

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

**PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

**KATEDRA FYZIKY**

# **Bakalářská práce**

Knihovna JU - PF



3115172529

**Autor:** Jaroslav Harvalík

**Vedoucí práce:** Mgr. Petr Bartoš

**2006**

**Záznam a čtení dat  
z datových nosičů  
optickou cestou**

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a všechny použité zdroje uvedl v Seznamu použité literatury na konci této práce. Zároveň povoluji Katedře fyziky PF JU v Č. Budějovicích využití této práce.

V Holubově dne 25.4. 2006

Jaroslav Harvalík

  
.....

## **Poděkování**

Tímto děkuji Mgr. Petrovi Bartošovi, za vedení a podporu při tvorbě této bakalářské práce.

# Obsah

Úvod .....	7
<b>1. CD (COMPACT DISC).....</b>	<b>8</b>
1.1. Vznik CD.....	8
1.2. Standardy CD (barevné knihy).....	9
1.2.1. Červená kniha - CD-DA.....	9
1.2.2. Žlutá kniha - CD-ROM.....	10
1.2.3. Zelená kniha - CD-I.....	11
1.2.4. Bílá kniha - VCD.....	12
1.2.5. Oranžová kniha - CD-R, CD-WO.....	12
1.2.6. Modrá kniha.....	13
1.3. Struktura CD .....	14
1.3.1. Rozměry.....	14
1.3.2. Rozložení pitů.....	14
1.3.3. Rozdělení CD.....	15
1.3.3.1. CD-ROM ( <i>Compact Disc - Read Only Memory</i> ).....	15
1.3.3.2. CD-R ( <i>Compact Disc - Recordable</i> ).....	17
1.3.3.3. CD-RW ( <i>Compact Disc - Re Writeable</i> ).....	19
1.4. Záznam.....	21
1.4.1. Kódování.....	21
1.4.2. Sektory a rámce .....	21
1.4.3. Vzhled datového pole při zápisu .....	22
1.4.4. ISO 9660 a Joilet .....	24
1.5. Datová velikost CD.....	26
1.6. Čtení .....	27
1.6.1. Servo systémy.....	28
1.6.2. Dekódování - oprava chyb.....	33
<b>2. DVD (DIGITAL VERSATILE DISC) .....</b>	<b>37</b>
2.1. Vznik.....	37
2.2. Rozdíl oproti CD.....	37
2.3. Rozdělení podle struktury .....	38
2.4. Numerická apertura (NA).....	39
2.5. Korekce chyb.....	39
2.6. Modulace EFM Plus.....	40
2.7. Numerická apertura (NA).....	40
2.8. Vrstvy.....	41
2.9. Rozdělení podle struktury .....	42
2.9.1. DVD-R, DVD-RW.....	42

2.9.2. DVD+R, DVD+RW .....	38
2.9.3. DVD-RAM.....	38
2.9.3.1. Fyzická struktura disku .....	45
2.9.3.2. Land a Groove .....	46
2.9.3.3. CAP ( <i>Complimentary Allocated Pit Addressing</i> ) .....	47
2.9.3.4. Sektory .....	48
2.9.3.5. ZCLV ( <i>Zoned Constant Linear Velocity</i> ) .....	50
2.9.3.6. DMA ( <i>Defect Management Areas</i> ) .....	50
<b>3. EVD, AVD, FVD, HVD, HDV, VMD .....</b>	<b>52</b>
3.1. FVD ( <i>Finalized Versatile Disc</i> ).....	52
3.2. VMD ( <i>Versatile Multilayer Disc</i> ).....	53
<b>4. BLU-RAY .....</b>	<b>54</b>
4.1. Rozdíl od DVD.....	54
4.2. Zápis On-Groove.....	55
4.3. Druhy podle kapacity .....	56
4.4. Rozdělení podle struktury .....	57
<b>5. HD-DVD (<i>HIGH DEFINITION DVD</i>).....</b>	<b>59</b>
<b>6. FMD (<i>FLUORESCENT MULTI LAYER DISC</i>).....</b>	<b>62</b>
6.1. Princip .....	62
6.2. Výhody.....	62
<b>7. HVD (<i>HOLOGRAFIK VERZATILE DISC</i>) .....</b>	<b>64</b>
7.1. Základní princip.....	64
7.2. Impulse technologie.....	66
7.3. Technologie od Optware.....	67
<b>8. POROVNÁNÍ.....</b>	<b>70</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>73</b>
<b>PŘÍLOHA .....</b>	<b>74</b>

## Úvod

K zvolení tématu této práce mne vedl fakt, že se často setkávám s problémem zálohování neustále narůstajícího množství dat.

Svou bakalářskou prací bych chtěl přiblížit běžným uživatelům PC problematiku uchování dat na optická média. Proto je práce koncipována jako komplexní přehled těchto médií.

Nejprve se budu zabývat v současnosti nejvíce rozšířenými CD a DVD nosiči, poté jejich nejbližšími možnými nástupci, jako jsou například: VMD, FMD, Blu-ray a HD-DVD disky. Dále popíšu velkokapacitní média: fluorescenční a holografické disky, které jsou zatím tvořena pouze pro průmyslové využití.

Nakonec se pokusím všechny zmíněné technologie uchování dat optickou cestou porovnat, aby bylo zřejmé, s kterými z nich se asi v budoucnu nejčastěji setkáme a které budou zřejmě odsouzeny k zániku.

# 1. CD (*Compact Disc*)

Compact Disk je polykarbonátové kolečko o šířce 12 cm, obsahující datovou vrstvu širokou 3,3 cm od vnějšího okraje. V současnosti (r. 2006) je nejrozšířenějším datovým optickým médiem používaným hlavně jako hudební nosič.

## 1.1. Vznik

Smyslem vývoje CD bylo nahradit dosud používaný analogový záznam zvuku na LP desky a magnetofonovou pásku, kvalitnějším digitálním záznamem. Pro využití výhod digitálně zpracovaného analogového signálu, bylo třeba navrhnout nové médium a jeho velikost. Za projekt CD byl zodpovědný viceprezident Sony, pan Norio Ohga. V roce 1953 promoval na Tokijské národní univerzitě v oboru krásné umění a hudba, a pak v roce 1957 na Berlínské vysoké škole hudební. On sám byl dobrým operním pěvcem a jeho žena pianistkou. Jeho oblíbenou skladbou byla Beethovenova 9. Symfonie (*Alle Menchen werden Brüder*). A právě proto se snažil, aby měřítkem pro velikost CD byla hudba a ne technické parametry.



Obr. 1.1: Pan Norio Ohga.<sup>5</sup>

Bohužel jeho oblíbená skladba kterou měl dispozici, nahraná Berlínskou filharmonií, řízenou Herbertem von Karajanem, měla 66 minut, což by odpovídalo velikosti 11,5 cm. Proto zvolil jinou, nejdelší nastudovanou interpretace z Bayreuther Festspiele v roce 1951, řízenou Wilhelm Furtwängler. Tím se docílilo konečné velikosti 12 cm (4,72").<sup>5</sup> Kompaktní disk se původně užíval jen pro digitální záznam hudby, ale od roku 1985, kdy se Philips a Sony dohodli s představiteli firem Apple Computer, Digital Equipment Corporation, Microsoft, Hitachi, LaserData, Philips, 3M, TMS, Reference technology, VideoTools, Xebec a Yelick uveřejnily tzv. Žlutou knihu (*Yellow Book* viz. kapitola 1.2.2. ), která se stala standardem i pro záznam počítačových dat.



## 1.2. Standardy CD (barevné knihy)

Postupným vývojem a rozšiřováním využití kompaktním disků se měnily i jejich specifikace, které určují například rychlosti záznamu u CD-R. Tyto specifikace jsou udány v tzv. barevných knihách. V současné době se můžeme setkat s těmito:

1. Červená kniha - CD-DA (*Digital Audio*),
2. Žlutá kniha - CD-ROM (*Read Only Memory*),
3. Zelená kniha - CD-I (*Interactive*),
4. Bílá kniha - VCD (*Video*),
5. Oranžová kniha - CD-R (*Recordable*), CD-WO (*Write Once*),
6. Modrá kniha.

### 1.2.1. Červená kniha (*Red Book*) - CD-DA (*Digital Audio*)

Tento standard je nejrozšířenější, používá se pro klasické hudební CD, je nejstarší a byl vypracován firmami SONY a PHILIPS v r. 1980 (dva roky předtím než byly první CD disky a přehrávače vyrobeny). Tento standard splňují všechny přehrávače a jednotky CD-ROM na trhu a z něj se vyvinuly všechny ostatní používané standardy. Stopa disku začíná u jeho středu tabulkou obsahu disku TOC (*Table Of Contents*). V tabulce jsou uloženy počátky záznamů ve formátu minuty a sekundy. Po ní následují jednotlivé záznamy a ukončovací oblast, kterých může být až 99, v celkové délce do 74min.

Tento standard definuje také tak zvané CD+G (*Grafik*), který umožňuje při přehrávání audio stop i grafické informace s malým rozlišením. Většinou jde o text písně, informace o autorovi, názvu skladby atd. V praxi byl úspěšně použit u tzv. Karaoke disků, které měly svého času velký úspěch především v Japonsku.

Dalším rozšířením CD-DA je CD-Text, kterému přibyla možnost textové informace zobrazující se na displeji přehrávače, nebo v CD přehrávači v PC. Textová informace může obsahovat název skladby, autora nebo celého alba.



Obr. 1.2: Loga standardů červené knihovny.<sup>13</sup>

### 1.2.2. Žlutá kniha (*Yellow Book*) - CD-ROM XA (*Extended Architecture*)

Standart CD-DA se snažily mnohé průmyslové skupiny rozšířit a zdokonalit. Jednou z nich byla i mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO). Ta také přijala první standard pro ukládání počítačových programů ISO 10149 a později i současné ISO 9660, to je univerzální a používá jej téměř každý typ počítače a herní konzoly. Používá dělení disků vycházející ze standardu CD-DA. Záznam na disku je rozdělen na minuty a sekundy, každá sekunda ale obsahuje navíc 75 sektorů a každý sektor má kapacitu 2352B. Výjimkou jsou počítače Macintosh, které používají vlastní systém označený HFS.

Standard 9660 poskytuje kompatibilitu médií. Tím je myšlena schopnost číst soubory na jakémkoliv disku CD-ROM pomocí téměř libovolné jednotky CD-ROM, čímž je zajištěno, že počítač soubor-program přečte. Není však zajištěno, že jej bude schopen použít. Nemůžeme např. spustit programy, které byly napsány pro jiný počítač, můžeme ale použít některé informace na disku, např. text, obrázky, animace.

Mimo těchto klasických disků se můžeme setkat i s disky hybridními a smíšenými. CD-ROM je médium, které umožňuje zapsat na jeden disk více systémů souborů např. jeden se systémem ISO 9660 pro počítače třídy PC a druhý se systémem HSF pro počítače Macintosh. Takovéto disky nazýváme hybridní a mohou je číst oba typy počítačů. Dalším druhem jsou disky smíšené, ty mohou obsahovat podle standardu ISO 9660 mimo počítačových dat i standardní hudební záznamy. Tyto disky se vyskytují zřídka a mají označení CD+ nebo zdokonalené CD. Zvukový záznam (hudební skladby) lze přehrát na obyčejném CD přehrávači, ale pro načtení počítačových dat (texty písní, informace o hudební skupině) již potřebujeme jednotku CD-ROM.



Obr. 1.3: Loga standardů žluté knihovny.<sup>13</sup>

Smíšený režim byl pro firmy Philips, Sony a Microsoft zajímavý natolik, že jej rozšířily a nazvaly jej standardem CD-ROM XA. Ten určuje formáty pro uložení video, zvukových a grafických souborů spolu se soubory počítačovými. Například formát ADPCM je určený pro zvukové skladby a umožňuje uložit na disk až 18 hodin hudby, avšak standard CD-ROM XA se příliš nepoužívá. Výjimkou je jeho formát pro uložení fotografických dat nazvaný Photo CD. Photo CD, který vyvinula jako svůj projekt firma Kodak. Výhodou této technologie je trvanlivost, kvalita a odolnost, která je mnohem delší než u normálních fotografií. Nevýhodou je její vysoká cena a to, že vytisknout kvalitní obrázek, který by vypadal jako

skutečná fotografie, je obtížné a finančně nákladné. Protože se na CD vejde asi 100 obrázků a klasický film má 36 snímků, vyvinula firma Kodak způsob, kterým lze přidávat data na disk později. Tím je umožněno sestavovat disk po úsecích. Každá část má svou vlastní tabulku a jsou uloženy na disku postupně jedna za druhou. Mírnou nevýhodou tohoto systému je to, že staré jednotky přečtou jen první skupinu obrázků, ty jsou uloženy na disku v několika velikostech, od malých obrázků 192 x 128 bodů, které slouží jako přehledy, až po velké, které se využívají k fotografické retuši diapositivů. Tyto obrázky mají velikost 3078 x 2048 bodů.

### 1.2.3. Zelená kniha (*Green Book*) - CD-I (*Interactive*)

Některé počítačové firmy se snažily vytvořit zařízení, které by nahrazovalo levný přehrávač (hudba, video, hry). K tomuto zařízení měl být připojen pouze televizor a pákový ovladač, který by nahrazoval klávesnici a myš. Zařízení mělo být levnější než běžný počítač, aby méně odrazovalo zákazníka a přitom mělo využívat všech výhod, které CD poskytují. Standard pro tato zařízení vypracovala a vydala v r. 1988 firma Philips a nazvala jej CD-I (*Compact Disk - Interaktive*), který neudával jen formát dat uložených na CD, ale i podrobnosti o hardwaru přehrávače. Přestože mu firma Philips věnovala mnoho úsilí a financí, příliš se nerozšířil. Důvodem byla vyšší cena, malé množství softwaru, a dnes i to, že systém pomalu zastaral.

Pro tato zařízení, zejména pro herní konzoly, byly vyvinuty postupně standardy nové. Některé během doby zanikly (např. CD TV a CD 32 od firmy Commodore a VIS firmy Tandy), jiné se staly postupně populárními. Jedním z prvních zařízení se stal přístroj pro video hry 32X a doplněk SEGA CD pro SEGA Genesis. Ty pomohly děti přesvědčit o tom, že kvalitní hry jsou pouze na CD. Dalším zajímavým systémem od sdružení 3DO (firmy AT & T, Matsushita, Time-Warner, MCA a Electronics Arts) je systém 3DO. Tento systém je standard otevřený, tzn. každý výrobce k němu může dostat licenci. Je postaven na pokročilé technologii (např. 32b procesory RISC, speciální obvody pro grafiku a zvuk). V budoucnosti by měl sloužit nejen pro hry, ale i jako inteligentní kabelové zařízení, pomocí něhož se budeme např. orientovat v systému kabelové televize s 500 kanály.

Je zajímavé, že mimo firem se specializací na herní konzoly a spotřební elektroniku se i některé čistě počítačové firmy začínají o tato zařízení zajímat. Jednou z nich je i firma Microsoft, která pracuje na zjednodušeném systému Windows pro přídatná zařízení k TV. Tato zařízení by pak mohla využívat existující programy pro počítače IBM nebo Macintosh, což by jim dalo okamžitě obrovskou softwarovou základnu.

Vzájemná kompatibilita těchto zařízení, ve srovnání s jinými používanými, je různá. Nemůžeme například vzít disk CD-I a přehrát jej v jednotce CD-ROM.

Existují samozřejmě výjimky např. firma Creative Labs vymyslela spouštění her 3DO na počítači pod systémem MS-Windows. Toto umožňuje karta 3DO Blaster připojená k CD-ROM CR 536, s níž je pouze zaručená správná funkce karty.

#### 1.2.4. Bílá kniha (*White Book*) – VCD (*Video Compact Disc*)

Tento standard od průmyslové skupiny Motion Picture Experts Group (MPEG - skupina filmových odborníků) je překročením překážek při přehrávání videa z CD. Překážky jsou zejména v tom, že pro jeden snímek videa je potřeba jeden MB dat a snímek se musí přenést 30 x za sekundu, tedy za jednu sekundu se musí přenést 30MB dat. To ani nejvýkonnější jednotka CD-ROM nezvládne, a navíc by takto 1CD obsahovalo méně než 1 minutu videa. Z těchto důvodů skupina expertů MPEG vymyslela standard MPEG-1, který popisuje disk obsahující obrázky a zvuky. Standard MPEG-1 dostal pojmenování od stejnojmenné techniky komprese video informací. Tato technika komprese řeší výše uvedené problémy se zpracováním videa na CD. Jejím principem je, že omezuje opakující se informace např. pozadí snímku, které se nemění. Tím lze zmenšit velikost dat až na jednu setinu původní velikosti, čímž je možno zaznamenat na disk až 74 minut videa, běžnou jednotkou CD-ROM. Problém nastává s rychlostí dekodování videa, na kterou běžné počítače nestačí a vyžadují proto speciální kartu. Další nevýhodou systému je to, že 74 minut videa nepostačuje pro dnešní běžné filmy. Poslední nevýhodou je, že kvalita obrazu není lepší než u systému VHS, proto se s nástupem DVD formát VCD přestává používat.



Obr. 1.4: Logo standardu bílé knihovny.<sup>13</sup>

#### 1.2.5. Oranžová kniha (*Blue Book*) - CD-R (*Recordable*) CD-WO (*Write Once*)

Klasická CD-ROM jsou určena pouze pro čtení, a tak byly rozšířené o formát CD-R (můžeme nazvat také CD-WO), který umožňuje pomocí CD-R jednotek na médium obdobné klasickému CD zapsat data uživatele. Ty lze zapsat pouze jednou a po jejich zapsání je možné vložit disk do jakékoliv jednotky CD-ROM, která jej přečte. Pomocí této jednotky lze vytvořit téměř všechny typy CD: zvuková CD, IBM nebo MAC CD-ROM, CD-I a Video CD. Zápis dat CD-R touto metodou může sloužit k vytváření buď multimediálních prezentací nebo záložních kopií důležitých dat. Jako z možných záznamových materiálů se využívá

teluru, který mění svoje optické charakteristiky působením laseru. Zajímavé je sledovat, jak se postupně vyvíjela oranžová kniha podle rychlostí zápisu na CD-R a CD-RW.

