,7 gigabajtů), Peerless (zvláštní koncepce disku s hlavami v pouzdře média, kapacita až 20 gigabajtů) [5].

### 3.2 Pevný disk

Pevný disk (anglicky hard disk) je magnetické zařízení pro uchovávání počítačových informací, s nimiž momentálně procesor nepracuje a která se v případě potřeby načtou do operační paměti počítače [3]. Jeho sekundární funkce pak spočívá v zálohování dat. Externí pevné disky slouží také k přenosu typicky velkého množství dat mezi počítači. První pevný disk byl vyroben roku 1956 a stejně jako v případě disket stála u jeho zrodu firma IBM [14]. Tehdy se jednalo o skutečně velké a značně těžké zařízení (51 kotoučů o průměru 24 palců – 60,96 centimetrů) s kapacitou 5 megabajtů [14]. Postupem času se pevné disky stávaly menšími, zatímco jejich kapacita se výrazně navyšovala. Rozmanitosti velikostí a tvarů některých starších disků dokumentuje obrázek 3.12.



*Obrázek 3.12: Srovnání velikostí pevných disků (zleva doprava): 10 MB (1983), 20 MB (1986), 40 MB (1990) a 20 GB (1999). Vzadu je 160MB disk (1986). [14]*

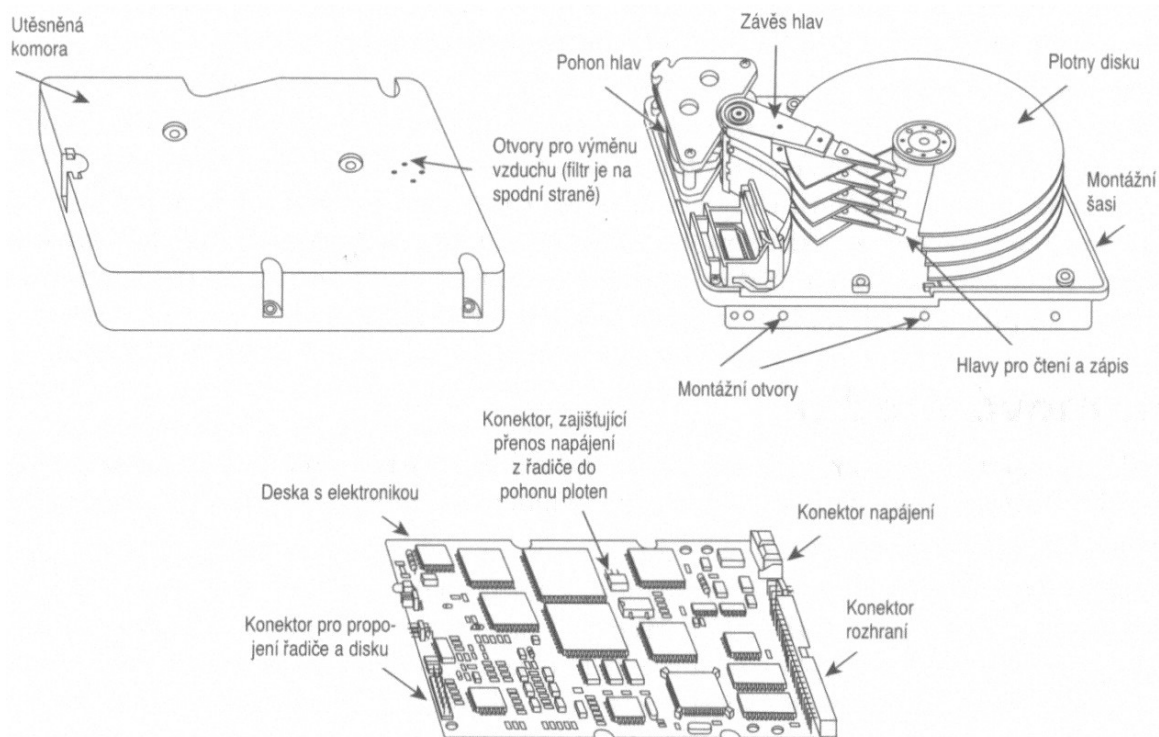
Velikosti ploten pevných disků se v dnešní době ustálily na 1,8 palcích (4,572 centimetrech) pro přenosná elektronická zařízení menších rozměrů (např. iPod Classic [20]),



2,5 palcích (6,35 centimetrech) pro notebooky a 3,5 palcích (8,89 centimetrech) pro stolní počítače<sup>1</sup> [13], [19].

### 3.2.1 Části pevných disků

Pevné disky všech výrobců se ve své podstatě skládají ze stejných částí. Ty se mohou v závislosti na výrobcu paměti drobně lišit, princip funkce dané součásti i celku však zůstává ve své podstatě vždy stejný [8]. Nejdůležitějšími funkčními částmi pevného disku jsou plotny disku a jejich pohon, hlavy pro čtení a zápis a pohon jejich závěsu, řídicí deska s elektronikou a konektory [5]. Téměř všechny disky dnes ještě navíc obsahují vzduchové filtry [5], [8]. Rozložení výše zmíněných součástí v utěsněném pouzdře názorně dokumentuje obrázek 3.13. Jelikož se veškerá mechanika zajišťující čtení, zápis a všechny chod disku nalézá uvnitř tohoto jednotně uceleného ochranného pouzdra, používá se pro pevný disk zkratkové označení HDD (Hard Disk Drive – jednotka pevného disku).



Obrázek 3.13: Základní součásti pevného disku [5]

#### 3.2.1.1 Plotny

Nejvíce prostoru zabírají uvnitř pevného disku nad sebou umístěné rotující kotouče, kterým se říká plotny (anglicky platters). Na jejich povrchu jsou uchovávána data. Tradičně byly diskové plotny vyráběny z hliníku (Al) a hořčíku (Mg), neboť se jedná o slitinu, která je pevná a vyniká svou nízkou hmotností [5]. Se zvyšujícími se nároky na velikost pevného disku, jeho datovou kapacitu a s ní souvisící hustotu záznamu překročili

<sup>1</sup> Existují však i menší provedení pevných disků (Microdrive) s rozměrem například 1 palec (2,54 cm) [5].

výrobci ke změně materiálu ploten. Tím se stalo sklo v kombinaci s keramickými částicemi [8]. Výsledkem zmíněné kombinace je vzhledem ke slitině hliníku a hořčíku větší tuhost a menší ohebnost. Díky keramické přísadě je výsledný materiál méně lámavý než samotné čisté sklo, s nímž se však lze u ploten některých pevných disků také setkat [8], [21], [22]. Výše zmíněné aspekty sklokeramického kompozitního materiálu umožňují vyrábět jednotlivé plotny s asi poloviční tloušťkou (vzhledem k hliníkovým slitinám) [8]. Lze jich tedy do útrobu disku vměstnat více, čímž se také zvýší celková kapacita média. Výhoda použití skla také spočívá v tom, že skleněné plotny mají menší tepelnou roztažnost – při změně teploty se objem (v našem případě zejména průměr) příliš nezmění [5]. Jelikož se v případě obou druhů kotoučů jedná o pevné materiály, nazývají se z nich utvořené diskové jednotky pevnými disky. Alternativní vysvětlení přisuzuje pevným diskům jejich název z toho důvodu, že jsou záznamové kotouče pevně uchyceny ke čtecímu mechanismu a ostatním součástem diskové jednotky [13].

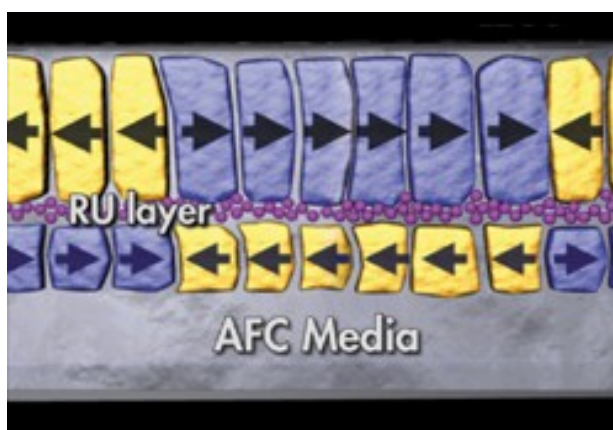
Všechny plotny jsou z obou stran obaleny velmi tenkou vrstvou magnetického materiálu (tzv. médiem), do kterého se provádí zápis. U prvních pevných disků plnily tuto funkci různé sloučeniny s oxidy železa<sup>1</sup> jakožto s magneticky citlivou složkou [8]. Této vrstvě se říká oxidové médium. Nanese se na plotnu, která se poté roztočí a vlivem působení odstředivé síly dojde k rovnoměrnému rozlití tekutého oxidu železa po povrchu kotouče. Nakonec je aplikována ochranná vrstva. Tloušťka magnetické vrstvy se pohybuje okolo 0,8 mikrometrů. Přestože je tato technologie levná a jednoduše se aplikuje [8], u dnešních pevných disků se nepoužívá, jelikož vlastnosti oxidového média nedostačují současným nárokům [5]. Vyšší požadavky na hustotu zaznamenávaných dat totiž znamenají nutnost značně tenčí vrstvy média na povrchu plotny.

Tenčí alternativu k oxidovému médiu nabízí tenký film. Existují dvě varianty jeho nanesení na plotnu. Skleněný nebo hliníkový kotouč může procházet řadou chemických lázní, během nichž dochází k pokrývání povrchu disku několika vrstvami kovového filmu. Typicky se přitom jedná o slitinu kobaltu, která ve výsledku dosahuje tloušťky 0,08 mikrometrů, což je desetkrát méně než v případě oxidového média. Tenký film se v případě výše zmíněného postupu nanášení nazývá plátovaný tenký film a používá se pro něj také označení plátované médium [8]. Naproti tomu při výrobě stříkaného tenkého filmu (lze se rovněž setkat s názvem stříkané médium) se plotna pokryje vrstvou sloučeniny niklu a fosforu a následně dojde ve vakuovém prostředí k nastříkání takto připraveného kotouče vrstvou slitiny kobaltu. Obdobným způsobem je navíc nanášena vrstva z velmi pevné uhlíkové sloučeniny (např. grafitu) [5], [13]. Tloušťka magnetických vrstev se pohybuje kolem 0,01 až 0,05 mikrometrů [5], [8], [13]. Velmi hladká ochranná vrstva, která chrání povrch ploten před mechanickým poškozením, mívá obvykle 0,03 mikrometrů [5]. Nutnost téměř dokonalého vakua při nanášení vrstev se odráželo ve vyšší konečné ceně pevných disků s touto technologií nánosu média [8].

---

<sup>1</sup> Jedná se o oxid železnatý (FeO) nebo oxid železitý (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [14].

Další metoda, s jejíž pomocí lze dosáhnout lepších výsledků v problematice zvyšování hustoty záznamu, je technologie AFC. Toto označení zkracuje výraz AntiFerromagnetically-Coupled media (antiferomagnetically spojená média) [23]. Lze se také setkat se zkratkou ACM [14]. Způsob organizace média na plotně pevného disku je výjimečný v tom, že jsou nanášeny celkem tři vrstvy ležící nad sebou (viz obrázek 3.14). Obě krajní vrstvy z magnetického materiálu jsou od sebe odděleny velmi tenkou vrstvou (tloušťka pouhých tří atomů) nemagnetického prvku, kterým je ruthenium (Ru) [23]. Do tenčí vrstvy média jsou zapisována data. Prostřední vrstva způsobí, že širší magnetická vrstva zaujme vůči té tenčí opačný náboj (polarizuje se opačným nábojem) [14], [23]. Zmagnetizování tenké vrstvy se tedy projeví v celém médiu a jelikož je k takovému zmagnetizování (případně přepólování) zapotřebí jen málo energie, mohou být jednotlivé záznamy (bity) menší [14]. Z toho vyplývá, že na stejnou plochu kotouče se dá vměstnat více datových bloků než při použití předchozích technologií. Podrobné informace o výše zmíněné magnetizaci média obsahuje kapitola 6.



Obrázek 3.14: Technologie AFC (ACM) [14]

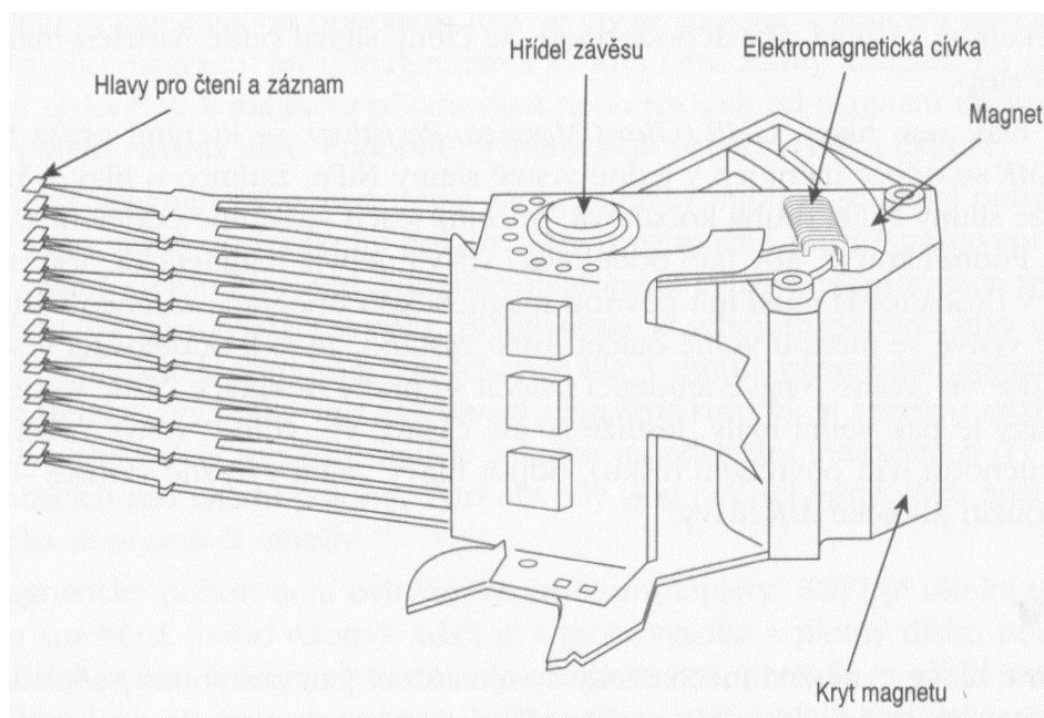
I když ploten bývá často osazeno více, jak je tomu na obrázku 3.13, není to vždy pravidlem. Někteří výrobci instalují do prémiových řad svých pevných disků (např. Seagate do modelu Cheetah 15K.5) co nejméně ploten, eventuálně pouze jednu [24]. Jelikož nejdůležitější součásti všech pevných disků jsou pohyblivé a během jejich činnosti dochází zákonitě k jejich opotřebení [25], jsou disky s více kotouči a čtecími/zápisovými hlavami náchylnější k poruše. Zejména disky s mnoha plotnami, kterých může být třeba i jedenáct [8], mohou mít problémy s odvodem tepla mezi jednotlivými kotouči. S výpadkem nějaké části pak většinou souvisí nefunkčnost celého disku a následně téměř nevyhnutelná ztráta veškerých uložených dat [14], [25]. Obsahuje-li pevný disk pouze jeden otáčející se kotouč, může dosahovat teoreticky vyšší spolehlivost [13], [14].

Pohon všech kotoučů zajišťuje motor, který je přímo spojen s hřídelí plotny/ploten. Jeho chod nesmí vytvářet žádné vibrace, měl by být velmi tichý a naprosto přesný ve svých otáčkách. Pro monitorování a precizní řízení otáček po celou dobu chodu pevného disku slouží speciální obvody [8]. U pohonů disků se lze setkat s klasickými

kuličkovými ložisky nebo ložisky kapalinovými. Přímý dotyk kovových součástí kuličkového ložiska může vést k nechtěnému vzniku vibrací a hluku. Naproti tomu ložiska s mazací tekutinou mezi hřídelí a jeho pouzdem těmito neduhy netrpí a vykazují vyšší odolnost proti nárazům [5].

### 3.2.1.2 Čtecí a zápisové hlavy

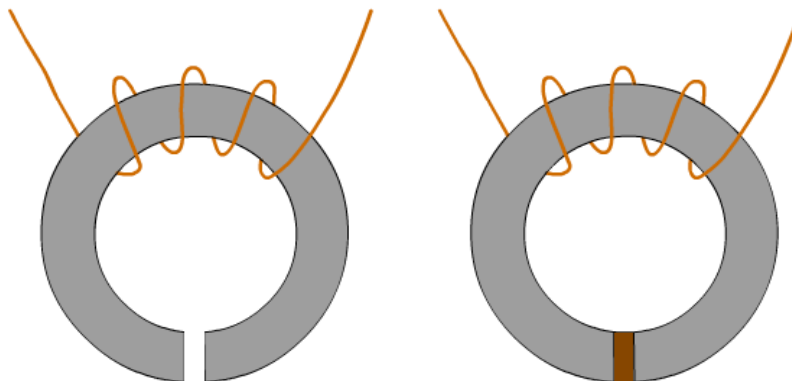
Další neopomenutelnou součástí každého pevného disku jsou jeho čtecí a zápisové hlavy. Ty jsou spojeny v jeden celek a zavěšeny na pohyblivém závěsu. Každá hlava se nachází na konci ramene, které se při činnosti pohybuje nad magnetickými plotnami a navádí hlavy nad potřebné místo. Ramena pruží tak, aby byly hlavy lehce přitlačovány na plotny. Ke kontaktu však nikdy nesmí dojít, neboť by mohlo dojít k poškození hlav i kotoučů, čímž by také došlo ke ztrátě dat. V momentě, kdy se rotující kotouče začnou otáčet plnou rychlostí, je na jejich povrchu přetlak vzduchu (případně helia [26]), po kterém čtecí a zápisové hlavy ladně kloužou [5]. Vzdálenost hlav a média při práci se liší v závislosti na typu použitých hlav. Čím menší hlava je, tím více se k rotující plotně může přiblížit. Je-li menší a blíže, mohou být i jednotlivé bity v médiu menší, takže se jich na stejnou plochu vměstná více [14]. Není tedy překvapením, že se během vývoje pevných disků hlavy zmenšují a datová kapacita naopak narůstá.



Obrázek 3.15: Čtecí a zápisové hlavy a elektromagnetický pohon jejich závěsu [5]

Dříve se používaly tzv. feritové hlavy. Jejich jádro bylo vyrobeno z oxidu železa, odtud tedy pochází označení feritové [8]. Jádro bylo obaleno elektromagnetickou cívkou a v místě přiblížení k magnetické plotně obsahovalo úzkou štěrbinu, přes kterou se prováděly operace čtení i zápisu. Feritové hlavy se pohybují nad povrchem rotující plotny

ve vzdálenosti jednoho mikrometru ( $\mu\text{m}$ ) a umožňují na pevný disk zaznamenat až 50 megabajtů dat [13].



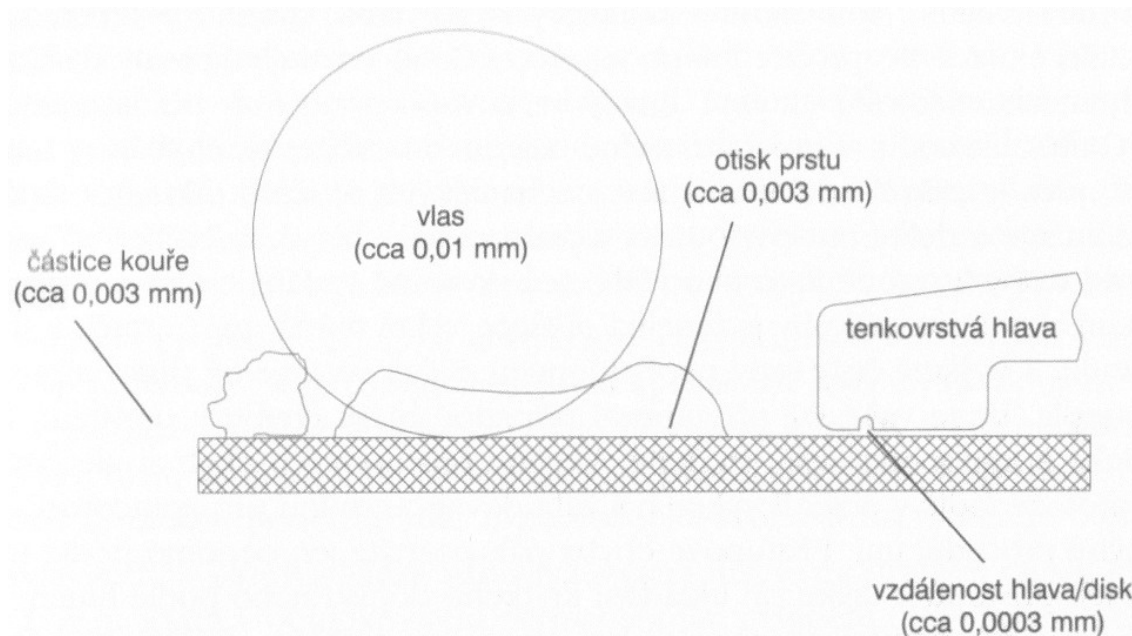
*Obrázek 3.16: Feritová zápisová/čtecí hlava (vlevo)  
a hlava typu MIG s kovem v záznamové štěrbině (vpravo)*

Drobné vylepšení oproti klasickým feritovým hlavám přinesly hlavy s kovem v záznamové štěrbině, tzv. hlavy typu MIG (Metal In Gap – kov v mezeře) [8]. Jednoduché srovnání nabízí obrázek 3.16, kde je štěrbina hlavy napravo vyplněna nemagnetickým materiálem, kterým nejčastěji bývá bronz [27]. Vylepšená konstrukce těchto hlav dovolovala jejich bližší umístění k plotnám a až dvojnásobnou hustotu záznamu dat (50 – 100 megabajtů) [8], [28].

Jelikož byly feritové a MIG hlavy kvůli vinutí elektromagnetické cívky kolem velkého feritového jádra příliš velké a těžké a nedovolovaly již další miniaturizaci, byly nahrazeny hlavami z tenkého filmu. Označují se dvěma zkratkami, kterými jsou TF (Thin Film – tenký film) a TFI (Thin Film Inductive – indukční tenký film). Principiálně je hlava stejná jako v případě předchozích dvou typů, markantně se však od sebe liší jejich výrobou a výslednou velikostí. Významně menších rozměrů TFI hlav je dosaženo výrobním procesem, při němž dochází k napařování a napařování (sputtering) velmi tenkých vrstev materiálu [14]. Tloušťka jednotlivých vrstev se pohybuje v řádech mikrometrů. Díky precizní přesnosti při výrobě hlavy a nízké její hmotnosti se může nad rotující plotnou pevného disku vznášet podstatně níže než feritové a MIG hlavy [8]. Výška letu činí asi 0,2 až 0,5 mikrometrů [13]. To je důvod, proč lze na pevné disky s TFI hlavami uložit několik stovek megabajtů dat. Takto malá vzdálenost hlavy od plotny s sebou však nese potřebu dokonale čistého prostředí uvnitř disku, jelikož sebemenší nečistota by mohla poškodit magnetický záznam, či dokonce samotnou čtecí/zápisovou hlavu.

Dalším vývojovým stupněm jsou magnetorezistivní hlavy s označením MR (Magneto-Resistive) [5]. Skládají se ze dvou základních částí, kterými jsou dvě samostatné hlavy, z nichž jedna slouží pouze pro zápis a druhá pouze pro čtení [13]. V případě zápisové hlavy se jedná o výše popsanou hlavu typu TFI, která pracuje

v režimu hustšího zápisu. Pokud by však měla tato hlava zpětně zrekonstruovat zapsaná data, neuspěla by. O čtení informací se stará druhá část MR hlav – magnetorezistivní senzor ze slitiny niklu a železa [5]. Jedná se o mnohem menší a citlivější detektor uložených dat, který je schopen číst záznamy o větší hustotě, díky níž dokáží pevné disky pojmout 1 až 30 gigabajtů dat. Tato technologie se také označuje jako AMR (Anisotropic Magneto-Resistive) [29].



Obrázek 3.17: Srovnání výšky letu tenkovrstvé hlavy a velikostí různých nečistot [13]

V dnešní době jsou zřejmě nejpoužívanějším typem hlav ještě menší a citlivější senzory označované jako GMR (Giant Magneto-Resistive) [14]. Jsou velmi podobné jejich MR/AMR předchůdcům. Čtecí hlavy se v případě GMR skládají z více tenkých vrstev (slitina niklu a železa, měď, kobalt, tenká antiferomagnetická vrstva) a dovolují ještě větší hustotu zápisu [30]. Magnetorezistivní senzory obou typů hlav jsou doplněny odstíněním, aby nedocházelo k nechtěnému rušení okolními informacemi.

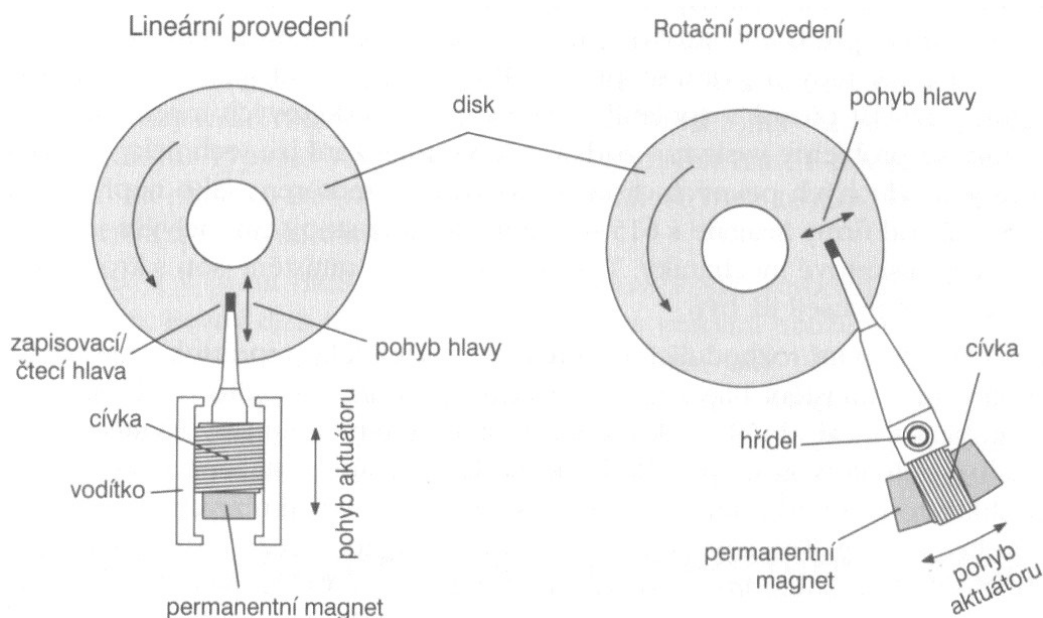
### 3.2.1.3 Vystavovací mechanismy

Hlavy se nad plotnami disku přemisťují, čímž dovolují operování s daty po téměř celé ploše každého kotouče. Existují dva typy mechanismů<sup>1</sup>, které tento pohyb realizují. To, který mechanismus byl v daném pevném disku použit, významně ovlivňovalo rychlost a především spolehlivost celého paměťového zařízení [5].

V první řadě se jednalo o krokovací motorky [25]. Ty se otáčejí na obě strany po jednotlivých přírůstcích (krocích) předem definovaných velikostí. Má-li se hřídel motorku otočit o 5 stupňů po směru hodinových ručiček a velikost jednoho kroku je 0,1 stupně,

<sup>1</sup> Mechanismy vystavování ramen se zápisovými a čtecími hlavami se nazývá aktuátor (převzato z anglického výrazu actuator) [5], [13].

dostane od řídicí jednotky povel provést 50 krokovacích cyklů (daným směrem). Nelze však provést posun o 5,05 stupňů, jelikož krokovací motorek neumožňuje žádným způsobem setrvat v poloze mezikroku [13]. Platí, že ramena s hlavami se jedním krokem posunou na vedlejší záznam (stopu). Je-li potřeba přemístit hlavy o deset cyklů, provede se vždy deset jednotlivých posunů. Po vydání příkazu řídicí jednotkou se pohyb hřídele motorku přenesse na zbytek vystavovacího mechanismu prostřednictvím pružných kovových pásek [25]. Popsané řešení s sebou nese mnoho nevýhod. Kovové pásky se mohou časem mírně natáhnout (například působením tepla) a vystavení hlav bude nepřesné. Navíc není přítomen žádný kontrolní mechanismus, který by zjišťoval, zda je pozice vystavovacího mechanismu správná. Z důvodu této zmíněné nespolehlivosti a možnosti použití pouze u disků s nízkou hustotou záznamu dat (z dnešního pohledu) se přestaly do pevných disků osazovat. Stále se však s úspěchem používaly v disketových mechanikách [5].



Obrázek 3.18: Lineární a rotační provedení lineárního vystavovacího mechanismu hlav [13]

Kvůli nespolehlivosti krokovacích motorků začaly postupem času v pevných discích převládat tzv. lineární motorky [13]. Jejich hlavními součástmi jsou permanentní magnet a vychylovací cívka. Po dodání energie cívkce se v závislosti na typu provedení mechanismu uskuteční pohyb magnetu se závěsem hlav, nebo závěsu hlav a cívkky. Oba druhy pohybů ilustruje obrázek 3.18. V dnešní době se používá rotační verze ze dvou hlavních důvodů. Oproti lineárnímu provedení nedochází k pohybu poměrně těžkého magnetu a v důsledku větší vzdálenosti hlav a hřídele oproti vzdálenosti cívkky a hřídele je z principu páky měněn malý pohyb cívkky na větší pohyb všech hlav [13]. Další výhoda řešení pomocí těchto vystavovacích mechanismů spočívá v tom, že tvoří tzv. uzavřený řídicí systém, který je samoopravný [25]. Hlavy sledují speciální údaje na disku, čímž kontrolují správnost svého chodu. Případné nepřesnosti jsou automaticky opravovány.

#### 3.2.1.4 Vzduchový filtr a pohlcovač vlhkosti

Kromě již popsaných součástí se vevnitř pevného disku vyskytují ještě další, které stojí za zmínku. Jednou z nich je vzduchový filtr, který umožňuje výměnu vzduchu s okolním prostředím utěsněného (ne však vzduchotěsného [5]) disku. Výměna vzduchu je potřebná k vyrovnávání tlaku uvnitř zařízení. Dalším důležitým úkolem filtru je čistit vnitřní rotující vzduch, v němž se můžou nacházet nepatrné částičky různého materiálu obroušeného při práci pohyblivých částí disku<sup>1</sup> [13]. V některých pevných discích lze také najít malé papírové balení se silikagelem ( $\text{SiO}_2$ ), který absorbuje vlhkost, jež pevným diskům neprospívá.

### 3.2.2 Fyzická organizace dat

Data se do pevných magnetických kotoučů zapisují (stejně jako u disket) do soustředných kružnic – stop (viz obrázek 3.2). Nad sebou ležící stopy všech pevných kotoučů tvoří cylindry, jejichž celkový počet se v dnešní době pro jeden pevný disk pohybuje řádově v tisících [3]. Ve stejných rádech se pohybuje také počet sektorů, na které se rozděluje každá stopa. Do každého sektoru pak lze standardně zapsat 512 bajtů [5]. Pevné disky, které se řadí mezi novější, disponují sektory o velikosti 4 096 bajtů [31], [32]. Data jsou z jednotlivých sektorů načítána tím způsobem, že se čtecí hlava nejdříve vystaví nad požadovanou stopu. Tento proces trvá průměrně jednotky až desítky milisekund [24], [31]. Poté se vyčkává, až daný sektor dorotuje pod čtecí hlavu, což typicky zabere dobu odpovídající jednotkám milisekund [24], [31], [32]. Samotné přečtení jednoho sektoru pak trvá pouhých pár mikrosekund [33].

Dle výše zmíněného modelu organizace dat na kotoučích pevného disku platí, že do sektorů na okrajích ploten jsou data zapisována s menší hustotou než do sektorů u středu. Aby se kvůli tomu zbytečně neplýtvalo místem, byla zavedena technologie ZBR (Zone Bit Recording – zónové zaznamenávání bitů) [11]. Plocha povrchu všech kotoučů je rozdělena na zóny, kterých bývají řádově desítky [5]. V rámci každé zóny jsou stopy rozděleny na stejný počet sektorů. Zároveň platí, že stopy na vnějším okraji obsahují sektorů více než stopy na okraji vnitřním. Výsledkem je asi o 30 procent navýšená datová kapacita za cenu vyšší režie elektroniky pevného disku [14].