Vývoj oranžové knihy podle rychlostí zápisu:

Orange Book (prosinec 1998):

Zápis 1×(odpovídá rychlosti 150kB/s), 2×, 4× CLV - způsob záznamu.

Orange Book (prosinec 2000):

Zápis až do rychlosti 16× CAV - druhý způsob záznamu.

Orange Book (květen 2001): Přidána indikace pro vyšší rychlosti.

Orange Book (říjen 2001):

Zápis 16×, 24×, 32× kombinace CLV a CAV,  
je přidána volitelná testovací oblast PCA2 na vnějším okraji média,  
je možno zapisovat na média delší než 80 minut.

Orange Book (duben 2002):

Zápisové rychlosti 16×, 20×, 24×, 32×, 40× a 48×,  
stanoven přepis u CD-RW.

Orange Book (srpen 1998):

Přepis CD-RW rychlostí 1×, 2× a 4×.

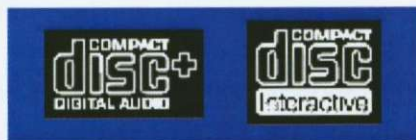
Orange Book (červen 2001):

HighSpeed přepis CD-RW 4× - 10×.

Jak je vidět pro zápis na CD-RW média není rychlost 12x stále standardizována, i když se dnes běžně používá.

#### 1.2.6. Modrá kniha (*Blue Book*)

Modrá kniha je jeden z novějších standardů pro kombinaci audio a datových stop na jedno CD, jako jsou např. CD Extra nebo CD Plus. Multisession disk obsahující v první session audio stopy a v druhé session data ve formátu CD-ROM XA, je kombinací klasického CD-DA formátu, který se dá přehrát v obyčejném CD přehrávači a datovým záznamem, použitelným pouze v počítači. Je také znám pod označením CD-Plus.

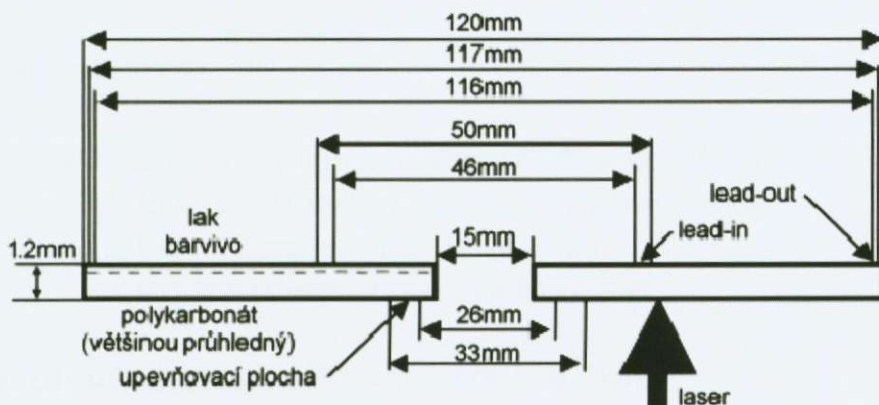


Obr. 1.5: Loga standardů modré knihovny.<sup>11</sup>

## 1.3. Struktura CD

### 1.3.1. Rozměry

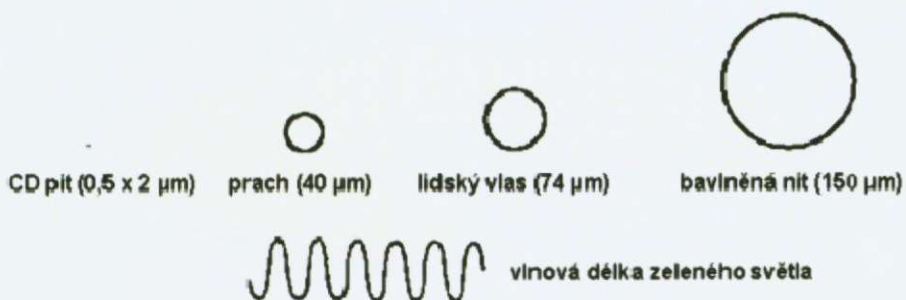
Jak jsem již uváděl na začátku, velikost CD byla stanovena na 12 cm, ostatní rozměry vyplynuly z použitého materiálu. Na obr. 2 je vidět, jak velká část je věnovaná pro data. Činí rozmezí od 46mm do 117mm. Dále si můžeme všimnout tloušťky disku pouhých 1.2mm z níž převážná část je polykarbonát.



Obr. 1.6: Rozměry cd.<sup>5</sup>

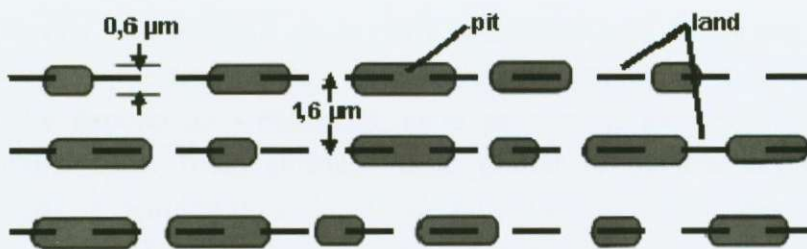
### 1.3.2. Rozložení pitů

Data jsou uložena na disk pomocí prohlubní (pitů) a stupňů (landů), které jsou vedle sebe umístěny ve spirále 23mm od středu média až do vzdálenosti 3mm od vnějšího okraje média. Pit je 0,12  $\mu\text{m}$  hluboký a 0,6  $\mu\text{m}$  široký. Šířka prohlubně je 0,5  $\mu\text{m}$ , což je pro srovnání velikost bakterie, nebo vlnová délka zeleného světla.



Obr. 1.7: Porovnání velikosti pitu s jinými předměty.<sup>5</sup>

Mezera mezi stopami má pak zhruba rozměr trojnásobku této vlnové délky. A právě velmi blízký rozměr pitů a drážek k vlnové délce světla způsobuje rozklad bílého denního světla, který vytváří na CD duhu. Mezera mezi jednotlivými sousedními stopami je 1,6  $\mu\text{m}$ , to znamená, že CD se záznamovou šíří 35,5 mm obsahuje: 0,6  $\mu\text{m}$  šíře stopy + 1,6  $\mu\text{m}$  mezi stopami = 2,2  $\mu\text{m}$  35,5 mm / 2,2  $\mu\text{m}$  = 16136 závitů. Celková délka stopy je pak asi 5 km.



Obr. 1.8: Vzdálenost stop od.<sup>5</sup>

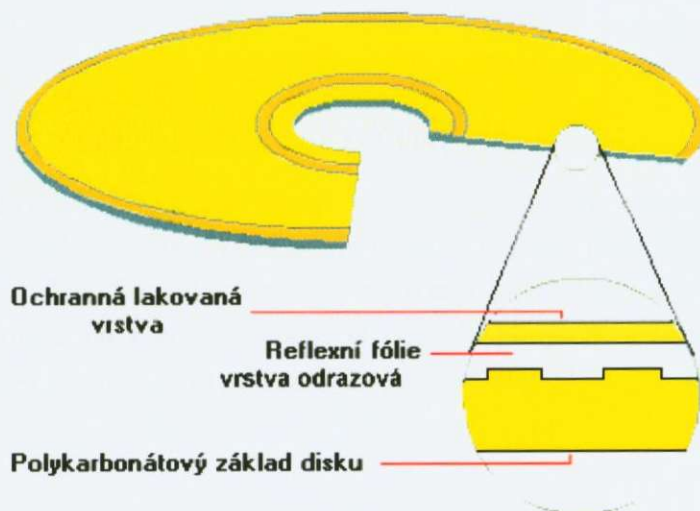
### 1.3.2. Rozdělení CD

Podle struktury vrstvy, výroby můžeme rozdělit na tři druhy:

1. CD-ROM (*Compact Disc - Read Only Memory*),
2. CD-R (*Compact Disc - Recordable*),
3. CD-RW (*Compact Disc - Re Writeable*).

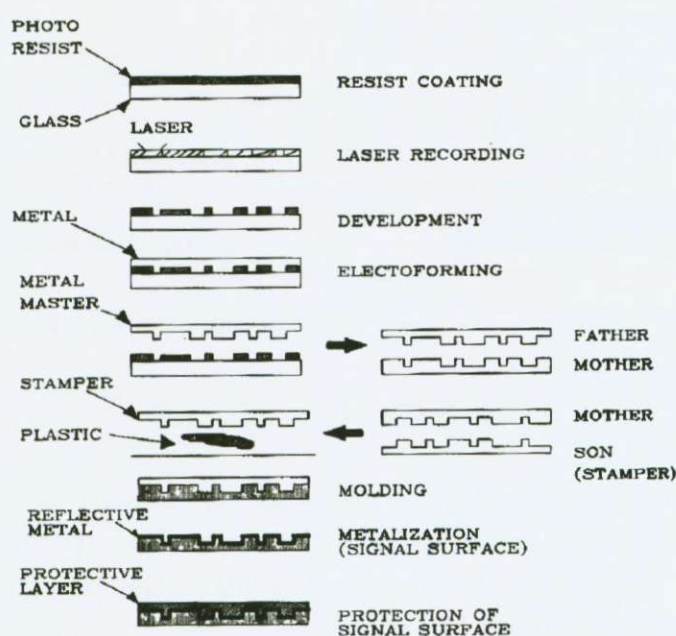
#### 1.3.2.1. CD-ROM (*Compact Disc - Read Only Memory*)

Již z názvu je patrné, že z disku lze data pouze číst (*Read Only Memory* - číst pouze z paměti). Je složený ze tří vrstev, jak je vidět na obr. č. 1.9. První, tedy horní vrstva disku, je lakovaný povlak, který má za úkol chránit odrazovou (reflexní) vrstvu. Druhá vrstva je vrstva odrazová, nese vylisovaná data. Ve většině případech je tato vrstva složena z hliníku a je pouze několik desítek miliardtin metru silná. Odrazovou plochu chrání spodní vrstva, nazývaná substrát (silný polykarbonátový plast).



Obr. 1.9: Vrstvy CD-ROM disků.<sup>5</sup>

Výroba těchto disků se provádí Masteringem a lisováním. Nejprve se použije vysoce leštěný disk, ten je pomocí modrého argonového laseru fotograficky exponován v oblastech, které se později mění v prohlubně (pity), reprezentující data. Tento skleněný disk, master se potáhne nejdříve lesklým kovem a pak je ponořen do elektrolytického roztoku, kde je pomocí elektrického proudu pokoven. Jakmile kovová vrstva dosáhne požadované tloušťky (kolem 0,15mm), je sklo odstraněno. Zbývající kov se nazývá „otec (*father*)“, který je dále použit jako raznice pro vytvoření několika negovaných „mateřských (*mother*)“ raznic a z každé z nich pak několik vlastních raznic „syn (*son* nebo *stamper*)“. Právě tyto synové jsou raznice, používané pro přímé lisování CD-ROM. Celý tento postup je na obr. č. 1.10.



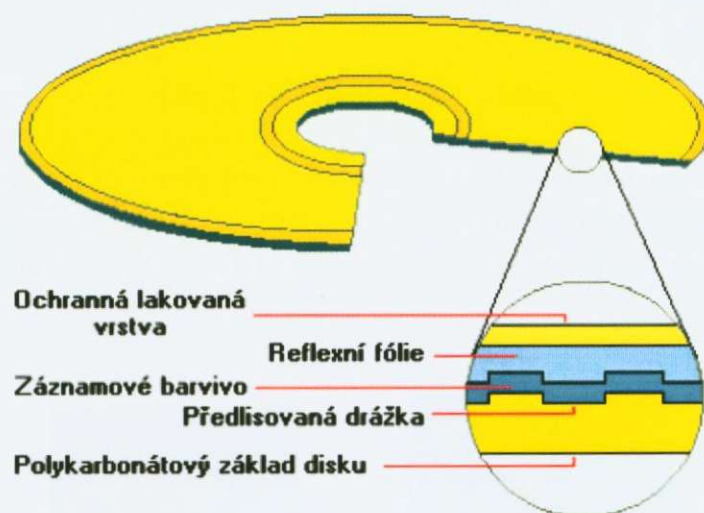
Obr. 1.10: Výroba CD-ROM – Mastering.<sup>3</sup>

V některých případech se vytváří více raznic přímo ze skleněného masteru, výhodou je zjednodušení celého procesu. Disky jsou dále vytvářeny na vstřikovacím lisu. Po vylisování, se zarovnají jeho okraje a vyrazí středový otvor. Strana disku na které jsou pity, je pokryta hliníkem a nakonec uzavřena ochranou vrstvou laku, na ni je pak natištěn popisek disku.<sup>3</sup>



### 1.3.3.2. CD-R (*Compact Disc - Recordable*)

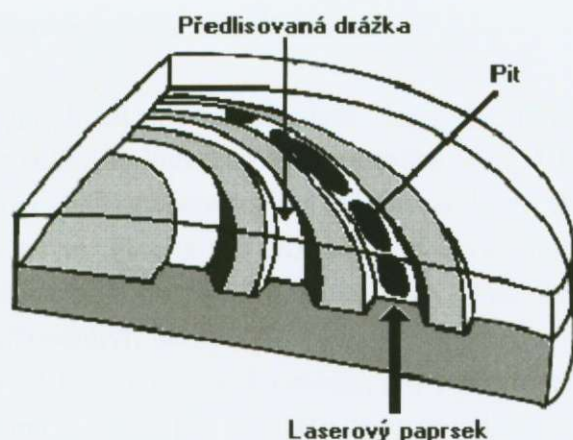
Tyto disky jsou vyráběny pro zápis dat, které si může každý vytvořit za pomoci příslušné zapisovací mechaniky. Data se dají zapsat pouze jednou, nedají se přepsat, jako je tomu u CD - RW. Stejně jako CD-ROM se skládá ze tří základních vrstev: ochranná laková vrstva, reflexní fólie, tou může být stříbro u dražších disků i stálejší zlato a polykarbonátový základ disku. Přibyla zde vrstva záznamového barviva a předlisované drážky jak je vidět na obr. č. 1.11.



Obr. 1.11: Vrstvy CD-R disků.<sup>5</sup>

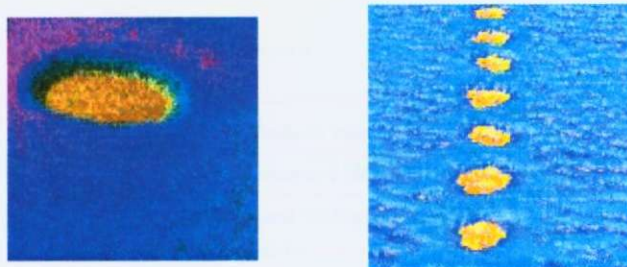
Záznamové barvivo je barvivo, do něhož se vlivem tepla laseru zaznamenávají informace formou pitů a landů. Můžeme se setkat s těmito barvivy: Cyanine (modrá), Phthalocyanine (transparentní), Metallized Azo (modrá), Advanced Phthalocyanine (transparentní), Hybrid (světle zelená). Celková barva disku je závislá na barvě specifického barviva, které bylo použito v záznamové vrstvě a na reflexní fólii. Tato základní barva se změní přidáním reflexní vrstvy (zlato nebo stříbro). Nakonec se některá média jeví jako zelená, modrá nebo žlutavě zlatá, barva médií však nerozhoduje o jejich kvalitě.

Aby čtecí a záznamový paprsek mohl správně sledovat spirálu, je zde vytvořena tzv. vodící spirála ( předlisovaná drážka), na kterou se laser zaostřuje viz. obr. č. 1.12.



Obr. 1.12: Předlisovaná drážka.

U CD-ROM jsou pity lisovány, ale u CD-R jsou vypalovány laserem, to způsobuje nepravidelnost pitů. Proto může být u starších mechanik problém s jejich čtením. Na obr. č. 1.13 je znázorněn rozdíl mezi pitem lisovaným a páleným.



Obr. 1.13: Rozdíl pitů a) lisovaný pit, b) vypálené pity.<sup>5</sup>

Při zápisu je třeba většího výkonu laseru než při čtení. Pro čtení vystačí laser s poměrně nízkým výkonem (0,5 mW), ale pro zápis CD-R je již třeba energie mnohem větší. Pro zápis jednoduchou rychlostí vystačí 4-8 mW viz. obr. č. 1.11, pro dvojnásobnou rychlost je již třeba 8-10 mW, čtyřnásobnou 10-12 mW a šestnásobnou pak až 14 mW! Této energie je třeba k tomu, aby se v místě, kde má dojít ke změně barviva, dosáhlo teploty 250° až 400°C.



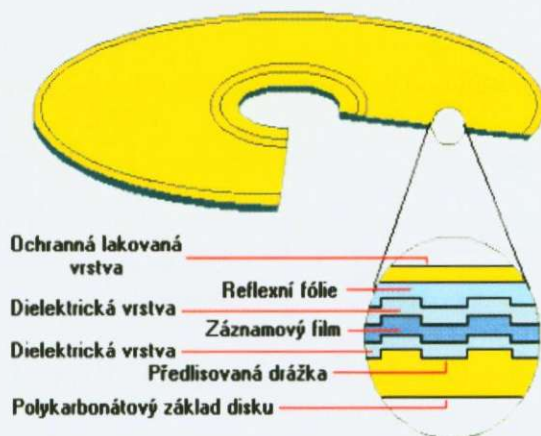
Obr. 1.14: Výkon laseru potřebný pro čtení a zápis u CD-R disků.<sup>3</sup>

### 1.3.3.3. CD-RW (*Compact Disc - Re Writeable*)

CD-RW disky slouží pro vícenásobný zápis dat. Počet přepisů je udáván v řádech stovek cyklů. Je konstruováno podobně jako CD-R. Také obsahuje záznamové barvivo a předlisovanou vodící spirálu pro laser, ale na rozdíl od CD-R má několik vrstev navíc. Plocha pro záznam je z obou stran obklopena vrstvou dielektrika (sloučenina silikonu, kyslíku, zinku a síry), viz. obr. č. 1.15.

Tyto vrstvy mají hlavní čtyři úkoly:

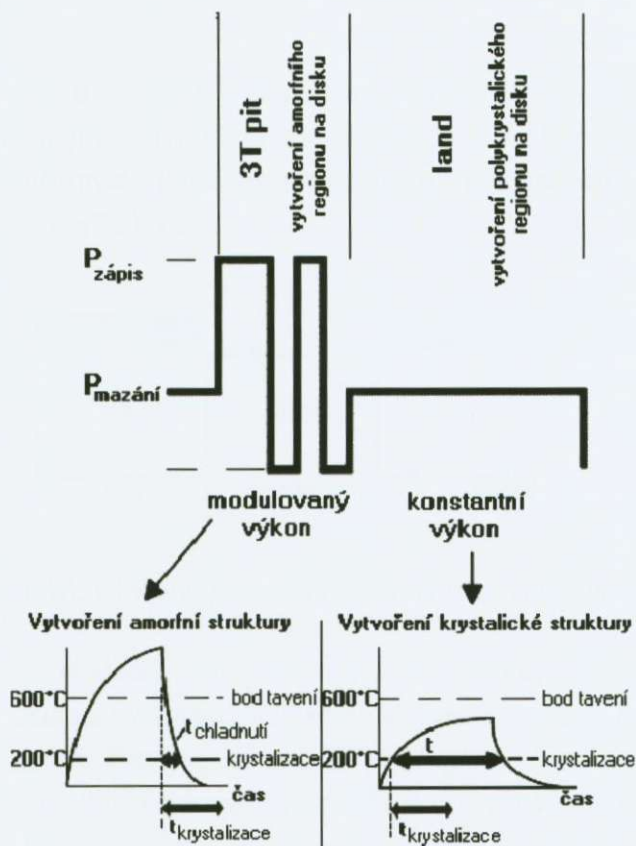
1. modifikovat odezvu optického média, aby poskytovalo čistý signál,
2. zvýšit účinnost laseru pro dosažení žádoucí teploty na záznamové vrstvě,
3. působí jako tepelná izolace mezi substrátem, předlisovanou drážkou a odrazovou vrstvou,
4. slouží jako mechanická brzda záznamového média, aby nedocházelo k jeho posunutí vlivem odstředivých sil.



Obr. 1.15: Vrstvy CD-RW disků.

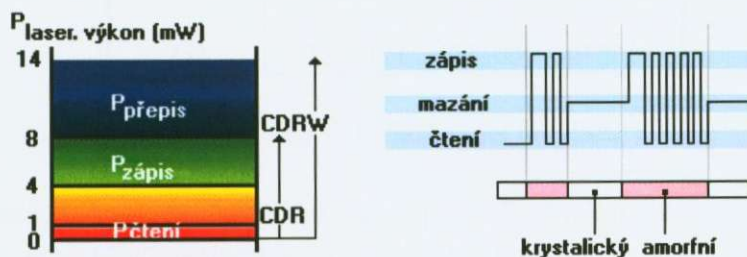
U CD-R dochází při zápisu k nevratné změně záznamového barviva. CD-RW používá technologii fázové změny, místo vytváření deformací v barvivu média využívá změnu struktury materiálu z krystalické do amorfni formy. K tomuto slouží speciální chemická sloučenina (čtyřsložková sloučenina stříbra, india, antimonu a teluru), která mění působením energie svůj stav a je schopna se rovněž působením energie vrátit do původního stavu. Materiál použitý u CD-RW médií má tu vlastnost, že když je zahřátý na jistou teplotu a pak ochlazen, dochází k jeho krystalizaci, zatímco dojde-li k jeho vyššímu zahřátí a opětovnému ochlazení, přejde do nekrytalického - amorfniho stavu. Krytalický stav odráží více světla než stav amorfni, a tím je docíleno kýženého dvoustavového efektu, který je nezbytný pro přenos informace. Krytalický stav tedy vytváří již dobře známý land a amorfni stav zase pit. Použije-li se tedy laser se dvěma energetickými stavy, máme tu nástroj pro záznam i mazání CD. K zápisu tedy dochází již zmíněnou změnou fáze (stavu) záznamové vrstvy. Vodící spirála

a ostatní struktura je shodná s CD-R, rozdílný je pouze fyzický způsob zakódování jedniček a nul. Celý proces je viditelný na obr. č. 1.16.



Obr. 1.16.: Zápís a mazání CD-RW disků.<sup>3</sup>

CD-RW mechaniky musí mít ještě silnější laser, neboť pro změnu fáze média (do amorfního stavu) musí být dosaženo teploty až 600°C. Lasery CD-RW mechanik se svým výkonem blíží 20mW. Pro přechod do krystalického stavu pak již stačí 200°C, a tudíž výkon asi 4-8mW viz. obr. č. 1.17 a. Laser tedy při záznamu CD-RW média neustále pulzuje podle potřeby mezi vyšším a nižším výkonem viz obr. č. 1.16 b (na rozdíl od CD-R mechanik, kde vystačí pouze se stavem zapnuto-vypnuto). Všechny ostatní věci, jako je fyzický nebo logický formát platí pro CD-RW naprosto stejně, jako pro CD-ROM nebo CD-R.

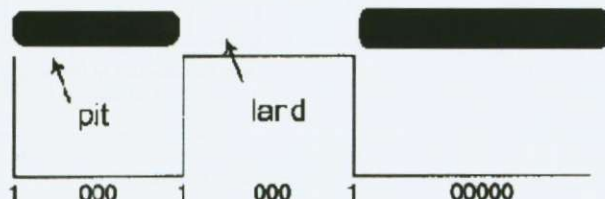


Obr. 1.17: a) výkon při čtení, zápisu a mazání, b) pulsy při záznamu.<sup>5</sup>

## 1.4. Záznam

### 1.4.1. Kódování

Už jsme si řekli, že data jsou zaznamenávána do speciální vrstvy v pitech a landech, ty ale nepředstavují logické výrazy 0 a 1, kterých nabývá tzv. bit (*binary digitis*). Informace jsou spíše uloženy na přechodech mezi lands a pits a v jejich délce viz. obr. č. 1.18.



Obr. 1.18: Uložení dat mezi přechody a mezi lands a pits.

Při záznamu není možné aby vedle sebe byly dvě jedničky, dvě hrany. Je to z toho důvodu, že jsme omezeni velikostí vlnové délky čtecího laseru. Proto je nutné data před zápisem kódovat. Používá se tzv. EFM (*Eight to Fourteen Modulation*) – kódování osm ku čtrnácti. Kódování a dekódování je prováděno pomocí kódovací tabulky Tab. č. 1, kterou má každá mechanika uložena v paměti.

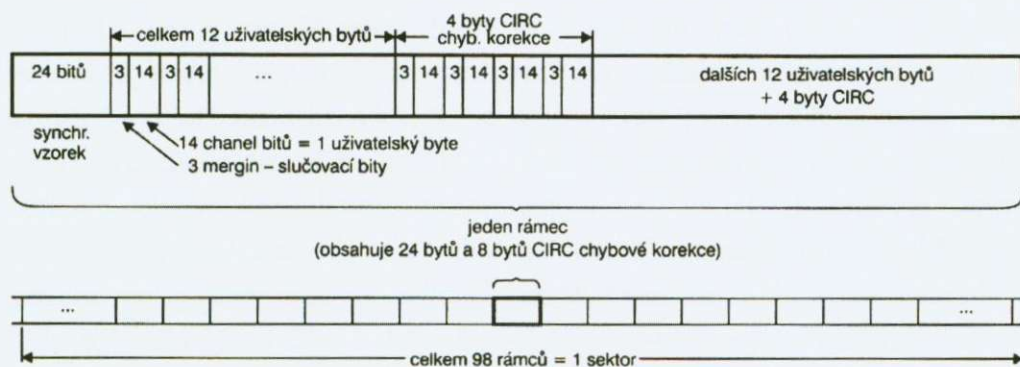
Dekadická hodnota	Datové bity	Kanálový bit
0	00000000	01001000100000
1	00000001	10000100000000
2	00000010	10010000100000
3	00000011	10001000100000
4	00000100	01000100000000
5	00000101	00000100010000
6	00000110	00010000100000
7	00000111	00100100000000
8	00001000	01001001000000
9	00001001	10000001000000
...	...	...
255	11111111	00100000010010

Tab. 1.1: Kódovací tabulka.<sup>2</sup>

Protože bity prochází k dekodéru převáděcím kanálem, nazývá se tento obraz skutečných bitů kanálový bit (*Channel bits*).

### 1.4.2. Sektory a rámce

Když už jsme si zhruba řekli o převodu bitů na pit, je ještě třeba data rozdělit do logických bloků. Tento blok se nazývá sektor a je vůbec nejmenší částí, se kterou můžeme pracovat, ale i sektor se ještě dále dělí. Těmito nejmenšími částmi jsou rámce, s nimiž se dostáváme až na tu nejzákladnější a nejnižší úroveň logického zápisu na CD k samotným uskupením pitů a land obr. č. 1.19.



Obr. 1.19: Struktura sektoru a rámce.<sup>3</sup>

Synchronní vzorek indikuje začátek rámce. Mergin jsou slučovací bity, včetně synchronních, slučovacích a po demodulaci, obsahuje rámec 33 bytů, zahrnujících 24 datových bytů, 4 Q paritních byty (*C2 Error Correction*), 4 P paritní byty (*C1 Error Correction*) a jeden kontrolní byt. Jeden sektor má 98 rámců. To znamená, že obsahuje celkem  $98 \times 24 = 2\,352$  uživatelských dat a  $1 \times 98 = 98$  dat v subkanálech a  $8 \times 98 = 784$  bytů pro korekci chyb. 98 subkanálových bytů se pak ještě dělí. Vždy první dva rámce v sektoru obsahují tzv. synchronizační subkanálové byty. Pak následuje první subkanálový byt a v posledním rámci se nachází poslední, 96 subkanálový byt. Pro data je tedy určeno v subkanálech jen 96 bytů. Při single speed čtení, musí mechanika stihnout přečíst 75 sektorů za sekundu. S přibývajícím rychlostí CD-ROM mechanik se samozřejmě rychlost čtení náležitě zvyšuje. Máte-li tedy v mechanice audio disk, musí být zpracováno během jedné sekundy  $75 \times 2\,352 = 176\,400$  bytů dat (a k tomu ještě  $75 \times (98 + 784) = 66\,150$  dat nadbytečných).<sup>3</sup>

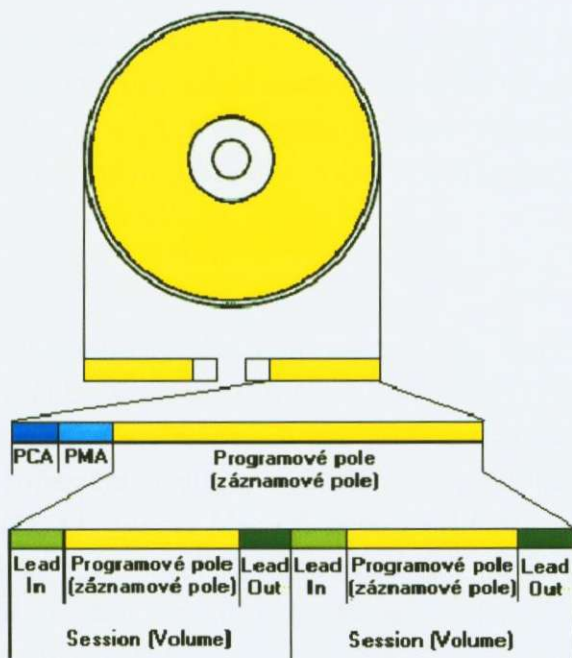
C1 a C2 vytváří křížově prokládaný ECC, který pokrývá každý datový byt dvakrát. CD-DA má dvouvrstvou kontrolu dat označovanou jako C1 a C2. Datová CD přidávají ještě třetí vrstvu C3. C1 odstraňuje náhodné chyby jako třeba šumy. C2 slouží k potlačení chyb vzniklých škrábanci nebo špínou na CD. Již zmíněná uživatelská data, nemusí vždy nutně obsahovat data uživatelem nahraná. Zde se tohoto pojmenování používá spíše pro jasnější rozlišení dat, které jsou nahrány jaksi automaticky (synchronní, mergin, CIRC). Většina logických formátů má datovou kapacitu na jeden sektor 2 048 bytů. To tedy znamená, že zbylých 304 bytů je použito k jiným účelům než ke skutečnému uložení dat.

### 1.4.3. Vzhled datového pole při zápisu

Datovou část disku lze dále ještě rozdělit na PCA, PMA a programové, záznamové pole.

PCA je speciální oblast blízko středu záznamového média viz obr. č.1.20. Před zápisem stopy na CD, provádí v tomto poli CD rekordér nastavení vypalovací energie pro každý jednotlivý CD-R (CD-RW) disk, můžeme jej nazvat kalibračním polem.

PMA (*Program Memory Area*) je místo, kde jsou přechodně uloženy informace o počtu stop a jejich umístění. Na začátku programového se při vypalování vytvoří Lead-In Area, to je místo, které je na začátku každé stopy (*session*) vynechané pro zápis její TOC (osahuje informace o počtu stop, jejich začátku a o celkové délce datové oblasti, obdoba FAT na HDD), můžeme nazývat „tabulka obsahu“. Vymezuje si 4 500 sektorů (1 minuta, nebo 9 MB). Po dokončení zápisu stopy je na jejím konci zaznamenáno Lead-Out Area. Tato oblast říká, že byla ukončena část s daty. Do části Lead-Out nejsou nahrávána žádná aktuální data. První Lead-Out má velikost 6 750 sektorů (1,5 minuty nebo 13,5MB), každý další obsadí 2 250 sektorů (0,5 minuty, 4,5MB). Pakliže již nebudeme chtít další data zapisovat, nebo nebude místo na disku CD, vytvoří se TOC (*Table of Contents*) a tím dochází k "uzavření" disku. Dále již není možné na disk cokoliv nahrát, tomuto způsobu zápisu se říká Singlesession (do jedné vrstvy), všechny tracky jsou zapsány v jednom svazku (volume).



Obr. 1.20: Datové pole CD disku.<sup>5</sup>

Pokud ale nechceme CD uzavírat, můžeme data zapsat také jako Multisession (více stop). V tom případě se Lead-In zapisuje hned za Lead-Out. Jak je vidět na obr. č. 1.20. A TOC tabulka obsahu se zapíše až po poslední vytvořené stopě, tím se opět CD uzavře. U starších mechanik se stává, že nejsou schopny přečíst otevřené CD, proto je lepší jej po naplnění uzavřít. Výběr mezi Singlesession a Multisession je možný před vypalováním v uživatelském programu, jakým je např. Nero.

Dále můžeme nastavit způsob zápisu dat na disk. Máme tři druhy:

1. Track At Once,
2. Disc At Once,
3. Session At Once.

Track At Once při každém dokončení stopy (tracku) je vypnut zapisovací laser (i když se bude okamžitě zapisovat další stopa). Při zapínání a vypínání laseru se zapisují bloky Run-In a Run-Out. Nejmenší délka stopy je 300 bloků (4 sekundy - 700 kB). Maximální počet stop je 99.

Disc At Once dojde k celému nahrání CD bez vypnutí laseru. Tento způsob se velmi hodí pro tvorbu master disků pro následnou hromadnou výrobu, protože odstraňuje spojování a Run-In a Run-Out bloky, které ale mohou být v procesu masteingu interpretovány jako neopravitelné chyby. Vhodný je také pro vytváření CD-DA bez mezer mezi skladbami.

Session At Once je podmnožina Disc At Once používaná pro CD Extra. Při zápisu Session At Once obsahuje první session vícenásobný počet audio stop (tracků) nahraných v jedné relaci, pak se vypalovací laser vypne a disk není zatím uzavřen. Teprve poté se nahrává druhá session s daty, která se uzavírá.

#### **1.4.4. ISO 9660 a Joliet**

ISO 9660 je základním logickým formátem CD, který byl uznán jako standard. Logický formát lze vzdáleně přirovnat FAT32 a NTFS u HDD. Určuje jak se budou ukládat složky a soubory, a pro jaký systém je CD vytvořeno. Podporují jej různé operační systémy na různých platformách, jako např. Windows 9x, ME, 2000, XP, Linux, Mac OS nebo IBM OS/2. V současné době se používá druhá verze, tzv. Level 2, která na rozdíl od Level 1 podporuje i názvy souborů delší než 8+3 znaků. Odpadá omezení systémem DOS, kdy název souboru nemůže být delší než osm znaků a přípona delší než tři znaky, kromě toho není možné některé z nich používat. Level 2 je oproti první verzi podstatně shovívavější. Jméno souboru se prodlužuje na 30 znaků, což už je podstatně použitelnější, navíc struktura složek může mít až 32 vnoření (tj. 31 podsložek v hlavní složce, Level 1 měl jen osm vnoření).