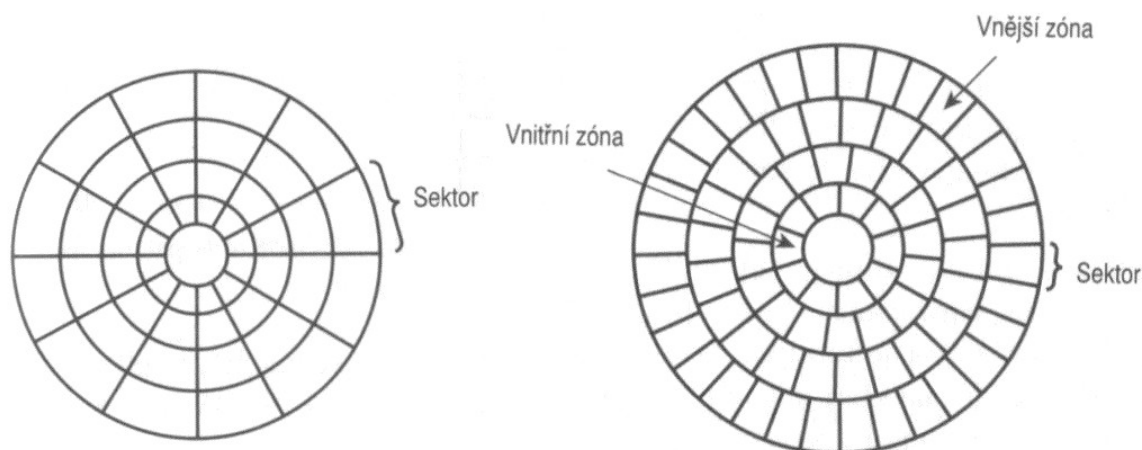
Mezi sektory se vyskytují servoinformace<sup>2</sup>, díky kterým jsou lineární motoroky vystavovacích mechanismů schopny regulovat svou činnost [13]. Setkat se lze ovšem i s méně častým přístupem, kdy je pro servoinformace vyhrazena celá strana jednoho z kotoučů (tzv. vyhrazené servo). Takový pevný disk se pak většinou pozná pouze podle toho, že výrobcem udávaný počet hlav pro čtení a zápis je lichý [8].

---

1 Vzduchový filtr může být rozdělen na dva samostatné filtry – recirkulační filtr a barometrický (průchodový) filtr [5].

2 Servoinformace se na plotny zaznamenávají během tzv. nízkourovňového formátování, které provádí výrobce pevného disku hned po jeho výrobě [8].





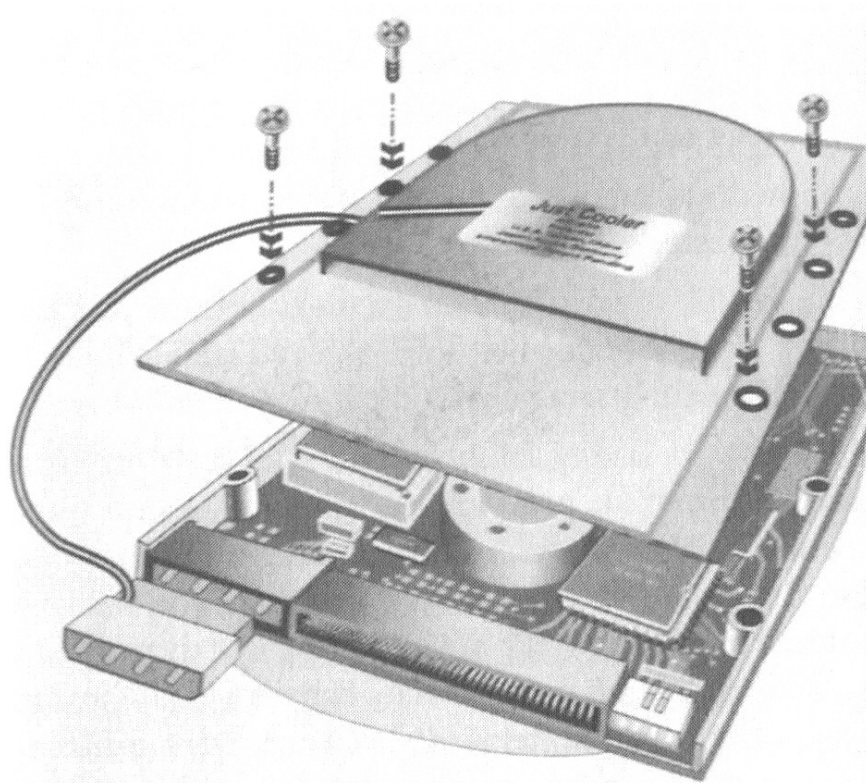
Obrázek 3.19: Klasická organizace dat na plotně (vlevo) a plotna se zónovým záznamem (vpravo) [8]

### 3.2.3 Parametry a využití

Pro běžného uživatele je často nejdůležitější vlastností pevného disku jeho datová kapacita, která se dnes pohybuje v rozmezí od desítek gigabajtů po jednotky terabajtů [14], [24], [32]. Dalším kritériem pro výběr disku je rychlost přenosu dat. Přenosové rychlosti současně prodávaných disků činí ve svém minimu i maximum stovky megabajtů za sekundu [24], [31]. S tímto parametrem přímo souvisí rychlost otáčení magnetických kotoučů. Typické rychlosti jsou 3 600 otáček za minutu pro starší pevné disky, 5 400, 5 900 a 7 200 otáček za minutu pro nejčastěji používané disky a 10 000 a 15 000 otáček za minutu u nejdražších disků pro náročné uživatele [5], [14], [24]. Díky velké rychlosti otáčení je dosaženo přístupové doby v řádech jednotek milisekund [24]. Vysoké otáčky a příznivá přístupová doba jsou však vykoupeny vysokou provozní teplotou, zvláště pak u disků větších fyzických rozměrů [14]. Hrozí-li pevnému disku uvnitř skříně počítače přehřívání, je nutností zajistit chlazení. Efektivní cestou ke snížení provozní teploty disku může být instalace přídavného chladiče, který se namontuje na spodní část pouzdra (viz obrázek 3.20). Naprostá většina pevných disků je dnes z důvodu zvýšení výkonu při přenosu dat osazena vyrovnávací (cache) pamětí o typických velikostech 8, 16, 32, 64, či dokonce 128 megabajtů [14], [31], [34].

Kromě klasických pevných disků, které pracují uvnitř skříně počítačů, existují tzv. externí pevné disky. Jsou určeny k zálohování, přesunu velkých objemů dat, případně k rozšíření kapacity počítače se zaplněnými interními disky. K počítači se nejčastěji připojují prostřednictvím portu USB, díky kterému jim může být (v závislosti na typu) dodávána elektrická energie pro provoz.

Osobní počítač však není jediné zařízení, které externí nebo interní pevné disky využívá. Lze je také propojit se zařízeními typu smart TV (chytrá televize), video-rekordéry nebo herními konzolemi.



Obrázek 3.20: Přídavný chladič pro pevný disk [14]

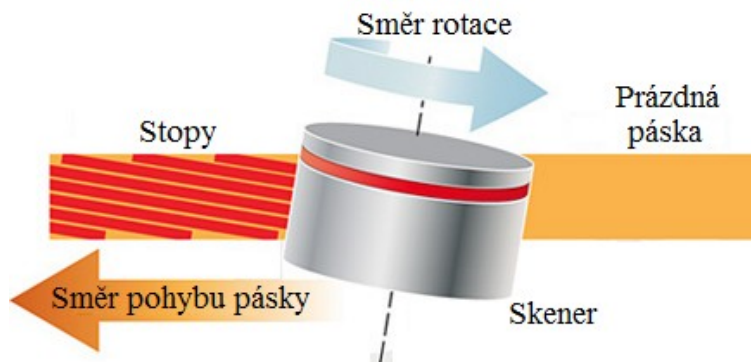
### 3.3 Pásková média

Kazety s magnetickou páskou jsou velmi podobné výše zmíněným magnetickým médiím. Opět se jedná o materiál, na kterém je nanášena magnetická vrstva. Základ ohebné pásky je nejčastěji vyroben z polyesterové fólie, na ni je pak typicky nanášena vrstva prášku oxidu železitého ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), případně jiné vhodné sloučeniny [8], [35]. Po vložení kazety do páskové mechaniky dochází téměř vždy k vytažení pásky z kazety a následně ke kontaktu se čtecími/zápisovými hlavami. Výjimku tvoří například audiokazety, v jejichž případě je páska při čtení nebo zápisu vždy uvnitř svého umělohmotného obalu a ke čtení nebo zápisu může dojít až po posunutí hlavy směrem k médiu.

Velká nevýhoda všech páskových médií je skutečnost, že při přístupu k zaznamenaným datům je potřeba přetočit pásku na správné místo, což má za následek velkou časovou prodlevu. Tento sekvenční přístup k jednotlivým souborům zákonitě prodlužuje přístupovou dobu, a to velmi razantně, dojde-li k porovnání například s pevnými disky, u kterých se tady doba pohybuje v řádech jednotek milisekund [24]. Pásky, které se používají v dnešní době, mají přístupovou dobu od desítek sekund po jednotky minut [36], [37]. Naopak nespornými výhodami páskových úložišť jsou jejich kapacita (od jednotek megabajtů po jednotky terabajtů), přenosová rychlost (až 400 megabajtů za sekundu), výrobci udávaná trvanlivost uložených dat 30 let a příznivý poměr ceny a kapacity [5], [8], [37]. Stejně jako v případě dříve zmíněných disket a pevných disků se také páskové mechaniky vyrábí i v externí podobě.

### 3.3.1 Fyzická organizace dat

Kazety s magnetickými páskami prošly od svého vzniku mnoha změnami. Kromě datové kapacity a přenosové rychlosti došlo také ke změně fyzické organizace dat a úpravě vnitřní struktury kazety.



Obrázek 3.21: Schéma šikmého zápisu (helical scan) na magnetickou pásku [38]

První pásková média v sobě měla dvě cívky, mezi kterými se magnetická páska přetáčela. Po vložení kazety do páskové mechaniky je páska povytažena ze svého pevného obalu a dochází k jejímu přitlačení na rotující buben s hlavami pro zápis a čtení [8]. Téměř u všech páskových médií<sup>1</sup> tohoto typu je mechanika vyrobena tak, že buben se soustavou hlav rotuje v nepatrném úhlu vzhledem ke kolem probíhající magnetické pásce. Toto malé vychýlení způsobuje, že stopy, ve kterých jsou uložena veškerá data, jsou na pásce zaznamenány šikmo, což názorně ukazuje obrázek 3.21. Tomuto typu operování s magnetickou páskou se říká helical scan (spirálový sken, technologie rotačních hlav), jelikož stopy po zapsání na pásku připomínají část spirály (helix).



Obrázek 3.22: Navíjení magnetické pásky z kazety na cívku páskové mechaniky [39]

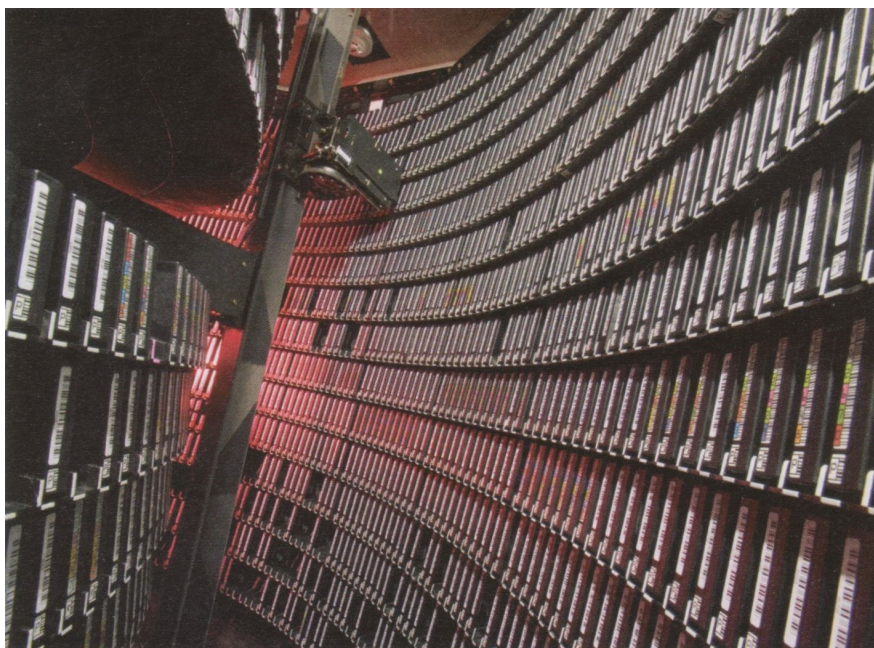
<sup>1</sup> Existuje mnoho druhů standardizovaných i nestandardizovaných páskových mechanik a médií [8], proto je dělení zde uvedené pouze základní.

Pásy a mechaniky, které se využívají v dnešní době, mají jinou strukturu a princip zápisu stop [37]. Páska je navinuta pouze na jedné cívce. Díky tomu nemusí být v obalu prostor vyhrazený pro navinutí pásky na prázdnou cívku, takže výsledná fyzická velikost celého média je menší. Pokud je tedy potřeba skladovat mnoho takovýchto kazet, může být úspora místa výrazná. Po vložení média do mechaniky je konec pásky vyjmut ze svého obalu a páska dále putuje ke čtecí a zápisové hlavě, odkud je vedena k cívce, na kterou se navíjí (obrázek 3.22) [39]. Téměř pro všechny pásy s jednou cívkou platí, že stopy jsou do magnetické vrstvy zaznamenávány rovnoběžně s okrajem pásky [8], [40]. Tento způsob zápisu je označován termínem podélný záznam.

### 3.3.2 Použití

Pro svou vysokou kapacitu jsou pásková média vhodná pro uchovávání a zejména zálohování velkých objemů dat. Typicky se používají k zálohování pevných disků a důležitých firemních dat [9]. V oblastech s nedostatečným síťovým pokrytím (typicky Afrika a Antarktida) pak mohou magnetické pásy sloužit k přemísťování obrovských objemů dat [37]. V každém případě se na pásy z důvodu dlouhé přístupové doby zaznamenávají data, která nemusí být k dispozici okamžitě.

Je-li potřeba opravdu velkého datového úložiště, nabízí se možnost využití páskových knihoven. Jedná se o zařízení se sloty pro velké (obrázek 3.23) i malé množství kazet s páskami [37]. Uvnitř těchto datových knihoven se pohybuje robot, který s páskami manipuluje a zprostředkovává vytažení dané pásky i její dopravení do čtecí mechaniky a zpět. Pásková knihovna navíc shromažďuje metadata ze všech kazet s páskami, takže je možné v rychlosti dohledat informace o všech souborech (včetně jejich fyzického umístění).



Obrázek 3.23: Obrovská pásková knihovna zabírající celou místnost [37]

### 3.4 Magnetooptické disky

Za zmínku stojí také méně rozšířené magnetooptické (MO) disky kombinující magnetický záznam s laserovou technologií, která se používá u optických disků [8]. Záznam tedy probíhá magneticky a za asistence laserového paprsku, který zahřívá povrch média [11]. Čtení je podobné způsobu, jakým se v optických mechanikách čtou data z klasických optických disků [13].

Magnetooptické disky jsou (podobně jako diskety) kotouče v ochranném obalu (viz obrázek 3.24). Z počátku své existence na ně šlo provádět zápis pouze jednou, poté byla uvedena a trh i varianta umožňující libovolný přepis existujících dat [5]. Jejich průměr je obvykle 5,25 nebo 3,5 palce a kapacita se pohybuje v rozmezí od stovek megabajtů po jednotky gigabajtů [5], [13]. Magnetooptické disky, které byly primárně určeny pro záznam hudby, dokázaly uchovávat 74 nebo 80 minut digitálního audio-záznamu [41]. Vhodné byly také pro archivaci dat díky nízké ceně za jeden bit a výrobci udávanou trvanlivostí dat po dobu až 30 let [5].



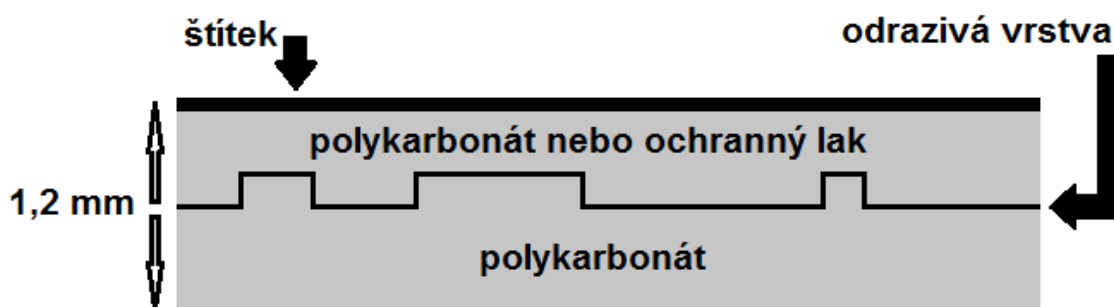
Obrázek 3.24: Magnetooptický disk typu MiniDisc (MD) určený k uložení hudby [41]

## 4 Vnější paměti s optickým záznamem dat

Všechny paměti s optickým záznamem dat jsou na první pohled identické. Stejně je také jejich využití (zálohování, přenos velkých objemů dat mezi počítači, distribuce hudby, filmů a programového vybavení počítače). Výrazně se však jednotlivé druhy optických médií liší svou datovou kapacitou a technologickou realizací.

### 4.1 Parametry a složení optického média

Optická média jsou kotouče o průměru 12 centimetrů<sup>1</sup>, v jejichž středu je otvor o průměru 15 milimetrů [3]. Méně rozšířené jsou disky s průměrem 8 centimetrů (středová díra má pro zajištění kompatibility stejnou velikost jako v předchozím případě). Tloušťka každého standardního optického média činí 1,2 milimetru. Do této tloušťky je vměstnáno hned několik vrstev. Základními vrstvami, které jsou obsaženy ve všech typech optických médií, jsou vrstvy ochranné (polykarbonát, lak) a odrazivé (viz obrázek 4.1) [5]. Často pak ještě bývá na médiu etiketa, která informuje o obsahu nosiče, případně slouží pro popis pomocí k tomu určeného fixu (ne vždy se však popis doporučuje [3]).



Obrázek 4.1: Struktura optického disku typu ROM

Tloušťka vrstvy z polykarbonátového substrátu, která je označována jako vrstva spodní, se u různých typů médií může lišit [14]. Její funkce je především ochranná. Polykarbonát je totiž odolný vůči nárazu a má dobré optické vlastnosti (nezkresluje jím procházející světlo) [42]. Kromě ochrany před mechanickým poškozením plní polykarbonát ještě další funkci. Tou je dorovnání tloušťky média na požadovanou hodnotu (1,2 milimetru). Kromě nejčastěji používaného polykarbonátu může být použita i jiná roztavená umělá hmota [14].

Uprostřed optického disku se nachází tenoučká vrstva metalického materiálu, který odráží světlo, což je důležité pro čtení dat (více v kapitole 7). Použitým materiálem je často hliník [9]. Hliníková fólie se však časem může kvůli kontaktu s vlhkostí okolního prostředí stát méně kvalitní a přestane odrážet světlo dokonale. To může vést až k ne-

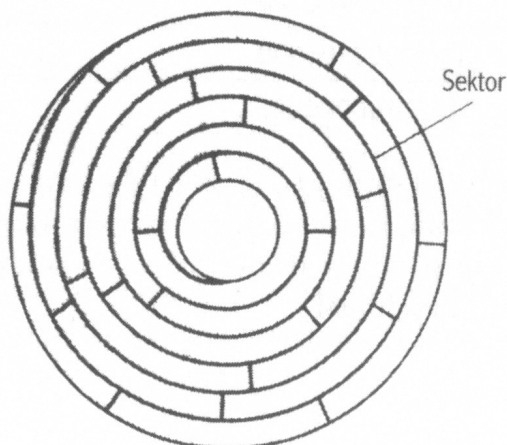
<sup>1</sup> Průměr 12 centimetrů byl prý zvolen proto, aby se na audio disk vešla celá Devátá symfonie Ludwiga van Beethovena, která trvá 74 minut [5].

čitelnosti disku. Podle typu média může být hliník nahrazen zlatem nebo stříbrem [14]. Tato odrazivá vrstva je z horní strany v závislosti na typu média chráněna vrstvou laku nebo druhou vrstvou polykarbonátu (případně ještě etiketou). Jelikož je horní strana v případě ochranného laku méně chráněna, hrozí při jejím poškození nečitelnost uložených informací [3].

V případě médií určených k jednorázovému nebo násobnému zápisu se mezi spodní vrstvou (bez etikety) a odrazivým materiálem nachází vždy ještě vrstva záznamová. Těchto vrstev může být uprostřed disku více – u dnes používaných optických médií se může jednat o dvě nebo čtyři záznamové vrstvy, které jsou pak ještě odděleny dělicími a poloodrazivými vrstvami [14].

## 4.2 Fyzická organizace dat

Fyzická organizace dat je u všech optických médií ve své podstatě stejná. Data jsou vždy ukládána do několik jednotek až desítek kilometrů dlouhé spojitě spirály vinoucí se od středu média k jeho kraji (spirála 700MB CD měří 6,244 kilometrů) [5]. Části spirály jsou pak rozděleny do stejně dlouhých úseků, které se nazývají sektory (viz obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: Zjednodušené schéma fyzické organizace dat na optických discích [14]

Každý sektor má kapacitu několik kilobajtů [5]. Ne všechny bajty jsou však určeny pro data. Začátek sektoru může obsahovat synchronizační bajty a hlavičky, zakončen pak bývá kódy na detekci a opravu chyb (EDC – Error-Detecting Code, ECC – Error-Correcting Code) a kontrolními informacemi [14].

## 4.3 Druhy optických médií

Optické vnější paměti mohou být rozděleny do tří generací. Při nástupu nové generace vždy došlo ke zvýšení hustoty dat, takže stoupla i kapacita nového média. Ve vývoji je nyní i čtvrtá generace optických médií, které se pravděpodobně budou označovat novou zkratkou HVD (Holographic Versatile Disc – holografický univerzální disk) [43]. Není však vůbec jisté, jestli pro ně bude v budoucnu na trhu místo. Vše zatím nasvědčuje tomu,

že bude stoupat zájem o spolehlivá a rychlá paměťová média bez pohyblivých částí (disky typu SSD, viz kapitola 5). Uplatnění by tedy mohl nalézt pouze jako distribuční médium pro filmy ve 4K rozlišení<sup>1</sup>, nebudou-li však cenově neúnosné.



Obrázek 4.3: CD vizitky [44]

### 4.3.1 CD

Nejstarším celosvětově rozšířeným a běžně používaným<sup>2</sup> optickým médiem je kompaktní disk, který se označuje jako CD (Compact Disc). Kapacita kompaktních disků nelze jednoznačně určit. CD jsou totiž k dostání v mnoha variantách – klasický rozměr 12 centimetrů, malé CD o průměru 8 centimetrů a malé CD vizitky [3]. Na vizitkový formát kompaktních disků lze z jedné strany uložit data/hudbu, přičemž druhá strana slouží pro potisk (zejména kontaktními údaji). Přehled datových kapacit zmíněných formátů kompaktních disků nabízí tabulka 4.1.

Délka audiozáznamu	Kapacita <sup>3</sup>	Rozměr	Označení
2 minuty, 14 sekund	20 MB	84 × 56 mm	CD-vizitka
2 minuty, 46 sekund	24 MB	85 × 57 mm	CD-vizitka
5 minut	50 MB	85 × 61 mm	CD-vizitka
18 – 22 minut	155 – 220 MB	průměr 8 cm	CD-singl
74 minut	650 MB	průměr 12 cm	CD-album
80 minut <sup>4</sup>	703 MB	průměr 12 cm	CD-album
90 minut	791 MB	průměr 12 cm	CD-album
99 minut	870 MB	průměr 12 cm	CD-album

Tabulka 4.1: Přehled datových kapacit kompaktních disků [3], [11], [44], [45], [46]

- 1 Označení rozlišení s počtem sloupců okolo 4 000. V případě poměru stran 16:9 se typicky jedná o rozlišení 3 840 × 2 160 obrazových bodů. Celkem 8 294 400 pixelů.
- 2 Prvním formátem komerčně využívaných optických disků byl třiceticentimetrový a téměř čtvrt kilogramu vážící LaserDisc (LD).
- 3 Hodnoty jsou zaokrouhleny na celé megabajty.
- 4 CD s kapacitou 700 megabajtů (80 minut zvuku) jsou nejběžněji používanými kompaktními disky.



Nejstarší formát kompaktních disků byl určený pro záznam zvuku [3], [5]. Jeho název je Compact Disc Digital Audio (zkráceně CD-DA, CD-A nebo Audio CD) [8]. Tyto disky umožňovaly zaznamenání několika desítek minut velmi kvalitního zvukového stereo záznamu – 44 100 Hz / 16 bit. Kompaktní disky ve formátu Audio CD lze přehrávat v CD přehrávačích určených speciálně pro čtení těchto audio nosičů. Další formáty umožňovaly záznam a čtení počítačových dat a své uplatnění našly jako distribuční média pro programové vybavení počítače, zálohování a přenos větších objemů dat.

První kompaktní disky na trhu byly typu CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory – kompaktní disk určený pouze pro čtení). Data jsou na disk zaznamenána při výrobě a nelze je nijak dodatečně měnit. Detaily ohledně zápisu a čtení optických disků jsou rozebrány v kapitole 7.

Dalším vývojovým stupněm optických disků typu CD jsou CD-R (Compact Disc Recordable – zapisovatelný kompaktní disk), které jsou od výroby prázdné a dovolují data zapsat uživateli. Složení vrstev je o něco složitější než u předchozího typu. Média CD-R otevřela uživatelům počítačů cestu ke snadnému zálohování větších objemů dat. K zápisu na jeden disk mohlo docházet postupným přidáváním souborů (Multi Session) nebo zapsáním všech dat najednou v jedné nepřerušované sekvenci (Single Session) [14]. CD-R jsou typu WORM (Write Once, Read Many/Multiple – jednou zapiš, čti mnohokrát).

Poslední velkou inovací v oblasti kompaktních disků jsou média typu CD-RW (Compact Disc ReWritable – prepisovatelný kompaktní disk / Compact Disc Read and Writable – zapisovatelný kompaktní disk ke čtení), která se také označovala jako CD-E (Compact Disc Erasable – vymazatelný kompaktní disk) [13], [14]. Uživatelem zapsaná data je možné vymazat a přepsat je daty jinými. Proces prepisování lze dle výrobců úspěšně provést 1 000krát až 100 000krát [13]. Uživatelé PC volili tato média zejména tehdy, pokud potřebovali přenést větší množství dat mezi dvěma počítači. CD-RW jsou média typu WMRM (Write Many/Multiple, Read Many/Multiple – mnohokrát zapiš, mnohokrát čti).

### 4.3.2 DVD

Druhá generace optických pamětí s sebou přinesla možnost uchovávání opravdu velkých objemů dat (viz tabulka 4.2), jako jsou například celovečerní filmy v dobré kvalitě (720 × 576 nebo 720 × 480 obrazových bodů) [14]. Tato média se označují jako DVD (Digital Versatile Disc – digitální všestranný disk, lze se setkat i s interpretací této zkratky jako Digital Video Disc). Stejně jako kompaktní disky se DVD vyrábí ve více průměrových variantách – 8 centimetrů a 12 centimetrů. Tvarové i další velikostní parametry DVD přebírají od CD. Díky tomu mohou být DVD mechaniky plně zpětně kompatibilní s médii CD [8]. Datová spirála je u DVD 11,84 kilometrů dlouhá [5].

Typ média	Průměr disku	Kapacita (udávaná/skutečná)
DVD-ROM/R/RW <sup>1</sup>	12 cm	4,7 GB / 4,38 GB
DVD-ROM/R/RW	8 cm	1,4 GB / 1,3 GB
DVD+R/RW	12 cm	4,7 GB / 4,38 GB
DVD+R/RW	8 cm	1,4 GB / 1,3 GB
DVD-RAM <sup>2</sup>	12 cm	4,7 GB / 4,38 GB
Dvouvrstvá varianta DVD	12 cm	8,5 GB / 7,91 GB
Dvouvrstvá varianta DVD	8 cm	2,66 GB / 2,48 GB
Oboustranná varianta DVD	12 cm	9,4 GB / 8,76 GB
Oboustranná varianta DVD	8 cm	2,8 GB / 2,61 GB
Dvouvrstvá a oboustranná varianta DVD	12 cm	17 GB / 15,82 GB
Dvouvrstvá a oboustranná varianta DVD	8 cm	5,2 GB / 5,08 GB
M-DISC DVD-R (Millennial Disc)	12 cm	4,7 GB / 4,38 GB

Tabulka 4.2: Přehled datových kapacit optických disků formátu DVD [3], [5], [14], [47]

Disky typu DVD po vzoru svých kompaktních předchůdců existují v několika variantách – pouze pro čtení (ROM), zapisovatelné (R) a prepisovatelné (RW). Dalším formátem (nebo spíše standardem [3]) je DVD-RAM (Digital Versatile Disc Random Access Memory – univerzální digitální disk s náhodným/přímým přístupem do paměti).



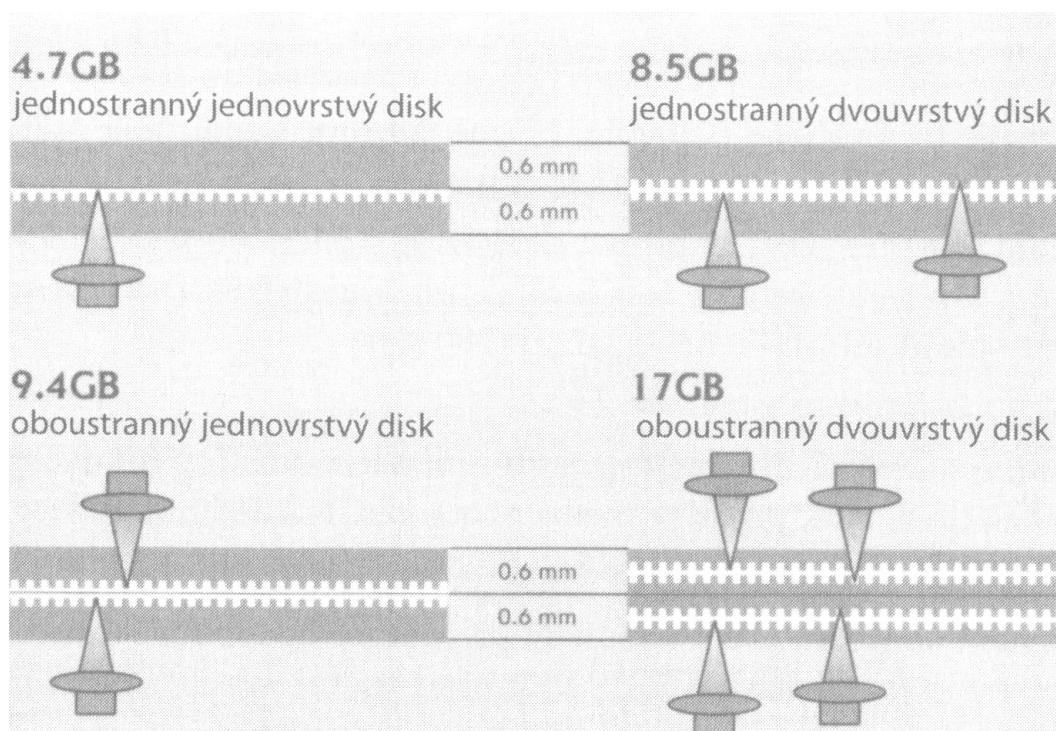
Obrázek 4.4: DVD-RAM v prachotěsné kazetě s (bílým) posuvným krytem [48]

1 První (dnes nepoužívaná) generace DVD-R/RW umožňovala uložení pouze 3,95 GB dat [5], [9].

2 První (dnes nepoužívaná) generace DVD-RAM umožňovala uložení pouze 2,58 GB dat [9], [13], [14].

Výhoda DVD-RAM spočívá v tom, že se s nimi dá pracovat podobně jako s pevnými disky [3]. Soubory a adresáře na nich mohou být libovolně kopírovány, mazány a přesouvány bez potřeby asistence nějakého „vypalovacího“ programu. Dalším pozitivem je počet možných prepisů, který se podle výrobců pohybuje kolem čísla 100 000 [14]. To je stokrát více, než je deklarováno u prepisovatelných DVD-RW a DVD+RW, u kterých je prepis možný asi tisíckrát [13]. Životnost dat uložených na DVD-RAM by měla být (opět podle výrobců) třicet let, čemuž mají dopomoci plastové průhledné prachotěsné kazety (viz obrázek 4.4), v nichž se tyto optické disky uchovávají [3]. U oboustranného (viz dále) DVD-RAM je disk v kazetě napevno, u jednostranného je možno ho vyjmout, není to však doporučováno [9].