Další formát dal uživatelům k dispozici Microsoft, s příchodem Windows 95 se začaly používat dlouhé názvy. Kvůli omezením ISO 9660 nebylo možné vytvářet přesné kopie struktur složek a souborů, proto Microsoft přišel s vlastním formátem tzv. Joliet. Kromě 64 znakových názvů souborů si také ukládá druhý název pro DOS, ve formátu 8+3, aby byla CD čitelná i v operačním systému DOS, starších Windows 3.xx nebo na počítačích Macintosh. Proto je nejnázší při vypalování zvolit třeba ve vypalovacím programu Nero položku Joliet a standart ISO 9660. Takto vypálené CD se přečtete ve všech systémech Windows i DOS, a to včetně českých znaků.<sup>2</sup>

## 1.5. Datová velikost CD

Prvním faktorem ovlivňující datovou velikost CD je kapacita uživatelských dat v sektoru, tu určují dva módy, které jsou určeny pro zápis.

Mód 1 (mode 1) se používá k záznamu dat a programů. Pole uživatelských dat je v tomto případě dlouhé 2 048 bytů na sektor.

Mode 2 je využíván pro zápis audia nebo pro grafické informace. Sektor zde obsahuje 2 336 bytů. Oba tyto módy používají zbylé místo v sektoru pro systémovou kontrolu a pro korekci chybných dat.

Druhým faktorem je počet sektorů jenž CD obsahuje. Délka zápisu na CD určená pro zápis zvuku byla udávána v minutách. Toto CD může v nestandardních případech obsahovat až 100 minut hudby, které získáme nahráním dat až k okraji, zmenšením vzdálenosti mezi pity a landy a zmenšením mezery mezi stopami. Nicméně krajních pět milimetrů na CD bylo pro razicí stroje obtížně použitelné, a některé CD přehrávače neumí toto pole vůbec číst. Dá se tedy hovořit o tom, že CD pro hudbu obsahuje 60 minut záznamu a to z důvodu zabezpečení kompatibility s lisovacími stroji a všemi CD přehrávači. V dnešní době se dá říci, že od této "zpětné" kompatibility většina producentů ustupuje, bez ohledu na možné problémy se staršími mechanikami. Se 100 minut dlouhými CD-R se můžeme setkat u firmy Mutlidisk (česká firma, jejíž média bohužel nepatří zrovna k nejlepším). Dupočítané velikosti jsou uvedeny v tab. č. 1.2.

	Mode 1		Mode 2	
	1.	2.	1.	2.
Bytů na sektor	2 048	2 048	2 336	2 336
Počet sektorů	75	75	75	75
Sekundy	60	60	60	60
Minuty	60	74	60	74
Celkově v bytech	552 960 000	681 984 000	630 720 000	777 888 000

Tab. 1.2: Dupočítání velikosti cd podle sektorů a minut.

Posledním faktorem je způsob výpočtu 1 MB. Důvodem k tomu je rozdílná interpretace výrazu mega.

Aritmetickým vyjádřením (dekadickým) je mega jeden milión (1000 000), tedy:  $552\,960\,000 / 1\,000\,000 = 552,96$  MB, to znamená , že CD nahrané Mode 1 při délce 60 minut obsahuje téměř 553 MB dat.

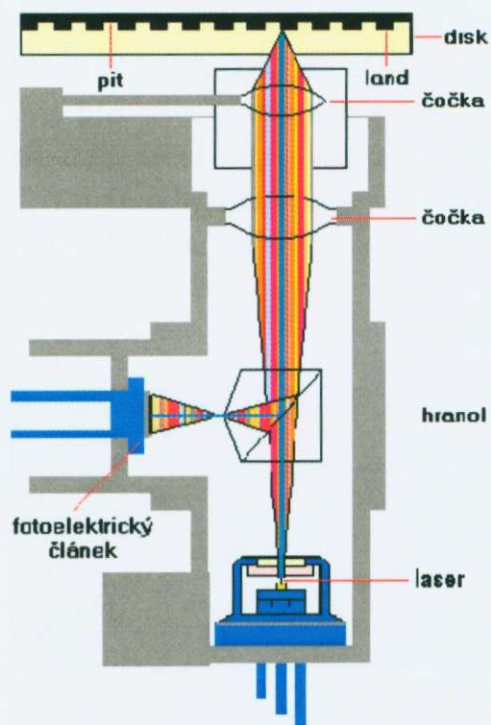
V počítačové terminologii se ale ujalo vyjádření pro 1 kB jako 1 024 bytů ( $2^{10}$ ). Jeden MB pak tedy obsahuje 1 024 000 bytů (vyjdeme-li z předpokladu, že  $1\,000 \times 1\text{ kB} = 1\text{ MB}$ ). Tedy:  $552\,960\,000 / 1\,024\,000 = 540$  MB, v tomto případě se velikost značí MiB.

To ovšem ještě není vše, jeden MB můžeme také chápat jako  $2^{20}$ , což je 1 048 576 bytů. Tedy:  $552\,960\,000 / 1\,048\,576 = 527,34$  MB. Uvede-li se, že 60min CD má kapacitu 552,96 MB; 540 MB; 527,34 MB; 630,72 MB; 615,9 MB oči 601,5 MB, budete to vždy pravda. Nikdy by se ale neměli zapomenout dodat o jaký mód se jedná a jak je počítán 1MB. Jakou velikost tedy uvádí výrobci? Uvedu příklad, mám médium Verbatim DataLifePlus SuperAZO Printable, na obalu je vytištěno 700MB tedy 80min. Podle [1] má 703MiB a 737MB při překročení overburnu (oblast pro nahrávání) můžeme dosáhnout až 721 MiB, 756 MB. Dle toho můžeme směle říct, že výrobci uvádí velikost přibližně v MiB a bez překročení overburnu.

## 1.6. Čtení

Kompaktní disk je čten pomocí laserového svazku, který se tvoří v optice mechaniky. Speciální čočky umožňují, aby byl laser zaostřen na velmi malé místo na disku. Protože laser proniká přes polykarbonát, refraktivní (index lomu  $n$  je 1,55) vlastnosti materiálu jsou příčinou toho, že ohnisko se stává ořezané. Původně 780  $\mu\text{m}$  široký paprsek dopadne na odrazovou vrstvu široký pouze 1,7  $\mu\text{m}$ . Pity jsou hluboké přesně  $1/4$  vlnové délky čtecího laseru. Změna v ohniskové vzdálenosti mezi vnějším povrchem záznamového barviva (matrice u lisovaného CD) a odrazovou plochou je použitelný dvoustavový efekt. Malé škrábance a nečistoty v plastu jsou jednoduše prosvíceny a ignorovány. Nezpůsobí tedy chybu.

Laser se zaostřuje na datovou spirálu a odražené světlo je snímáno podle sledu lands a pits fotodetektořem. Když laser svítí na land, dopadá velká většina odraženého světla přímo na fotodetektor, čímž dojde k vytvoření elektrického signálu. Pokud svítí na pit, světlo se odrazí velmi rozptýlené a žádný elektrický impuls se nevytvoří. Když je přečten sektor, prochází data převodníkem Digital to Analog (DA převodník) v případě audia CD-DA, nebo jdou do počítače v digitální formě v ostatních případech.



Obr. 1.21: Optika CD mechaniky.<sup>5</sup>

### 1.6.1. Servo systémy

Aby byl čtecí laser správně zaostřen a sledoval stopu, jsou mechaniky vybaveny servomechanismem, který provádí mechanický posun na základě elektrického signálu. Mechanika obsahuje čtyři základní servo systémy:

1. rotační,
2. zaostřovací,
3. čtecí,
4. zaměřovací.

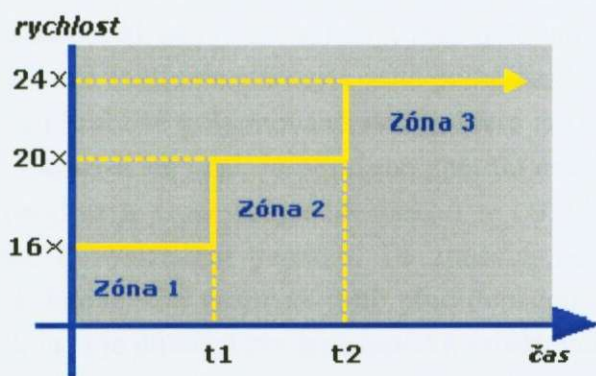
#### Rotační servo systém

Rotační servo systém zajišťuje otáčení disku, má obzvláště těžkou úlohu, mnohem složitější než u magnetického pevného disku. Hustota záznamu je na stopě CD proměnná. Proto se používá několik způsobů otáčení CD.

CLV (*Constant Linear Velocity*) konstantní obvodová rychlost. Každá část dat na spirále probíhá pod čtecí hlavou stále stejnou rychlostí, proto je rychlost otáčení větší při čtení u středu CD, zatímco směrem k okraji se snižuje. Tato rychlost se pohybuje od 210 do 539 otáček za minutu u CD-DA, mechanika s 2x rychlostí má otáčky od 420 do 1 078, s 12x rychlostí 2 520 až 6 468 (CLV).

CAV (*Constant Angular Velocity*) konstantní úhlová rychlost. Servo udržuje konstantní otáčky, což zvyšuje přenosovou rychlost a redukuje přístupovou dobu.

Z-CLV (*Zone - Constant Linear Velocity*) zde je otáčení stále CLV, ale celé CD je rozděleno na tři zóny, kde se používají různé rychlosti CLV, viz. obr. č. 1.22. Aby byly přechody, skoky z jedné rychlosti do druhé zajištěny, dojde minimálně dvakrát k přerušení vypalování a jeho následovaném navázání, ovšem s vyšší rychlostí. Tak je zabezpečeno, že u středu nedochází k vibracím, které mohou způsobovat nekvalitní záznam. Rychlost vypalování pak spíše odpovídá průměrné rychlosti 20×, 24×.



Obr. 1.22: Změna rychlostí při zápisu Z-CLV.<sup>5</sup>

P-CAV (*Partial - Constant Linear Velocity*) kombinovaná rychlost otáčení. Mechanika zprvu dodržuje konstantní rychlost otáčení a jisté vzdálenosti od středu CD přechází na CLV. S P-CAV se docíljuje ještě lepší datové propustnosti, než u stejné mechaniky pouze s CAV.

### Zaostřovací servo systém

Řídící systém zaostřovacího servo pohonu kontroluje příslušné obvody a regulátor zaostřování za účelem posunu objektivu ve správném směru podle povrchu média. Cílem je zaostření laserového paprsku na datovou vrstvu a minimalizace zaostřovacích chyb. Ohniskové (zaostřovací) servo používá zpětnou vazbu, která mu říká, zda je ohnisková vzdálenost malá nebo velká. Toho se docíljuje vyhodnocováním pozice na přijímacím fotočlánku. Tato ploška je rozdělena na několik částí a podle místa dopadu dochází k vyslání signálu pro redukci zaostření paprsku.

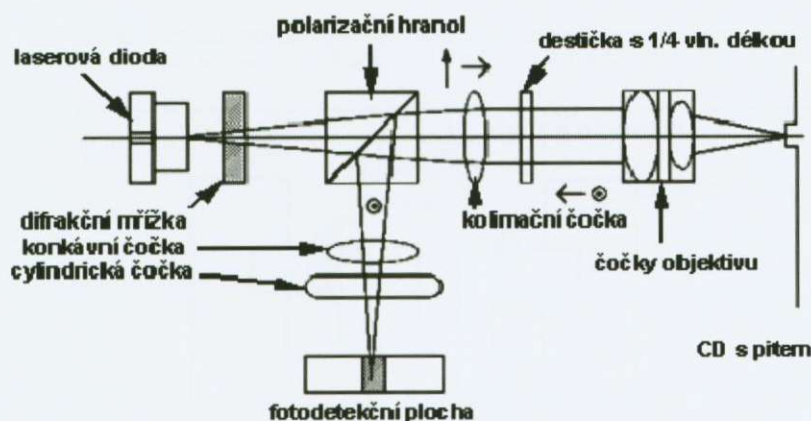
### Čtecí servo systém

Řídící systém čtecího servo pohonu kontroluje příslušné obvody a vlečný regulátor za účelem posunu objektivu v radiálním směru nad médiem. Cílem je přesné nastavení laserového paprsku na datovou stopu a minimalizace počtu čtecích chyb. To se provádí úpravou pozice čočky objektivu za pomoci řízení s uzavřenou smyčkou

## Zaměřovací servo systém

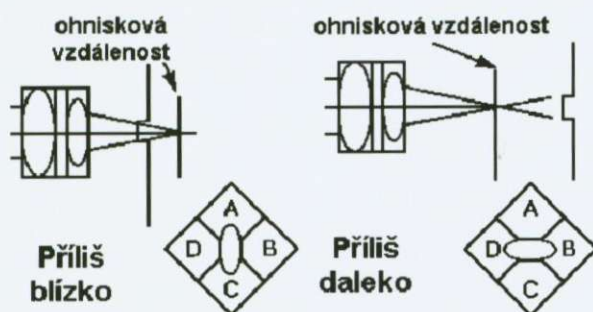
Systém zaměřovacího servo pohonu řídí příslušné obvody, podávací motor a ozubené převody, aby docházelo k pohybu čtecí hlavy směrem dovnitř a ven od cílové polohy, čehož využívá čtecí servo k načítání dat z disku.

Dalším způsobem, jak udržet laserový paprsek na stopě je metoda tří paprsků. Světlo emitované laserovou diodou prochází difrakční mřížkou, která světlo rozdělí do centrálního paprsku s okrajovými malými vrcholky. A právě tyto postranní vrcholky jsou důležité pro sledování datové stopy. Tyto "tři" paprsky pak prochází polarizačním hranolem a jsou dále upraveny na kolimační čočce. Takto zpracované světlo na své cestě ještě potká destičku s  $1/4$  vln. délkou. Ta vytvoří z paprsku kruhově polarizované světlo, které nakonec dopadne až na samotné médium. Narazí-li na land, je odraženo zpět do čoček objektivu (z pítu se žádné světlo neodrazí). Opět projde destičkou s  $1/4$  vln. délkou, je tedy polarizováno kolmo k vyslanému paprsku. To způsobí, že je v polarizačním hranolu odraženo k fotodetekci (paprsek ještě před dopadem prochází konkávní a cylindrickou čočkou ta je důležitá pro automatické zaostřování).



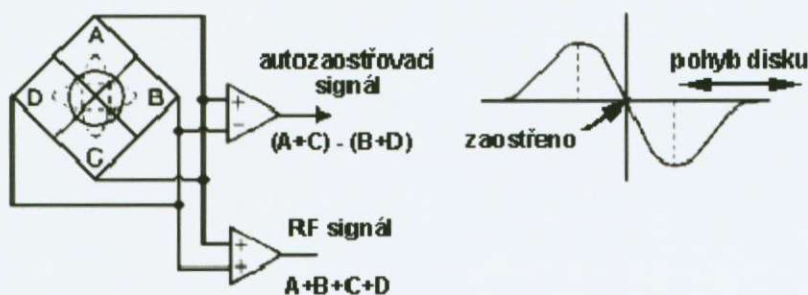
Obr. 1.23: Metoda tří paprsků.<sup>5</sup>

A to už se dostáváme k tomu, jak dochází k automatickému ostření. Je-li totiž optika blíže, nebo dále od média, než je ohnisková vzdálenost, vytváří na fotocitlivé snímáči destičce eliptický obraz, jak je vidět na obr. č. 1.24.



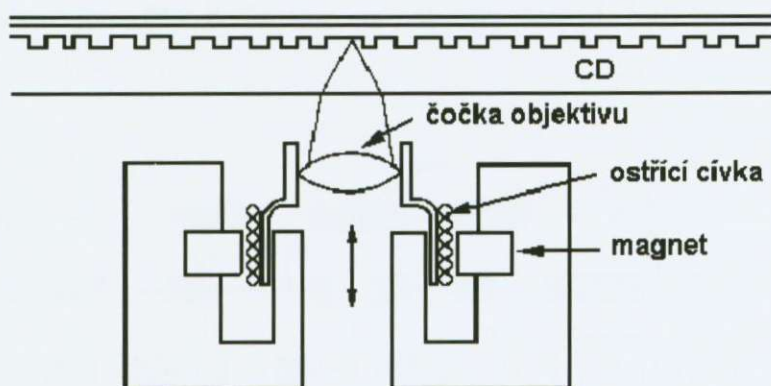
Obr. 1.24: Eliptický obraz podle vzdálenosti od optiky.<sup>5</sup>

Aby tedy byla ohnisková vzdálenost přesně tam, kde má být, stačí, aby na všechny čtyři kvadranty A, B, C, D dopadala stejná světelná energie. Obvod, který to celé dovede řídit vypadá, jako na obr. č. 1.24.



Obr. 1.24: Eliptický obraz podle vzdálenosti od optiky.<sup>5</sup>

Kdyby jsme se do své mechaniky podívali, objevíme malou cívečku na ostřicí optice. Něco podobného, jako je na obr. č. 1.25.



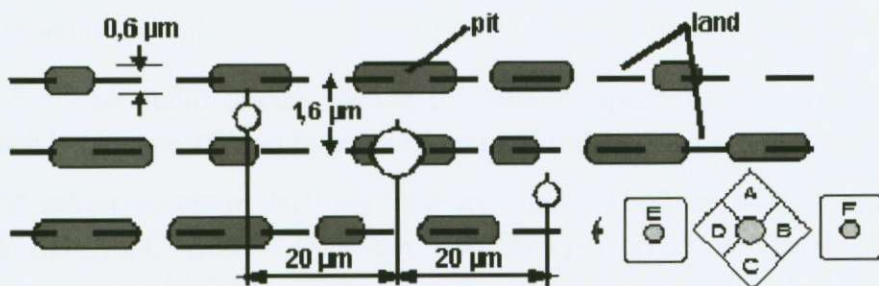
Obr. 1.25: Čtecí a zapisovací optická hlava.<sup>5</sup>

Nyní už tedy víme, jak taková optika zabezpečí konstantní vzdálenost od média. Ale jak je schopna udržet se na stopě? O třech paprscích jsem se už zmínil, vznikají na difrakční mřížce. Podíváme-li se na světelný tok laseru v řezu (asi je to ne zcela přesně řečené, ale zkusíme-li si posvítit baterkou na stěnu, uvidíme, že světelný paprsek dělá soustředné kružnice), bude vypadat asi jako na obr. č. 1.26.