DVD-RAM však mají i své nevýhody. Nejsou kompatibilní s některými DVD přehrávači a některými DVD mechanikami, a to především kvůli odlišnému principu záznamu dat a adresování sektorů [3], [11]. Kromě toho mají tyto disky další nevýhodu, kterou je vyšší cena oproti jiným typům DVD.



Obrázek 4.5: Schematický přehled různých druhů disků typu DVD (ke čtení a zápisu se používá vždy jeden a ten samý laserový paprsek [5]) [14]

DVD umožňují ukládání dat do dvou vrstev. Spodní vrstva média se označuje jako vrstva 0, horní vrstva (nachází se blíže etiketě s popisem disku) je pak vrstva 1 [5]. Fyzicky to znamená, že nad datovou vrstvou se nachází poloodrazivý a oddělovací materiál a nad nimi další datová a plně odrazivá vrstva [14]. Dvouvrstvé disky označované jako DL (Double/Dual Layer) však nemají vzhledem k jednovrstvým SL (Single Layer) diskům dvojnásobnou kapacitu, jak by se dalo dle prvotního úsudku

očekávat. Aby bylo možné data ve druhé vrstvě spolehlivě číst, zapisují se jednotlivé sektory na trochu větší prostor než sektory na vrstvě spodní. Pohledem do tabulky 4.2 lze zjistit, že druhá (horní) vrstva disků typu DVD je schopna pojmout maximálně 3,8 gigabajtů (reálně<sup>1</sup> 3,53 gigabajtů dat). Dalším rozdílem mezi vrstvami je směr, kterým se do nich data mohou zapisovat [5]. Zatímco do spodní vrstvy se zapisují data od středu disku ke kraji, horní vrstva může být zaplňována i opačně – od kraje ke středu.

Obrázek 4.5 ukazuje, že optické disky typu DVD využívají kromě přidání druhé datové vrstvy ještě další technologii k navýšení datové kapacity. Jedná se o možnost zápisu dat na obě strany média [5]. Oboustranné disky označované jako DS (Double Sided) mají vzhledem k jednostranným SS (Single Sided) diskům dvojnásobnou datovou kapacitu, takže oboustranná média typu DVD mohou uchovávat více dat než jejich dvouvrstvá varianta (viz tabulka 4.2). Nevýhoda tohoto přístupu spočívá v tom, že disk není možné z prostorových důvodů v DVD mechanice otočit, takže to musí manuálně provést uživatel. Mechaniky mají totiž pouze jeden laser [14]. Další nevýhodou oboustranných DVD může být absence štítku s označením média. Krátký popis však lze umístit ke středu disku určenému k uchycení. Tam se data ještě nezapisují, takže potiskem nebo popsáním nedochází k jejich znehodnocení.

Existují dvě skupiny firem, které podporují různé systémy zápisu na disky typu DVD [3]. První skupinou je DVD Forum (Panasonic, Hitachi, Pioneer, Sony...). Definiuje DVD-RAM, DVD-R a DVD-RW [49]. Druhým uskupením je tzv. DVD+RW Alliance (Dell Computer, Hewlett-Packard, Verbatim, Philips, Sony, Thomson, Yamaha...) a podporuje DVD+R a DVD+RW. Z důvodu různého fyzického adresování sektorů docházelo v minulosti často k nekompatibilitě medií s DVD mechanikami nebo DVD přehrávači [5]. Dnes však naprostá většina těchto zařízení podporuje oba odlišné formáty DVD. Problém nekompatibility se tímto považuje za vyřešený [14].

Kromě optických médií typu WORM a WORM (jsou zmíněny v kapitole 4.3.1) ještě existují speciální disky, které definují nový typ paměti – WORM (Write Once, Read Forever<sup>2</sup> – zapiš jednou, čti navždy) [50]. Jedná se o optické disky na bázi 12cm DVD-R s velmi odolnou datovou vrstvou, která svými vlastnostmi a strukturou připomíná kámen. Jejich název je M-DISC, což je zkratka prvotního označení Millennial Disc (tisíciletý disk). Toto označení má své opodstatnění – výrobce slibuje dlouhodobou odolnost vůči vlhkosti, slunečnímu záření i extrémním teplotám, což jsou jevy mající na klasická CD i DVD fatální následky [11]. V neposlední řadě však společnost Millenniata, Inc. deklaruje čitelnost zapsaných dat i po tisíci letech [50]. Rozměry disků typu M-DISC jsou shodné s klasickými DVD, stejně tak se shoduje i datová kapacita (viz tabulka 4.2). Jedinými nevýhodami jsou vyšší cena médií, což je však vzhledem k benefitům disků typu M-DISC

---

1 Jelikož vyšší hodnota vypadá na obalu úložného média lépe, používají výrobci (nejen) optických disků takový přepočítání mezi řády, kde 1 KB odpovídá 1 000 B atd [14].

2 Spíše než o nový typ paměti se oficiálně jedná o novou technologii, kterou si výrobce disků typu M-DISC (společnost Millenniata, Inc.) nechal patentovat [50].

opodstatněné, a malá kompatibilita DVD mechanik pro zápis. Zapisovat na média typu M-DISC dokáží především DVD mechaniky značky LG. Dalšími výrobci, kteří nabízejí v tomto směru kompatibilitu, pak jsou Acer a Dell.

### 4.3.3 HD DVD

Prvním ze zástupců optických disků třetí generace je HD DVD<sup>1</sup> (High Definition Digital Versatile Disc – digitální všestranný disk s vysokým rozlišením). Pojem vysokého rozlišení se v názvu objevuje právě proto, že je médium HD DVD určeno k distribuci filmů ve velmi vysoké kvalitě – typicky 1280 × 720 (720p) nebo 1920 × 1080 (1080p) obrazových bodů s věrným prostorovým (až osmikanálovým 7.1) zvukem [52]. Vysoká kvalita si žádá velkou kapacitu média, takže je přirozené, že disky typu HD DVD jsou schopny pojmout významně více dat než jejich DVD předchůdci (viz tabulka 4.3). Také v případě disků typu HD DVD se lze setkat s více jejich druhy (ROM/R/RW/RAM) a kapacitami.

Typ média	Průměr disku	Kapacita
HD DVD-ROM/R/RW	12 cm	15 GB
HD DVD-ROM/R/RW	8 cm	4,7 GB
HD DVD-RAM	12 cm	20 GB
Dvouvrstvá varianta HD DVD	12 cm	30 GB
Dvouvrstvá varianta HD DVD	8 cm	9,4 GB
Oboustranná varianta HD DVD	12 cm	30 GB
Oboustranná varianta HD DVD	8 cm	9,4 GB
Dvouvrstvá a oboustranná varianta HD DVD	12 cm	60 GB
Dvouvrstvá a oboustranná varianta HD DVD	8 cm	18,8 GB

Tabulka 4.3: Přehled datových kapacit optických disků formátu HD DVD [5], [53]

Firmy, které podporovaly vývoj HD DVD na počátku jeho existence, se sdružovaly do skupiny DVD Forum [53]. Mnohé vize této skupiny zůstanou nenaplněny, jelikož v roce 2008 začala filmová studia v čele s Warner Bros oznamovat ukončení vydávání veškerých filmových titulů na médiích HD DVD. Řetězovou reakcí se poté k tomuto stanovisku přidávala i menší filmová vydavatelství a nakonec i obchodní řetězce, které neměly zájem prodávat upadající HD DVD přehrávače. Krátce nato v témže roce oznámila Toshiba (největší výrobce médií a zařízení HD DVD) ukončení vývoje a výroby těchto optických disků [54]. Nástupcem původních disků typu DVD se staly o pár let mladší disky Blu-ray s lepšími parametry a s podporou téměř všech filmových studií.

1 Původně se koncept HD DVD nazýval Advanced Optical Disc (pokročilý optický disk) [51].

#### 4.3.4 Blu-ray (BD)

Dalším zástupcem optických disků nejnovejší dnes používané generace je disk typu BD (Blu-ray Disc – „disk modrého paprsku“). Je možné narazit i na označení BRD či Blue Ray Disc. Na rozdíl od svých předchůdců se u těchto optických disků mezi lidmi neuchytila jejich zkratka, takže spíše než o BD se hovoří o Blu-ray. Tato optická média jsou stejně jako HD DVD určena především k distribuci filmů ve velmi vysoké kvalitě – typicky 1440 × 1080 (poměr stran 4:3) nebo 1920 × 1080 (poměr stran 16:9) obrazových bodů s věrným prostorovým (až osmikanálovým 7.1) zvukem [52]. Varianta M-DISC BD-R, která slibuje trvanlivost zapsaných dat nejméně tisíc let, je pak vhodná především pro zálohování důležitých dat [50]. Stejně jako u disků typu DVD je M-DISC BD-R dostupný pouze v jednovrstvé (SL) nepřepisovatelné (R) podobě.

Typ média	Průměr disku	Kapacita	Kapacita 1 vrstvy
BD-ROM/R/RE <sup>1</sup>	12 cm	25 GB	25 GB
BD-R/RE	8 cm	7,8 GB	7,8 GB
Dvouvrstvá varianta BD-ROM/R/RE <sup>1</sup>	12 cm	50 GB	25 GB
Dvouvrstvá varianta BD-R/RE	8 cm	15,6 GB	7,8 GB
Třívrstvá varianta BD-R/RE XL	12 cm	100 GB	33,4 GB
Čtyřvrstvá varianta BD-R XL	12 cm	128 GB	32 GB
M-DISC BD-R (Millennial Disc)	12 cm	25 GB	25 GB

*Tabulka 4.4: Přehled datových kapacit dnes běžně dostupných optických disků typu BD (Blu-ray Disc) [50], [52], [55]*

Technologie Blu-ray Disc umožnila na optické disky, které jsou od doby CD-ROM stále stejně velké, ukládat opět mnohem více dat [5]. Kromě datových kapacit uvedených v tabulce 4.4 jsou ve fázi vývoje a testování dvacetivrstvé Blu-ray disky o kapacitě 500 gigabajtů [56]. Dnes jsou však uvedeny na trh pouze BD s několika málo vrstvami [55]. Kromě jednovrstvých (SL) a dvouvrstvých (DL) disků, které byly k dispozici již u médií typu DVD, se nově jedná o disky s třemi datovými vrstvami s označením TL (Triple Layer) a čtyřmi datovými vrstvami s označením QL (Quadruple Layer). Média s technologií TL nebo QL nesou označení XL. Kromě počtu záznamových datových vrstev u nich vzrostla také kapacita každé z nich (viz tabulka 4.4).

Ohledně označování různých typů BD existuje v rámci dosavadních zvyklostí jedna výjimka. Namísto označování přepisovatelných médií písmeny RW (ReWritable) jsou optické disky typu Blu-ray s možností provést zápis a vymazání dat vícekrát označovány jako BD-RE (Blu-ray Disc REwritable) [55].

<sup>1</sup> První (dnes nepoužívaná) generace BD-ROM/R/RE umožňovala uložení 23 gigabajtů na jednovrstvé a 46 gigabajtů na dvouvrstvé médium. Součástí těchto disků byl i pevný umělohmotný ochranný obal, který je u dnešní generace BD pouze doporučen [5], [55].

K rozšíření zájmu o Blu-ray média a filmy ve velmi vysoké kvalitě přispěl také odvážný krok japonské společnosti Sony, která je hlavním výrobcem a autorem Blu-ray technologií [49]. V roce 2006 se vedení Sony rozhodlo, že ve všech nových herních konzolích Sony PlayStation 3 (PS3) budou osazeny (v té době velice drahé) Blu-ray mechaniky, a to bez znatelného nárůstu konečné ceny celé herní konzole.

#### **4.4 Optické mechaniky**

Aby se mohlo se zmíněnými optickými médii pracovat, je potřeba mít v počítači (případně jiném zařízení typu DVD přehrávač, Hi-Fi věž, herní konzole atd.) příslušné zařízení, které z nich bude umět data číst a také je na ně zapisovat. Toto zařízení se nazývá optická mechanika. Všechny mechaniky se bez ohledu na druh optického média, se kterým pracují, v jádru skládají ze stejných součástí. Těmi nejdůležitějšími jsou čtecí a záznamová soustava, pohon vloženého disku (viz obrázek 4.7), řídicí deska s elektronikou a konektory.

Pro práci s různými optickými médii je potřeba mít k dispozici různé mechaniky. Ne všechny disky jsou totiž kompatibilní s ostatními. Obecně dnes platí, že pokud mechanika dokáže pracovat s médiem určitého typu, pak podporuje i všechny jeho předchůdce<sup>1</sup> [49]. Pokud mechanika nese označení ROM (např. CD-ROM), dokáže daná média pouze číst. Je-li však označena jako RW (např. DVD-RW), lze v ní provádět i zápis a mazání dat<sup>2</sup> [14]. Takovéto zařízení se nazývá „vypalovačka“. Po nástupu technologie DVD byly oblíbené mechaniky s označením COMBO (marketingová náhražka pro složitější název DVD-CDRW a CDRW+DVD) [49]. Umí pracovat s CD i DVD a na kompaktní disky (zapisovatelné či přepisovatelné) dokáže i zapisovat.

Z hlediska vkládání optických disků existují dva druhy mechanik [14]. Známější a rozšířenější jsou optické mechaniky s výsuvným podavačem disků. Běžně lze vysunutí i zasunutí podavače provést tlačítkem na čele mechaniky nebo příkazem v operačním systému. Výjimkou jsou optické mechaniky u přenosných počítačů, které se po stisknutí příslušného tlačítka (případně příkazu od operačního systému) vysunují pouze o pár centimetrů. Následně je potřeba je zcela otevřít a zavřít manuálně. Spolu s podavačem se vysunuje i čtecí a záznamová soustava. Absence vysouvacího/zasouvacího mechanismu šetří drahocenný prostor uvnitř šasi každého laptopu. Mezi mechanikami pro stolní a přenosné počítače je ještě další rozdíl. U optických mechanik stolních počítačů se disk pokládá do středu vysunutého podavače, ve kterém jsou drážky pro 12cm i 8cm média (viz obrázek 4.6). Umístění vizitkových CD netypických rozměrů pak není vždy jednoduchou záležitostí. U mobilních počítačů se optické disky upevňují přímo na úchytný trn (unašeč). Nevýhodou výsuvných podavačů je skutečnost, že se mohou při

---

1 V rámci boje mezi HD DVD a Blu-ray disky nebyly jejich mechaniky kompatibilní s konkurenčními formáty.

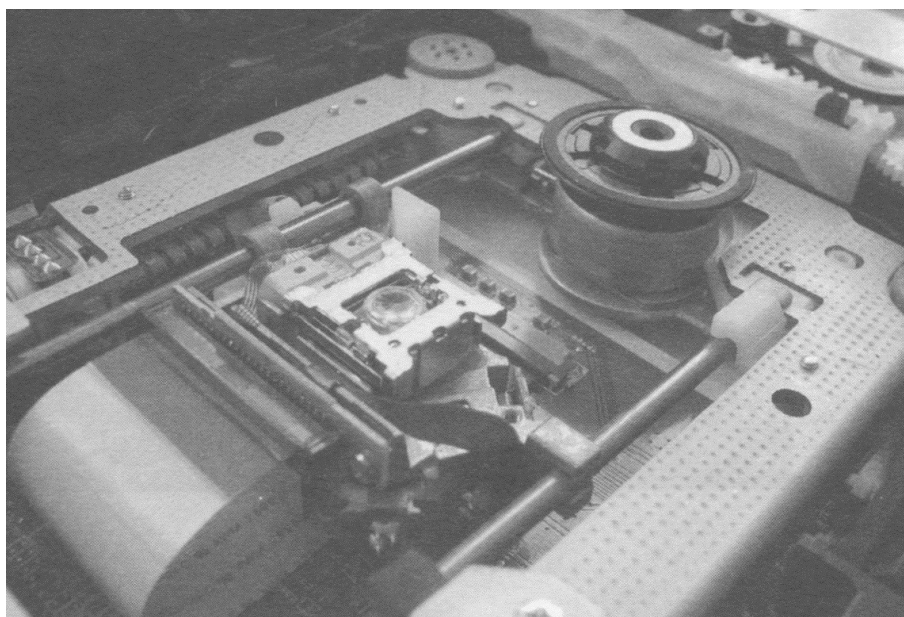
2 V případě Blu-ray se lze setkat i s označením RE.

neopatrné manipulaci snadno zkřivít a vložené disky pak mechanika nebude schopna načíst. U tohoto druhu optických mechanik je právě těžko opravitelné poškození podavače nejčastější závadou.



*Obrázek 4.6: Technika využívající podavač na optická média (vlevo) ve srovnání s technikou Slot-in (vpravo) [57]*

Druhým typem optických mechanik z hlediska mechanismu přijetí disku jsou tzv. Slot-in mechaniky [14]. Optická média se vkládají přímo do k tomu určené štěrbině, žádný výsuvný podavač nemají a tlačítko na jejich čelním panelu slouží pouze k vytlačení disku z mechaniky. Dnes již málo rozšířené mechaniky typu Slot-in se pro svou jednoduchou obsluhu používají například v autorádiích. Své využití nachází také v přenosných počítačích firmy Apple, jelikož tyto mechaniky mohou být skutečně velmi tenké<sup>1</sup>. Nevýhodou může být to, že štěrbinou pro vložení optického média se do mechaniky mohou dostávat i prachové částice.



*Obrázek 4.7: Detail pohonu určeného k roztáčení disků (v pravé horní části) a optické soustavy, která se pohybuje od středu disku k jeho kraji (a zpět) po vodících tyčích [49]*

Optické mechaniky existují také v externí podobě (viz obrázek 4.8) s možností připojení k USB 2.0 nebo USB 3.0 v případě některých Blu-ray zařízení (u starších

<sup>1</sup> Tenké optické mechaniky, které jsou velmi tenké, mají v označení výraz slim (štíhlý) [49]. Používají se především v přenosných počítačích.



modelů k málo používanému rozhraní IEEE 1394 – FireWire) [49]. Jelikož se dnes v rámci soutěže o co nejlepší parametry (především tloušťka, hmotnost a spotřeba) přenosných počítačů rozmáhá trend neosazovat do nich optické mechaniky, mohou být externí mechaniky vítaným doplňkem. Například při instalaci operačního systému a ovladačů z nosičů CD nebo DVD.



*Obrázek 4.8: Externí optická mechanika typu slim [57]*

Použitá mechanika do jisté míry určuje přenosovou rychlost a přístupovou dobu při práci s daným optickým médiem<sup>1</sup> [3]. První optické mechaniky byly uzpůsobeny pro přehrávání hudebních kompaktních disků. Dovolovaly datový tok 150 kilobajtů za sekundu s přístupovou dobou 600 milisekund při 530 otáčkách za minutu [14]. Tento typ mechaniky nesl název Single-Speed (jednorychlostní) a označoval se 1×. S příchodem datových CD však vzrostly požadavky na rychlejší přenos dat, takže se začaly vyrábět mechaniky, jejichž rychlost byla vždy násobkem původních 150 kilobajtů za sekundu. Například označení 6× (Six-Speed) znamenalo přenosovou rychlost až 900 kilobajtů za sekundu a přístupovou dobu 150 milisekund. Spolu s rostoucí přenosovou rychlostí klesala přístupová doba. U kompaktních disků se maximální rychlost čtení optické mechaniky zastavila na hodnotě 52×, což odpovídá asi 7,62 megabajtům za sekundu a přístupové době asi 100 milisekund, což je typická hodnota i pro technologické nástupce CD mechanik. U DVD mechanik odpovídá označení 1× rychlosti 1350 kilobajtů za sekundu [11], [14]. Maximální rychlost 16× pak odpovídá 21,09 megabajtům za sekundu. Nová média Blu-ray pak mohou dosahovat čtecích rychlostí až kolem 80 megabajtů za sekundu (při označení mechaniky 12×). Přístupová doba se však může při čtení Blu-ray média pohybovat ve stovkách milisekund. Rychlost zápisu se od rychlosti čtení může lišit [49]. Oba údaje bývají součástí označení mechanik umožňujících čtení i zápis.

---

<sup>1</sup> Z tohoto důvodu bývají některé optické mechaniky připojeny kabelem ke zvukové kartě a na čelním panelu mají regulátor hlasitosti a výstup na sluchátka [11].

V násobcích uvedené rychlosti udávané výrobci optických mechanik jsou dnes téměř ve všech případech pouze maximální dosažitelné hodnoty [49]. Rychlost toku dat totiž závisí na tom, na které části disku se data fyzicky nacházejí. Každý sektor v datové spirále je stejně dlouhý, přičemž na vnitřní stopu se jich vejde méně než na stopu vnější. S tímto faktem souvisí čtyři základní metody čtení a zápisu, jež jednotliví výrobci optických mechanik využívají.

Nejstarším přístupem je technologie CLV (Constant Linear Velocity – konstantní lineární/obvodová rychlost) [3], [14], [49]. Disk je čten od středu k jeho kraji, přičemž jsou plynule snižovány otáčky. Data ve výsledku proudí pod čtecí soustavou konstantní rychlostí. Jednalo se o řešení pro hudební kompaktní disky. Další metodou je Z-CLV (Zone CLV – zónová CLV). Jedná se o CLV s tím rozdílem, že mechanika párkrát skokově zvýší rychlost. Po každém zrychlení opět následuje pozvolné zpomalování otáček a čtení dat konstantní rychlostí. Zcela odlišným přístupem je CAV (Constant Angular Velocity – konstantní úhlová rychlost). Tato novější metoda je výhodná pro práci s datovými médii. Rychlost otáčení optického disku je stále konstantní a s postupem k okraji média se zvyšuje přenosová rychlost a snižuje přístupová doba. Zároveň jsou však také kladeny vyšší nároky na výkon čtecí a zápisové soustavy. Optické mechaniky, které využívají CAV, mají na sobě rychlostní označení ve formátu 12–24×, což značí minimální přenosovou rychlost (u středu média) a přenosovou rychlost maximální (u vnějšího okraje disku). Jelikož je však optický disk málokdy zaplněn až ke svému okraji, nelze maximální přenosové rychlosti téměř nikdy dosáhnout. Podobnou technologií je P-CAV (Partial CAV – částečná CAV). Jedná se o kombinaci CLV a CAV. Začíná se konstantní úhlovou rychlostí (CAV) a v určitém místě se přejde na konstantní přenosovou rychlost (CLV), protože vyšší přenosovou rychlost by už optická mechanika nezvládla. Existují mechaniky, které používají ještě komplikovanější algoritmy pro roztáčení disků. Mohou například začínat v módu CLV, poté se přepnout do CAV a po chvíli se zase vrátit zpět k metodě CLV.

Pokud optická mechanika umožňující zápis disponuje funkcí LightScribe („světelný pískač“), může svým laserovým paprskem popisovat etiketu disku [14], [49]. Ten však také musí tuto technologii podporovat a do mechaniky musí být vložen opačně než při čtení nebo zápisu. Etiketa disku pro popisování prostřednictvím LightScribe je vyrobena ze světlocitlivé chemikálie, která reaguje na světelnou intenzitu laserového paprsku. Příslušný počítačový program pak dokáže na etiketě vytvořit textový popis nebo fotografii ve stupních šedi (viz obrázek 4.9). Proces vytváření obrázku ve vysoké kvalitě však může trvat i 30 minut. Proto může být z hlediska časového i finančního (disky LightScribe stojí neúměrně více než disky obyčejné) výhodnější použít pro potisk optického média vhodnou inkoustovou tiskárnu. Potisknutelná (printable) média stojí jen o pár korun více než klasické disky. Navíc lze tisknout barevně. Nevýhodou je však fakt, že inkoustový potisk není odolný vůči vodě. Další alternativou je velmi málo rozšířená

technologie LabelFlash („poznačení paprskem“), která je však dražší než LightScribe a optické disky popisuje podobným postupem až 20 minut.



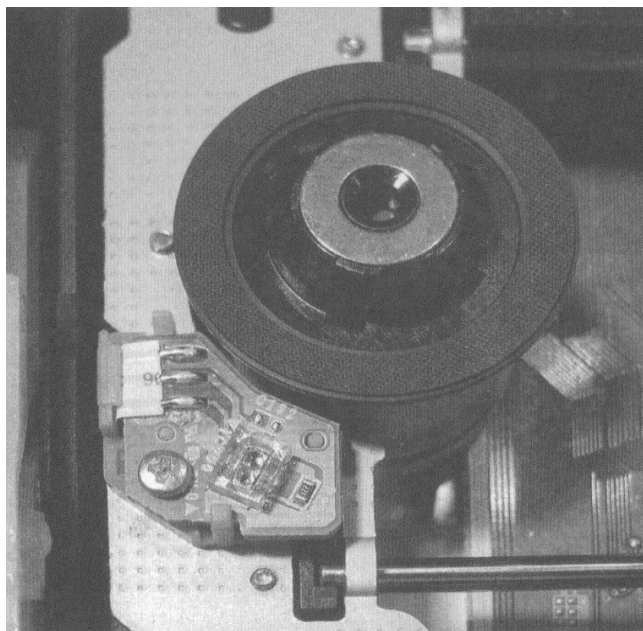
Obrázek 4.9: Ukázka optického disku popsaného technologií LightScribe [58]

Na obrázku výše lze v oblasti u průhledného středu disku zaznamenat nepravidelné černé tečky, které jednoznačně nesouvisí s fotografií na etiketě. Jedná se o geometrické obrazce (trojúhelníky, obdélníky a čtverce), díky kterým může optická mechanika určit, v jaké poloze se v dané chvíli popisovaný disk nachází [49].



Obrázek 4.10: Vnitřní kotouček optického disku s podporou technologie LightScribe [49]

Při detailnějším pohledu na střed optického disku s podporou technologie LightScribe (viz obrázek 4.10) lze před geometrickými obrazy spatřit jemné proužky, díky kterým je mechanika schopna zjistit přesnou rychlost otáčení disku, což je pro správné popsání etikety disku velmi podstatné [49]. Pohyb těchto proužků a obrazců snímá speciální čidlo (viz obrázek 4.11). To je instalováno pouze v LightScribe mechanikách.



*Obrázek 4.11: Pohon roztáčení disků a čidlo technologie LightScribe (vlevo dole) [49]*

Některé optické mechaniky dovolují číst pouze originální (lisovaná) média a uživatelům legálně vytvořené kopie originálních disků (například na CD-R) nepodporují. Výrobci se tak snaží zamezit tvorbě a prodávání pirátských kopií disků, jejichž obsah je jejich duševním vlastnictvím. Nejznámější jsou asi případy sérií herních konzolí Sony PlayStation, Microsoft Xbox a Nintendo Wii. Aby optické mechaniky těchto zařízení umožnily přečtení neoriginálních disků, je mimo jiné potřeba naprogramovat a zapojit na základní desku příslušného herního zařízení speciální čip typu EEPROM. Typicky vede toto jednání ke ztrátě záruky.

## 5 Statické vnější paměti

Statické vnější paměti, které se také označují jako paměti elektrické, paměťové obvody nebo paměťové čipy, neobsahují na rozdíl od magnetických a optických médií žádné pohyblivé mechanické části [14]. To přináší v mnoha směrech výhody.

Na rozdíl od magnetických disket, jejichž záznamová plocha je při svém otáčení v přímém kontaktu se čtecí a zápisovou hlavou [9], nemůže u statických vnějších pamětí dojít k jejich nežádoucímu mechanickému opotřebení. S absencí pohybu odpadá také s ním spojené nadměrné přehřívání, ke kterému může docházet například u pevných disků s rotujícími plotnami [14]. Kromě tepla produkují magnetické a optické paměti i nezanedbatelný hluk, k čemuž u elektrických paměťových obvodů nedochází. Tyto polovodičové paměti navíc vykazují nižší energetickou spotřebu, jelikož při jejich činnosti není využíván žádný motorek pro roztáčení záznamového média. Dále se mohou pochlubit kratší přístupovou dobou a vyšší výrobcí deklarovanou spolehlivostí (parametr střední doby mezi dvěma poruchami). Přístupová doba ke každé části paměti je v rámci jednoho čipu vždy stejná.

Statické vnější paměti však mají i své nevýhody. Kvůli způsobu své technické realizace (viz kapitola 8) dovolují přepisovatelné paměťové obvody poměrně málo operací smazání a opětovného zápisu v rámci jednoho paměťového místa. Číslo, které charakterizuje počet možných přepisovacích cyklů, se pohybuje mezi 1 000 – 300 000 [3], [13], [14], [59]. Další nevýhodou je vyšší cena za jeden bit oproti pamětem s magnetickým nebo optickým způsobem záznamu dat.

### 5.1 Obecný princip technické realizace a fyzické organizace dat

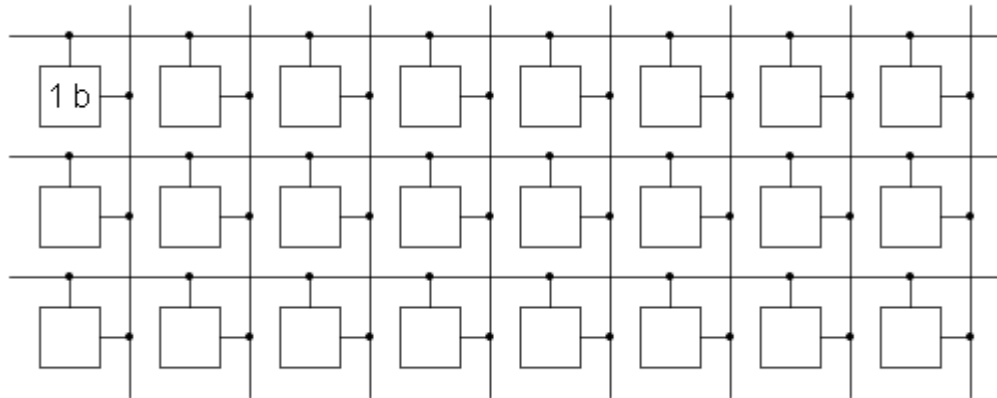
Paměťové obvody v sobě uchovávají informace prostřednictvím paměťových buněk [13]. Paměťové buňky jsou řazeny do matic, což ilustruje obrázek 5.1. Tato buňka se může nacházet typicky ve dvou stavech, z nichž jeden reprezentuje logickou hodnotu 1 a druhý logickou hodnotu 0. Kapacita každé takovéto buňky je jeden bit.

Existují však také paměťové buňky, které v sobě dokáží uchovávat více než jeden bit [13], [14], [60]. Nejčastěji nesou označení MLC (Multi-Level Cell<sup>1</sup> – víceúrovňová buňka). Takováto buňka může nabývat typicky čtyř (dvoubitových) stavů, kterými jsou 00, 01, 10 a 11. Novější technologie, která se dnes u statických vnějších pamětí také běžně používá, nese označení TLC (Triple-Level Cell – tříúrovňová buňka) [60]. Buňka typu TLC nabývá osmi stavů (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 a 111), z nichž každý vždy reprezentuje uloženou informaci o hodnotě tří bitů. Ve stádiu vývoje a testování jsou

---

<sup>1</sup> Po nástupu technologie MLC se původní paměťové buňky, které mohou uchovávat pouze jeden bit, začaly označovat jako SLC (Single-Level Cell – jednoúrovňová buňka) nebo SBC (Single-Bit Cell – jednobitová buňka). Zkratka MLC se také někdy interpretuje jako Multi-Level Chip (víceúrovňový čip).

pak buňky se schopností nabývat až šestnácti stavů, což umožňuje uložení čtyř bitů v rámci jediné takovéto buňky. Trvanlivost zápisu SLC i MLC by měla dosahovat deseti let [14].



Obrázek 5.1: Část matice statické vnější paměti s jednobitovými paměťovými buňkami

Technologie MLC a TLC umožňují hustší integraci informací při zachování stejného počtu buněk a stejné velikosti paměťového čipu [60], [61]. To pozitivně ovlivňuje parametr ceny za jeden bit. Nevýhodou je však fakt, že paměťové obvody s buňkami typu MLC nebo TLC snesou méně cyklů mazání a zapisování než SLC. Víceúrovňová buňka zvládne oproti buňce jednoúrovňové asi jen jednu desetinu přepisů. Z tohoto důvodu se příliš nehodí pro zálohování důležitých dat, která se často modifikují, neboť spolehlivost záznamu dat po mnoha jeho změnách značně klesá. Dalším negativem je zvýšení doby potřebné pro spolehlivý zápis do víceúrovňových buněk typu MLC nebo TLC a jejich bezchybné čtení. Paměťové matice s technologií MLC nebo TLC typicky spotřebovávají více energie, mohou se tedy i více zahřívát.