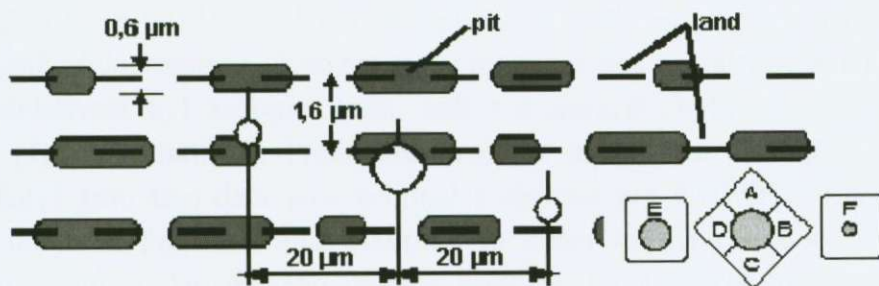


Obr. 1.26: Třísazkový paprsek.<sup>5</sup>

Je-li vše jak má být, dva postranní světelné svazky svítí mimo stopu a hlavní laser je správně nastaven na stopě. Pro detekci se používají další dvě fotocitlivé plošky po obou stranách hlavního snímacího pole. Na ně by mělo dopadat vždy stejné množství světla bez jakýchkoliv odchylek. Dojde-li k odchýlení ze stopy, bude na krajní plošky dopadat různé množství světla (to jak budou střídavě procházet landy a pity) a navíc centrální paprsek bude o něco silnější, protože jeho část bude stále snímat kousek land. Nejlépe to pět uvidíme na obr. č. 1.26, 1.27.



Obr. 1.26: Paprsek se nachází na stopě.<sup>5</sup>



Obr. 1.27: Paprsek ze stopy vychýlen.<sup>5</sup>

Na takový stav hlava zareaguje vychýlením do správné strany, aby se opět laser dostal do stopy. Na podobném principu pracují mechanismy, které zabezpečují kolmost optiky a média.



### 1.6.2. Dekódování – oprava chyb

Data zaznamenaná na kompaktní disk jsou připravena tak, aby se dala opravovat, a to i přesto, že jsou před, v průběhu i po vylisování testována a kontrolována. Chyby se mohou ale vyskytnout při přehrávání, jsou způsobeny poškrábáním povrchu, nečistotami, prachem a nepravidelnostmi v polykarbonátové vrstvě... Každý typ disku je tedy proto vytvořen tak, aby bylo možné provádět jeho samoopravy. Ovšem ne všechny úrovně korekcí jsou používány, to závisí na aplikacích na disku.

Kompaktní disky používají kombinovaný způsob detekce a opravy chyb. Jako nejideálnější pro detekci chyb a pro navrácení chybných bytů do původního stavu se ukázala základní verze CIRC (*Cross-Interleaved Reed Solomon Code*). CIRC je samoopravný kód vyvinutý speciálně pro kompaktní disky. Je implementován do převážné většiny audio CD a CD-ROM přehrávačů. Díky tomu jsou tyto přehrávače schopné detekovat a opravit chybný bit ve 4 000 bitech dat. CIRC se hodí zejména pro "vyčistění" sekvencí chyb, které vznikají poškrábáním povrchu disku. Použitím základní formy CIRC, se dosahuje pravděpodobnosti výskytu jednoho chybného bitu 1:1 000 000 000 ( $10^9$ ). Znamená to možnost výskytu asi 5 chybných bitů na jednom CD disku. Tento výskyt chyby se dá ještě připustit pro audio disky CD-DA, neboť nejvíce chyb je tak malých, že nejsou sluchem zaznamenané. V nejhorším případě se projeví jako cvaknutí.

Chyby na audio discích mohou být také kompenzovány interpolací dvou sousedních bytů, nebo ztlumením zvuku na místě krátké poruchy.

CD-ROM sektor obsahuje data, ale také sekundární korekční schéma nazývané vrstvená EDC/ECC (*Error Detection Code/Error Correction Code*), který je silnější verzí CIRC kódu. Díky tomuto schématu se dosahuje snížení pravděpodobnosti výskytu jednoho chybného bitu 1 : 10 000 000 000 000 ( $10^{13}$ ). Znamená to jeden chybný bit na zhruba 2 000 kompaktních disků.

Oba kódy (CIRC a EDC/ECC) přidávají další informaci k originálním datům, jež jsou nahrávána. Tato data jsou organizována tak, aby dekodér v CD-ROM přehrávači byl schopen určit, nalézt a opravit chyby, jež analyzuje pomocí přidané informace. Předpokládejme, že máme tato data: 23,2, 9, 27.

Když jsou tato data jako originál kódována pro CDROM, můžeme je umístit do dvou řad se dvěma sloupci. Na konci každého sloupce a řádku provedeme součet. Do pravého dolního rohu zapíšeme součet součtů sloupců a řádků. Přidaný sloupec a řádek se nazývají kontrolní součty a jsou přidanou informací k originálním datům viz. tab. č. 1.3.

Originál data		$\Sigma$
23	2	35
9	27	36
$\Sigma$	32	29
		61

Tab. 1.3: Zapsaná data.

Při přehrávání CD dochází k novému sčítání a porovnávání vypočtených hodnot s kontrolními součty zapsanými na CD. Pokud dojde ke změně jednoho Čísla, okamžitě se to projeví v nesouhlasu vypočtených a zapsaných kontrol, přičemž stačí kontrolovat pouze součet v pravém dolním rohu (součet součtů). Zjistí se tak, že došlo k chybě. Předpokládejme, že se změnilo druhé číslo v prvním řádku 2 na 8. Kontrolní součet součtů má pak hodnotu 67 a ne 61. Zjistili jsme, že někde vznikla chyba.

Originál data		$\Sigma$
23	8	31
9	27	36
$\Sigma$	32	29
		67

Tab. 1.4: Přečtená data.

Dekodér zjistí porovnáním kontrolních součtů řádků a sloupců, že nesouhlasí součet prvního řádku a druhého sloupce. Došlo k chybě ve druhém sloupci prvního řádku. Zbývá tedy opravit chybnou hodnotu na správnou. Chybný součet součtů byl 67. Originál 61.  $67-61$  je tedy 6. Správné číslo je tedy  $8-6=2$ . Nyní tedy dekodér vyše opravená data: 23, 8, 9, 27. Je ale možné, že i kontrolní součet je postižen chybou a výsledek je i přes chybu dat správný. Pak ovšem dekodér tuto chybu ignoruje. Tato technika se dá přirozeně použít i na binární čísla viz. tab. č. 1.5.

			Paritní pit
2	=	0010	0
7	=	0111	1
9	=	1001	0
Paritní slovo		1100	1

Tab. 1.5: Oprava chyb aplikovaná na binární čísla.

V tomto případě čísla 2, 7 a 9 reprezentují vaše data, vyjádřená v binární formě pomocí 4bitového slova. Pro správnou detekci a korekci chyb je ke každému slovu přidán ještě jeden bit, zvaný paritní. Tento bit je "1" když je počet jedniček ve slově lichý a "0" při sudém počtu. Tomu se říká sudá parita. Lichá parita funguje analogicky, ovšem inverzně, sudá parita se používá častěji. Když dekodér přijímá data, umí analyzovat paritní bit, zjistit a opravit chybný bit na správnou hodnotu.

			Paritní pit
2	=	0010	0
7	=	0111	1
9	=	1001	0
Paritní slovo		1100	1

Tab. 1.6: Oprava chyb aplikovaná na binární čísla.

Kontrolní součet prvního řádku a čtvrtého sloupce nesouhlasí. Dojde tedy ke změně čtvrtého bitu v prvním řádku z 1 na 0, viz. tab. č. 1.6.

Tyto celkem jednoduché příklady sloužily k vysvětlení základní funkce CIRC. Ovšem schéma právě prezentované není moc vhodné pro praxi. Co se například stane, když je chybný více než jeden bit? A co, když jednu chybu kompenzuje chyba druhá? Správně předpokládáte, že kódování EDC/ECC je o něco komplikovanější. Samotná základní idea je provedena v několika krocích. V křížovém kódování, kde originální data jsou organizována do mřížky se sloupci a řádky. Vlastní čtení a zápis se v této mřížce provádí diagonálně, podle obr. č. 1.29 (začátek je 1).

5	6	7	8	9	
4					
3					
2					
1					
	A	B	C	D	E
	F	G	H	I	J
	K	L	M	N	O
	P	Q	R	S	T
	U	V	W	X	Y

Obr. 1.29: Křížové kódování.<sup>3</sup>

Při přenosu jsou data umíst'ována opět do mřížky, ovšem tentokrát horizontálně.

U	P	V	K	Q
W	F	L	R	X
A	G	M	S	Y
B	H	N	T	C
I	O	D	J	E

Tab. 1.7: Označený zničený řádek.

Na příkladu tab. č. 1.7. vidíte, že byl zcela zničen celý řádek informací. Pomocí základního způsobu kódování CIRC by bylo velmi obtížné takovéto chyby opravit.

?	B	C	D	E
F	?	H	I	J
K	L	?	N	O
P	Q	R	?	T
U	V	W	X	?

Tab. 1.8: Data čtená do originální mřížky.

Ale pokud jsou data čtena zpět do originální mřížky tab. č. 1.8, izolují se jednotlivé chyby a dají se již tímto způsobem detekovat a opravit. Při prokládání sekvence dat dochází při vkládání do mřížky ke čtení vertikálnímu a čtení zpět je horizontální. Tím se chybné řádky přemístí do chyb izolovaných, které mohou být opraveny daleko jednodušeji. Je jasné, že k poruchám čtení dat z CD dochází právě ve spojitéch čarách, škrábancích a rýhách na jeho povrchu.

# 1. DVD (*Digital Versatile Disc*)

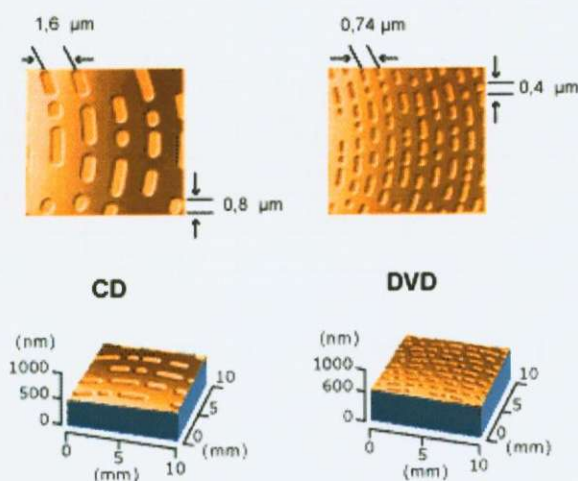
Tyto disky jsou adekvátním nástupcem CD, téměř ve všech oblastech jejich použití.

## 2.1. Vznik

Vše začalo, když se firmy Matsushita Electric, Toshiba, Time a Warner se svým Super Diskem (SD) snažili prosadit proti Sony a Philips a jejich Multimedia CD (MMCD). Obě technologie měly rozšířit možnosti tehdy populárního CD. Ale oba formáty byly naprosto nekompatibilní. Pod tlakem počítačového průmyslu se ustanovilo DVD Konsorcium, které se mělo dohodnout na univerzálním formátu. Ten světlo světa spatřil v roce 1995 a byl více podobný Super Disku. Po nátlaku firem Microsoft, IBM, Intel a Apple, které daly jasně najevo, že je třeba vyrobit univerzální a kompatibilní standard a to rychle, jinak jej nebudou podporovat, vzniká DVD Fórum, které i přes četné problémy dotahuje specifikaci formátu DVD, nebo-li Digital Versatile Disc, nikoli však Digital Video Disk, jak se v mnohých literaturách mylně uvádí. Bohužel některé firmy nechtěli platit licenční poplatky, a tak vznikly tři fyzické formáty a mnoho aplikačních formátů.

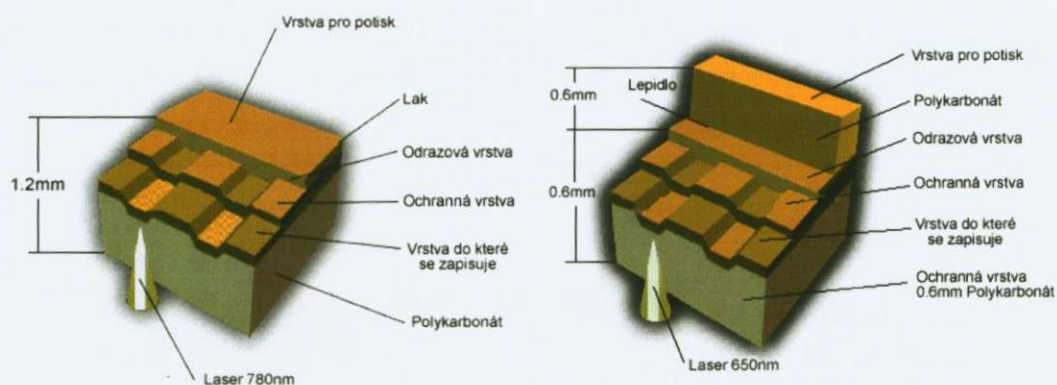
## 2.3. Rozdíl oproti CD

Hlavní rozdíl DVD od CD je ve zmenšení vzdálenosti mezi stopami a ve velikosti pitů. U CD je velikost pitů  $0,8 \mu\text{m}$  a vzdálenost mezi spirálami  $1,6 \mu\text{m}$ . Zatím co u DVD je velikost pitů  $0,4 \mu\text{m}$  a vzdálenost mezi spirálami  $0,74 \mu\text{m}$ . Zmenšením pitů a vzdálenosti stop se dosáhne kapacity média cca  $4,5\text{x}$  větší než je u CD.



Obr. 2.1: Velikost pitů, vzdálenost spirály u CD a DVD.

Abychom mohly číst a zapisovat takto malé pitty, používá se laser o vlnové délce v rozmezí 635 - 650 nm. Velikost a tloušťka média je stejná jako u CD, tedy 12 cm a 1,2 mm. Dalším rozdílem DVD od CD je odlišný počet vrstev disků. U CD je pouze jedna vrstva polykarbonátu, zatím co u DVD jsou dvě užší vrstvy. Jedna na spodní straně, ze které se data čtou a druhá mezi odrazovou vrstvou a vrstvou potisku. Tím je více ochráněna záznamová vrstva, která je jinak u CD ze strany potisku náchylná na poškrábání.



Obr. 2.2: Vrstvy CD a DVD.<sup>15</sup>

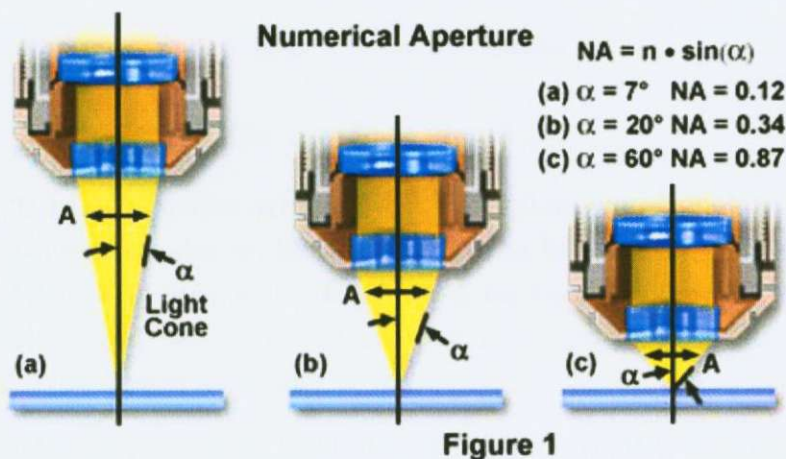
Parametr	Jednotka	CD	DVD	
			jednovrstvý disk	dvouvrstvý disk
vlnová délka laseru při zápisu	nm	775 - 795	635 - 645	
vlnová délka laseru při čtení	-	770 - 830	635 - 650	
referenční rychlost snímání	m / s	1.2 - 1.4	3.49	3.84
délka bitového kanálu	μm	0.28 - 0.32	0.13	0.15
minimální délka pitu	μm	0.83 - 0.97	0.40	0.44
stoupání závitu spirály	μm	1.6	0.74	
NA optické čočky	-	0.45	0.60	
tloušťka disku	mm	1.2	2 x 0.6	
vnitřní poloměr datové oblasti	mm	25	24	
vnější poloměr datové oblasti	mm	37.5 / 58	38 / 58	
maximální výchylka disku	-	0.6°	0.4°	
max. chyba tloušťky substrátu	μm	±100	±30	+ 40. - 50
max. radiální výchylka	μm	140	100	
uživatelská kapacita dat	GB	0.68	4.70	8.54
přenosová rychlost	Mps / s	0.15 - 7.8	1.38 - 22.1	

Tab. 2.1: Porovnání parametrů CD s DVD.