## 5.2 Druhy statických vnějších pamětí

Existují různé typy paměťových obvodů. Nejstarší z nich se nazývají ROM (Read-Only Memory – paměť pouze pro čtení) [11]. Následovaly PROM (Programmable Read-Only Memory – programovatelná paměť pouze pro čtení), které umožňují jednorázový a nevratný zápis dat. První paměťové obvody s možností vymazání zapsaných informací byly založeny na ultrafialovém (UV – UltraViolet) světle [61]. EPROM (Erasable PROM – mazatelná PROM) dovoluje vymazat paměť pomocí speciálního zařízení s vysokofrekvenčním ultrafialovým světlem. Její praktičtější nástupce, který umožňuje mazat data elektricky, se nazývá EEPROM<sup>1</sup> (Electrically/Electrical Erasable PROM – elektricky mazatelná PROM). Z EEPROM pak vychází všechny paměti typu Flash (někdy se používají i označení Flash-PROM nebo Flash-EPROM), které jsou drobnou modifikací původních elektricky mazatelných paměťových čipů [11], [13], [62].

<sup>1</sup> Není výjimkou setkat se s alternativními označeními EAROM (Electrically Alterable ROM – elektricky měnitelná ROM), E2ROM a E<sup>2</sup>PROM [3], [13].

Paměti typu Flash existují ve dvou základních variantách [63], které se od sebe liší zejména hustotou a uspořádáním paměťových buněk a také oblastmi použití [13], [14]. Prvním typem jsou paměti NOR Flash. Mají implementovány plný adresovací mechanismus, takže procesor s nimi pracující má přímý přístup ke každé paměťové buňce. Jelikož mají NOR Flash kratší přístupovou dobu než druhý typ těchto pamětí – NAND Flash, používají se především k uložení BIOSu a firmwaru<sup>1</sup> různých zařízení. Zmíněný druhý typ pamětí Flash (NAND) nemá plný adresovací mechanismus. Adresovány jsou nejčastěji bloky dat o velikostech od 256 bajtů do 128 kilobajtů [14], [60]. Blokovaná struktura značně redukuje počet vodičů potřebných uvnitř čipu typu NAND. Takto ušetřené místo je vyplněno dalšími paměťovými bloky. To je také jeden z důvodů, proč mají tyto paměti větší kapacitu. Jsou také levnější než Flash typu NOR, protože realizace paměťových buněk v blocích je méně náročná na výrobu než implementace plného adresovacího mechanismu.

Označení Flash není u těchto pamětí žádnou zkratkou, jak tomu bývá v jiných případech. Pro název Flash se uvádí dva důvody. První z nich vztahuje označení k faktu, že nevratné vymazání všech uložených informací lze na rozdíl od jiných paměťových médií spolehlivě provést „rychlostí blesku“ (z anglického flash – blesk) [14]. Druhá teorie pak přisuzuje vznik názvu události, kterou dr. Fujio Masuoka, objevitel technologie paměťových buněk typu Flash, pozoroval se svými spolupracovníky z firmy Toshiba při vývoji prvních Flash pamětí roku 1984 [63], [64]. Při pokusech o hromadné mazání většího množství testovaných paměťových buněk najednou totiž mělo údajně docházet k jasně viditelným zábleskům.

Mezi statické paměti, které se dají považovat za typicky vnější, se řadí přenosná média typu (NAND) Flash a zařízení označovaná jako SSD (Solid State Drive<sup>2</sup> – jednotka v pevném stavu). Na druhou stranu se lze setkat se statickými paměťmi, které se sice používají k přenosu dat mezi různými zařízeními, ale typicky se o nich jako o vnějších pamětech nehovoří [3], [14]. Jedná se například o ROM cartridge (kazety) určené pro distribuci videoher. Pod plastovým obalem takové kazety se nachází paměťový čip určený pouze pro čtení (ROM) a případně i baterií napájený prepisovatelný čip pro uložení postupu hráče ve hře.

### 5.2.1 Přenosná média typu Flash

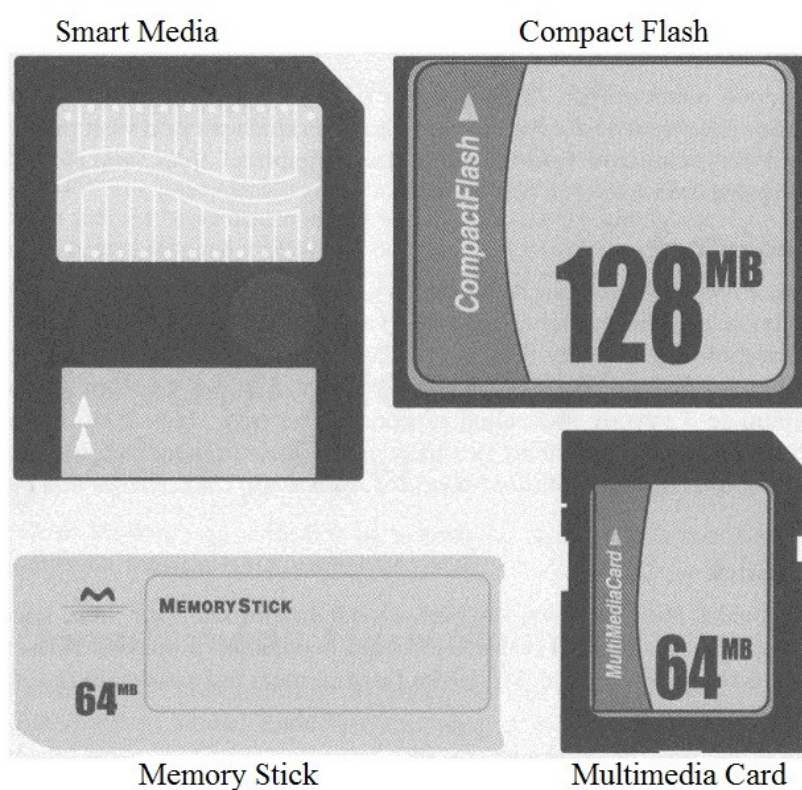
Všechna přenosná média typu Flash jsou realizována na stejném principu. Jejich společným rysem je skutečnost, že nejsou tvořeny pouze samotnými paměťovými čipy, ale skládají se i z malých desek plošných spojů, na kterých může být (kromě dalších elektrických součástí) osazeno i více paměťových obvodů [13]. Všechnu elektroniku

<sup>1</sup> Základní programové vybavení technického zařízení, které nahrává jeho výrobce.

<sup>2</sup> Zkratka SSD se také používala pro tzv. nehybný disk (Solid State Disk) bez pohyblivých částic, který k udržení dat ve své paměti typu DRAM (Dynamic Random Access Memory – dynamická paměť s přímým přístupem) potřeboval zdroj elektrické energie – minimálně baterii nebo akumulátor [14], [64].

pak chrání pevný plastový obal. Jediným nekrytým místem jsou vývody sloužící pro komunikaci přenosného média se zařízením, v němž je právě vloženo. Počet vývodů se liší (od jednotek po desítky) podle typu paměťového zařízení [13], [14].

Lze se setkat s několika standardními druhy přenosných Flash médií (viz obrázek 5.2), které mezi sebou zpravidla nebyvají kompatibilní [5], [13], [14]. Z pamětí Compact Flash Card, Smart Media Card, xD Picture Card, Multimedia Card, Memory Stick, PC Card a SD (Secure Digital<sup>1</sup>) Memory Card se v dnešní době používají v naprosté většině digitálních zařízení právě poslední zmíněná média, pro něž zdomácněla dvě označení – paměťová karta a SD karta. Rozměry těchto tzv. paměťových karet činí  $32 \times 24 \times 2,1$  milimetrů [13], [14]. Nejnovější generace paměťových karet, jež byla představena v roce 2012, se nazývá XQD [65].



Obrázek 5.2: Srovnání velikostí některých přenosných médií typu Flash (SD Memory Card má stejné rozměry jako Multimedia Card, která je ovšem o 0,7 mm tenčí [14].) [5]

Co do kapacity se paměťové karty typu SD dělí na základní s maximální kapacitou v řádech jednotek gigabajtů, SDHC (Secure Digital High Capacity – SD s vysokou kapacitou) s až desítkami gigabajtů a SDXC (Secure Digital eXtended Capacity – SD s rozšířenou kapacitou) se schopností uchovávat až jednotky terabajtů dat v rámci jedné paměťové karty [66]. SDHC existuje v několika rychlostních provedeních (třídách), přičemž nejrychlejší varianta (Class 10), která dokáže v reálném čase zaznamenávat Full

<sup>1</sup> Tato média se nazývají Secure Digital, jelikož Secure Digital Association pro ně vyvíjí technické standardy.



HD video a zároveň ukládat fotosekvence, dosahuje minimální rychlosti 10 megabajtů za sekundu [65]. Maximální rychlost zápisu a čtení pak dosahuje téměř na 100 megabajtů za sekundu. Takto velkých rychlostí dosahují i paměťové karty standardu SDXC. Jsou proto v kombinaci se svou velkou datovou kapacitou vhodné jako záznamová média pro digitální videokamery s možností nahrávání videa v rozlišení 4K. Paměťové karty s nižší přenosovou rychlostí pak mohou najít uplatnění například jako médium pro uložení map satelitních navigací.

Paměťové karty typu SD se od sebe mohou kromě kapacity a přenosové rychlosti výrazně lišit také svou fyzickou velikostí [14], [67]. Kromě klasické SD karty o rozměrech  $32 \times 24 \times 2,1$  milimetrů existuje také tzv. Thin SD Card (tenká SD karta). Liší se pouze v tloušťce, která činí 1,4 milimetry. O něco menší jsou karty miniSD, jejichž rozměry jsou  $21,5 \times 20,0 \times 1,4$  milimetry (viz obrázek 5.3). Nejnovější a prostorově nejúspornější jsou microSD (známé i jako TransFlash) s parametry  $15 \times 11 \times 1$  milimetr. MicroSD nacházejí uplatnění především v malých elektronických zařízeních. Například jako dodatečná datová kapacita v mobilních telefonech a tabletech. Aby byla novější a menší média použitelná ve starších zařízeních, používají se redukce, které mají rozměry klasické SD paměťové karty. Tyto adaptéry mají ve své spodní části otvor pro vložení menšího média z rodiny daného zařízení. V různých velikostních variantách se také vyrábí například méně známé Flash paměti xD Picture Card [14].



Obrázek 5.3: Srovnání fyzických velikostí karet SD (modrá), miniSD (zelená) a microSD (červená) [67]

Čtecí zařízení přenosných Flash karet dnes bývají ve skříních stolních počítačů tam, kde dříve bývaly disketové mechaniky, a často umožňují vložení téměř všech Flash médií (a to i najednou – viz obrázek 5.4). Přenosné počítače pak ve většině případů disponují slotem pro klasickou (velkou) SD kartu. Čtečky paměťových karet existují také v externí variantě (většinou s možností připojení k USB) a v podobě USB adaptéru. Nejrozměrnější karty SD mají (stejně jako diskety) přepínač ochrany proti zápisu.

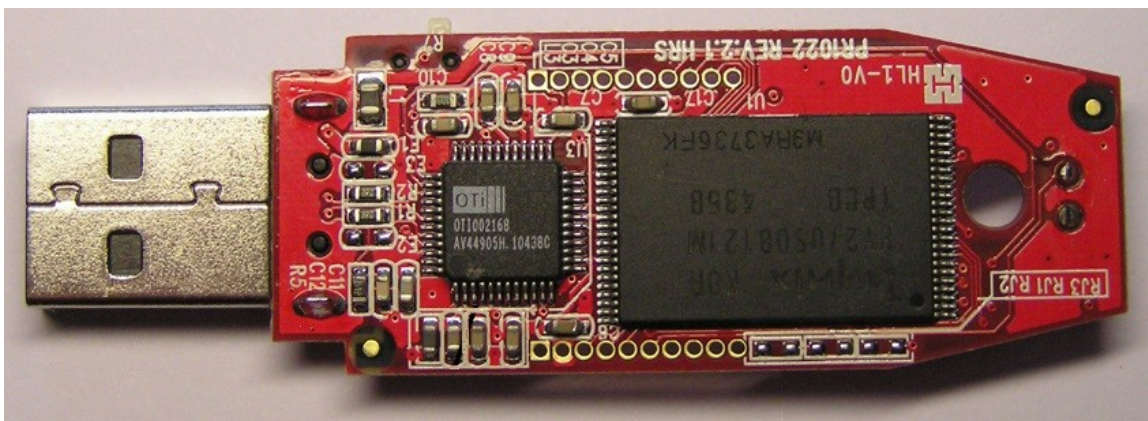
Dalším druhem přenosných pamětí typu Flash jsou tzv. USB Flash disky (USB Flash Drive, USB HandyDrive, USB Key nebo USB Stick) [14]. V češtině je již zaveden

pojem USB disk, přestože toto paměťové zařízení není tvořeno žádnými rotujícími kotouči, jak je tomu u paměti s magnetickým nebo optickým principem ukládání a čtení dat (viz obrázek 5.5). Obecně je na desce plošného spoje vždy osazeno více paměťových čipů. Využití mají USB Flash disky především v přenosu dat mezi počítači. Dají se však také například použít jako paměťový prostor pro nahrávání televizního vysílání, pokud jsou připojeny k tuto funkci podporujícímu televiznímu přijímači.



Obrázek 5.4: Čtečka několika typů přenosných médií typu Flash [68]

Běžně používané USB Flash disky dnes dosahují kapacit v řádech desítek gigabajtů, přičemž nejdražší varianty disponují jednotkami terabajtů [69]. Maximální přenosové rychlosti činí 625 megabajtů za sekundu při čtení a až 250 megabajtů za sekundu v případě zápisu dat. Pro takoveto vysokorychlostní datové toky musí být médium připojeno k nejrychlejší verzi USB, kterým je dnes USB 3.0. Dražší zařízení umožňují ukládaná data šifrovat pomocí AES (Advanced Encryption Standard – pokročilý standard šifrování). USB Flash disky lze po připojení k osobním počítačům s novějšími verzemi operačních systémů Microsoft Windows (Vista, 7, 8) použít pro zrychlení práce systému [14], [70]. Tato technologie se nazývá ReadyBoost. Datová kapacita vloženého Flash média je využita pro dočasné odkládání obsahu operační paměti (DRAM). Přenosová rychlost USB Flash disku musí dosahovat nejméně 2,5 megabajtů za sekundu.



Obrázek 5.5: USB Flash disk bez obalu s odhaleným paměťovým čipem (NAND) [14]

Na obrázku výše lze vidět paměťový čip od společnosti Phison Electronics. Podobnými čipy jsou tvořeny vesměs i všechny ostatní paměti typu Flash. Kromě zmíněných paměťových karet a USB Flash disků se jedná o MP3 a MP4 přehrávače, hlavní úložné paměti mobilních telefonů, tabletů atd [63].

Data jsou v paměťových čipech organizována do matice (viz obrázek 5.1). U Flash pamětí typu NAND jsou jednotlivé buňky organizovány do menších matic – tzv. stránek (sektorů) [64], [71]. Jedná se o nejmenší přístupné jednotky z hlediska čtení a zápisu. To je rozdíl oproti paměťové architektuře NOR umožňující přístup ke každé buňce samostatně. Několik stránek pak tvoří jeden blok. Ten je v rámci celého paměťového čipu nejmenší submaticí, ve které lze provést operaci mazání. Jednu stránku typicky tvoří řádově tisíce bajtů a desítky až stovky stránek pak formují jeden blok. Tyto údaje se liší podle výrobce a typu paměti.

Paměti typu Flash mají omezený počet přepsání. V tomto ohledu jsou na tom až desetkrát hůře média s víceúrovňovými buňkami. Pokud by byl například na USB Flash disku uložen textový dokument, který by byl při editaci automaticky ukládán každou minutu, mohlo by za předpokladu, že paměťová buňka typu MLC snese 10 000 přepsání (výmazů a zápisů) [60], dojít ke zničení celého média po sedmi dnech čisté práce s tímto dokumentem. Místo s automatickými zálohami upravovaného textového souboru by bylo příliš opotřebované, což by v důsledku vedlo k nefunkčnosti celého USB Flash disku. Aby se tomuto efektu zabránilo, přichází na scénu technologie wear leveling (vyrovňování opotřebení) [64], [72]. Jedná se o algoritmus, který vyhodnocuje opotřebení jednotlivých stránek paměti. Pokud najde nějakou výrazněji opotřebovanou stránku (informace na jeho místě se často měnily a zřejmě i budou měnit), přesune její data na jiné místo. Pro zápis nových dat se vybírají stránky s nejmenším opotřebováním, což jsou stránky, jež prošly nejméně cykly vymazání a následného zápisu. Algoritmů pro vyrovňování opotřebení stránek statických Flash pamětí existuje více. Strategie výběru opotřebovaných stránek a následného počínání některých výrobců se mohou lišit.

## 5.2.2 SSD

Stejně jako u USB Flash disků se i těmito médii se běžně přezdívá (SSD) disky, přestože se z žádných paměťových kotoučů neskládají. Je tomu tak zejména proto, že v dnešní době pomalu nahrazují klasické pevné disky (HDD). Použití SSD má mnohé výhody – velmi vysoké přenosové rychlosti (i přes 500 megabajtů za sekundu) a nižší přístupové doby (kolem 0,5 milisekund) zajišťují rychlé spouštění operačního systému, aplikací a her, tichý provoz poskytuje lepší komfort při práci a absence pohyblivých částí zvyšuje spolehlivost tohoto úložného média [59], [73]. Majitele přenosných počítačů osazených diskem SSD pak potěší fakta, že SSD potřebuje pro svůj provoz méně energie než disk HDD, který má navíc větší hmotnost a zabírá v počítači mnohem více prostoru. Kromě toho jsou SSD odolnější vůči prachu, vlhkosti, otřesům a pádu, takže mohou být

provozovány i ve velmi nepříznivých podmínkách, které by pro klasický pevný disk byly velmi rizikové [14]. Aby se zvýšila spolehlivost SSD (případně i jiných Flash zařízení), přidávají výrobci do svých zařízení náhradní úložnou kapacitu (spare blocks – náhradní bloky) [64]. Při detekci vadného paměťového místa dojde k jeho nahrazení záložní pamětí (stejný princip jako u klasických pevných disků).

Jelikož jsou paměti typu SSD založeny na stejné technologii jako například USB Flash disky, přebírají od nich kromě technické realizace také jejich nevýhody – menší datová kapacita (k dostání jsou dnes s maximální kapacitou jednoho terabajtu), vyšší cena za jeden bit a omezený počet přepisovacích cyklů [73]. Nevýhodou pamětí typu SSD je také mechanismus zapisování dat do stránek, které již byly jednou použity [64], [74].



*Obrázek 5.6: 2,5" interní SSD disk s tloušťkou 7 mm a kapacitou 80 GB [73]*

Při vymazání stránky zůstávají její data dále na svém místě a pouze se označí za neplatná (mohou se tedy přepsat) [64]. Při následném zápisu nových dat do této stránky se do vyrovnávací paměti musí načíst celý blok, který může obsahovat i stovky dalších stránek. Tento krok je nutný, jelikož fyzické mazání dat může probíhat pouze po celých blocích. Teprve ve vyrovnávací paměti se neplatné stránky mohou vymazat a nahradit novými daty. Poté dochází k vymazání dat původního bloku (i s platnými stránkami) a jejich nahrazení údaji z vyrovnávací paměti. Posloupnost těchto kroků při přepisu použité a zneplatněné stránky velmi snižuje rychlost zápisu. Pokud již byly všechny stránky média SSD alespoň jednou použity, rychlost zápisu značně degraduje. Řešením popsaného problému je používání příkazu TRIM<sup>1</sup> (pročištění). Ten je spuštěn v době, kdy s SSD diskem zrovna nikdo nepracuje, takže jeho provádění nezpomaluje fungování

<sup>1</sup> Příkaz TRIM musí podporovat jak operační systém (Windows 7 a novější), který s SSD diskem pracuje, tak i disk (přesněji jeho firmware) samotný [64], [73].

počítače. TRIM fyzicky vymaže<sup>1</sup> neplatné stránky podobným způsobem, který je popsán výše. Do takto vymazaných stránek může být proveden zápis přímo (bez kopírování příslušného bloku do vyrovnávací paměti). Využívání příkazu TRIM velmi komplikuje práci počítačovým forenzním analytikům, kteří se pokouší obnovovat vymazaná data (přesněji neplatné stránky).

Paměťová zařízení typu SSD existují (stejně jako klasické pevné disky) v interní (viz obrázek 5.6) i externí variantě [72]. Všechny externí SSD paměti využívají k připojení dnes nejrychlejší variantu USB (USB 3.0), aby byl maximálně využit jejich rychlostní potenciál.

Existují také disky, které kombinují rychlost SSD paměti a datovou kapacitu klasických pevných disků [14]. Označují se jako hybridní disky – SSHD (Solid State Hybrid Drive). Zevnějšek těchto paměťových zařízení je stejný jako u HDD. Uvnitř se pak opět nachází magnetické kotouče a čtecí hlavy. Přidanou hodnotou je Flash paměť typu SSD, která tvoří další úroveň vyrovnávací paměti. Data v ní však zůstávají i po odpojení disku od zdroje elektrického napájení. Pokud počítač pracuje pouze s SSD částí hybridního disku, je možné vypnout motor pohánějící magnetické kotouče. Tím dochází k úspoře energie, což se může zřetelně projevit na delší výdrži baterie přenosného počítače s osazeným hybridním diskem.

---

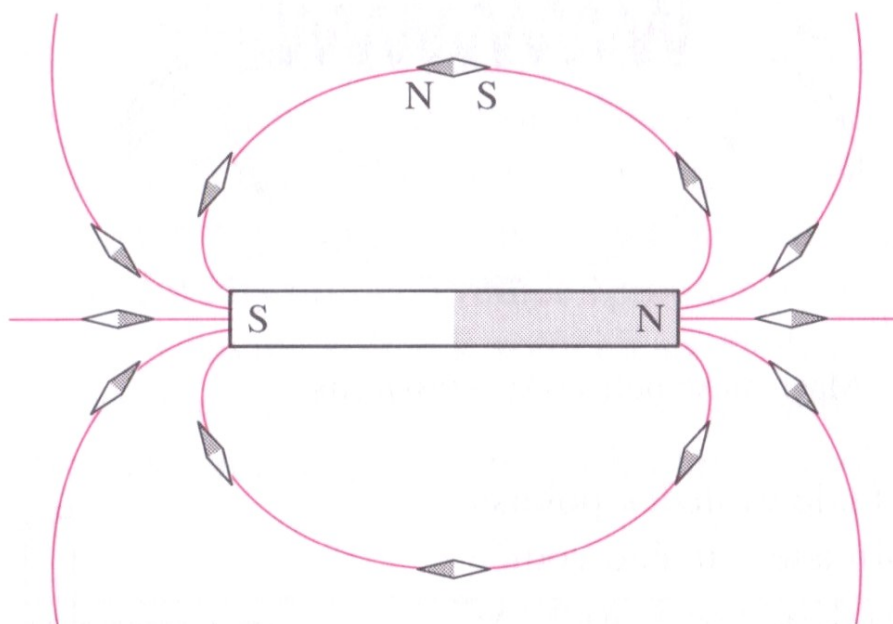
<sup>1</sup> Jedná se o určitou formu procesu, který se ve více odvětvích informatiky nazývá sbírání smetí (Garbage Collection) [64].

## 6 Principy činnosti vnějších pamětí s magnetickým záznamem dat

Tato kapitola popisuje princip magnetického záznamu dat, který je pro všechny diskety, pevné disky, magnetické pásky a magnetooptické disky ve své podstatě stejný. K porozumění magnetického zápisu a čtení je potřeba se nejdříve seznámit s několika fakty a jevy z oblasti fyziky (magnetismu).

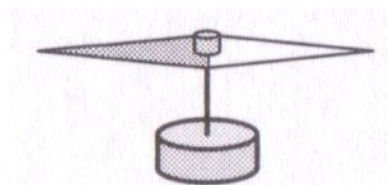
### 6.1 Fyzikální fakta související s magnetickým záznamem dat

Magnet je materiál (objekt) vytvářející kolem sebe magnetické pole [27], [75]. Magnetické pole se značí indukčními čarami, což jsou myšlené čáry mezi severním a jižním pólem magnetu (viz obrázek 6.1). Severní pól se označuje písmenem N (z anglického North), jižní pól nese označení S (South). Mohou být také odlišovány barvami. Lze se také setkat s českým značením magnetických pólů, kdy je písmenem S označován severní pól a pro označení pólu jižního slouží písmeno J. Magnetické indukční čáry jsou uzavřené neprotínající se orientované křivky a platí pro ně úmluva, která říká, že indukční čára vychází ze severního pólu magnetu (N) a zpět do něj vstupuje v oblasti jeho pólu jižního (S).



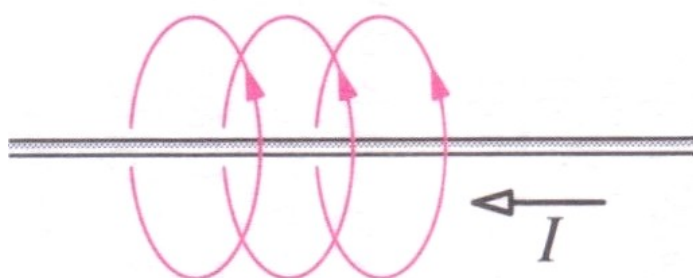
Obrázek 6.1: Magnetické pole tyčového magnetu [27]

Na obrázku výše jsou v magnetickém poli tyčového magnetu rozmístěny tzv. magnetky (viz obrázek 6.2), na které působí magnetická síla, což způsobuje jejich natočení vzhledem k indukčním čarám velkého magnetu [27]. Otočné magnetky ukazují svými severními póly k jižnímu pólu velkého tyčového magnetu (a naopak), jelikož opačné póly dvou magnetů se navzájem přitahují a souhlasné odpuzují.



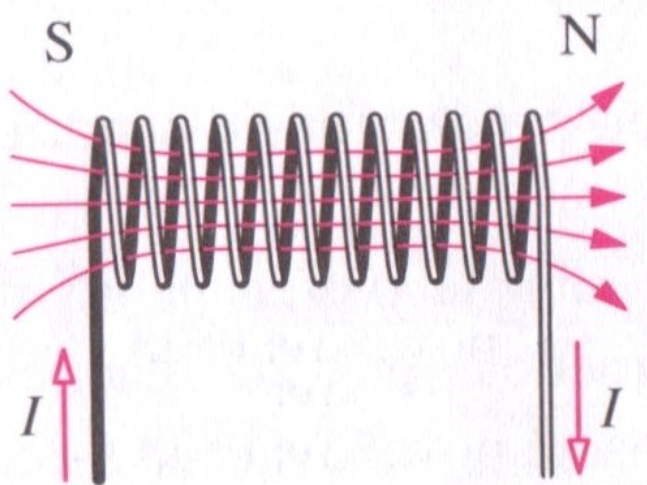
Obrázek 6.2: Magnetka – malý kousek magnetu s možností natáčení [27]

Magnetické pole se nachází také v blízkosti vodiče, jímž prochází elektrický proud  $I$  [A] [8], [27]. Pohyb nosičů elektrického náboje (elektronů) v tomto vodiči je příčinou vzniku jeho magnetického pole. Směr magnetických indukčních čar pak závisí na směru průchodu elektrického proudu tohoto vodiče (viz obrázek 6.3). Z historických důvodů je proud orientován proti směru průchodu elektronů.



Obrázek 6.3: Orientace magnetických indukčních čar vůči směru toku elektrického proudu v přímém vodiči [27]

Magnetické pole vzniká také uvnitř cívky, kterou protéká elektrický proud [27]. Rovněž v tomto případě je orientace indukčních čar jednoznačně dána směrem toku elektrického proudu (viz obrázek 6.4). Vně cívky je magnetické pole téměř totožné s magnetickým polem tyčového magnetu z obrázku 6.1. Ten konec cívky, z něhož magnetické indukční čáry vystupují, je totožný se severním pólem tyčového magnetu. Opačný konec, kde magnetické indukční čáry do cívky vstupují, je pak pólem jižním.



Obrázek 6.4: Indukční čáry magnetického pole cívky, kterou prochází proud [27]

Dojde-li ve vodiči nebo v cívce ke změně směru toku elektrického proudu, změní se i polarita výsledného elektromagnetického pole (nastane záměna obou pólů) [8]. Pokud je cívka navinuta na vhodný materiál, který díky svým vlastnostem zesiluje magnetické pole (viz dále), hovoří se o tzv. elektromagnetu [27]. Množstvím protékajícího proudu v cívce lze snadno ovlivňovat intenzitu jejího magnetického pole<sup>1</sup>  $H$  [A/m] [13], [27]. Působením intenzity magnetického pole na magneticky vodivý materiál dochází v tomto materiálu k nárůstu magnetické indukce<sup>2</sup>  $B$  [T]. Magnetická vodivost daného materiálu (prostředí) je úměrná jeho permeabilitě<sup>3</sup>  $\mu$  [H/m] [27], [75]. Mezi zmíněnými veličinami platí následující vztah:

$$B = \mu \cdot H.$$

Pro permeabilitu dále platí vztah

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

kde  $\mu_0$  představuje permeabilitu vakua ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m) a  $\mu_r$  je relativní permeabilita daného materiálu [27], [75]. Relativní permeabilita je poměrná veličina (bezrozměrná) a udává, kolikrát je magnetická indukce magnetického pole v daném materiálu větší (nebo menší) než magnetická indukce magnetického pole stejného proudu ve vakuu [27]. Jinými slovy – kolikrát je daný materiál magneticky vodivější než vakuum. Hodnota relativní permeability je určena vlastnostmi atomů a významně ovlivňuje magnetické vlastnosti látek, které se podle její hodnoty dělí na několik druhů.

Látky, jejichž relativní permeabilita je menší než 1, se označují jako diamagnetické [13], [27]. Jedná se například o zlato, měď, sklo atd. Po vložení diamagnetického materiálu do magnetického pole je toto pole typicky oslabeno o 0,000 001 až 0,05 procent, jelikož hodnota  $\mu_r$  diamagnetické látky je pouze nepatrně menší než 1. Například relativní permeabilita mědi je 0,999 99. Diamagnetismus není (na rozdíl od paramagnetismu a feromagnetismu) závislý na teplotě dané látky.

Dalším druhem jsou látky paramagnetické [13], [27], [75]. Ty naopak magnetické pole mírně zesilují o 0,000 01 až 0,05 procent. Řadí se mezi ně například hliník, platina, sodík, vzduch a další látky. Jejich relativní permeabilita je nepatrně větší než 1. Například relativní permeabilita hliníku je 1,000 023. Jelikož mají atomy paramagnetických látek (zjednodušeně řečeno) vlastní magnetické pole, lze je vnějším magnetickým polem uspořádat tak, aby v paramagnetické látce došlo k souhlasné orientaci atomů. Čím vyšší je teplota paramagnetického materiálu, tím slabší je tento zesilovací efekt. S rostoucí teplotou totiž narůstá i tepelný pohyb atomů, který narušuje jejich orientaci vnějším magnetickým polem. Paramagnetické (ani diamagnetické) materiály nevytvářejí žádné vlastní stálé magnetické pole.

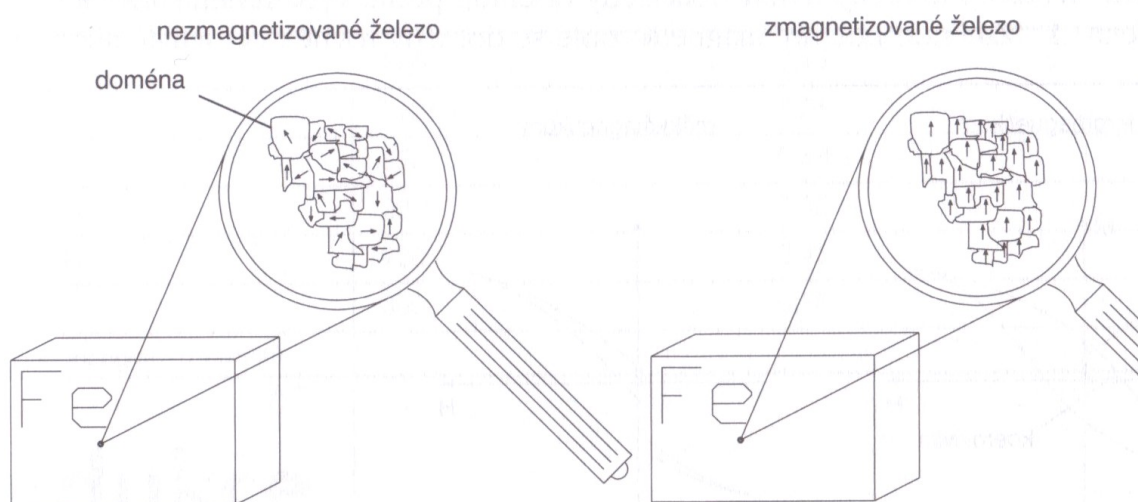
1 Intenzita magnetického pole – vektorová fyzikální veličina, značka  $H$ , jednotka ampér na metr [75].

2 Magnetická indukce – vektorová fyzikální veličina, značka  $B$ , jednotka tesla [27].

3 Permeabilita (nebo také absolutní permeabilita) – skalární fyzikální veličina, značka  $\mu$ , jednotka henry na metr [75].



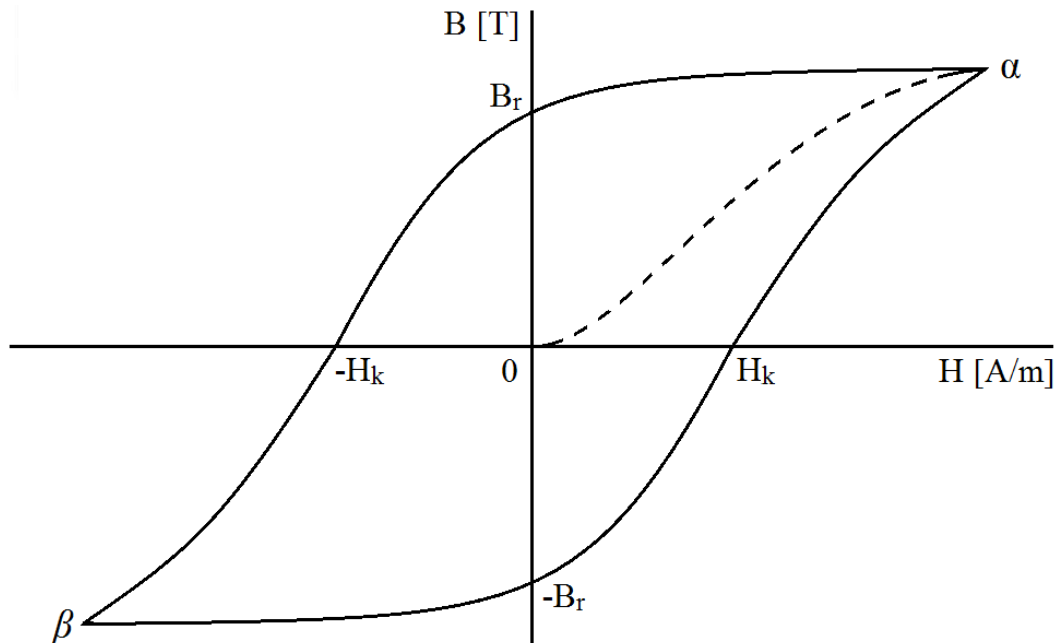
Třetím typem látek jsou látky feromagnetické [13], [27]. Mezi hlavní zástupce feromagnetických látek se řadí především železo, kobalt, nikl a jejich slitiny. Relativní permeabilita feromagnetik má velmi vysokou hodnotu. Typicky se pohybuje v rozmezí 100 až 100 000. Feromagnetické materiály tedy zesilují magnetické pole mnohem více než paramagnetické látky. I slabým vnějším magnetickým polem u nich lze vyvolat takové uspořádání atomů, které toto magnetické pole zesílí. Dochází k tzv. magnetizaci látky. Způsobují ji výměnné síly mezi sousedními atomy. Miliardy těchto sousedících atomů se i bez působení vnějšího magnetického pole souhlasně orientují, čímž vznikají tzv. magnetické domény (nebo také Weissovy domény). Orientace jednotlivých domén v látce je však náhodná a z makroskopického hlediska se materiál jeví jako nemagnetický. Domény se totiž navzájem kompenzují (viz obrázek 6.5). Teprve působením vnějšího magnetického pole se začnou domény vyrovnávat a dochází k magnetizaci materiálu. Po vyrovnání všech domén je látka magneticky zcela nasycena. Zmagnetizovaná látka se po zániku vnějšího magnetického pole, které magnetizaci způsobilo, chová i nadále jako magnet.



Obrázek 6.5: Naznačení domén a jejich orientací v nezmagnetizovaném železe vlevo a zmagnetizovaném (dokonce magneticky nasyceném [27]) železe vpravo [13]

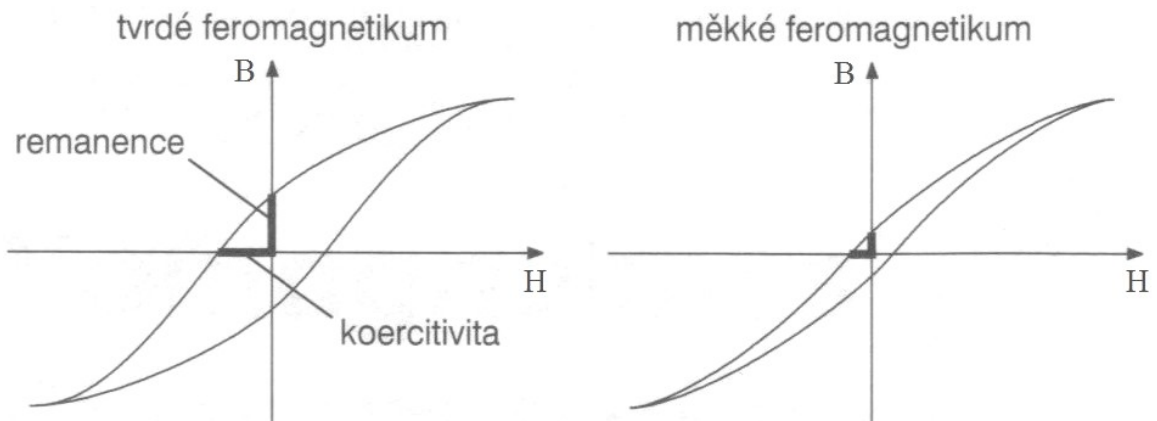
S rostoucím vnějším magnetickým polem tedy stoupá i magnetizace (magnetická indukce) feromagnetické látky, která je tomuto poli vystavena [13], [27]. Při zeslabování vnějšího magnetického pole se zmenšuje i hodnota magnetické indukce, ovšem v menší míře než při nárůstu intenzity pole. Ve chvíli, kdy na zmagnetizovaný materiál již žádné vnější magnetické pole nepůsobí, ustálí se hodnota magnetické indukce této feromagnetické látky na hodnotě remanence (označuje se  $B_r$ ). Jedná se o tzv. zbytkový nebo remanentní magnetismus. Zbytkového magnetismu lze tuto látku následně zbavit působením opačného magnetického pole určité síly (koercitivity). Tato síla se nazývá koercitivní a bývá značena  $-H_k$ . Je-li intenzita opačného magnetického pole ještě větší než koercitivní síla, dochází k magnetizaci feromagnetického materiálu v opačném směru.

Průběh těchto dějů a závislost magnetické indukce na intenzitě magnetického pole popisuje tzv. hysterezní smyčka (viz obrázek 6.6). Podle průběhu hysterezní křivky se rozlišují různé druhy feromagnetických materiálů (viz obrázek 6.7).



Obrázek 6.6: Hysterezní smyčka –  $\alpha$  a  $\beta$  značí body nasycení, kde jsou všechny Weissovy domény vyrovnány; přerušovaná křivka představuje průběh prvotní magnetizace

Podle tvaru a obsahu plochy hysterezní smyčky se feromagnetické látky dělí na magneticky měkké a magneticky tvrdé [13], [27]. Magneticky tvrdé materiály mají vysoké hodnoty remanence a koercitivity (tzv. velkou hysterzi), takže se po zmagnetizování chovají jako permanentní magnety a je energeticky náročnější jejich magnetizaci odstranit. Tyto látky se používají například v záznamových vrstvách magnetických pamětí. Naproti tomu existují magneticky měkké materiály, které mají malou hysterzi (malé hodnoty remanence a koercitivity). Jejich magnetizace prakticky zaniká ve chvíli, kdy na ně přestává působit vnější magnetické pole. Magneticky měkké materiály jsou využívány například jako jádra cívek elektromagnetů.



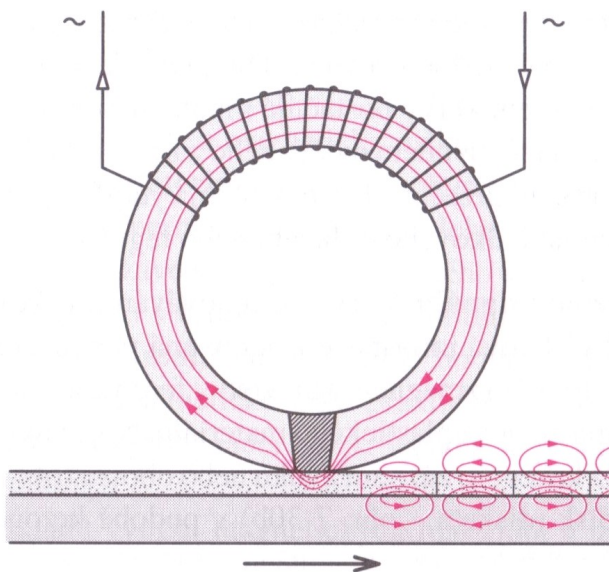
Obrázek 6.7: Rozdíl mezi hysterezními smyčkami tvrdého a měkkého feromagnetika [13]

Pro každou feromagnetickou látku je definována přesná teplota, po jejímž překročení dochází ke ztrátě jejích feromagnetických vlastností [11], [13], [27]. Poté se látka chová jako paramagnetický materiál s podstatně nižší magnetizací. Tato teplota se nazývá Curieův bod nebo také Curieova teplota  $T_c$  a její hodnota se může u různých feromagnetických látek lišit i o více než 1000 °C. Například Curieova teplota železa je 770 °C.

## 6.2 Princip magnetického záznamu dat

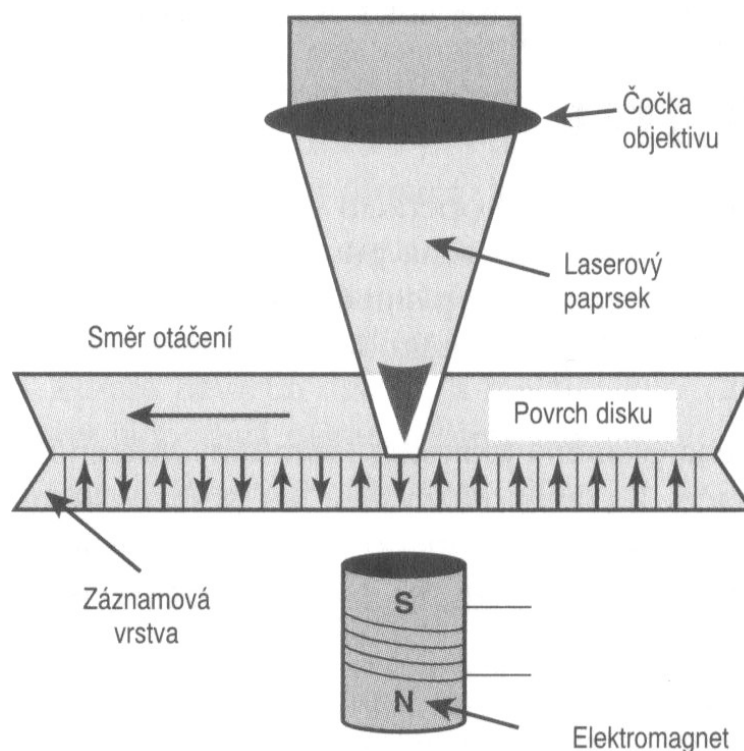
Magnetický záznam dat je uskutečňován prostřednictvím záznamové hlavy (detailněji jsou popsány v kapitole 3.2.1.2). Jedná se o elektromagnet, jehož jádro tvoří magneticky měkký feromagnetický materiál [27]. Cívkou, kterou je jádro ovinuto, může procházet elektrický proud [8]. O přítomnost proudu a také jeho směr se stará řídicí logika pevného disku, případně řídicí logika mechaniky, která s příslušným výměnným paměťovým zařízením pracuje.

Aby pomocí záznamové hlavy došlo k vepsání informace do tvrdého feromagnetického materiálu (záznamového média), musí cívkou elektromagnetu procházet elektrický proud [8], [27]. Ten vyvolá v jádře elektromagnetu magnetické pole příslušné orientace (viz obrázek 6.8). Jelikož zápisová hlava obsahuje mezeru, která je vyplněna vzduchem nebo nemagnetickým materiálem, dojde k uzavření indukčních čar přes záznamovou vrstvu. Magnetické pole se odkloní od záznamové hlavy a na druhé straně štěrbině se opět připojí zpět, neboť magnetické pole prochází magnetickým médiem podstatně lépe než vzduchem (případně nemagnetickým materiálem u hlav typu MIG) [8]. Podle indukčních čar odkloněného magnetického pole dojde k polarizaci magnetických částic v malé části média. Tato oblast se někdy označuje jako bitová buňka a chová se jako elementární magnet (má své vlastní magnetické pole).



Obrázek 6.8: Magnetické záznam dat; černá šipka (dole) značí směr pohybu média [27]

Podobný princip zápisu je aplikován u magnetooptických disků [5]. Magnetickým polem se však působí pouze na malou část média, která byla zahřáta na Curieovu teplotu laserovým paprskem o vysokém výkonu (viz obrázek 6.9). Část média s obvyklou teplotou není magnetickým polem zápisové hlavy nijak ovlivněna. Jelikož zahřátá část média je paramagnetická a má malou koercitivní sílu, dostačuje ke změně její magnetické orientace magnetické pole velmi malé intenzity. Na rozdíl od ostatních typů magnetických pamětí probíhá v magnetooptických mechanikách zápis nadvrát [11]. Nejdříve se příslušná místa magnetizují jedním směrem, poté dochází k magnetizaci zbylých míst magnetickým polem opačné intenzity.

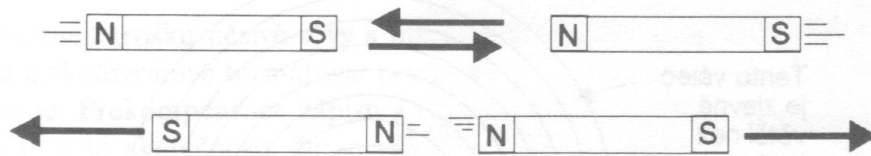


Obrázek 6.9: Schéma zápisu na magnetooptický disk [5]

Feromagnetické médium se u všech typů pamětí pohybuje pod záznamovou hlavou, což umožňuje jeho magnetizaci na různých místech. V případě disket a magnetických pásek se hlava přímo dotýká záznamového magnetického materiálu [9]. Naproti tomu u pevných a magnetooptických disků se elektromagnet, který data zaznamenává, nachází v těsné blízkosti magnetického média [5].

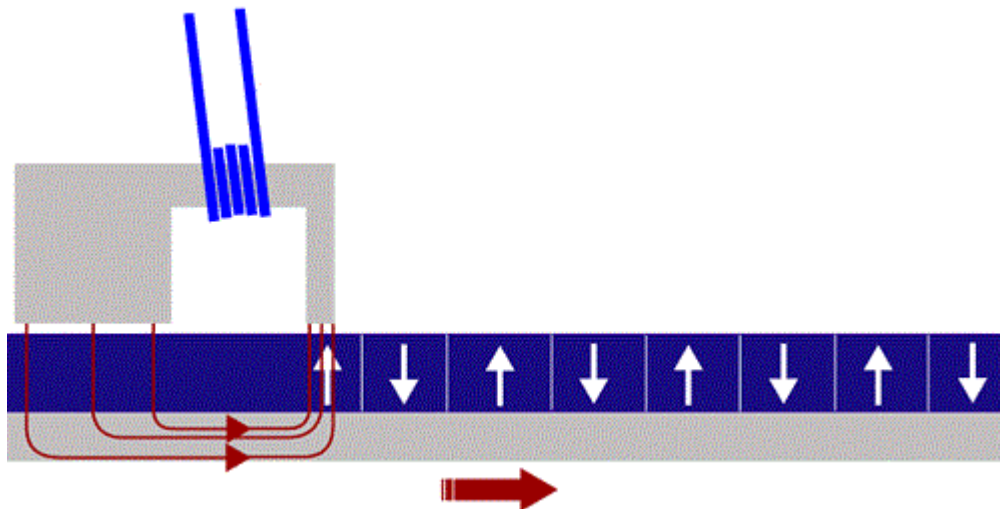
Na vnitřních stopách pevných disků mohou být jednotlivé bitové buňky velmi blízko vedle sebe. To může vést k tomu, že stejně orientované elementární magnety se od sebe oddalují a opačně orientované dipóly se mohou přitahovat [3]. Aby se tomuto zabránilo, může pevný disk na některých válčích používat tzv. prekompenzaci zápisu. Data jsou pak v závislosti na svém obsahu záměrně zaznamenávána na geometricky špatné místo (viz obrázek 6.10). Přitažlivé a odpuzivé síly jednotlivých elementárních magnetů pak zapříčiní jejich vyrovnání na správné místo [25]. V několika vnitřních

stopách pevného disku mohou být data zapisována za přítomnosti menšího elektrického proudu v cívce elektromagnetu [14]. Nedochozí tak k nechtěnému překrývání elementárních magnetů.



Obrázek 6.10: Prekompenzace zápisu dat na magnetická média [25]

Většina typů magnetických pamětí využívá technologii LMR (Longitudinal Magnetic Recording – podélný magnetický záznam) [8], [13], [27]. U některých pevných disků se však lze setkat s novější záznamovou technologií PMR (Perpendicular Magnetic Recording – kolmý magnetický záznam) [76]. V případě kolmého zápisu dat je pod záznamovým médiem vrstva magneticky měkké látky, přes kterou se uzavírá magnetické pole (viz obrázek 6.11). Díky tomu je horní záznamová vrstva magnetizována v kolmém směru. Také jádro elektromagnetu musí být kolmému zápisu speciálně uzpůsobeno. Jeden jeho pól je ztlačně užší než druhý. Pokud cívkou elektromagnetu prochází elektrický proud, je magnetizována pouze ta část média, která se nachází pod užší částí jádra, jelikož právě v tomto místě jsou indukční čáry magnetického pole seskupeny nejhustěji. Kolmý magnetický záznam umožňuje zvýšit hustotu zápisu.



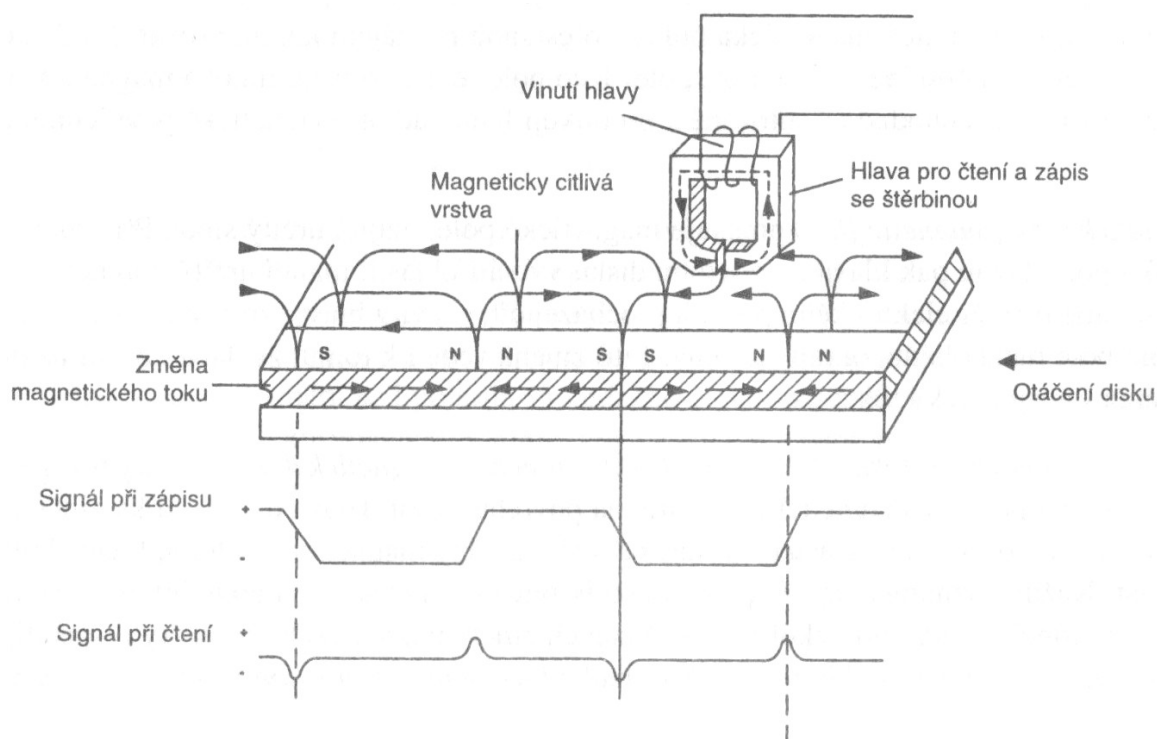
Obrázek 6.11: Schéma kolmého magnetického zápisu; červená šipka (dole) značí směr pohybu média [76]

### 6.3 Princip čtení magneticky zaznamenaných dat

Čtení magneticky zaznamenaných dat se uskutečňuje prostřednictvím stejné hlavy, kterou se provádí i zápis [8]. Moderní pevné disky však představují výjimku, neboť se u nich ke čtení informací z magnetického média využívají různé druhy magnetorezistivních senzorů (MR a GMR) [14].

### 6.3.1 Princip čtení dat pomocí elektromagnetu

Reprodukce zaznamenaného signálu probíhá podobným způsobem jako při zápisu. Zmagnetizovaný nosič se opět pohybuje u mezery čtecí hlavy. Změny magnetického pole<sup>1</sup> v okolí jednotlivých elementárních magnetů vyvolávají v cívce elektromagnetu proměnný elektrický proud [27]. Ten je elektrickým obrazem magneticky uchovávané informace. Signály (proudy), se kterými se pracuje při zápisu a čtení, však nemají stejný (ani podobný) průběh [8]. Jestliže dojde v blízkosti čtecí hlavy ke změně polarity magnetického pole, projeví se tato změna napětovým impulsem mezi konci cívky (viz obrázek 6.12). Časový odstup jednotlivých impulsů pak v závislosti na použitém kódování představuje odpovídající posloupnost zaznamenaných bitů [14].

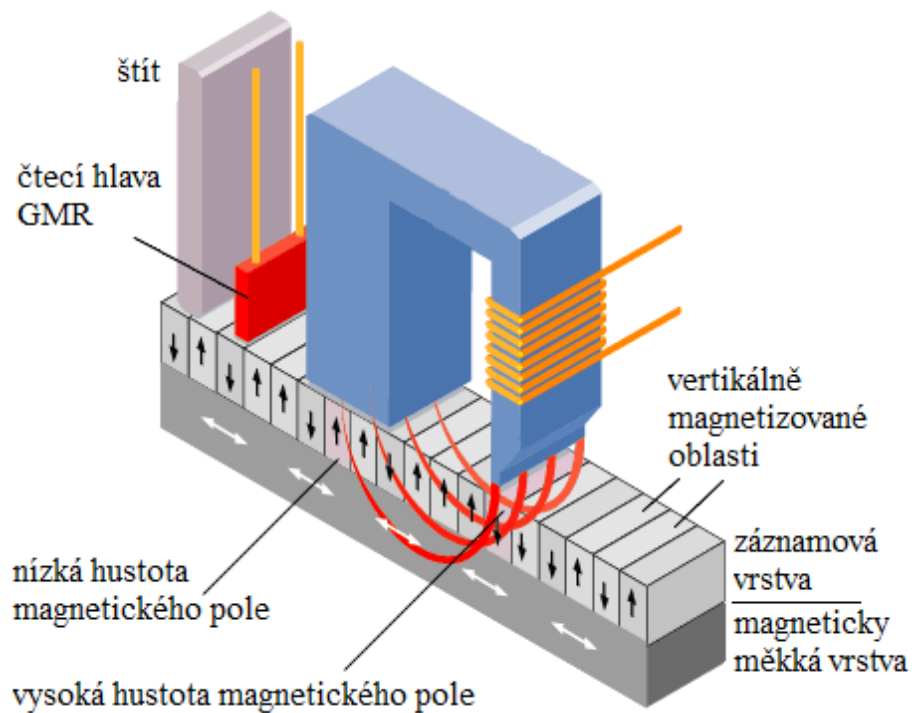


Obrázek 6.12: Schéma procesu (podélného) magnetického zápisu a čtení dat [8]

### 6.3.2 Princip čtení dat pomocí magnetorezistivního senzoru

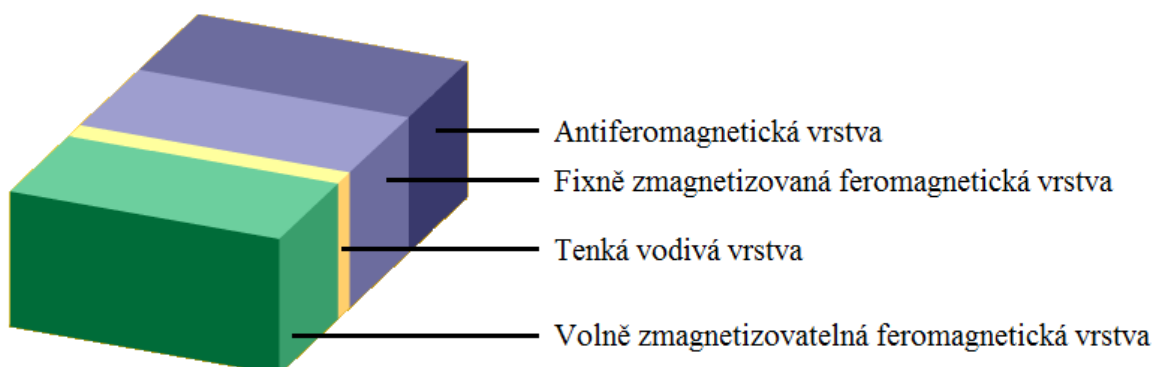
Všechny nejnovější generace pevných disků využívají oddělené zápisové a čtecí prvky [14]. Princip zápisu pomocí elektromagnetu je ve své podstatě stále stejný. Liší se však čtecí hlava, která je menší (viz obrázek 6.13) a dovoluje rozpoznání orientace menších elementárních magnetů, což umožňuje zvýšit hustotu zápisu dat na pevný disk. Tento čtecí prvek se nazývá gigantický magnetorezistivní<sup>2</sup> senzor a využívá jevu gigantické magnetorezistence, za jehož objev byla v roce 2007 udělena dvěma vědcům Nobelova cena za fyziku [77].

1 Proud v cívce elektromagnetu nevzniká pouhou přítomností magnetického pole [27]. Příčinou jeho vzniku je změna polarity dvou magnetických polí. Uplatňuje se jev zvaný elektromagnetická indukce.  
2 Čtecí hlavy s touto technologií se označují jako GMR (Giant Magneto Resistive) [14].



Obrázek 6.13: Kombinace kolmého zápisu dat a čtecí hlavy typu GMR dovolující záznam a čtení dat s vysokou hustotou [76]

Gigantické<sup>1</sup> magnetorezistivní senzory využívají pro detekci magnetického pole kvantovou vlastnost elektronu, kterou je jeho spin [14]. Pro účel osvětlení základního principu čtení magnetických dat pomocí GMR hlav lze zjednodušeně říci, že každá částice (tedy i elektron) rotuje kolem své osy, přičemž vzniká miniaturní magnetický moment [78]. Podle směru rotace elektronu může mít jeho spin kladné nebo záporné znaménko. Aby bylo možné od sebe v nákresech elektrony s různými znaménky spinu odlišit, tak se konvenčně označují šipkami nahoru a dolů [78], [79]. Rotace elektronu je fyzikální podstatou vzniku magnetického pole a shluky částic se stejným spinem tvoří Weissovy domény [75].

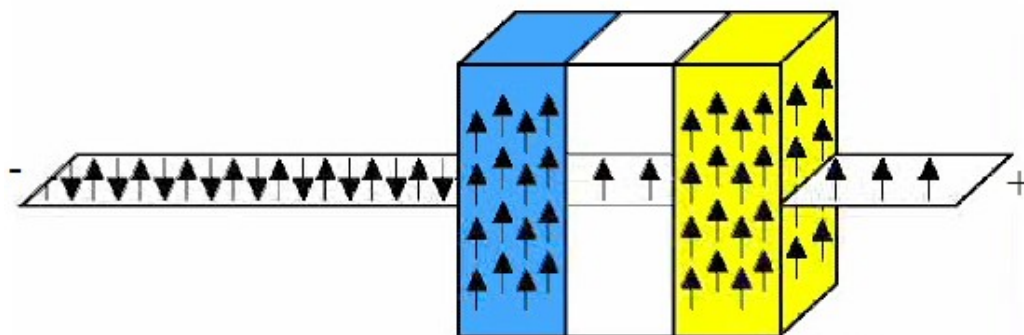


Obrázek 6.14: Uspořádání vrstev gigantického magnetorezistivního senzoru [80]

<sup>1</sup> V češtině se lze setkat také s označením obří magnetorezistivní senzory [79].

GMR senzory se skládají z několika tenkých vrstev [79]. Základem jsou dvě vrstvy z feromagnetického materiálu (např. kobaltu), které jsou odděleny velmi tenkou nemagnetickou vrstvou (nejčastěji mědi s dobrou elektrickou vodivostí). Úkolem této nemagnetické oddělovací vrstvy je zamezit feromagnetickým vrstvám v jejich vzájemné magnetické interakci. Magnetická orientace jedné z feromagnetických vrstev je stále stejná, jelikož je držena antiferomagnetickou vrstvou<sup>1</sup> [80]. Druhou feromagnetickou vrstvou lze vnějším magnetickým polem libovolně magnetizovat. Výsledné uspořádání vrstev dokumentuje obrázek 6.14. Další nezbytnou součástí GMR sensorů jsou vodiče, kterými při procesu detekce magnetických polí protéká elektrický proud [79].

Je-li do GMR senzoru přiváděn elektrický proud, pak vodičem, jímž elektrony do senzoru vstupují, proudí stejné množství elektronů se spinem nahoru i dolů [79], [80]. Aby mohly být elektrony odvedeny druhým vodičem, musí projít jednotlivými vrstvami GMR senzoru. První překážkou je feromagnetická vrstva, která je trvale zmagnetizována jedním směrem. Přes tuto vrstvu projdou zejména ty elektrony, jejichž směr spinu je shodný s její magnetickou orientací. Takovýchto elektronů je asi padesát procent z jejich celkového množství. Po průchodu velmi tenkou vodivou nemagnetickou vrstvou se elektrony dostávají ke druhé feromagnetické vrstvě, jejíž magnetická orientace se může měnit. Pokud je její orientace shodná s první (pevně orientovanou) feromagnetickou vrstvou, dojde k průchodu téměř všech zbylých elektronů (viz obrázek 6.15). GMR senzor vykazuje odpor  $R_1$ .



Obrázek 6.15: Schéma průchodu elektronů dvěma souhlasně orientovanými feromagnetickými vrstvami GMR [79]

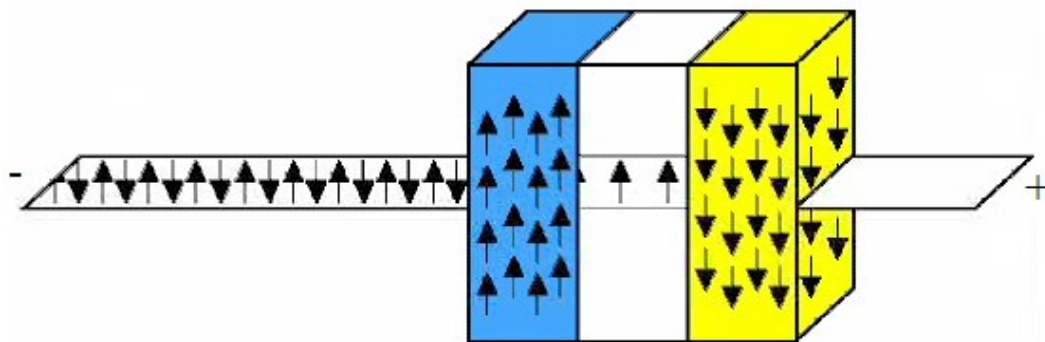
Jiná situace nastává v případě, kdy mají obě feromagnetické vrstvy odlišnou magnetickou orientaci (viz obrázek 6.16) [79]. GMR senzor se tak nachází ve stavu, ve kterém jím projde pouze zlomek elektronů, neboť dochází k častým kolizím elektronů s atomy obou vrstev. Odpor takto orientovaného GMR senzoru je  $R_2$ .