## 2.4. Numerická apertura (NA)

Numerická apertura je vlastnost týkající se čočky za zapisovacím laserem a je definovaná jako index lomu násoben sinem úhlu, který svírá zužující se laserový paprsek s kolmicí. Viz. vztah č. 2.1, kde "n" je index lomu (vzduch = 1, sklo = 1,5, diamant = 2,5) a "μ" je úhel patrný na obrázku č. 4. Jinými slovy, čočka má tu vlastnost, že zaostří laserový paprsek o určité tloušťce do jednoho bodu. "Tvar" laseru je pak kónický a čím je jehlan "nižší", tím je numerická apertura vyšší. Znamená to, že mechaniky DVD s NA 0.60 zaostřují na mnohem kratší vzdálenost než CD-ROM, jehož apertura je 0,45 pro čtení a 0,5 pro zápis.

$$NA = n * \sin(\mu) \quad (2.1)$$



Obr. 2.3: Různá numerická apertura čoček.<sup>5</sup>

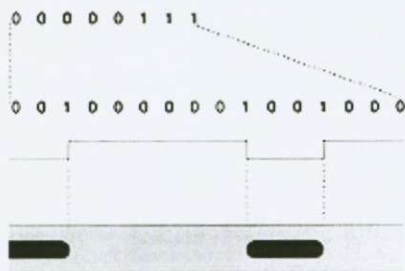
## 2.5. Korekce chyb

Stejně jako u CD médií je nutné i u DVD korigovat chyby vznikající následkem poškrábání povrchu disku, vibrací disku a dalších příčin. Korekce chyb se uskutečňuje doplněním korekčních kódů, jak jsme si řekli u CD. Data s těmito kódy jsou modulována a pak se vytvářejí záznamové jamky. Díky přidání těchto kódů jsou korigovány chyby ve čtení dat.

Poměr přidanych kódů k celkovému objemu dat, obsahujícímu původní data, se nazývá redundance (nadbytečnost) dat. Po korekci chyb je u DVD použit Reed-Solomův produkční kód (RS-PC). Ten má větší opravnou schopnost než prokládaný Reed-Solomonův kód (CIRC) používaný u CD a má přitom menší redundanci dat. Schopnost opravy shluků chyb, reprezentovaná schopností kolik následujících elementů na disku lze korigovat, je u DVD přehrávače kolem 6 mm ve srovnání se 2 mm u CD.

## 2.6. Modulace EFM Plus

Při záznamu dat na disk je ke kódování dat pro záznam na DVD používán modulární formát EFM Plus (8-16). Digitální signály jsou před záznamem na záznamové médium kódovány (např. u CD a DVD - nuly a jedničky vlastních dat netvoří záznamové jamky). Při EFM signálech lze na stopu též délky zaznamenat mnohem více dat. EFM se uskutečňuje pro zlepšení účinnosti zaznamenaného průběhu.



Obr. 2.4: EFM Plus (8-14).

U CD i DVD se výchozí data tvořená osmibitovými jednotkami překládají pomocí převodních tabulek do bloků čtrnácti nebo šestnáctibitových vzorů. To se nazývá modulace 8-14 nebo 8-16. Hrany jamek na desce indikují, kde se "1" objeví v následujícím sledu "0" a "1". Je zde používán způsob záznamu bez návratu k nule NRZ (*Non Return to Zero*).

Modulace 8-16 formátu EFM plus užívaného u DVD je zdokonalenou verzí modulace 8-14 formátu EFM používaného u CD. Tato modulace 8-16 se může zdát neefektivní ve srovnání s modulací 8-14, protože je zde použito 16 bitů místo 14-ti. V praxi však dosahuje vyšší hustoty záznamu. U EFM je zapotřebí celkem 17 bitů, protože jsou ke spojení 14 bitových bloků EFM zapotřebí 3 propojovací bity, zatímco u EFM plus se pro potlačení nevyhnutelných stejnosměrných složek nutných k vytvoření optického diskového systému používá více převodních tabulek a propojovací bity nejsou potřebné. Formát EFM plus zvyšuje hustotu záznamu ve srovnání s EFM přibližně o 6%.

## 2.7. UDF (*Universal Disc Formát*)

DVD stejně jako CD mají i svůj vlastní souborový systém. Tento systém vznikl s tím, že pokryje potřeby všech médií, u prepisovatelných disků by měl nahradit starší ISO 9660. Byl vytvořen mezinárodní organizací OSTA (*Optical Storage Technology Association*)

Jeho výhodou je výborná kompatibilita na všech platformách (DOS, Windows, Mac, Apple, Unix a Linux). Zápis je také definován formou packet



writing, to je výhodné zejména u přepisovatelných médií, lze totiž dle libosti přidávat i mazat data. UDF netrpí takovými omezeními (délka názvu 255 znaků, 1023 znaků cesty) v délce souborů a cesty jako ISO 9660 + Joliet.

Nevýhodou systému UDF je potřeba ovladačů, Win 2000 mají ovladač verze 1.02 a 1.50 integrován, WinXP ještě navíc verzi 2.00 a 2.01. Ovladače jsou zdarma a existují pro všechny běžné operační systémy, ovladač se instaluje třeba s programem Ahead InCD 4.

UDF využívá zejména tři své verze - 1.02 (DVD-ROM, DVD-Video), 1.50 která nachází uplatnění u médií DVD+RW a CD-RW (zejména při paketovém zápisu programem InCD) a verzi 2.00 která je doporučena pro DVD-RW.<sup>15</sup>

## 2.8. Vrstvy

Další výhodou DVD disků oproti CD, je možnost zvýšení kapacity použitím vícevrstvých a oboustranných medií. Jednotlivých velikostí a značení podle vrstev si můžeme všimnout v tab. č. 2.2.

První záznamová vrstva dvouvrstvého média musí mít propustnost aspoň 50%, aby bylo možné číst a zapisovat na druhou vrstvu. V první vrstvě se používá jako odrazivý materiál slitina stříbra. Odrazivost první vrstvy musí být nejméně 18 %, aby byla zachována kompatibilita se standardem dvouvrstvých DVD-ROM. Pro oddělení obou vrstev se používá dělicí pás o tloušťce 55 mikrometru. Samotný laser se zaměřuje na obě vrstvy úpravou čoček objektivu.



Obr. 2.5: Vrstvy dvouvrstvého DVD média.<sup>17</sup>

Při zápisu je možné zapsat data jen na jednu vrstvu a později dopsat další data i na druhou vrstvu, pouze při zápisu DVD Video disků, které nepodporují multisession, bude film zapsán do obou vrstev současně, půlka do první, půlka do

druhé. Je to dáno požadovaným rychlým přechodem z jedné vrstvy na druhou během přehrávání filmu.

Název formátu	Počet stran	Počet vrstev na jedné straně	Obecně udávaná kapacita	Skutečná kapacita
CD-R, CD-ROM	1	1	650 MB	650 MB
CD-RW	1	1	650 MB	650 MB
DVD-5	1	1	4,7 GB	4,4 GB
DVD-9, DVD-DL	1	2	8,5 GB	8 GB
DVD-10	2	1	9,4 GB	8,8 GB
DVD-18	2	2	17 GB	15,9 GB
DVD-/R	1,	1	4,7 GB,	4,4 GB,
DVD-RAM	1,	1	4,7 GB,	4,4 GB,
DVD-/RW	1,	1	4,7 GB,	4,4 GB,

Tab. 2.2: Porovnání datové velikosti CD a DVD formátů.

## 2.9. Rozdělení podle struktury

### 2.9.1. DVD-R, DVD-RW

Zakladatelem těchto formátů je tzv. DVD-Fórum, jehož součástí je deset základních společností:

Hitachi, Ltd.,  
 Matsushita Electric Industrial Co. Ltd.,  
 Mitsubishi Electric Corporation,  
 Pioneer Electronic Corporation,  
 Royal Philips Electronics N.V.,  
 Sony Corporation,  
 Thomson,  
 Time Warner Inc.,  
 Toshiba Corporation,  
 Victor Company of Japan, Ltd.

DVD Recordable, jak název napovídá, jde o médium, na které lze zapsat pouze jednou. Stejně jako u CD-R, tedy jednou do té samé oblasti disku. Tato technologie se poprvé objevila v roce 1997. Nejprve byla kapacita disku 3.95 GB, která byla později zvýšena na 4.7 GB. Při využití obou stran média lze dosáhnout kapacity 9,4GB. Rychlost zápisu je 1x DVD, což odpovídá přenosové rychlosti 11,08 Mbit/s, dnes se běžně zapisuje rychlosti 16x DVD a nestandardně až 18x. Pro maximalizaci hustoty dat, zapsaných na disk je použita technologie CLV (*Constant Linear Velocity*), již zmiňovaná u CD.

DVD Re Writeable jsou principiálně stejné jako u CD-RW. Nedochozí u nich působením laserového paprsku k trvalé destrukci datové vrstvy, ale pouze k její vratné změně.

## 2.9.2. DVD+R, DVD+RW

Plusové formáty vznikly za podpory tzv. DVD Aliance, která se skládá z hlavních firem:

Hewlett-Packard,  
Mitsubishi Chemical,  
Philips,  
Ricoh,  
Sony,  
Yamaha.

Tyto firmy se rozhodly pro nový formát, aby nemusely platit licenční poplatky DVD Fóru.



Obr. 2.6: Loga plusových DVD vytvořená DVD Aliancí.

Hlavním rozdílem mezi plusovým a minusovými verzemi zapisovatelných DVD je způsob, jakým jsou data na médiu ukládána. Princip ukládání dat je u všech zapisovatelných formátů (kromě DVD-RAM) stejný, každý disk je opatřen jednou drážkou (*groove*), která probíhá spirálovitě od středu k okraji, při vypalování zaznamenává data a udržuje laser radiálně ve stopě. „Vedle“ drážky se vine tzv. land, který má také spirálový tvar. Zde jsou však již mezi oběma formáty rozdíly. Při vývoji zapisovatelných DVD formátů bylo třeba vyřešit dva technické problémy:

1. Udržet konstantní datovou hustotu, resp. konstantní obvodovou rychlost u mechanik CLV (*Constant Linear Velocity*),
2. Zajistit přesné nastavení laserového paprsku. Pro kontrolu rychlosti otáčení je groove tvarována do vlny podle sinusové křivky, v odborné terminologii nazývané wobble. Při otáčení disku tato vlna generuje oscilaci, podle jejíž frekvence může přístroj určit rychlost a udržovat ji konstantní.

Také další náležitosti drážky se liší podle formátu a jsou důležité pro to, abychom DVD nemuseli vypalovat „At Once“ (najednou). Formáty DVD-R a DVD-RW používají k orientaci tzv. Pre-Pits. Ty jsou při výrobě disku zalisovány do landu a obsahují informace o pozici v disku. Pokud dojde k pokračování přerušovanému zapisování nebo se vypalují další data, podle Pre-Pits se zajistí správné nastavení laserového paprsku. Zapisování však nepokračuje

zcela návazně, ale vyžaduje tzv. linking sector. Ten umožňuje cíleně nahrazovat jednotlivé bloky informací.

Specifikace +R a +RW se s problémem nastavení vypořádala jinak. Pre-Pits u těchto médií nenajdete. Wobble je naproti tomu vysokofrekvenční a je navíc opatřena namodulovaným signálem, který informuje o aktuální pozici a je přesnější. Na tom staví technologie Lossless Linking, která umožňuje nahrazovat 32KB bloky, aniž by docházelo ke kolizi s jinými bloky nebo ke vzniku velkých mezer mezi jednotlivými bloky. Přesnost nastavení je u DVD+RW menší než 1  $\mu\text{m}$ , což je dosaženo právě vysokou frekvencí wobble 217 kHz. Díky tomu mohou média DVD+RW, ačkoli nejsou zapisována lineárně, číst i DVD přehrávače.

Dalším rozdílem mezi plusovými a minusovými formáty je ochrana proti kopírování. Zatímco filmový průmysl, který má na této ochraně zájem, je členem DVD konsorcia, v „+RW alianci“ žádné slovo nemá. Výsledkem je, že DVD+R média nepodporují (na rozdíl od authoringových DVD-R) dnes již zastaralou ochranu proti kopírování CSS.<sup>18</sup>

### 2.9.3. DVD-RAM

Tento disk se pokusím popsat podrobněji, neboť má velmi zajímavé vlastnosti a nejvíce se liší svou strukturou od ostatních DVD formátů.

Stejně jako DVD-R, DVD-RW byl vytvořen DVD Fórem. K dispozici jsou dvě generace médií DVD-RAM, lišící se svými velikostmi:

1. 2,6 GB jednovrstvé - 5,2 GB dvouvrstvé,
2. 4,7 GB jednovrstvé - 9,4 GB dvouvrstvé.

Původně bylo DVD-RAM uloženo v obalech, tzv. Cartridge, podobající se disketám. To zamezovalo jejich použití v ostatních mechanikách. V současnosti se prodávají ve stejných krabičkách, jako ostatní DVD.

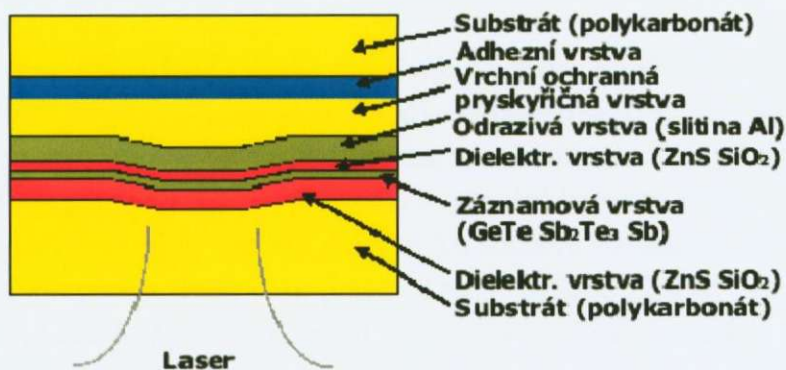
Spirála na DVD-RAM disku se skládá z velkého počtu částí. Tyto části jsou dvojího typu:

1. Hlavička,
2. Datová oblast.

Každá část je vyrobena z jiného materiálu, protože datovou oblast je nutno přepisovat, ale hlavička je napevno a není ji možné změnit.

DVD-RAM je médium využívající látky, která se může nacházet ve dvou různých tuhých stavech, jako je tomu u CD-RW a DVD RW.

1. Amorfni,
2. Krystalický stav.



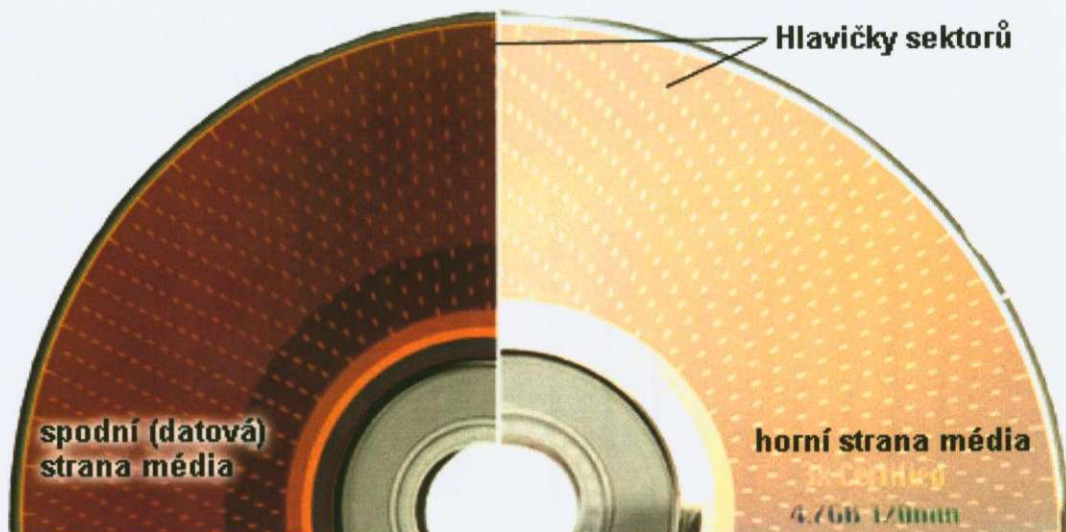
Obr. 2.7: Vrstvy DVD-RAM.<sup>9</sup>

Na průřezu diskem obr. č. 2.7, je vidět, že se ve vrstvách nějak neliší od DVD RW a od CD-RW (u CD je pouze jeden polykarbonát). Můžeme tedy s jistotou říci, že vrstvy splňují stejné úkoly, jako u CD-RW popisované v kapitole 1.3.3.3. CD-RW.

Při zápisu se musí záznamový materiál zahřát na 900 - 1300 Fahrenheitů (cca 482 - 704 °C) což je o 104°C víc než u CD-RW.

### 2.9.3.1. Fyzická struktura disku

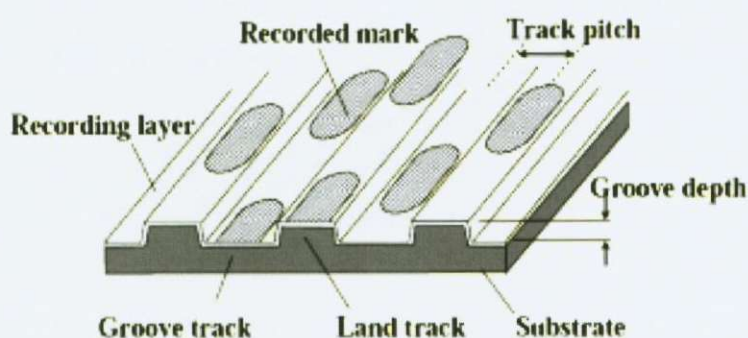
Disk jako takový je rozdělen na několik zón, v každé zóně je jiný (od středu zvyšující se) počet sektorů a každý sektor má vlastní hlavičku. Když se podíváte na DVD-RAM disk, uvidíte množství čáreček, to jsou právě hlavičky sektorů. Viz. obr. č. 2.8.



Obr. 2.8: DVD-RAM médium.

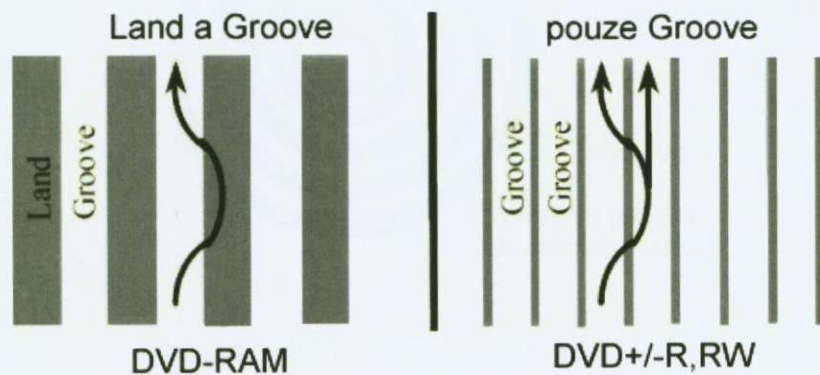
### 2.9.3.2. Land a Groove

Všechna CD a DVD média používají na disku spirálovou stopu, ta je od sebe oddělena malou vyvýšeninou (land). Záznamová část se nachází pouze v drážce (groove), tím se nevyužívá plocha vyvýšeniny. U DVD-RAM je použit pro uložení dat jak land, tak i groove. Pro zvyšování kapacity je potřeba zvyšovat hustotu jednotlivých pitů, tím ale dochází ke slábnutí naváděcího servo signálu a k zesílení přeslechů. Řešení je právě záznam na obě plochy: land i groove. U DVD-RAM disků je výškový rozdíl mezi land a groove  $\lambda/6n$ , kde  $\lambda$  je vlnová délka laseru a  $n$  je optický index substrátu. Tato úprava zeslabuje přeslechy a dovoluje tudíž použít klasická schémata pro naváděcí signál i při použití menších a bližších pitů na záznamovém médiu.



Obr. 2.9: Záznam v drážce groove a ve „výstupku“ land.<sup>9</sup>

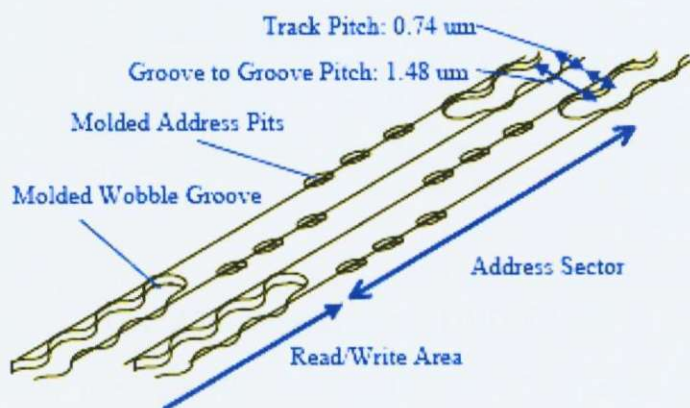
Navíc je snazší korigovat směr paprsku. Na obr. č. 2.10 vidíme, že pokud dojde k otřesu mechaniky a laserový paprsek se vychýlí, tak u DVD-RAM se dostane na jinou úroveň (land -> groove nebo groove -> land) a to už lze velmi jednoduše detekovat pouhým měřením charakteristiky odraženého světla. Zatímco u DVD±RW média přeskochíme na jinou stopu a jedeme dále, aniž bychom něco tušili. Zvlášť nepříjemná je tato situace v době zápisu na médium.



Obr. 2.10: Rozdíl vedení paprsku laseru u DVD R,RW a DVD-RAM.<sup>9</sup>

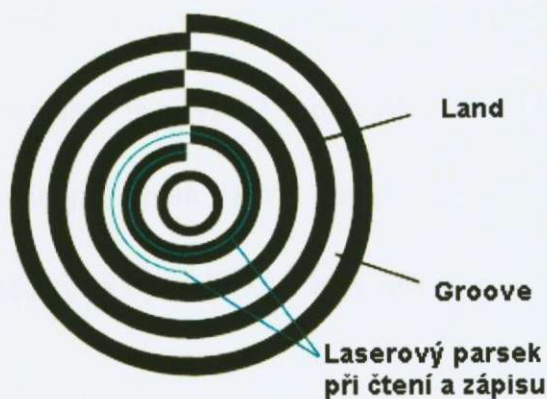
### 2.9.3.3. CAPA (*Complimentary Allocated Pit Addressing*)

CAPA je způsob adresování jednotlivých sektorů pomocí fyzického ID (Physical ID - PID). CAPA hlavička je uložena pro každý sektor zvlášť. Podrobnější popis celého sektoru je na obr. č. 2.13. Datová oblast, která je mezi jednotlivými CAPA hlavičkami, tj. land a groove má tzv. zvlněné hranice mezi land a groove (wobbles). Toto zvlnění je pravidelné, takže logika mechaniky ví přesně, kde se nachází laserový paprsek a kde bude další CAPA hlavička. Na obr. č. 2.11, je zobrazen pohled na CAPA hlavičku s datovou oblastí.



Obr. 2.11: Pohled na CPA hlavičku s datovou oblastí.<sup>9</sup>

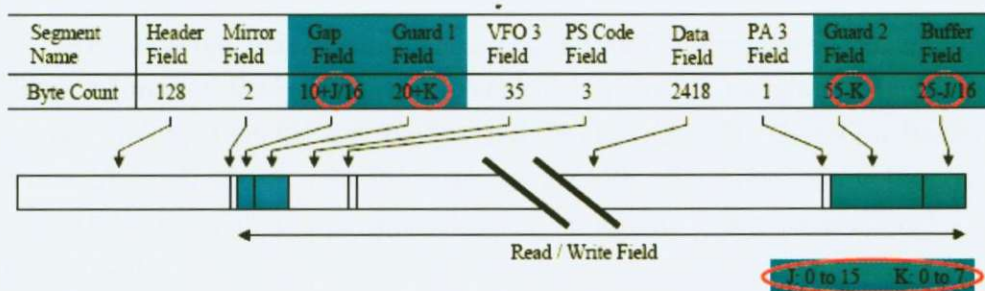
Aby mohly být tyto adresní hlavičky umístěny podél celé spirálovité stopy, musí se provádět změna land -> groove a groove -> land každou otáčku. Zelená křivka na obr. č. 2.12 označuje trasu, kterou sleduje laserový paprsek při čtení a zápisu.



Obr. 2.12: Pohyb laseru mezi Land a Goove.

### 2.9.3.4. Sektory

Pity jsou uloženy na médiu ve spojitě spirále. Jsou organizovány ve shlucích, kterým říkáme fyzický sektor. Každý fyzický sektor obsahuje 2048 bytů uživatelských dat, časovací informace a část informací z ECC kódu. Blok, přes který se počítá ECC kód, obsahuje 16 sektorů (informace z ECC kódu jsou rozprostřeny přes všech 16 sektorů). Přesný popis sektoru je zobrazen na obr. č. 2.13.



Obr. 2.13: Fyzický sektor DVD-RAM.<sup>9</sup>

Sektor tedy obsahuje 128 bytovou hlavičku HF (*Header Field*), 2 bytové MF (*Mirror Field*) a 2567 bytů dlouhý blok zapisovatelných dat RF (*Recording Field*).

**HF** je zapsána při výrobě média, je to vlastně CAPA hlavička zmíněná výše. Toto pole obsahuje důležité informace 4x, aby se zvýšila spolehlivost. Tzn. že jsou zde 4 bloky: hlavička 1, hlavička 2, hlavička 3 a hlavička 4. Hlavička 1 a hlavička 3 jsou každá dlouhá 46 bytů, hlavička 2 a hlavička 4 jsou dlouhé jen 18 bytů.

**Hlavička 1** obsahuje 36 bytů VFO1, 3 byty AM, 4 byty PID1, 2 byty IED1, 1 byte PA1,

**hlavička 2** obsahuje 8 bytů VFO2, 3 byty AM, 4 byty PID2, 2 byty IED2, 1 byte PA2,

**hlavička 3** obsahuje 36 bytů VFO1, 3 byty AM, 4 byty PID3, 2 byty IED3, 1 byte PA1,

**hlavička 4** obsahuje 8 bytů VFO2, 3 byty AM, 4 byty PID4, 2 byty IED4, 1 byte PA2.

#### VFO (*Variable Frequency Oscillator*)

Obsahuje opakující se sled vzorků 100010001000. Slouží pro synchronizaci PLL (*Phase Locked Loop*).

#### AM (*Address Mark*)

Obsahuje speciální adresovou značku, která indikuje začátek PID pole.



**PID (Physical ID)**

Obsahuje informace o sektoru ( $1B = 8\text{bitů}$ ) a číslo fyzického sektoru ( $3B = 24\text{bitů}$ ).

**IED (ID Error Detection Code)**

Obsahuje zabezpečení PID pole kódem detekujícím chybu.

**PA (Post Ambles)**

Obsahuje stavové informace potřebné pro demodulaci. Hraje roli při úpravě polarizace - ukončení hlavičky.

**RF** obsahuje uživatelská data s podpurnými informacemi. Na obrázku si můžeme všimnout jisté volnosti ve velikosti a pozici různých polí. Jsou zde zobrazeny indexy J (0-15) a K (0-7) v polích Gap, Guard1, Guard2 a Buffer. To nám umožňuje při zápisu náhodně posouvat začátek sektoru pouhou volbou indexů J a K. Důsledkem je menší opotřebování materiálu a tím samozřejmě i delší životnost média.

RF obsahuje tyto pole:

**Gap** - prázdná výplň. Velikost  $10+J/16$  bytů.

**Guard1** - u technologie zápisu pomocí změny fáze dochází při opakovaném zápisu na začátku a na konci zapisovacího cyklu k silnějšímu opotřebování materiálu. Tato oblast je vlastně obětovaná této technologické neřesti. Velikost  $20+K$  bytů.

**VFO3** - PLL pole, obsahuje posloupnost opakujících se synchronizačních sekvencí, 35 bytů.

**PS (Pre-Synchronous code)** obsahuje synchronizační kód. Velikost: 3 byty.

**Data** - zakódovaná uživatelská data. Velikost: 2418 bytů.

**PA3 (Post Amble)** obsahuje stavové informace potřebné pro demodulaci. Také označuje konec datové oblasti. Velikost: 1 byte.

**Guard2** - Stejný význam jako Guard1, jen na konci zapisovací zóny. Velikost:  $55-K$  bytů.

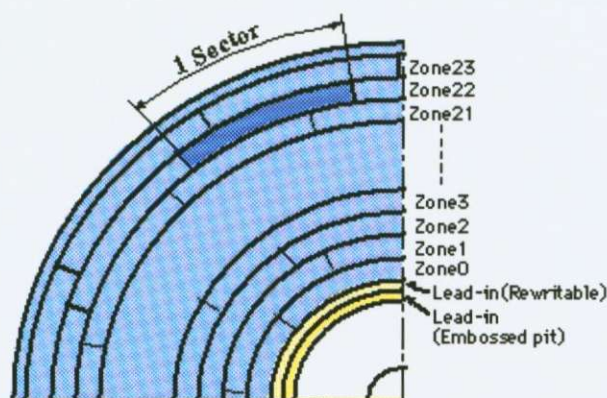
**Buffer** - absorbuje změny v rychlosti rotace disku (přesun do jiné zóny, atp.). Taktéž slouží jako rezerva, aby se nezapisovalo tam, kam nemá (moc daleko - do dalšího sektoru). Velikost:  $25-J/16$  bytů.

Blok uživatelských dat je také zakódován. Obsahuje data ID (číslo logického sektoru), IED (*Data ID Error Detection Code*, 16 bitová ochrana data ID), synchronizační kód, ECC (*Error Correction Code*), EDC (*Error Detection Code*), blok uživatelských dat (2048 bytů).

Systém ochrany proti chybám je principiálně stejný jako u klasického CD/DVD. Tj. je použit RSPC (*Reed Solomon Product Code*).

### 2.9.3.5. ZCLV (*Zoned Constant Linear Velocity*)

ZCLV aneb konstantní lineární rychlost v zóně. ZCLV metoda rozděluje disk na několik zón. Uvnitř těchto zón se disk otáčí konstantní rychlostí. Tato metoda umožňuje zápis konstantním datovým tokem.



Obr. 2.14: ZCLV (*Zoned Constant Linear Velocity*).<sup>9</sup>

Jak vidíme na obr. č. 2.14, disk je rozdělen do několika oblastí. Lead-In, data a Lead-Out. Lead-In je dále rozdělena do oblasti s neměnným obsahem (*embossed*) a do prepisovatelné (*rewritable*) oblasti. Neměnná oblast obsahuje řídicí informace, jako například typ disku, formát disku, metoda zápisu. Prepisovatelná oblast je použita pro testování disku, defect management, aj.

### 2.9.3.6. DMA (*Defect Management Areas*)

Defect Management je schopnost nahradit poškozený sektor jiným ze zálohy tak, aby nedošlo k úbytku kapacity média. K tomuto účelu existují na DVD-RAM médiu v každé zóně tzv. spare area (náhradní oblast) a 4 tzv. DMA (*Defect Management Areas* - oblasti pro správu defektů). Budeme je označovat DMA1 - DMA4. Každá oblast obsahuje stejná data, pro vyšší spolehlivost.

DMA1 a DMA2 jsou u středu disku v tzv. Lead-In oblasti, druhé dvě (DMA3 a DMA4) jsou na okraji disku v tzv. lead-out oblasti.

Každá DMA obsahuje 2 seznamy. PDLA a1 (*Primary Defect List Area* - oblast pro seznam primárních defektů) a SDLA a2 (*Secondary Defect List Area* - oblast pro seznam sekundárních defektů). Primární defekty jsou označovány jako defekty prvního řádu. PDLA tedy obsahuje jako své prvky množství PDL (*Primary Defect List* - seznam primárních defektů). Obdobně SDLA a2 obsahuje jako své prvky množství SDL (*Secondary Defect List* - seznam sekundárních defektů).

DMA mimo jiné také obsahuje velikost náhradní oblasti pro špatné sektory. A to buď ve tvaru fyzické adresy prvního a posledního sektoru oblasti, nebo ve tvaru fyzické adresy prvního sektoru a její velikost.

Proces náhrady dělíme na 2 typy.

1. slipping (klouzavý),
2. lineární.

Rozdíl je v tom, že klouzavým procesem se opravují primární defekty na úrovni sektorů. Lineárním procesem se opravují sekundární defekty na úrovni ECC bloků (tj. 16 sektorů).<sup>9</sup>

### 3. EVD, AVD, FVD, HVD, HDV, VMD

Důvody vzniku těchto formátů disků, byly stejné, jako u DVD+R, RW drahé licenční poplatky, které se v omto případě rozhodla obejít Čína.

V roce 2002 se objevil první čínský, taiwanský formát EVD (*Enhanced Versatile Disc*), pro Čínu varianta s názvem AVD (*Advanced versatile disc*), na nichž se podílelo údajně 19 taiwanských firem a společností. Kapacita měla být o 1GB vyšší než u DVD a měl by se používat klasický červený laser.

Po dvou letech, kdy byl EVD přijat jako oficiální čínský formát se ukázalo, že nemůže konkurovat DVD. Nato se v Číně objevily další konkurenční formáty. HVD (*High - definition Versatile Disc*), HDV (*High - definition Digital Video*) a FVD (*Finalized Versatile Disc*). O HVD a HDV se časem slehla zem a začal se prosazovat pouze FVD.

#### 3.1. FVD (*Finalized Versatile Disc*)



Obr. 3.1: Logo FVD (*Finalized Versatile Disc*).<sup>5</sup>

FVD je formát vyvinutý v taiwanských Opto-electronics & Systems Laboratories a používající MS Windows Media Video 9 (WMV9) spolu s WMA 9, který je navíc pod ochranou DVD Fóra. Kapacita MÉDIA je 5,4 až 6 GB (ve druhé generaci až 15-16 GB) v jedné vrstvě a 9,8 až 11 GB ve dvou vrstvách. Pro záznam je použit červený laser stejně jako u DVD.

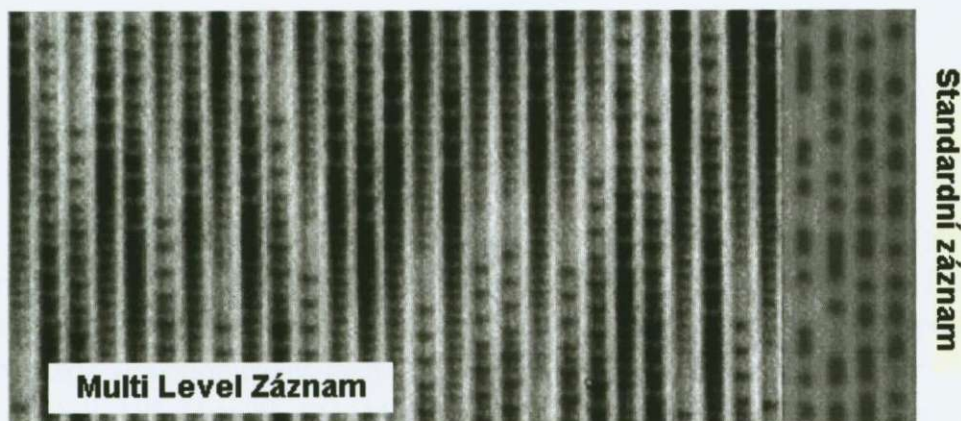
Disk je určen především pro filmy, které jsou na něm uloženy ve formátu WMV9/WMA9 (díky nižším licenčním poplatkům, než nabízí MPEG-2 či MPEG-4 a H.264) v rozlišení 1280×720 bodů (druhá generace slibuje 1920×1080 prokládaně). Jde o jakýsi článek mezi DVD a HD DVD. Jak jsem již říkal, vznikl stejně jako mnohé ostatní z důvodu osvobození se od poplatků za licence na DVD. Cena přehrávačů má být na Taiwanu někde okolo 5 000 taiwanských dolarů (cca. 3 700 Kč) a zhruba 1 000 juanů (cca. 3 000 Kč) v Číně. FVD navíc získává podporu výrobců médií CMC Magnetics, Ritek a U-Tech Media, mezi výrobci mechanik je pak zastoupení u firem Lite-On, BenQ, Quanta Storage a Mustek Systems.