Platí, že odpor  $R_1$  je menší než  $R_2$  [80]. GMR senzorem na obrázku 6.15 tedy protéká větší elektrický proud. Změna orientace magnetického pole v blízkosti GMR

<sup>1</sup> Antiferomagnetické látky mají spiny sousedních atomů orientovány proti sobě [81]. Je-li feromagnetická vrstva v kontaktu s vrstvou antiferomagnetickou, váže antiferomagnetická vrstva spiny feromagnetické vrstvy do fixního směru.

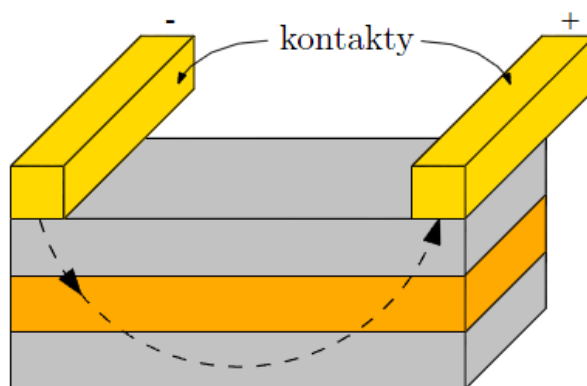


senzoru vyvolává změnu orientace jedné z jeho feromagnetických vrstev (změnu orientace jejího spinu), což se také projevuje změnou odporu celého senzoru [77]. Směr vnějšího magnetického pole (tj. orientace elementárního magnetu zaznamenaného na plotně pevného disku) pak určuje hodnotu tohoto odporu daného GMR senzoru. Díky změnám odporu GMR senzoru je možné zpětně zrekonstruovat data zapsaná na pevném disku [78].



Obrázek 6.16: Schéma průchodu elektronů dvěma opačně orientovanými feromagnetickými vrstvami GMR [79]

Obrázky 6.15 a 6.16 naznačují princip GMR senzoru, do kterého proudí elektrony kolmo vzhledem k rovině vrstvy [82]. Tyto senzory se označují jako CPP (Current Perpendicular to Plane – proud kolmý k rovině). V pevných discích se však využívají GMR senzory typu CIP (Current In Plane – proud v rovině). Stavbu GMR senzoru takového typu dokumentuje obrázek 6.17. Jelikož jsou jednotlivé vrstvy velmi tenké (jednotky nanometrů [79]), prochází elektrony všemi vrstvami, což má opět za následek změnu odporu celého GMR senzoru.



Obrázek 6.17: Stavba GMR senzoru typu CIP; přerušovaná čára značí tok elektronů [83]

GMR senzory pevných disků potřebují odstínění od magnetických polí od aktuálně nečtených míst, aby byl signál získaný čtecí hlavou co nejpřesnější. Tuto funkci může plnit přidání štítu na jedné straně v kombinaci se zápisovou hlavou na straně druhé (viz obrázek 6.13). Existuje také řešení, kde je GMR sensor umístěn ve štěrbině jádra

elektromagnetu zápisové hlavy, která plní funkci magnetického stínění a přívodních vodičů GMR senzoru [82]. Tato varianta snižuje celkové náklady na výrobu čtecí a zápisové soustavy hlav.

## 7 Principy činnosti vnějších pamětí s optickým záznamem dat

Tato kapitola pojednává o principu zápisu dat na optická média a jejich následném čtení. Pozornost je také věnována procesu lisování optických disků typu ROM. Obecně platí, že princip zápisu a čtení je pro všechny typy optických disků velmi podobný (CD, DVD i disky typu Blu-ray) [49].

### 7.1 Lisování optických disků typu ROM

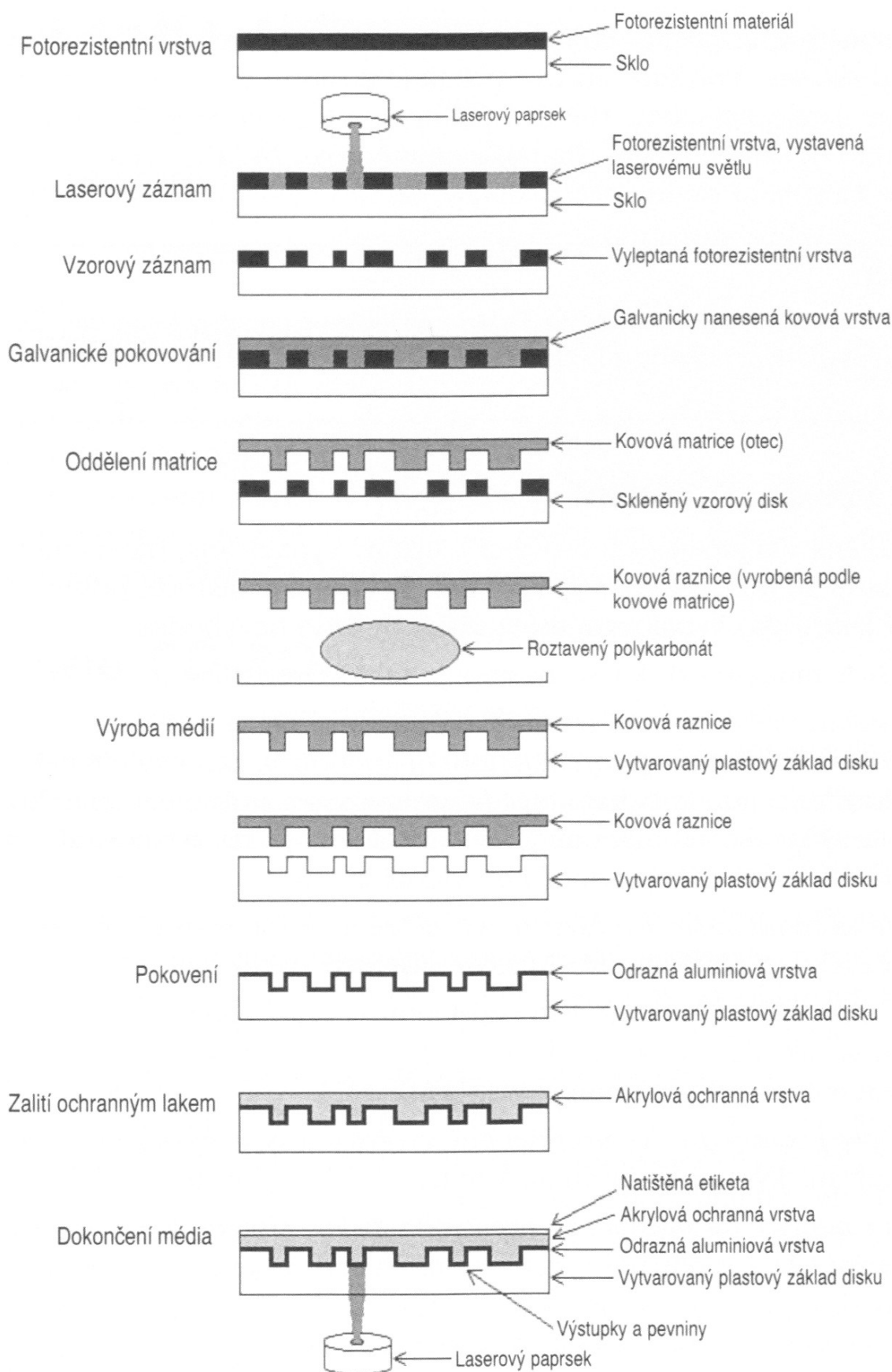
Optické disky, které jsou určeny pouze pro čtení, jsou vyráběny tzv. lisováním. Jedná se o hromadnou výrobu těchto médií, jejímž procesem prochází například hudební CD, hry pro herní konzole nebo filmy ve velmi vysokém rozlišení distribuované prostřednictvím Blu-ray disků. Před samotným lisováním jednotlivých kopií je potřeba absolvovat několik procesních kroků (viz obrázek 7.1).

Nejprve je nutné vyrobít lisovací formu (tzv. master) [49]. Jejím základem je disk z vyleštěného skla, jehož průměr bývá zpravidla 24 centimetrů a tloušťka alespoň 6 milimetrů. Ve speciálním přístroji je na jednu jeho stranu nanášena fotocitlivá emulze, která je roztočením disku rovnoměrně rozprostřena po celé ploše disku [5]. Tloušťka tohoto fotorezistivního materiálu je 0,15 – 0,16 milimetru. Tvrdost nanášené vrstvy je zvyšována jejím vystavením teplotě okolo 80 °C po dobu asi 30 minut.

Laserový paprsek poté na disk přenáší digitální data ve formě expozice různých míst fotorezistivní vrstvy [49]. Následně je fotocitlivá vrstva polita vhodným roztokem (například deionizovanou vodou a hydroxidem sodným), čímž dochází k odstranění míst vystavených záření laserového paprsku [5]. Neozářený fotorezist naopak na skleněném disku zůstává, takže na něm vznikají miniaturní prohlubně, které představují laserem zapsaná data.

Dalším krokem je galvanické pokovování, během kterého je vzorový disk pokrýván vrstvou niklu [5]. Proces pokovování trvá několik hodin. Po oddělení může být tato kovová vrstva, která se nazývá termínem otec (father), použita pro lisování samotných médií (viz dále). Jelikož se ale lisováním optických disků typu ROM kovová vrstva opotřebovává, je tento zrcadlový obraz původního skleněného disku použit pro vytvoření dalších kopií lisovacích vzorů (tzv. raznic nebo matric).

Z kovové vrstvy typu otec se otisknutím nebo dalším procesem galvanického pokovování vytvoří rezervní vrstvy typu matka (mother) [5], [49]. Ty jsou poté použity pro vytvoření dalších kovových kopií, které jsou stejné jako vrstva typu otec. Tentokrát se označují termínem syn (son). Kopírování těchto kovových vrstev se nazývá rodinný proces. Kovové vrstvy typu syn se pak používají v procesu lisování polykarbonátových médií.



Obrázek 7.1: Výrobní kroky optických médií typu CD-ROM a CD-A [5]

V lisovacím stroji je do formy na optické médium vstřikován roztavený polykarbonát<sup>1</sup> o teplotě okolo 280 – 350 °C [5], [49]. Následně je proti formě s polykarbonátem přitlačena kovová vrstva typu syn, přičemž je použit tlak zhruba 138 MPa (megapascalů). Tím na nově vylisovaném polykarbonátovém disku vznikly tzv. jamky (pits) a pevniny<sup>2</sup> (lands), které přesně odpovídají datům na původním skleněném disku typu master. Z posloupnosti landů a pitů, jejich délek a vzdáleností lze po dekodování zapsané informace opět přečíst. Doba výroby jednoho lisovaného média se pohybuje v horizontu jednotek sekund. Po vyjmutí média s čerstvě vyraženými daty z formy lisu je disk sušen ve svislé poloze, aby si udržel svůj tvar.

Ta strana polykarbonátového disku, na kterou byla v lisu vyražena data, je po zaschnutí nastříkána velmi tenkou vrstvou kovu – nejčastěji hliníku [5]. Tato vrstva se nazývá odrazivá a její tloušťka je asi 0,05 – 0,1 mikronu<sup>3</sup>. V dalším kroku je na odrazivou vrstvu přidána vrstva ochranná a případně také etiketa s popisem disku. Jednotlivé vrstvy jsou ve výsledku v tomto pořadí: etiketa, ochranná vrstva, odrazivá vrstva, polykarbonátový substrát. V tomto směru tvoří výjimku média typu Blu-ray, jelikož jejich vrstvy tvoří posloupnost etiketa, polykarbonátový substrát, odrazivá vrstva, ochranná vrstva a případně také ochranná vrstva typu Hard Coat („tuhá vrstva“) [49].

Ochrannou vrstvou kompaktních disků je akrylový lak, který je po nanesení na odrazivou vrstvu vytvrzen ultrafialovým světlem [5]. Jeho tloušťka je šest až sedm mikronů. Odrazivá vrstva z hliníku (případně z jiného kovu) je tak chráněna před mechanickým poškozením i oxidací. U medií DVD je namísto laku použit hladký polykarbonátový výlisek [49]. U oboustranných disků typu DVD není tento výlisek hladký, ale obsahuje maticí vyražená data. Po nanesení lepidla a stlačení obou polykarbonátových kotoučů k sobě dochází k jejich roztočení, aby se lepidlo rozprostřelo po celé ploše. Posledním krokem je opět vytvrzení disku pod ultrafialovou lampou. Ochranná vrstva disků Blu-ray je tenká pouze 0,1 milimetru a její složení se liší podle výrobce.

Optické disky dovolující zápis nebo přepis dat jsou vyráběny obdobným způsobem [49]. Namísto dat jsou do nich lisovány spirálovité drážky, do kterých se data zapisují v optických mechanikách. U DVD a Blu-ray jsou navigační drážky zvlněny [55].

## **7.2 Princip zápisu dat na optické disky**

Zápis dat v optických mechanikách se realizuje prostřednictvím laserového paprsku, který má v závislosti na médiu určenému k zapsání různé vlastnosti [49]. Jedná se především o jeho vlnovou délku a průměr světelného paprsku dopadajícího na záznamové médium.

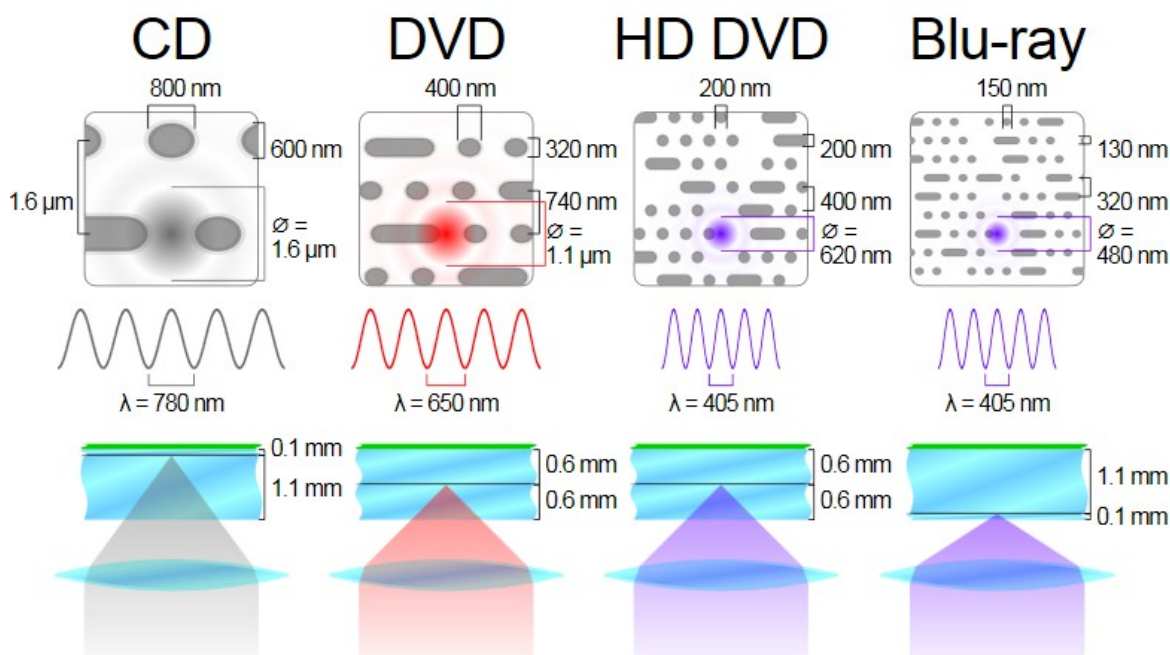
---

1 Množství vstřikovaného polykarbonátu se v závislosti na typu lisovaného média pohybuje zhruba v rozmezí 8 – 20 gramů [5], [49].

2 Z pohledu laseru se land jeví jako prohlubeň a pit jako vystouplá část.

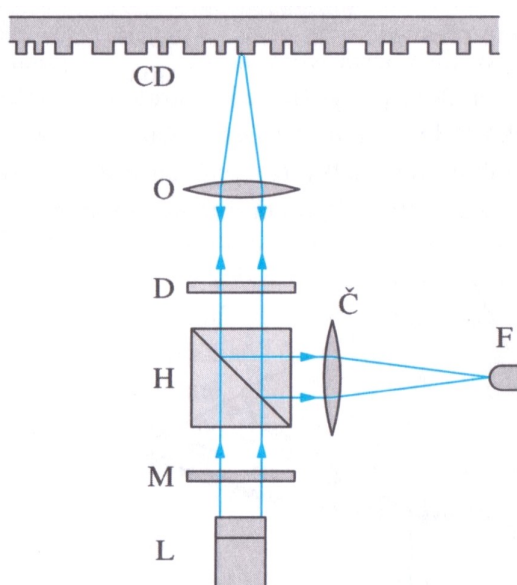
3 Jeden mikron odpovídá délce 0,001 milimetru.

Kromě toho se také liší rozestupy zapisovaných dat, jejich šířka a fyzické umístění v rámci výšky disku. Rozdíly mezi zápisem dat na různá optická média (CD, DVD, HD DVD a Blu-ray) shrnuje obrázek 7.2.



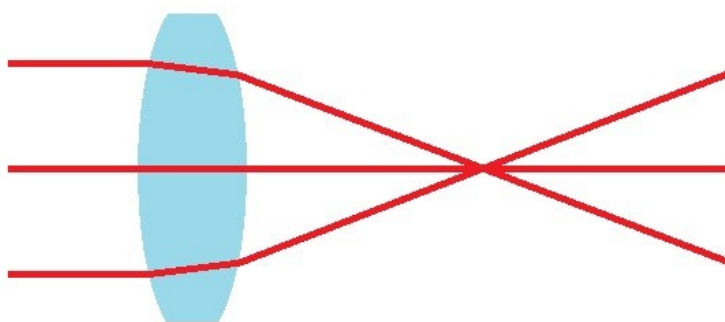
Obrázek 7.2: Rozdíly v zápisu dat na jednotlivé druhy optických médií [84]

Nejjednodušším principem optického zápisu dat je zápis na jednorázově zapisovatelná média (CD-R, DVD-R, DVD+R, HD DVD-R a BD-R). Polarizované světlo vyzářované polovodičovou laserovou diodou však nezapisuje data přímo, ale přes sofistikovanou optickou soustavu, kterou znázorňuje obrázek 7.3 [85].



Obrázek 7.3: Schéma optické soustavy (L – laserová dioda, M – holografická optická mřížka, H – odrazný hranol, D – čtvrtvlnová destička, O – objektiv, CD – kompaktní disk, Č – čočka, F – fotodioda) [85]

Optickou soustavou putuje světlo dvěma směry. Nejprve vychází z polovodičové laserové diody, z níž se dostává k tzv. holografické optické mřížce, která řídí správnou polohu svazku laserových paprsků a jejich ostření [85]. Dalším prvkem v cestě je hranol s polopropustným zrcadlem. Vlnění polarizované v určitém směru propouští, zatímco vlnění polarizované v kolmém směru (vzhledem ke směru původnímu) odráží. Tento hranol s polopropustným zrcadlem dovoluje projít laserovému paprsku přímým směrem dále k tzv. čtvrtvlnové destičce. Čtvrtvlnová destička mění směr polarizační roviny procházejícího záření. Laserový paprsek je před dopadem na optický disk zaostřen spojnou čočkou (viz obrázek 7.4), nejčastěji dvojvypuklou (bikonvexní). Po průchodu touto čočkou, která plní funkci objektivu, se laserový paprsek dostává k samotnému povrchu optického disku.

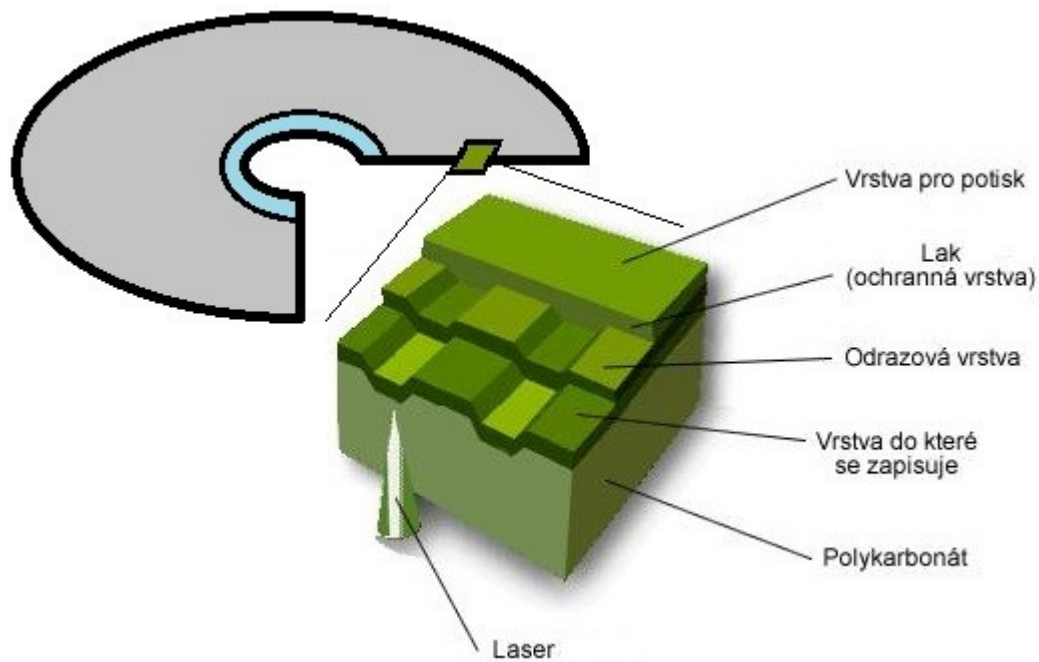


Obrázek 7.4: Chod paprsků bikonvexní spojnou čočkou

Odražený paprsek opět prochází spojnou čočkou a čtvrtvlnovou destičkou. Jelikož tentokrát pochází záření touto destičkou již podruhé, dochází oproti původnímu paprsku ke stočení jeho polarizační roviny o 90 stupňů [85]. Tato skutečnost zapříčiňuje fakt, že laserový paprsek, který putuje směrem od optického média, tentokrát neprochází odrazným hranolem s polopropustným zrcadlem přímo, ale od zrcadla se odráží a pokračuje jiným směrem. Odražený paprsek je další dvojvypuklou spojnou čočkou ostřen do fotocitlivého senzoru, který plní významnou funkci při čtení zaznamenaných dat (kapitola 7.3) [5].

Při záznamu dat na zapisovatelná optická média je klíčový průchod světelného paprsku od laseru k záznamové vrstvě disku. Přítomností této vrstvy z organického barviva se zapisovatelné disky liší od lisovaných médií typu ROM [14], [49]. Podle barvy spodní strany optického disku lze určit, jaký typ organického barviva<sup>1</sup> byl pro výrobu záznamové vrstvy použit. První zapisovatelné disky s barvivem na bázi cyaninu mají zelenou až modrozelenou barvu. Žlutě zbarvená média využívají ftalocyanin. Média s azovou vrstvou se vyznačují modrým až fialovým odstínem zbarvení. Optické disky s označením Metal AZO a Advanced AZO mají v záznamové vrstvě částice kovu, což zvyšuje odrazivost. Jsou proto považovány za nejkvalitnější. Nad záznamovou vrstvou se vždy nachází odrazivá vrstva ze slitin zlata, popřípadě stříbra nebo hliníku.

<sup>1</sup> Disk ve skutečnosti získává svou charakteristickou barvu spojením barev odrazivé a záznamové organické vrstvy [5], [49].

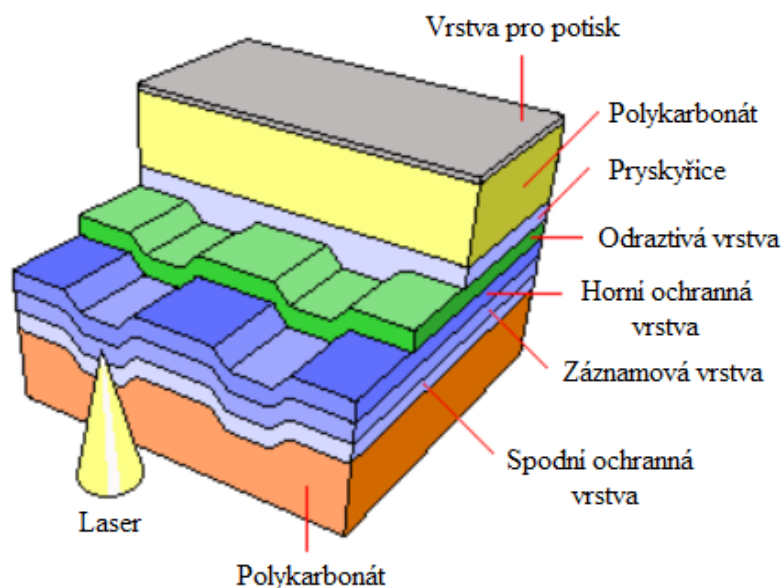


*Obrázek 7.5: Řez médiem CD-R s předlisovanými drážkami (stopami) pro záznam digitálních dat, tzv. pregroove [49]*

Samotný zápis dat je realizován laserovým paprskem takové intenzity, která způsobí spálení organického barviva [14]. Teplota na místě, kde laserový paprsek při zápisu dopadá, se pohybuje okolo 290 °C [5]. V závislosti na tom, zda laser vysílá, nebo nevysílá světelný paprsek směrem k médiu, pak dochází, nebo nedochází ke spalování záznamové vrstvy. Data jsou tedy převedena na blikání polovodičového laseru, což se poté v datových sektorech optického disku projeví jako posloupnost spálených a nespálených míst. Jelikož dochází ke spalování materiálu v záznamové vrstvě, hovoří se o zmíněném procesu jako o „vypalování“ dat. Tento proces je nevratný, takže jednou zapsané informace nelze nahradit jinými.

Jiná situace nastává v případě médií CD-RW, DVD+RW, DVD-RW, DVD-RAM, HD DVD-RW, HD DVD-RAM a BD-RE, která dovolují nahraná data přepsat jinými. Struktura těchto disků je složitější než v případě optických médií určených k jednorázovému zápisu (viz obrázek 7.6) [49]. Datová vrstva je v tomto případě tvořena barvivem umožňující fázové změny struktury a je z každé strany obklopena jednou ochrannou vrstvou. Dielektrika, jak se také tyto ochranné vrstvy označují, jsou izolanty, které zajišťují, aby mezi vrstvami nedocházelo k přechodu elektrického náboje, jenž při fázových změnách ve vrstvě s barvivem vzniká. Jejich dalším důležitým úkolem je ochlazování laserovým paprskem zahřáté záznamové vrstvy [14]. Záznamové vrstvy prepisovatelných optických médií jsou nejčastěji tvořeny kovovou slitinou AgInSbTe (stříbro, indium, antimon a tellur) [9], [49]. Jinou použitou látkou může být například kovová slitina GeSbTe (germanium, antimon a tellur), která tvoří záznamové médium optických disků typu DVD-RAM a Blu-ray [55].

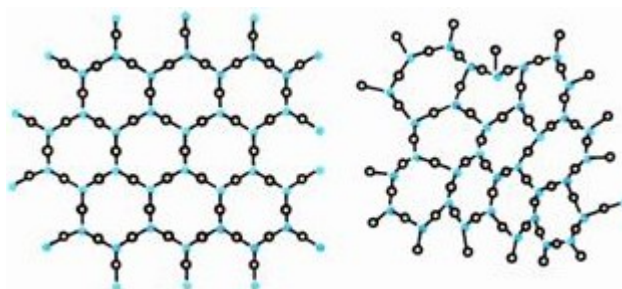




Obrázek 7.6: Struktura přepisovatelného disku typu DVD s předlisovanými drážkami [86]

Optické mechaniky pro přepisovatelné disky pracují s třemi intenzitami laseru [14]. Laser s nejnižším výkonem okolo 1 – 5 mW ( $P_1$ ) je využíván pro čtení [5]. Laserový paprsek o vyšší intenzitě ( $P_2$ ) slouží k záznamu krystalické fáze. K zápisu amorfnní fáze se používá laser o vysokém výkonu ( $P_3$ ).

Datová vrstva přepisovatelných optických médií má tu vlastnost, že při velmi vysokých teplotách, které způsobuje tepelné působení laseru, přechází z krystalické struktury (pravidelné uspořádání částic, stabilní) do struktury amorfnní (nepravidelné uspořádání částic, nestabilní) [14], [86]. Pokud je na určité místo v záznamové vrstvě zaostřen paprsek laseru, jenž je v režimu vysoké intenzity ( $P_3$ ), pak dochází k zahřátí tohoto místa na teplotu okolo 600 °C, což způsobí jeho roztavení [5], [86]. Molekuly záznamového materiálu se v tomto místě volně pohybují, roztavená část ztrácí svou původní polykrystalickou strukturu a stává se z něj materiál se strukturou amorfnní. V momentě, kdy dané místo již není ozařováno laserovým paprskem vysoké intenzity, dochází vlivem okolního prostředí k jeho prudkému ochlazení. Roztavená část záznamové vrstvy přechází do pevného stavu tak rychle, že nestihne dojít k vytvoření pravidelné krystalové mřížky [5], [87]. Krystalová mřížka popisuje geometrické uspořádání částic v krystalu.

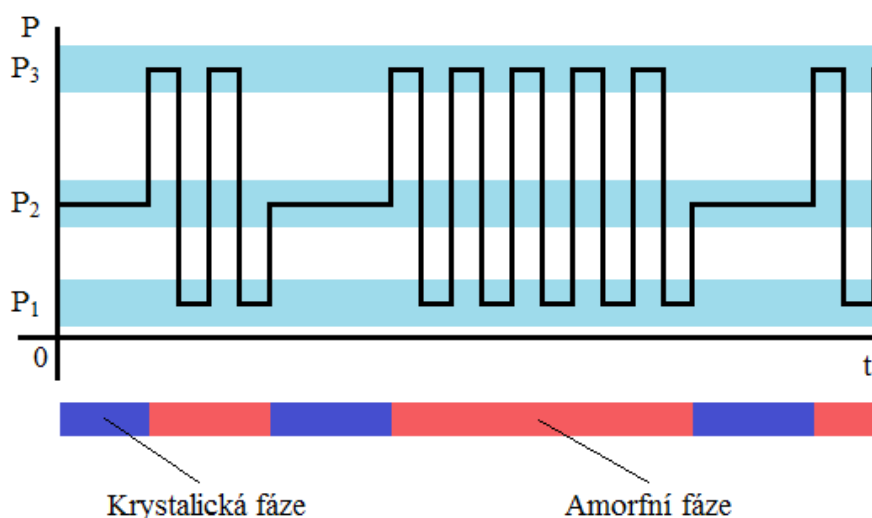


Obrázek 7.7: Příklad mřížek krystalické (vlevo) a amorfnní (vpravo) struktury látky [87]

Při zápisu krystalické fáze je laser v režimu středního výkonového nastavení ( $P_2$ ). Pokud je na určité místo v záznamové vrstvě zaostřen paprsek takového laseru, pak dochází k zahřátí příslušného místa na teplotu okolo 200 °C [5]. Tato teplota je podstatně nižší než teplota tání záznamového materiálu, ale dostačuje k tomu, aby došlo ke změknutí zahříváné části média. Protože v tomto případě probíhá následné ochlazování pomaleji než při zápisu amorfnní fáze, dochází k pravidelnému uspořádání krystalové mřížky. Záznamovému materiálu se tedy vrací zpět jeho původní polykrystalická struktura (krystalická fáze).

V závislosti na tom, zda na médium dopadá laserový paprsek o střední, nebo vysoké intenzitě, pak dochází k příslušné změně fáze jednotlivých míst záznamové vrstvy. Data jsou tedy převedena na změnu výkonu polovodičového laseru, což se poté v datových sektorech optického disku projeví jako posloupnost míst s krystalickou, nebo amorfnní fází. Změny výkonu laseru se vždy řídí pouze obrazem dat určených k uložení, takže zápis probíhá nezávisle na tom, jaká data jsou přepisována [5].

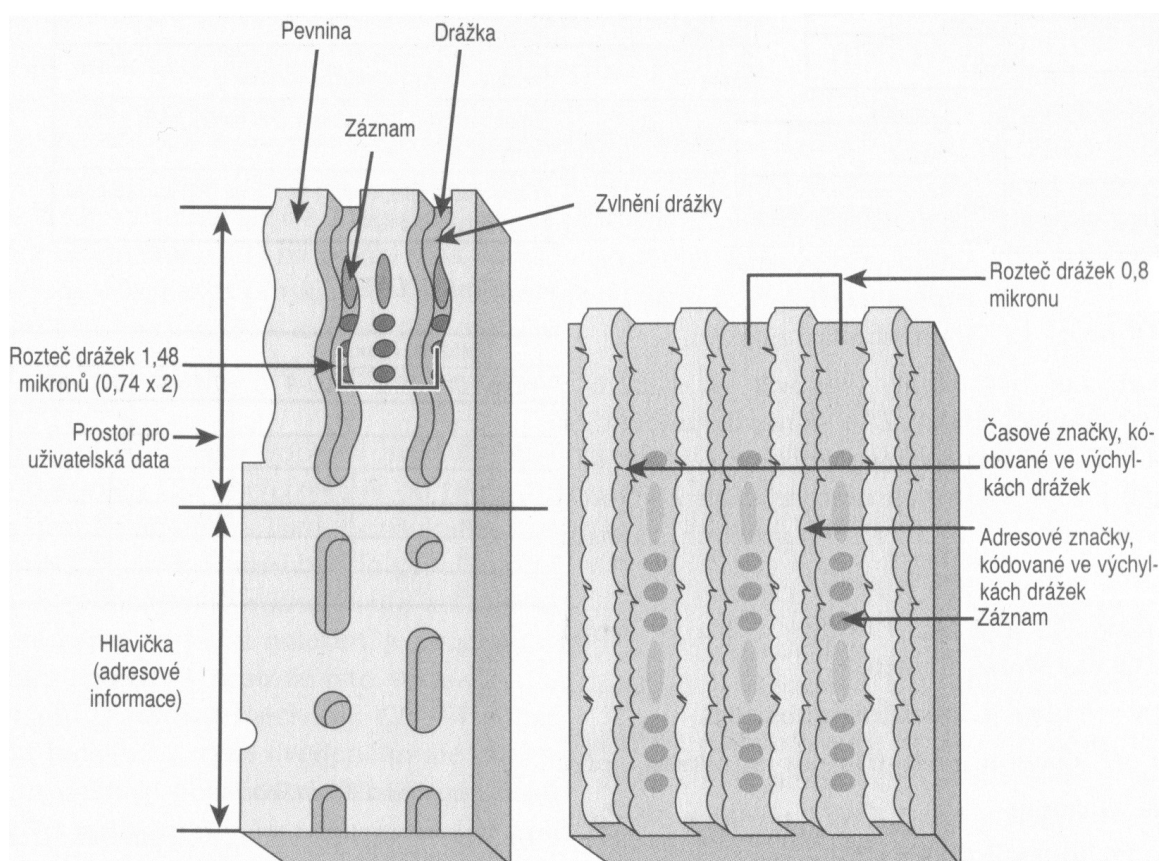
Během zápisu amorfnní fáze výkon polovodičového laseru ve skutečnosti osciluje mezi velmi vysokým ( $P_3$ ) a nízkým ( $P_1$ ) výkonem, který se používá pro čtení zaznamenaných dat (viz obrázek 7.8) [88]. Důvodem je skutečnost, že při stálém působení paprsku velmi vysoké intenzity by došlo k nevratné změně fáze na amorfnní, což je u přepisovatelných médií nežádoucí jev.



Obrázek 7.8: Průběh změn výkonu laseru během zápisu krystalických a amorfnních fází

Z obrázků 7.5 a 7.6 vyplývá, že světelný paprsek zapisuje data na CD a DVD do drážek, které se z pohledu laseru jeví jako výstupky (tato část se označuje jako land) [49]. Média DVD-RAM naproti tomu zapisují data také do prohlubní (tzv. groove) této předlisované stopy, což je jeden z důvodů nekompatibility DVD-RAM s klasickými DVD mechanikami [5]. Laserový paprsek je pak při čtení i zápisu ostřen střídavě na stopy typu land a stopy typu groove. Obrázek 7.9 ukazuje rozdíl mezi záznamem dat na DVD-RAM

a DVD-R. Další odlišností DVD-RAM je skutečnost, že v průběhu výroby jsou do média vylisována data, která tvoří hlavičky (adresové informace) sektorů. Tato adresová data jednotlivých sektorů tvoří na spodní straně média jasné viditelné značky. Předlisované drážky médií typu DVD a Blu-ray se nepatrně vychylují do stran, čímž vzniká linie připomínající sinusoidu (technologie wobbled groove – kmitající drážka) [5], [55]. Četnost vylisovaných výchylek<sup>1</sup> slouží optické mechanice k jejímu velmi přesnému časování.

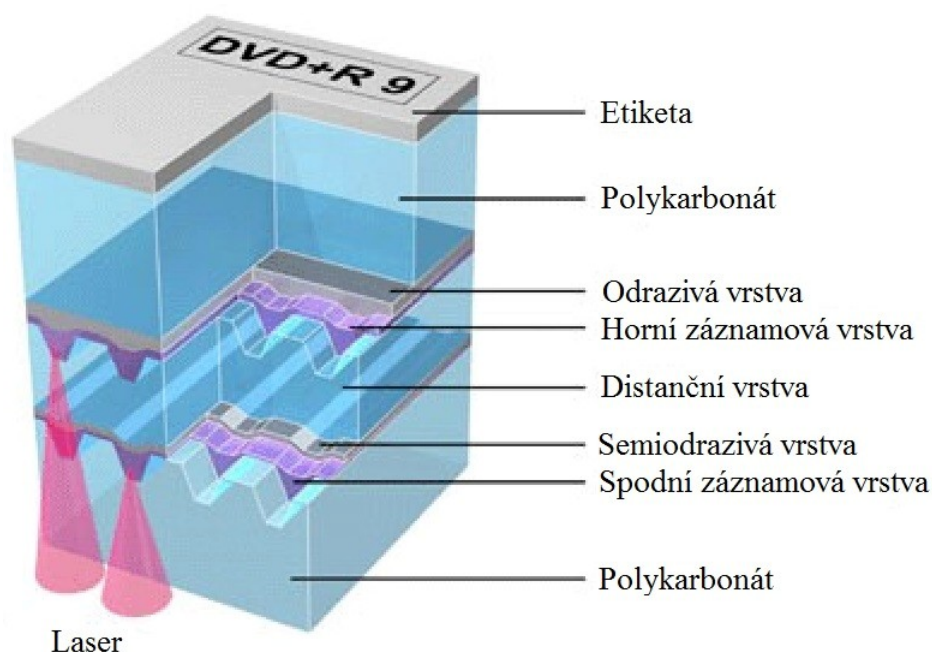


Obrázek 7.9: Rozdíly mezi záznamem dat na DVD-RAM (vlevo) a DVD-R (vpravo) [5]

Optické disky typu DVD a Blu-ray existují ve variantách s více záznamovými vrstvami [49], [55]. Typicky se lze setkat s dvouvrstvými médii s označením DL (Double/Dual Layer). Strukturu takového disku popisuje obrázek 7.10. Za první datovou vrstvou (z pohledu laseru) se kromě případných dielektrik nachází poloodrazivá vrstva, která část laserového paprsku odráží a část propouští dále. Nad druhou záznamovou vrstvou již leží klasická odrazivá vrstva. Mezi oběma vrstvami se ještě nachází tzv. distanční vrstva. Při zápisu a čtení je laserový paprsek ostřen na tu datovou vrstvu, s níž optická mechanika v danou chvíli pracuje. Při záznamu dat do horní (laseru vzdálenější) vrstvy prochází paprsek vrstvou spodní (blíže laseru). V místě průchodu je však rozostřen, takže nedochází k poškození dat zapsaných na spodní vrstvě média.

<sup>1</sup> Četnost předlisovaných výchylek je u médií DVD+R a DVD+RW vyšší než u DVD-R a DVD-RW, což zprvu způsobovalo problémy s kompatibilitou [5], [49].

Jelikož paprsek ztratí během průchodu spodní vrstvou část své intenzity, je horní vrstva o něco citlivější. Například u dvouvrstvých disků typu Blu-ray má spodní vrstva tloušťku 100 mikrometrů, zatímco horní vrstva pouze 75 mikrometrů. U každé z vrstev je používána jiná intenzita laserového paprsku [14]. Zápis dat probíhá nejdříve na spodní vrstvu, poté na vrstvu horní [49]. V horní vrstvě mohou být data zaznamenána směrem od kraje ke středu média. Také u dvouvrstvých optických disků jsou předlisované vodičí drážky zvlněny [55].



Obrázek 7.10: Řez dvouvrstvým diskem typu DVD+R [49]

### 7.3 Princip čtení dat z optických disků

Při čtení zaznamenaných informací z jakéhokoli druhu optického média je klíčový odraz světelného paprsku od kovové reflexní vrstvy disku do fotocitlivého senzoru optické mechaniky, což je znázorněno na obrázku 7.3 [14]. Základem je čtení dat z lisovaných disků.

Optické disky typu ROM mají ve svých datových sektorech landy a pity (z pohledu laseru jsou landy prohlubně a pity výstupky). Čtecí paprsek<sup>1</sup> prochází optickou soustavou a je zaostřen tak, aby s co největší přesností dopadal na oblasti typu land [3]. To znamená, že na místa typu pit dopadá laserový paprsek v mírně rozostřeném stavu. Od prohlubní, na něž je čtecí paprsek zaostřen, se světlo po stejné trajektorii odráží a hranolem s polopropustným zrcadlem je odkloněno do fotocitlivého detektoru. Od výstupků, na které čtecí laser zaostřen není, se do zmíněného fotocitlivého senzoru světlo sice také odráží, ovšem s mnohem menší intenzitou [5], [14]. Během čtení se optický disk otáčí

<sup>1</sup> Pokud může mít paprsek dané optické mechaniky více různých intenzit, pracuje při čtení v režimu nejslabšího výkonu [5].

a laserová dioda neustále emituje světlo na jeho povrch. Střídání výstupků a prohlubní nad čtecím paprskem se projevuje změnami intenzit odraženého světla. Fotocitlivý senzor na tyto změny reaguje tak, že světelné impulsy převádí na impulsy elektrické. Každý impuls pak odpovídá bitu o hodnotě 1, zatímco hodnota bitu 0 je reprezentována oblastmi beze změn. Délky a rozestupy jednotlivých prohlubní jsou tedy při čtení reprezentovány posloupností impulsů vydávaných fotocitlivým detektorem.

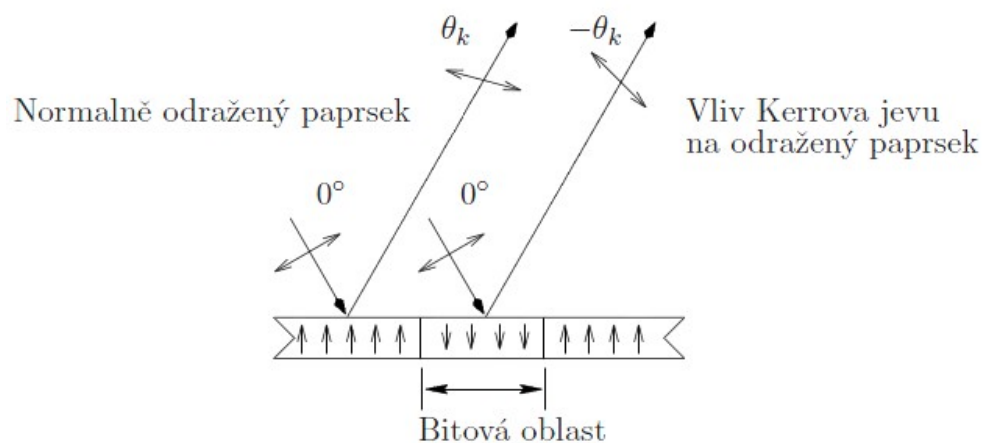
Takto získaný signál je ještě potřeba vhodně dekodovat, jelikož data nejsou na optickém disku zaznamenána přímo [14]. V případě čtení dlouhých posloupností nul by totiž mohlo dojít ke ztrátě synchronizace čtecí jednotky, takže by nebylo možné určit počet po sobě jdoucích pitů, nebo počet po sobě jdoucích landů. Fotocitlivý senzor navíc nedokáže spolehlivě detekovat dva za sebou jdoucí bity s hodnotou 1 (dvě náhlé změny intenzit odražených paprsků), takže kódování zaznamenávaných dat je stejně jako u magnetických typů pamětí nutností.

Při čtení dat z jednorázově zapisovatelných optických disků probíhá podobně. Čtecí paprsek se přes optickou soustavu dostává k médiu, od kterého se odráží k fotocitlivému senzoru s různou intenzitou [49]. Množství odraženého světla závisí na tom, zda paprsek dopadl na spálené, nebo nespálené místo s organickým barvivem. Od spálených částí záznamové vrstvy se světlo téměř neodráží. Naopak u nespálených míst může čtecí paprsek projít záznamovou vrstvou k vrstvě odrazivé, od níž se odráží zpět. Posloupnost a rozestupy spálených a nespálených míst se ve fotocitlivém senzoru opět mění na posloupnost elektrických impulsů. Odrazivost nespálených míst se pohybuje zhruba okolo 45 – 85 procent.

K diskům typu BD-R lze ještě doplnit, že zpočátku jejich existence byla datová vrstva tvořena anorganickým materiálem, který po spálení laserovým paprskem vyšší intenzity ztratil svou odrazivost, stejně jako tomu je u CD-R, DVD-R, DVD+R a HD DVD-R [89], [90]. Takovýto disk se označuje termínem High-to-Low (HTL nebo H2L). Záznamovou vrstvou novějších BD-R tvoří organický materiál, jehož odrazivost je od výroby velice nízká. Teprve záznamem dat v optické mechanice se odrazivost některých míst zvýší. Tyto novější disky nesou označení Low-to-High (LTH nebo L2H). Polarita signálu získaného při čtení disků LTH je opačná, takže starší mechaniky potřebují ke čtení novějších disků aktualizaci firmware.

Proces čtení prepisovatelných optických disků je opět prováděn laserovým paprskem v režimu nejslabšího výkonu. Analogii k pitům a landům tentokrát tvoří místa s krystalickou, nebo amorfní fází. Krystalická struktura záznamové vrstvy má odrazivost okolo dvaceti procent, přičemž od amorfní struktury se odráží asi jen pět procent světelného paprsku [5]. Jelikož odrazivost částí média s krystalickou fází je znatelně menší než odrazivost nespálených míst u jednorázově zapisovatelných médií, nastávaly problémy se čtením prepisovatelných kompaktních disků v optických mechanikách typu CD-ROM nebo CD-R.

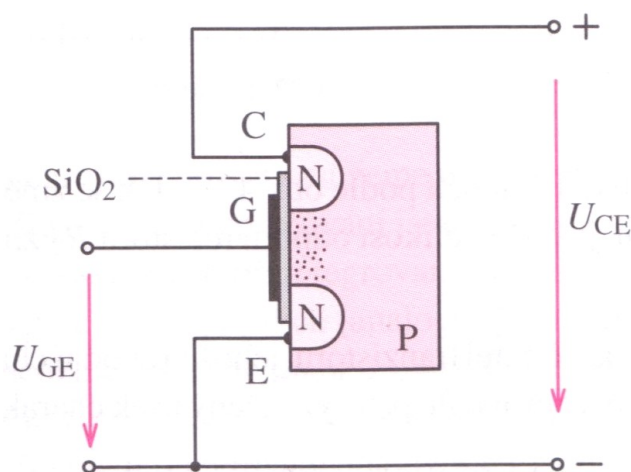
Podobný princip čtení je aplikován u magnetooptických disků [5]. Stejně jako u čtení ryze optických disků je i v případě disků magnetooptických laserový paprsek v režimu nízkého výkonu. Prochází optickou soustavou a dopadá na disk, od kterého se odráží. V tomto případě se senzorem nesleduje intenzita laserového paprsku, ale stáčení polarizované roviny světla. V závislosti na magnetické orientaci povrchu magneto-optického disku dochází k otáčení roviny polarizovaného světla ve směru hodinových ručiček, nebo proti jejich směru. Jedná se o tzv. Kerrův jev.



Obrázek 7.11: Kerrův jev [91]

## 8 Principy činnosti statických vnějších pamětí

Základním stavebním prvkem paměťových obvodů je polem řízený tranzistor typu MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor – polem řízený tranzistor s vrstvami kov – oxid – polovodič) [62]. Jedná se o polovodičový prvek s minimálně třemi<sup>1</sup> elektrodami (vývody), které se nazývají emitor (označují se také jako source, případně zkratkami E nebo S), kolektor (drain, C nebo D) a hradlo (gate, brána, G). V paměťových obvodech funguje tranzistor jako spínač, což je jeho nejjednodušší technická aplikace [93].



Obrázek 8.1: Unipolární tranzistor MOSFET typu NPN [27]

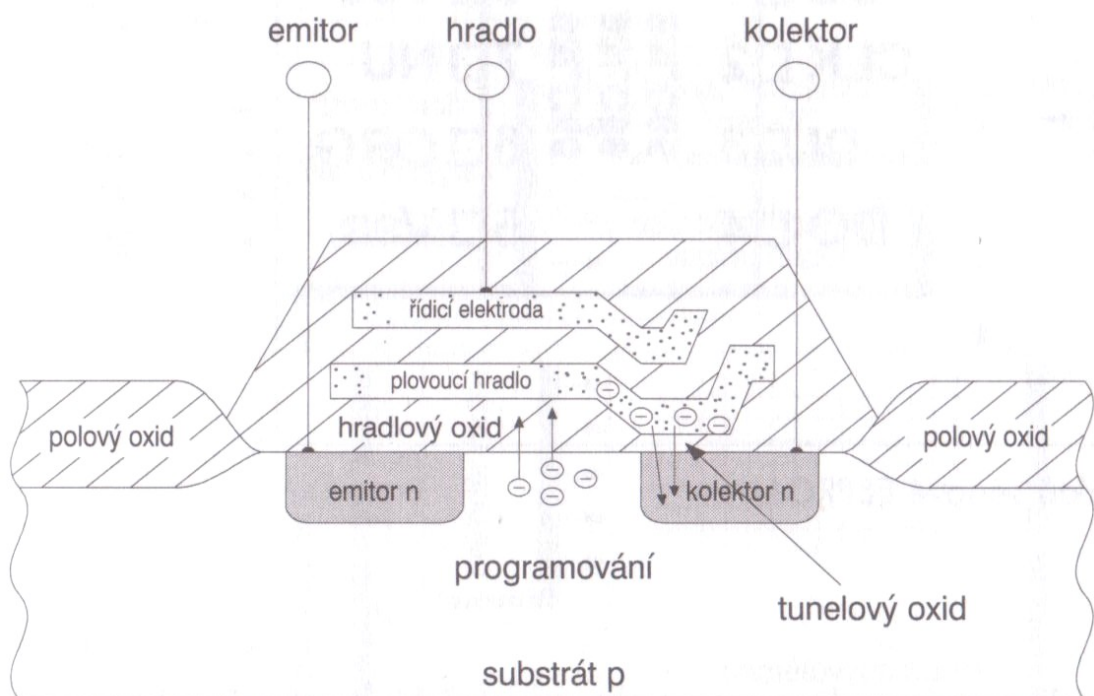
Unipolární tranzistor typu NPN na obrázku 8.1 se skládá z polovodiče typu P, v němž jsou většinovými nosiči náboje díry (kladné částice), a dvou polovodičů typu N, ve kterých v roli majoritního nosiče náboje naopak dominují elektrony (záporné částice) [27]. Na jeden z polovodičů s vodivostí typu N je připojen vývod emitoru, na druhý pak vývod kolektoru<sup>2</sup>. Řídící elektroda je přes kovovou vrstvu připojena k izolační vrstvě oxidu (nejčastěji  $\text{SiO}_2$  – oxid křemičitý [94]). Tato oxidová vrstva je umístěna v oblasti mezi oběma přechody typu PN.

Pokud je k elektrodám kolektoru (C) a emitoru (E) připojeno nenulové napětí  $U_{CE}$  a napětí  $U_{GE}$  mezi vývody řídicího hradla (G) a kolektoru naopak nulové je, prochází tranzistorem zanedbatelný proud [27], [92]. Stojí mu totiž v cestě dva přechody typu PN, přičemž jeden z nich je zapojen v závěrném směru (tzv. diodový jev). Je-li však k řídicí elektrodě připojeno kladné napětí  $U_{GE}$ , vytvoří na ní kladný náboj. Ten svým vzniklým elektrickým polem přitahuje minoritní elektrony a odpuzuje majoritní díry z polovodiče s vodivostí typu P, čímž se v blízkosti řídicí elektrody indukuje vodivý kanál. Tím dochází k propojení emitoru a kolektoru, kterými může procházet elektrický proud po dobu

1 U paměťových tranzistorů typu MOSFET bývá někdy vyvedena i čtvrtá elektroda (B), která se nazývá bulk nebo body (v češtině se používá označení substrát) [63], [92].

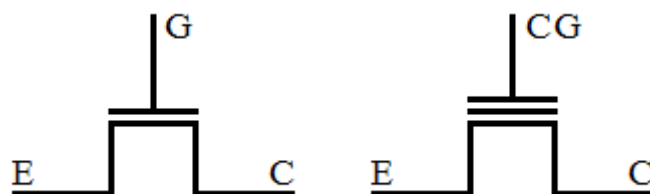
2 U tranzistorů typu MOSFET lze principiálně zaměnit emitor s kolektorem [92].

působení elektrického pole řídicí elektrody. Tranzistor se nyní nachází v tzv. sepnutém stavu. K sepnutí tranzistoru je potřeba, aby napětí přiváděné na řídicí elektrodu dosáhlo určité hodnoty [92]. Tato hodnota se nazývá prahové napětí  $U_T$ . Prahové napětí klasických tranzistorů je typicky neměnné.



Obrázek 8.2: Průřez tranzistorem paměťových buněk typu Flash [13]

U vnějších pamětí typu Flash jsou paměťové buňky tvořeny tranzistory s tzv. plovoucím hradlem (FG, floating gate) [13]. Řídicí elektroda se pak u těchto tranzistorů nazývá řídicí hradlo (CG, control gate). Uspořádání hradel a stavbu celého tranzistoru znázorňuje obrázek 8.2, z něhož je patrné, že k plovoucímu hradlu není připojen žádný elektrický kontakt, jelikož je toto hradlo ze všech stran izolováno oxidem. Řídicí i plovoucí hradla jsou ve většině případů tvořena stejným materiálem, jímž může být například polykrystalický křemík, který je průměrně dobrým vodičem elektrického proudu. Pro tranzistory s plovoucím hradlem platí, že mohou měnit své prahové napětí. Proměnné prahové napětí potřebné k sepnutí tranzistoru hraje při záznamu a čtení dat velmi důležitou roli.



Obrázek 8.3: Schematická značka tranzistoru typu MOSFET (vlevo) a paměťového tranzistoru s plovoucím hradlem (vpravo)



Existuje mnoho různých druhů tranzistorů, z nichž každý má svou schematickou značku [92]. Obrázek 8.3 znázorňuje běžně používané značení klasických tranzistorů typu MOSFET a tranzistorů s plovoucím hradlem v kontextu s popisem paměťových buněk a polí typu Flash [63].

### **8.1 Princip zápisu do paměťové buňky typu Flash**

V nenaprogramované buňce je od výroby zapsána hodnota bitu 1 [13]. Pro uvedení tranzistoru do stavu reprezentujícího hodnotu bitu 0 se uplatňuje proces, který se nazývá Fowler-Nordheimovo tunelování (vkládání) elektrického náboje [5]. Stejným jevem je doprovázena i změna uložené informace z 0 na 1 [63].

Při tzv. programování buňky typu Flash (změna z 1 na 0) je na řídicí elektrodu přiveden dostatečně velký potenciál programovacího napětí  $U_P$ , jehož velikost může být v závislosti na výrobci a výrobní technologii přibližně 10 – 20 voltů [13], [62], [63], [94]. Jedná se řádově o jednotky až desítky milisekund trvající impuls, během něhož vznikne na řídicí elektrodě kladný elektrický náboj, který svým vzniklým elektrickým polem přitahuje nosiče záporného náboje (elektrony) z polovodiče typu P. Programovací napětí  $U_P$  je dokonce tak velké, že přitahované elektrony proráží tenkou vrstvu izolujícího hradlového oxidu, čímž dochází k jejich přemístění do plovoucího hradla. Vtaženy jsou řádově desetitisíce elektronů. Po odpojení programovacího napětí od řídicí elektrody průchod elektronů hradlovým oxidem ustává. Plovoucí hradlo si však i nadále uchovává svůj získaný záporný náboj, jelikož elektrony, jež do něj byly vtaženy, jsou téměř dokonale izolovány. Přítomnost těchto elektronů v plovoucím hradle reprezentuje paměťovou buňku, v níž je uložena hodnota bitu 0.

Takto uloženou informaci lze vymazat reverzním procesem [13], [63], [94]. Na řídicí elektrodu je přivedeno opačné napětí ( $-U_P$ ), takže tentokrát se na ní nahromadí záporný náboj. Jelikož se částice se stejnými náboji odpuzují [27], mohou uložené elektrony opustit plovoucí hradlo [63]. Paměťový tranzistor typu Flash s takto vybitým plovoucím hradlem uchovává původní hodnotu bitu 1. Na obrázku 8.2 odtékají vložené elektrony přes tenký tunelový oxid do kolektoru [13]. Existují však i jiné druhy tranzistorových pamětí typu Flash, u kterých probíhají operace s paměťovými buňkami odlišně [63]. Například u tranzistorů se zapojenou čtvrtou elektrodou B (bulk) se při procesu mazání vrací elektrony zpět do substrátu, neboť je na něj přiváděn kladný elektrický náboj, jenž dostahuje ke zpětnému přetažení tzv. plovoucích elektronů přes hradlový oxid [63], [94].

Mazací napěťový impuls tranzistorové buňky s jakýmkoli typem zapojení a principem funkce nesmí být příliš velký a nesmí trvat příliš dlouho, jelikož by mohlo dojít k odstranění příliš velkého počtu plovoucích elektronů [13], [94]. Tím by bylo plovoucí hradlo nabito kladně, což by významně snížilo prahové napětí tranzistoru, který by pak nebyl schopen normálního provozu.

Zmíněnými procesy zápisu a mazání dat v podobě průchodu elektronů silikonovým dioxinem dochází k degradaci vlastností této izolační vrstvy [13], [62]. To je důvod, proč mají paměti typu Flash omezenou životnost z pohledu počtu přepisovacích cyklů. Po mnoha přepisech, které jsou doprovázeny účinky vysokého elektrického pole, dochází ke změně prahového napětí paměťového tranzistoru, což znemožňuje jeho správnou činnost.

Víceúrovňové buňky typu MLC nebo TLC umožňují vkládání elektrického náboje o různých velikostech [63], [64]. Množství elektronů v plovoucím hradle pak určuje vícebitovou hodnotu takovéto paměťové buňky. U dvoubitového paměťového tranzistoru reprezentuje hradlo bez náboje uloženou hodnotu 11 a ve zcela naprogramovaném stavu uchovává hodnotu 00 [60]. Kromě těchto dvou stavů existují další dva, při kterých je plovoucí hradlo téměř vymazáno (stav 10 – malý počet vložených elektronů), případně téměř naprogramováno (stav 01 – počet vložených elektronů se blíží maximální hodnotě, při níž paměťová buňka reprezentuje hodnotu 00). Vložení různého množství elektrického náboje do plovoucího hradla je realizováno prostřednictvím různého programovacího napětí [94].

## 8.2 Princip čtení paměťové buňky typu Flash

Nenaprogramovaná paměťová buňka typu Flash, která v plovoucím hradle nedrží žádný elektrický náboj, má prahové napětí  $U_T$ . Při jejím čtení je na řídicí elektrodu přivedeno napětí  $U_R$ , jehož hodnota je větší než  $U_T$ <sup>1</sup> [94]. Typicky se pro čtení používá napětí 5 voltů [63]. Tím dochází k překonání prahového napětí a sepnutí daného tranzistoru, jímž nyní může protékat elektrický proud. Ke kolektoru je připojen vodič s tzv. referenčním potenciálem  $U_S$  [13], [94]. Jeho hodnota bývá obvykle 1 – 2 V [63], [94]. Emitor je uzemněn. Elektrony putují z emitoru do kolektoru, čímž vyrovnávají rozdíl elektrického potenciálu obou elektrod [63], [94]. Vodič, který je připojen ke kolektoru, je tedy vybíjen (ztrácí svůj kladný náboj), což reprezentuje přečtení uložené hodnoty 1.

Paměťový tranzistor s elektrony uloženými v plovoucím hradle má vyšší prahové napětí  $U_{T2}$  než tranzistor bez náboje v plovoucím hradle [13], [63], [94]. Při procesu čtení paměťové buňky s uloženou hodnotou 0 je na řídicí hradlo opět přiloženo čtecí napětí  $U_R$ , přičemž platí, že  $U_T < U_R < U_{T2} < U_P$ . Elektrické pole kladného náboje v řídicím hradle však tentokrát nezpůsobí sepnutí tranzistoru. Pole řídicí elektrody je totiž odstíněno polem elektrického náboje v hradle plovoucím. Mezi emitorem a kolektorem tedy nedochází k vytvoření vodivého kanálu. Vodič, který je připojen ke kolektoru, tak nepřichází o svůj referenční potenciál  $U_S$ , což je vyhodnoceno jako přečtení uložené hodnoty 0.

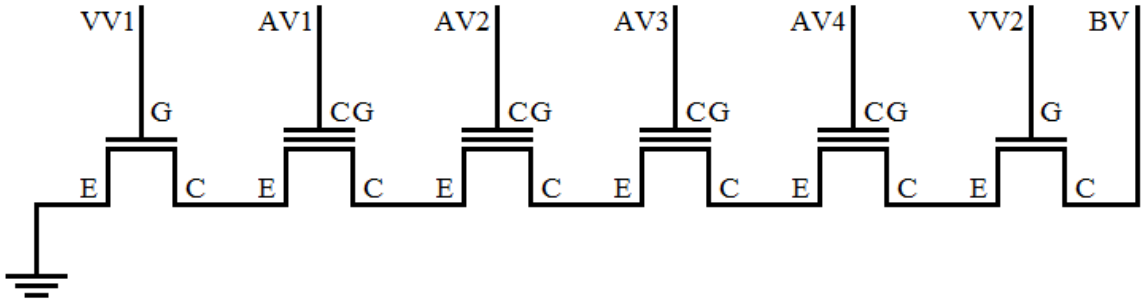
Čtení víceúrovňových paměťových buněk trvá déle, jelikož řadič paměťového zařízení musí zjišťovat, jakým čtecím napětím dojde k sepnutí daného tranzistoru [94].

---

1 Kromě označení  $U_T$ ,  $U_R$  apod. se lze setkat s anglickou obdobou značení, které vychází z anglického slova voltage (napětí) –  $V_T$ ,  $V_R$  a další [62].

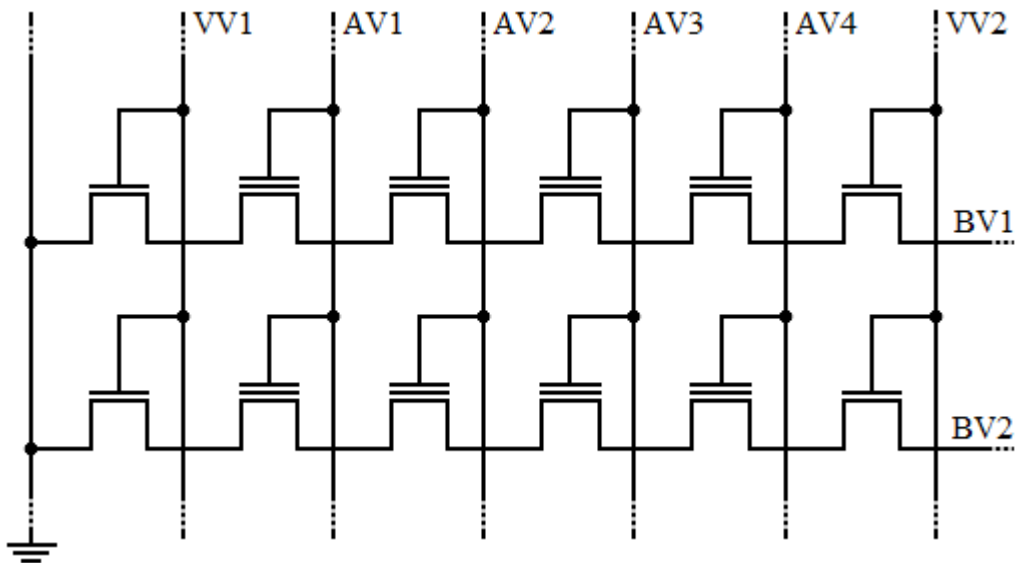
### 8.3 Princip zápisu do pole paměťových buněk typu Flash

Obrázek 8.4 dokumentuje, jakým způsobem jsou k sobě jednotlivé paměťové tranzistory připojeny. Jedná se o zapojení typu NAND. Názvem NAND se tato architektura označuje z toho důvodu, že zapojení tranzistorů připomíná strukturu stejnojmenného logického hradla [62].



Obrázek 8.4: Způsob zapojení čtyř paměťových tranzistorů do struktury typu NAND (*VV1, VV2* – výběrové vodiče; *AV1, AV2, AV3, AV4* – adresové vodiče; *BV* – bitový vodič; *G* – řídicí elektroda klasického tranzistoru typu MOSFET; *CG* – řídicí elektroda paměťového tranzistoru s plovoucím hradlem; *E* – emitor; *C* – kolektor)

Jednotlivé paměťové buňky jsou tvořeny k sobě zapojenými tranzistory [63], [71]. Kolektor prvního tranzistoru je propojen s emitorem tranzistoru sousedního atd. Tato linie je z obou stran zakončena tzv. výběrovými tranzistory. Jeden z nich slouží k připojení soustavy propojených paměťových buněk k uzemnění a druhý k připojení k vodiči s referenčním potenciálem. Tento vodič se nazývá bitový (bitline). Uzemněný vodič se označuje termínem source line nebo grounded source line. Ve schématu zapojení tranzistorů do pole typu NAND figurují ještě vodiče adresové, které propojují jednotlivé sloupce pod sebou nacházejících se paměťových buněk (viz obrázek 8.5).



Obrázek 8.5: Část bloku paměťového pole typu NAND o velikosti  $4 \times 2$

Řádek paměťové matice je označován termínem řetězec (string) a typicky jej mohou tvořit řádově desítky paměťových tranzistorů [63], [95]. Každý takovýto řetězec paměťových buněk má svůj vlastní bitový vodič. Sloupec maticového paměťového pole, který může obsahovat tisíce až desetitisíce tranzistorů, se nazývá stránka (page) a je nejmenší programovatelnou částí bloku. Všechny paměťové tranzistory dané stránky jsou svými řídicími elektrodami propojeny jedním adresovým vodičem, jenž nesdílí s žádnou další stránkou.

Při zápisu dat do stránky jednoho bloku je na právě jeden z adresových vodičů (je vybrán dekodérem) přivedeno programovací napětí  $U_P$ . Na ostatní adresové vodiče je přiváděno napětí  $U_C$ ,<sup>1</sup> které je dostatečné k tomu, aby způsobilo sepnutí všech připojených tranzistorů, tedy i těch naprogramovaných s vyšším prahovým napětím  $U_{T2}$  [63], [94]. Tím se z tranzistorů, do nichž nebude probíhat zápis, stávají prvky umožňující tok elektrického proudu. Dále jsou pak příslušným prahovým napětím sepnuty i všechny tranzistory, jejichž hradla jsou připojena k tzv. výběrovému vodiči pro zprostředkování přístupu k datovým vodičům (na obrázku 8.5 je tento výběrový vodič označen jako VV2). Pokud je bitový vodič příslušného řádku paměti uzemněn, dochází ve vybraném paměťovém tranzistoru na tomto řádku k procesu tunelování elektrického náboje, čímž je v buňce zapsána hodnota bitu 0. V opačném případě, kdy je na bitový vodič přiváděno dostatečně velké napětí (typicky alespoň 2 volty), nejsou elektrony v polovodiči typu P příslušného tranzistoru taženy řídicí elektrodou natolik, aby pronikly přes izolující hradlový oxid do plovoucího hradla. Paměťová buňka si tak uchová svou hodnotu bitu 1.

Data jsou do buněk ukládána přímo, nepoužívá se tedy žádné kódování jako v případě magnetických médií nebo optických disků. Po zápisu jsou data typicky ihned přečtena, aby byla potvrzena správnost provedeného zápisu [63].

Ve stránce, v níž má dojít k zápisu, nesmí být uložena žádná data [5]. Před každou modifikací zaznamenaných dat se maže celý příslušný blok, ve kterém má k přepisu informací dojít [64]. Výmaz zapsaných informací se provádí přivedením napětí  $-U_P$  na všechny adresové vodiče daného paměťového bloku [94].

#### **8.4 Princip čtení pole paměťových buněk typu Flash**

Čtení dat z bloků paměti typu Flash probíhá po stránkách [64]. Na dekodérem vybraný adresový vodič čtené stránky je přivedeno napětí  $U_R$ , které způsobí sepnutí tranzistorů s nižším prahovým napětím  $U_T$ , ale nestačí již na sepnutí naprogramovaných tranzistorů s vyšším prahovým napětím  $U_{T2}$  [63], [94]. Na ostatní adresové vodiče je přiváděno napětí  $U_C$ , které je dostatečné k tomu, aby způsobilo sepnutí všech připojených tranzistorů, tedy i těch naprogramovaných s vyšším prahovým napětím  $U_{T2}$ . Tím se z tranzistorů, z nichž nebude probíhat čtení, stávají prvky umožňující tok elektrického proudu. Dále jsou pak příslušným prahovým napětím sepnuty i všechny tranzistory, jejichž hradla jsou připojena

---

1 Při porovnání všech zmíněných hodnot napětí platí  $U_S < U_T < U_R < U_{T2} < U_C < U_P$ .

k jednomu z dvojice výběrových vodičů. Výběrový vodič slouží pro zprostředkování přístupu k uzemnění (na obrázku 8.5 je tento výběrový vodič označen jako VV1), případně pro zprostředkování přístupu k datovým vodičům (na obrázku 8.5 je tento výběrový vodič označen jako VV2). Na datové vodiče všech řádků je přiváděn referenční potenciál  $U_s$  [13], [94]. Díky tomuto nastavení paměťového bloku ztrácí datové vodiče, které se nacházejí v řádku se sepnutým tranzistorem čtené stránky, svůj kladný náboj. Naproti tomu datové vodiče nacházející se v řádku s tranzistorem, jehož větší prahové napětí  $U_{T2}$  nedovolilo jeho sepnutí, si svůj referenční potenciál i nadále uchovávají. Přítomnost, nebo nepřítomnost elektrického náboje v plovoucích hradlech paměťových tranzistorů čtené stránky se tedy na jednotlivých datových vodičích projevuje přítomností, nebo nepřítomností jejich referenčního potenciálu. Než je signál z bitových vodičů předán na výstup, dochází k jeho zesílení pomocí zesilovače [63].

## 9 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat různé typy vnějších pamětí, jejich vlastnosti, technickou realizaci a prostřednictvím animací zdokumentovat principy jejich činnosti, čehož bylo dosaženo pomocí zkušební verze programu Macromedia Flash 8 Professional. Tyto animace jsou optimalizovány pro rozlišení alespoň  $1366 \times 768$  pixelů.

Přínos práce spočívá v kompilaci informací z 22 knižních zdrojů a několika výukových materiálů českých i zahraničních univerzit. Vytvořené animace mohou sloužit jako učební pomůcka na středních a vysokých školách.

V budoucnu by mohla být práce rozšířena o popis výrobních technologií paměťových obvodů, případně o animace dokumentující princip funkce algoritmů pro ukládání dat z operační paměti do paměti vyrovnávací (cache) a jejich následné vyhledávání.

## 10 Literatura

- [1] *Arrow Electronics: Americas Components* [online]. 2011 [cit. 2013-05-21]. Components Search. Dostupné z: <http://components.arrow.com/part/search/%5E8/32/159>
- [2] RAYMOND, Robert. 1 Sun T10000 Tape Drive and Industry Tape Futures: Sun Microsystems. In: *THIC Inc.: The Premier Advanced Storage Technology Forum* [online]. Louisville, 2006 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.thic.org/pdf/July06/sun.raymond060718.pdf>
- [3] HORÁK, Jaroslav. *Hardware: učebnice pro pokročilé*. 3. aktualizované vydání. Brno: CP Books, 2005. 344 s. ISBN 80-251-0647-0.
- [4] DONAL, Vlastislav. Efektivní využívání DB: Datová úložiště. [online]. 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1433/jaro2013/PA152/um/slides02-datova-uloziste.pdf>
- [5] MUELLER, Scott. *Osobní počítač: hardware, upgrade, opravy*. 1 vyd. Překlad Milan Daněk. Brno: Computer Press, 2003, xxv, 862 s. Hardware. ISBN 80-722-6796-5.
- [6] BRANDEJS, Michal. *Michal Brandejs: soukromá www stránka* [online]. 2010 [cit. 2013-05-21]. PB151 - Výpočetní systémy. Dostupné z: [http://www.fi.muni.cz/usr/brandejs/PB151/brandejs\\_vypocetni\\_systemy\\_beamer.pdf](http://www.fi.muni.cz/usr/brandejs/PB151/brandejs_vypocetni_systemy_beamer.pdf)
- [7] MINASI, Mark. *IBM PC: velký průvodce hardware*. První vydání. Praha: Grada, 1992. 584 s. ISBN 80-85424-94-0.
- [8] MUELLER, Scott. *Osobní počítač: upgrade, servis a opravy*. Vyd. 1. Překlad Luděk Horčíčka, Tomáš Šimek. Praha: Computer Press, 1999, 1095 s. Hardware (Computer Press). ISBN 80-722-6166-5.
- [9] MINASI, Mark. *Velký průvodce hardwarem*. 1. vyd. Jaroslav Černý. Petr Novotný. Praha: Grada Publishing, 2002, 763 s. Profes!onal. ISBN 80-247-0273-8.
- [10] The Floppy Disk: Technical Breakthroughs. *IBM100* [online]. 2011 [cit. 2013-06-11]. Dostupné z: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/floppy/breakthroughs/>
- [11] HORÁK, Jaroslav. *Hardware: učebnice pro pokročilé*. Vydání první. Brno: Computer Press, 2001, 365 s. ISBN 80-722-6553-9.
- [12] The Floppy Disk: Transforming the World. *IBM100* [online]. 2011 [cit. 2013-06-11]. Dostupné z: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/floppy/transform/>

- [13] MESSMER, Hans-Peter a Klaus DEMBOWSKI. *Velká kniha hardware: [architektura, funkce, programování]*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 1224 s. ISBN 80-251-0416-8.
- [14] DEMBOWSKI, Klaus. *Mistrovství v hardware*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2009, 712 s. ISBN 978-80-251-2310-2.
- [15] 1<sup>st</sup> PC Corp.: Peripherals. [online]. 2011 [cit. 2013-08-07]. Dostupné z: [http://www.1stpcorp.com/peripherals\\_all.htm](http://www.1stpcorp.com/peripherals_all.htm)
- [16] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Magnetické paměti s rotujícím médiem. *Root.cz: Informace nejen ze světa Linuxu* [online]. 2008 [cit. 2013-08-07]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/magneticke-pameti-s-rotujicim-mediem/>
- [17] VESELÍK, Patrik. Pozor pozor, disk LS240 přichází. *Živě.cz: O počítačích, IT a internetu* [online]. 2001 [cit. 2013-08-07]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/pozor-pozor-disk-ls240-prichazi/sc-3-a-27675>
- [18] Iomega begins to ship 750 M Zip. *DPreview* [online]. 2002 [cit. 2013-08-08]. Dostupné z: <http://www.dpreview.com/news/2002/8/18/iomega750mbzip>
- [19] Disky - Alfa.cz: ALFA COMPUTER. *ALFA.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-08-19]. Dostupné z: <http://www.alfacomp.cz/php/index.php?eid=15L14507H>
- [20] iPod Classic. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013, 14.08.2013 [cit. 2013-08-19]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/iPod\\_Classic](http://en.wikipedia.org/wiki/iPod_Classic)
- [21] Hard drives. *ESCOTAL.COM: computer training in chicago and the chicagoland area* [online]. 2012 [cit. 2013-08-20]. Dostupné z: <http://www.escotal.com/harddrive.html>
- [22] How a Head Crash Results in Permanent Data Loss. *MICROCOM: Worldwide Data Recovery* [online]. 2013 [cit. 2013-08-20]. Dostupné z: [http://www.data-master.com/HeadCrash-explain-hard-disk-drive-fail\\_Q18.html](http://www.data-master.com/HeadCrash-explain-hard-disk-drive-fail_Q18.html)
- [23] AFC Media: Extending the Limits of Longitudinal Recording. *HGST: a Western Digital company* [online]. 2007, 07.09.2012 [cit. 2013-08-20]. Dostupné z: [www.hgst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/A1A6AED793873C8B862570310072CB97/\\$file/AFC\\_Media\\_FINAL.pdf](http://www.hgst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/A1A6AED793873C8B862570310072CB97/$file/AFC_Media_FINAL.pdf)
- [24] Cheetah 15K.5: Mainstream enterprise hard drive storage. SEAGATE TECHNOLOGY LLC. *Seagate* [online]. 2007 [cit. 2013-08-21]. Dostupné z: <http://www.seagate.com/files/docs/pdf/en-GB/datasheet/disc/ds-cheetah-15k-5-gb.pdf>
- [25] MINASI, Mark. *Pevné disky od A do Z*. Překlad Jana Valíčková. Praha: Grada, 1992, 471 s. ISBN 80-856-2335-8.



- [26] Ultrastar He<sup>6</sup>: Product Summary. HGST, Inc. *HGST: a Western Digital company* [online]. 2013 [cit. 2013-11-09]. Dostupné z: [http://www.hgst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/F8B3820BADAD9E6588257C160032F257/\\$file/HeliumProductSummary\\_final.pdf](http://www.hgst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/F8B3820BADAD9E6588257C160032F257/$file/HeliumProductSummary_final.pdf)
- [27] LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. *Fyzika: Elektřina a magnetismus*. 5. přepracované vydání. Praha: Prometheus, 2000, 342 s. ISBN 80-719-6202-3.
- [28] CHARLES, Kozierok. Hard Disk Read/Write Head Technologies: Metal-In-Gap (MIG) Heads. *The PC Guide* [online]. 2001 [cit. 2013-08-26]. Dostupné z: [http://www.pcguid.com/ref/hdd/op/heads/tech\\_MIG.htm](http://www.pcguid.com/ref/hdd/op/heads/tech_MIG.htm)
- [29] CHARLES, Kozierok. Hard Disk Read/Write Head Technologies: (Anisotropic) Magnetoresistive (MR/AMR) Heads. *The PC Guide* [online]. 2001 [cit. 2013-08-26]. Dostupné z: <http://www.pcguid.com/ref/hdd/op/heads/techMR-c.html>
- [30] Hitachi Global Storage Technologies: Recording Head/ Head Materials. *HITACHI: Inspire the Next* [online]. 2010 [cit. 2013-08-26]. Dostupné z: [https://www1.hgst.com/hdd/research/recording\\_head/headmaterials/index.html](https://www1.hgst.com/hdd/research/recording_head/headmaterials/index.html)
- [31] Desktop HDD: The Power of One. *SEAGATE TECHNOLOGY LLC: Seagate* [online]. 2012 [cit. 2013-08-27]. Dostupné z: <http://www.seagate.com/files/www-content/product-content/barracuda-fam/desktop-hdd/barracuda-7200-14/en-gb/docs/desktop-hdd-data-sheet-ds1770-1-1212gb.pdf>
- [32] Enterprise Capacity 3.5 HDD: Supersize your enterprise storage. *SEAGATE TECHNOLOGY LLC: Seagate* [online]. 2012 [cit. 2013-08-27]. Dostupné z: <http://www.seagate.com/files/www-content/product-content/constellation-fam/constellation-es/constellation-es-3/en-gb/docs/constellation-es-3-data-sheet-ds1769-1-1210gb.pdf>
- [33] DONAL, Vlastislav. Efektivní využívání DB: Úvod. [online]. 2013 [cit. 2013-08-27]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1433/jaro2013/PA152/um/slides01-uvod.pdf>
- [34] Enterprise Performance 15K HDD: Boost drive performance Double storage capacity. *SEAGATE TECHNOLOGY LLC: Seagate* [online]. 2013 [cit. 2013-08-29]. Dostupné z: <http://www.seagate.com/files/www-content/product-content/savvio-fam/enterprise-performance-15k-hdd/savvio-15k-4/en-gb/docs/enterprise-performance-15k-hdd-ds1797-1-1307gb.pdf>
- [35] ŠERÝ, Martin. *Význam gigantické magnetorezistence pro zvýšení kapacity disků a datových úložišť*. Plzeň, 2011. 49 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření. Vedoucí práce Ing. Jan Mayer.

- [36] LEBER, Jody. *WINDOWS NT: Zálohování a obnova dat*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 1998, 282 s. ISBN 80-722-6123-1.
- [37] Pásková úložiště opět vzkvétají. *COMPUTERWORLD: UCELENÝ INFORMAČNÍ ZDROJ PRO IT PROFESIONÁLY*. 2013, XXIV, č. 12.
- [38] Helical scan definition: PC Magazine Encyklopedia. THE COMPUTER LANGUAGE COMPANY INC. *PCMag.com: Technology product reviews, News, Prices & Downloads* [online]. 1981-2013 [cit. 2013-09-09]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/44196/helical-scan>
- [39] Páskové jednotky a skříně: HP Česká republika. *HP: Česká republika* [online]. 2013 [cit. 2013-09-10]. Dostupné z: <http://www8.hp.com/cz/cs/products/tape-drives-enclosures/index.html#!view=column&page=2>
- [40] Stručně o zálohování a archivaci dat. ČASOPIS IT SYSTEMS. *SystemOnLine: S přehledem ve světě informačních technologií* [online]. 2001-2013 [cit. 2013-09-12]. ISSN 1802-615X. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/clanky/strucne-o-zalohovani-a-archivaci-dat.htm>
- [41] MiniDisc: Physical characteristics. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-10-13]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/MiniDisc>
- [42] Bezpečnostní fólie na neprůstředná skla: Madico. MADICO. *Madico: okenní fólie vysoké kvality* [online]. 2013 [cit. 2013-09-14]. Dostupné z: <http://www.madico.cz/aktuality/bezpecnostni-folie-na-neprustrelna-skla/>
- [43] GENERAL ELECTRIC COMPANY. GE Global Research: Quarterly Technology Report. *General Electric Global Research: Quarterly Technology Report* [online]. 2011, roč. 2, č. 3 [cit. 2013-09-14]. Dostupné z: [http://files.geglobalresearch.com/pdf/quarterly\\_technology\\_reports/ge\\_qtr\\_fall\\_2011.pdf](http://files.geglobalresearch.com/pdf/quarterly_technology_reports/ge_qtr_fall_2011.pdf)
- [44] CD-ROM: Википедия. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2009 [cit. 2013-09-27]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CD-vizitka.jpg>
- [45] CD-R vizitka 50 MB/5min: COMPUTER STORE, Váš dodavatel hardwaru, softwaru a datových nosičů. DAMEDIS, s.r.o. *COMPUTER STORE: Váš dodavatel hardwaru, softwaru a datových nosičů*. [online]. 2012 [cit. 2013-09-27]. Dostupné z: [http://www.cstore.cz/eshop/detail/CD-R\\_vizitka\\_50\\_MB\\_5min.html](http://www.cstore.cz/eshop/detail/CD-R_vizitka_50_MB_5min.html)

- [46] Mini CD: Formats. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-10-04]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Mini\\_CD](http://en.wikipedia.org/wiki/Mini_CD)
- [47] Mini DVD. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-10-07]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/MiniDVD>
- [48] Dvd: Formaten. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-10-07]. Dostupné z: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Dvd>
- [49] DEDEK, Jan. *Vypalovačky a vypalovací média CD a DVD*. Vydání první. Brno: Computer Press, 2006, 157 s. ISBN 80-251-0946-1.
- [50] Scientific Data: The M-DISC. M-DISC. *M-DISC: YOUR LIFE. ENGRAVED IN STONE* [online]. 2013 [cit. 2013-10-08]. Dostupné z: <http://www.mdisc.com/proving-ground/>
- [51] JIM TAYLOR, Mark R a [přeložil Tomáš ZNAMENÁČEK]. *Velký průvodce DVD: jedinečný zdroj všech dostupných informací o DVD na profesionální úrovni*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN 80-247-1721-2.
- [52] Learn More About Blu-Ray & HD DVD: PureVideo Zone. NVIDIA CORPORATION. *NVIDIA: World Leader in Visual Computing Technologies* [online]. 2003-2006 [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: [http://www.nvidia.com/object/pvzone\\_learnmorebdhd\\_home.html](http://www.nvidia.com/object/pvzone_learnmorebdhd_home.html)
- [53] DVD Forum White Paper: HD DVD Format Overview. DVD FORUM. *DVD Forum Official Website* [online]. ver1.10. 2007, June 30, 2007 [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: [http://dvdforum.org/images/DVD-Forum-070605\\_ENG\\_rev110.pdf](http://dvdforum.org/images/DVD-Forum-070605_ENG_rev110.pdf)
- [54] BBC News: Toshiba climbs on 'HD DVD exit'. BBC. *BBC: News* [online]. 2008, 18 February 2008 [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/7250068.stm>
- [55] White Paper Blu-ray Disc™ Format: General. BLU-RAY DISC ASSOCIATION. *Blu-ray Disc™: Global* [online]. 3rd Edition. 2012, December, 2012 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: [http://blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/white\\_paper\\_general\\_3rd\\_dec%202012\\_20121210.pdf](http://blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/white_paper_general_3rd_dec%202012_20121210.pdf)
- [56] 500GB Blu-ray Disc now feasible.: For journalists. PIONEER EUROPE. *Pioneer: Europe* [online]. 2008 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: [http://www.pioneer.eu/eur/newsroom/news/news/500GB\\_Bluray/page.html](http://www.pioneer.eu/eur/newsroom/news/news/500GB_Bluray/page.html)

- [57] PIONEER ELECTRONICS (USA) INC. *Computer Devices: Pioneer Electronics USA* [online]. 2012 [cit. 2013-10-19]. Dostupné z: <http://www.pioneerelectronics.com/PUSA/Computer/Computer+Drives/>
- [58] LightScribe. HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P. *LightScribe: DIRECT DISC LABELING* [online]. 2005 [cit. 2013-10-19]. Dostupné z: [http://www.lightscribe.com/images/view\\_fullMode\\_holidaymusic.jpg](http://www.lightscribe.com/images/view_fullMode_holidaymusic.jpg)
- [59] Solid State Drives (SSDs): Overview, Benefits, and Applications. PESIC, Yelena. SUPER TALENT TECHNOLOGY, Inc. *Super Talent Technology: SSD Memory and Flash* [online]. 1.1. San Jose, 2008, 26.2.2008 [cit. 2013-10-19]. Dostupné z: [http://www.supertalent.com/datasheets/SSD\\_WHITEPAPER.pdf](http://www.supertalent.com/datasheets/SSD_WHITEPAPER.pdf)
- [60] SLC vs. MLC: An Analysis of Flash Memory: Examining the Quality of Memory: Understanding the Differences between Flash Grades. SUPER TALENT TECHNOLOGY, Inc. *Super Talent Technology: SSD Memory and Flash* [online]. San Jose, 2008, 20.3.2008 [cit. 2013-10-19]. Dostupné z: [http://www.supertalent.com/datasheets/SLC\\_vs\\_MLC%20whitepaper.pdf](http://www.supertalent.com/datasheets/SLC_vs_MLC%20whitepaper.pdf)
- [61] Flash Memory Guide: Portable Flash memory for computers, digital cameras, mobile phones and other devices. KINGSTON TECHNOLOGY CORPORATION. *Kingston Technology: SD Cards, SSDs, Memory Modules and USB Flash Drives* [online]. 2012 [cit. 2013-10-19]. Dostupné z: <http://media.kingston.com/pdfs/FlashMemGuide.pdf>
- [62] PREDKO, Myke. *Digitální elektronika: průvodce pro samouky*. Vydání 1. Překlad Miloš Machat. Brno: Computer Press, 2008, 295 s. ISBN 97880-251-2124-5.
- [63] BREWER, Joe a Manzur GILL. *Nonvolatile memory technologies with emphasis on Flash: a comprehensive guide to understanding and using NVM devices*. Hoboken, N.J.: Wiley, c2008, xxv, 759 p. IEEE Press series on microelectronic systems. ISBN 04-717-7002-7. Dostupné z: <http://library.riphah.edu.pk/books%5Ccs%5CComputer%5CNonvolatile.pdf>
- [64] MOULTON, Scott. *SSD/Flash vs. Hard Drives: SSD Solid State Drives and How They Work*. (přednáška) Toronto, Canada : SecTor 2011 Conference, 2011.
- [65] Paměťové karty: Alza.cz. ALZA.CZ, a.s. *Alza.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-10-24]. Dostupné z: <http://www.alza.cz/pameti/pametove-karty/18843034.htm>
- [66] Using SDXC: SD Association. SD ASSOCIATION. *SD: SD Association* [online]. 2013 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: [https://www.sdcard.org/consumers/sdxc\\_capabilities/using\\_sdxc/](https://www.sdcard.org/consumers/sdxc_capabilities/using_sdxc/)

- [67] Secure Digital: Types of cards. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-10-24]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Secure\\_Digital](http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital)
- [68] Kingwin KWCR-901 All-in-One USB 2.0 Flash Card Reader/Writer - Memory Stick, Memory Stick Duo, CompactFlash (CF) Card, Microdrive, Secure Digital (SD) Card, MultiMediaCard (MMC), SmartMedia, xD-Picture Card - USB 2.0: Rakuten.com. BUY.COM INC. DBA RAKUTEN.COM SHOPPING. *Rakuten.com: Computers, Electronics, Digital Cameras, Books, DVDs, Music, Games, Software, Toys, Sports* [online]. 1997-2013 [cit. 2013-10-24]. Dostupné z: <http://www.rakuten.com/prod/kingwin-kwcr-901-all-in-one-usb-2-0-flash-card-reader-writer-memory/215958834.html>
- [69] Flashdisk, přenosné USB disky: Alza.cz. ALZA.CZ, a.s. *Alza.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-10-24]. Dostupné z: <http://www.alza.cz/pameti/prenosne-flashdisk/18842861.htm>
- [70] ReadyBoost: Microsoft Windows. MICROSOFT CORPORATION. *Windows: Microsoft Windows* [online]. 2013 [cit. 2013-10-24]. Dostupné z: <http://windows.microsoft.com/en-us/windows7/products/features/readyboost>
- [71] Technical Note: An Introduction to NAND Flash. MICRON TECHNOLOGY, Inc. *Micron Technology, Inc.: DRAM, NAND Flash, NOR Flash, MCP, Hybrid Memory Cube, SSD* [online]. 2006 [cit. 2013-10-24]. Dostupné z: [https://www.micron.com/~media/Documents/Products/Technical Note/NAND Flash/tn2919\\_nand\\_101.pdf](https://www.micron.com/~media/Documents/Products/Technical%20Note/NAND%20Flash/tn2919_nand_101.pdf)
- [72] MURUGAN, Muthukumar. IEEE. *IEEE ... Symposium on Mass Storage Systems and Technologies: Rejuvenator: A static wear leveling algorithm for NAND flash memory with minimized overhead*. Minneapolis, USA: University Of Minnesota, 2011. ISBN 2160-195X. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5937225>
- [73] Alza.cz. ALZA.CZ, a.s. *Alza.cz: SSD Disky* [online]. 2013 [cit. 2013-10-25]. Dostupné z: <http://www.alza.cz/pevne-disky/ssd-bez-mech-casti/18845887.htm>
- [74] KIM, Giryong a Dongkun SHIN. *Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT), 2011 6th International Conference on: Performance analysis of SSD write using TRIM in NTFS and EXT4*. S.l.: [s.n.], 2011, 422 - 423. ISBN 9781457704727. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6316651>

- [75] Magnetické pole. *Výukový portál: Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno* [online]. Brno, 2012, 17.6.2012 [cit. 2013-11-27]. Dostupné z: [http://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7452/mod\\_resource/content/1/Magnetické pole.pdf](http://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7452/mod_resource/content/1/Magnetické_pole.pdf)
- [76] Test sedmi disků SATA 500GB: Technologie kolmého zápisu. ŠULC, Tomáš. EMPRESA MEDIA, a.s. *PCTuning* [online]. 2007, 24.5.2007 [cit. 2013-11-17]. Dostupné z: [http://pctuning.tyden.cz/hardware/disky-cd-dvd-br/8852-test\\_sedmi\\_disku\\_sata\\_500gb?start=2](http://pctuning.tyden.cz/hardware/disky-cd-dvd-br/8852-test_sedmi_disku_sata_500gb?start=2)
- [77] Fyzika: Nobelova cena za malé pevné disky. KHUDHUR. *Science World.cz: Novinky ze světa vědy a techniky: technologie, neživá příroda, člověk, biologie* [online]. 2007, 11.10.2007 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/nobelova-cena-za-male-pevne-disky-840/>
- [78] Spintronika: PORT TV. PULTAROVÁ, Tereza. ČESKÁ TELEVIZE. *Česká televize* [online]. 2011, 6. 5. 2011 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10121359557-port/694-spintronika/video/>
- [79] GMR senzory mag. pole - 1. díl - princip a struktura: Automatizace.HW.cz. VOJÁČEK, Antotnín. HW SERVER, s.r.o. *Elektronika v automatizaci: rady a poslední novinky v oboru* [online]. 2011, 12. 7. 2011 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/gmr-senzory-mag-pole-1-dil-princip-a-struktura>
- [80] GMR: A Giant Leap for IBM Research. INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION. *IBM: Research* [online]. 2004, 16.3.2004 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://www.research.ibm.com/research/gmr.html>
- [81] COEY, J. *Magnetism and magnetic materials*. 1st pub. New York: Cambridge University Press, 2010, xii, 614 s. ISBN 978-0-521-81614-4.
- [82] GMR senzory mag. pole - 3. díl – čtecí hlavy harddisků: Automatizace.HW.cz. VOJÁČEK, Antotnín. HW SERVER, s.r.o. *Elektronika v automatizaci: rady a poslední novinky v oboru* [online]. 2011, 12. 7. 2011 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/gmr-senzory-mag-pole-3-dil-cteci-hlavy-harddisku>
- [83] VAŇATKA, Marek. *Magnetické multivrstvy pro aplikace ve spintronice*. Brno, 2013. 57 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. MICHAL URBÁNEK, Ph.D.
- [84] Blu-ray Disc: Physical media. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-11-21]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Blu-ray\\_Disc](http://en.wikipedia.org/wiki/Blu-ray_Disc)

- [85] LEPIL, Oldřich. *Fyzika: Optika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, c2002, 205 s., [8] s. obr. příl. ISBN 978-807-1962-373.
- [86] DVD+RW. *PCTechGuide.com: We Share What We Learn* [online]. 2013 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z: <http://www.pctechguide.com/dvd/dvdrw>
- [87] BARTUŠKA, Karel a Emanuel SVOBODA. *Fyzika: Molekulová fyzika a termika*. 4. přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000, 244 s. ISBN 80-719-6200-7.
- [88] Jak funguje zápis na CD-RW: Diit. BARTOŇ, Martin. CD-R SERVER, s.r.o. *DIIT: Informace a novinky o hardware, software a internetu* [online]. 1999 [cit. 2013-11-25]. Dostupné z: <http://diit.cz/clanek/jak-funguje-zapis-na-cd-rw>
- [89] BD-R LTH type: Product introduction. VERBATIM CORPORATION. *Verbatim: Technology you can trust* [online]. 2010, 18.08.2010 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: [http://www.verbatim-europe.cz/cz\\_17/binarydata\\_bd-r-lth-type-product-information\\_7040.pdf](http://www.verbatim-europe.cz/cz_17/binarydata_bd-r-lth-type-product-information_7040.pdf)
- [90] *Journal of alloys and compounds: Development of low-to-high Blu-ray recordable (BDR) disc*. Amsterdam: Journal of alloys and compounds, 2010. ISSN 0925-8388. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838810006845>
- [91] Externí paměti počítačů: Studijní materiál pro předmět Architektury počítačů. OLIVKA, Petr. KATEDRA INFORMATIKY FEI VŠB-TU OSTRAVA. *POLI's: Architektury počítačů a paralelních systémů* [online]. 2010 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/disky.pdf>
- [92] LÁNÍČEK, Robert. *Elektronika : obvody - součástky - děje*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 1998. 479 s. ISBN 80-86056-25-2.
- [93] *Dioda, tranzistor a tyristor názorně : Programovaný kurs*. Druhé vydání. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 303 s. ISBN neuvedeno.
- [94] NAINANI, Aneesh. *Flash Memory: Flash Basics*. (přednáška) Kalifornie : Leland Stanford Junior University, 10. 10. 2010.
- [95] NAND flash data and bad block management: Application note. NXP SEMICONDUCTORS. *NXP: founded by Philips* [online]. 2009 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: [http://www.nxp.com/documents/application\\_note/AN10860.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10860.pdf)

## 11 Příloha

K této diplomové práci je přiložen kompaktní disk s následujícím obsahem:

- Text diplomové práce v formátech ODT a PDF.
- Animace, které dokumentují funkci vnějších pamětí (včetně zdrojového souboru).