### 3.2. VMD (*Versatile Multilayer Disc*)



Obr. 3.2: Logo VMD (*Versatile Multilayer Disc*).<sup>5</sup>

VMD je dalším vznikajícím formátem. Měl by využívat víceúrovňový zápis Multi Level. Technologie vícecestavového zápisu firmy Calimetrics, které se ujala nyní TDK. Umožnil zvětšit třikrát (zatím) kapacitu i rychlost konvenčního CD-R/RW zápisu. Při aplikování na CD by se mělo dosáhnout nahrání 2GB dat rychlostí 36x speed na speciálně vytvořená ML média.



Obr. 3.3: Porovnání standardního záznamu s Multi Level.<sup>5</sup>

VMD má do budoucna zvládat až 20 vrstev, když na jednu připadá asi 5 GB. Celkem tedy až 100 GB a to s červeným laserem, v současnosti nabízí kapacitu 40GB. Měl by tedy konkurovat Blue-ray a HD-DVD. VMD placky vypadají na pohled úplně stejně, jako tzv. "dummy" disky, tedy polykarbonátové polotovary CD bez barviva a odrazové vrstvy. Najdeme je na začátku a konci spindlu (balení většího množství médií bez obalu). Jsou o něco tužší oproti DVD médiím. Přenosová rychlost 1× je u DVD 11 Mbitů/s, u VMD je to 40 Mbitů/s. Přehrávače VDM jsou kompatibilní s EVD médii.

## 4. Blu-ray BD-ROM

Jeden z nejžhavějších nástupců DVD je tzv. Blu-ray. K čtení a zápisu využívá modrého paprsku, z toho je odvozen i samotný název této technologie. Pokud se ptáte, proč zní "Blu-ray" a ne "Blue-ray", tak důvod je ten, že běžně používané názvy nelze registrovat jako ochrannou známku.



Obr. 4.1: Logo Blu-ray Disků.

Blu-ray byl představen v roce 2001 firmami Matsushita a Sony. Tyto dvě firmy již na začátku roku 2002 zformovaly konsorcium, které se nazývá Blu-ray Disc Association a do kterého dnes patří přes 70 společností z oblasti spotřební elektroniky. Hlavními členy, kteří určují směr, jakým se Blu-ray ubírá, jsou:

Dell, HP, Hitachi, LG, Mitsubishi, Panasonic, Pioneer, Philips, Samsung, Sharp, Sony, TDK, Thomson, 20th Century Fox a Walt Disney.

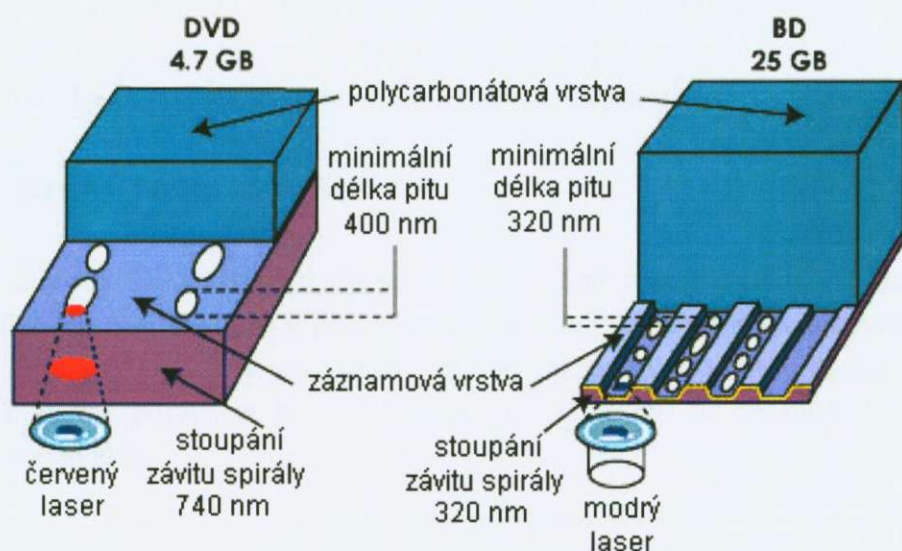
### 4.1. Rozdíl oproti DVD

Parametr	Jednotka	DVD		Blu-ray		
		SL	DL	SL	DL	Čtyři vrstvy
vlnová délka laseru	nm	635 - 650		405		
hloubka záznamové vrstvy	mm	0.6		0.1		
délka bitového kanálu	μm	0.28 - 0.32		0.13 - 0.15		
minimální délka pitu	μm	0.40	0.44	0.138	0.149	0.160
stoupání závitu spirály	μm	0.74		0.32		
NA optické čočky	-	0.60		0.85		
kapacita	GB	4.70	8.54	25	50	100
přenosová rychlost	Mbps	1.38 - 22.1		36 - 216		

Tab. 4.1: Porovnání parametrů Blu-ray a DVD.

Zásadním rozdílem oproti DVD je u Blu-ray hloubka záznamové vrstvy, která se nachází jen 0,1 mm pod povrchem média. Tato redukce byla určena z důvodu menšího zkreslení laseru, ke kterému u 0,6 mm polykarbonátu dochází. Aby bylo možné do této úrovně zaostřit, byla upravena numerická apertura na 0,85, čehož je dosaženo použitím dvojice optických čoček.

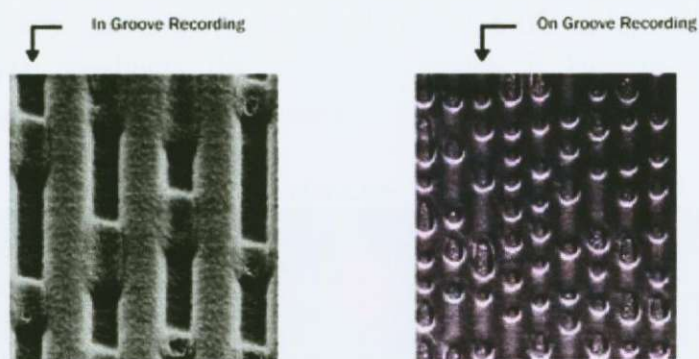
Asi největší změnou oproti DVD diskům je rychlost, kterou se médium točí. Zatímco u DVD je to až 10800 otáček za sekundu, u BD disků pouze 1922 a 821 ot/s (vnější a vnitřní). Tato rychlost odpovídá zápisu 1x, podle předběžných výpočtů, by tedy BD disky měly dosáhnout maximální rychlost zápisu 12x v režimu CAV.



Obr. 4.2: Porovnání DVD a Blu-ray.<sup>8</sup>

## 4.2. Zápis On-Groove

Pro Blu-ray disky byl určen tzv. On-Groove způsob zápisu. Celý disk obsahuje po svém obvodu spirálovitou drážku, tzv. land, která určuje dráhu laseru. Jednotlivé dráhy jsou navzájem odděleny vyvýšeninou, která se nazývá groove viz obr. č. 4.3. Groove navíc nemá tvar přesné spirály, ale je zakřivený do sinusoidy, aby bylo možné data lépe adresovat (toto zakřivení se nazývá wobble a slouží jako orientace pro laser).



Obr. 4.3: Srovnání způsobu záznamu In-Groove a On-Groove.<sup>8</sup>

Již u DVD bylo možné zaznamenávat data dvěma (včetně DVD-RAM třemi) způsoby

1. In-Groove,
2. On-Groove,
3. Kombinace obou způsobů.

Blu-ray využívá On-Groove zápis a pitvy jsou tedy vytvářeny právě na onu vyvýšeninu mezi jednotlivými drahami. Vzdálenost jednotlivých drah klesla u BD na 320 nm, takže hustota je oproti DVD více než dvojnásobná.

### 4.3. Druhy podle kapacity

Blu-ray Disk (BD) je určen třemi různými specifikacemi viz. tab. 4.1, s rozdílnou kapacitou, délkou pitvy a kromě toho definuje i zápis na dvouvrstvý DL (*Dual Layer*) BD, což je realizováno druhou záznamovou vrstvou nacházející se 0,175 mm pod povrchem média. Znamená to, že se BD na trh může teoreticky v šesti kapacitách:

	1.	2.	3.
Délka pitvy	160 nm	149 nm	138 nm
Délka channel	80 nm	111,75 nm	69 nm
Délka data bit	120 nm	4,92 nm	103,5 nm
Referenční	5,28 m/s	24,49 m/s	4,55 m/s
SL kapacita	23,305 GB	25,025 GB	27,020 GB
DL kapacita	46,610 GB	50,050 GB	54,040 GB

Tab. 4.1: Tři verze Blu-ray Disku.

Dvouvrstvý zápis je podobně jako u DVD+R DL realizován pomocí druhé vrstvy L1, která se nachází 75 mikronů pod první vrstvou (L0). Proto musí být vrstva L0 polopropustná pro záznamový laser, což vidíme na obrázku.

V současnosti firma TDK představila prototyp BD disku o datové velikosti 100GB, ta byla dosažena díky čtyřem vrstvám o kapacitě 25GB, užším rozestupům stop a vyšší hustotou záznamu



Obr. 4.4: Vývoj pitvy od CD až po Blu-ray.<sup>8</sup>



#### 4.4. Druhy podle struktury

V současné době jsou definovány tři základní formáty Blu-ray.

1. BD-RE (*Blu-ray REwritable*),
2. BD-R (*Blu-ray Recordable*),
3. BD-ROM (*Blu-ray Read Only Memory*).

Rozdíly mezi nimi jsou ve způsobu záznamu (fázová změna, záznam na organickou vrstvu a lisování), stejně jako u CD a DVD. Ještě se liší v intenzitě laseru u BD-R a BD-RE, která je u prepisovatelného BD vyšší, jinak se ve specifikacích neliší.

#### 4.5. Technologie Hard-Coating

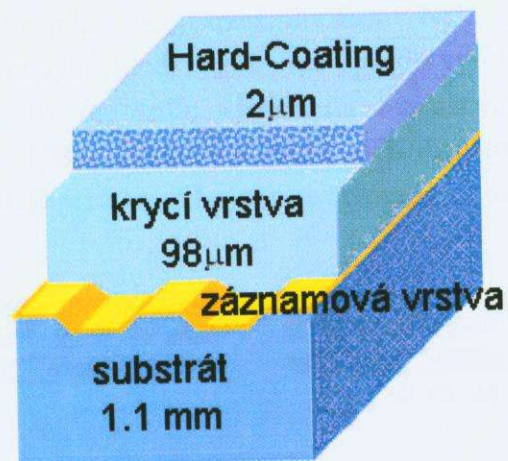
Protože se záznamová vrstva nachází pouze 0,1 mm pod povrchem média, je disk mnohem náchylnější na poškrábání a nečistoty. Stačí pak trochu prашnější prostředí nebo otisk prstu a data na daném místě by se mohla stát nečitelná. U původní specifikace BD-RE v1.0 se počítalo s nutností použít pro všechna média cartridge, která je před okolními vlivy ochrání.



Obr. 4.5: Obal (Cartridge) pro ochranu BD médií verze 1.0.<sup>8</sup>

Díky snahám Blu-ray Disk Association byla ale vyvinuta technologie tzv. Hard-Coating, jiným názvem Durabis 2, která přidává na povrch tenkou viz. obr. č. 4.6, ale velmi odolnou vrstvu, díky níž nebude nutné od BD-RE v1.1, BD-R v1.0 a BD-ROM v1.0 cartridge používat. Největší podíl na této technologii má společnost TDK, která prý technologii Durabis používá u DVD již od roku

2002. Setkat se s ním můžeme na médiích s označením Super Hard Coating (Japonsko), Armor Plated Disc (v USA) a Scratch Proof Disc (v Evropě).



Obr. 4.6: Technika Hard-Coating od firmy TDK.<sup>19</sup>

## 5. HD DVD (*High Definition DVD*)

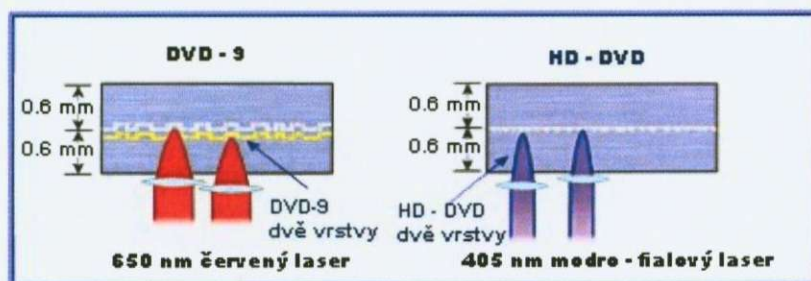
HD-DVD bylo původně nazváno AOD (*Advanced Optical Disk*).

V polovině roku 2002 o jeho vývoji oznámily firmy NEC a Toshiba. Tyto disky, stejně jako Blu-ray používají modrý laser, ale způsob výroby je téměř shodný se současným DVD. To by umožnilo výrobu na současných linkách. Formát je podporován firmami: HBL, Hitachi Maxell, MKM, Toshiba, používá stejné médium, jako DVD a CD – 120 mm kolečko s otvorem uprostřed.



Obr. 5.1: Loga schválená DVD Fórem.

Tento standard je vyvíjen společnostmi Toshiba, NEC a Sanyo a má plnou podporu DVD Fóra, která zatím schválila specifikaci verze 0.9, nyní aktivity přecházejí na nově založené HD DVD Consortium. Jedná se de facto o modifikaci stávajícího formátu DVD-R/-RW a podle toho jsou definovány jednovrstvé a dvouvrstvé (SL/DL), resp. jednostranné a oboustranné formáty i pro HD-DVD.



Obr. 5.2: Porovnání HD-DVD s DVD-9.<sup>18</sup>

Záznamová vrstva se nachází 0,6 mm pod povrchem disku, jak je vidět na obr. č. 5.2. Hustota záznamu se oproti DVD výrazně zvýšila, protože vzdálenost drah klesla ze 740 na 400 nm, nejmenší délka pitu ze 400 na 204 nm a jeho šířka se zmenšila z 350 na 250 nm. To vše je samozřejmě dáno použitím laseru o vlnové délce 405 nm.

Z dalších parametrů je samozřejmě důležitá kapacita viz. tab. č. 5.1. U lisovaných HD-DVD bude možné uložit na jeden SL/SS (jednovrstvý, jednostranný) disk nejvíce 15 GB dat, v případě dvou vrstev pak 30 GB. Velmi zajímavé je, že tato kapacita vzrůstá u prepisovatelných disků na 20 GB, resp. 32 GB. U oboustranných disků můžeme dosáhnout až přes 60 GB.

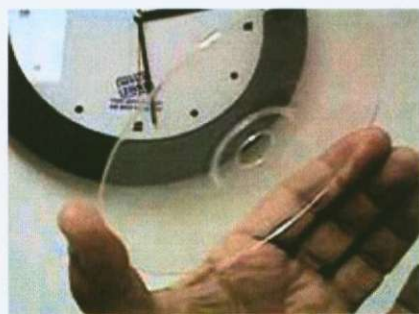
Parametr	Jednotka	DVD		HD-DVD		
		SL	DL	SL	DL	Oboustraný
vlnová délka laseru	nm	635 - 650		405		
hloubka záznamové vrstvy	mm	0.6		0.6		
šířka pitu	μm	0.35		0.25		
minimální délka pitu	μm	0.40	0.44	0.204		
stoupání závitu spirály	μm	0.74		0.4		
NA optické čočky	-	0.60		0.65		
kapacita	GB	4.70	8.54	15	30	60
přenosová rychlost	Mbps	1.38 - 22.1				
rozdílení videa na discích	body	720x480, 576		1920x1080		

Tab. 5.1: Porovnání parametrů HD-DVD a DVD.

Další specifikace hovoří o tom, že se u HD-DVD bude používat souborový systém UDF (*Universal Disk Format*), tedy stejný jako je u DVD. Čtení signálu bude zpracováváno pomocí PRML (*Partial Response, Maximum Likelihood*) a kód modulace bude ETM.

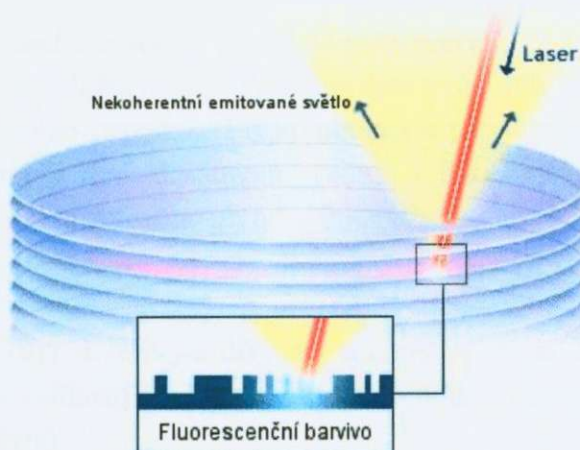
## 6. FMD (*Fluorescent Multi Layer Disk*)

Tuto technologii vyvinula Firma Constellation 3D r. 1999. Jedná se o více vrstvé disky, jak je z názvu patrné. Médium má stejné rozměry jako CD nebo DVD, má být schopno pojmout až 140GB dat. Jiný produkt je menší disk, který má průměr jenom 30mm a umožňuje záznam dat přímo v jednotce FMD. (podobně jako u CD-R disků). Byly připraveny také prototypy ve formátu kreditní karty s pravoúhlým záznamem X-Y.



Obr. 6.1: FMD disk.<sup>7</sup>

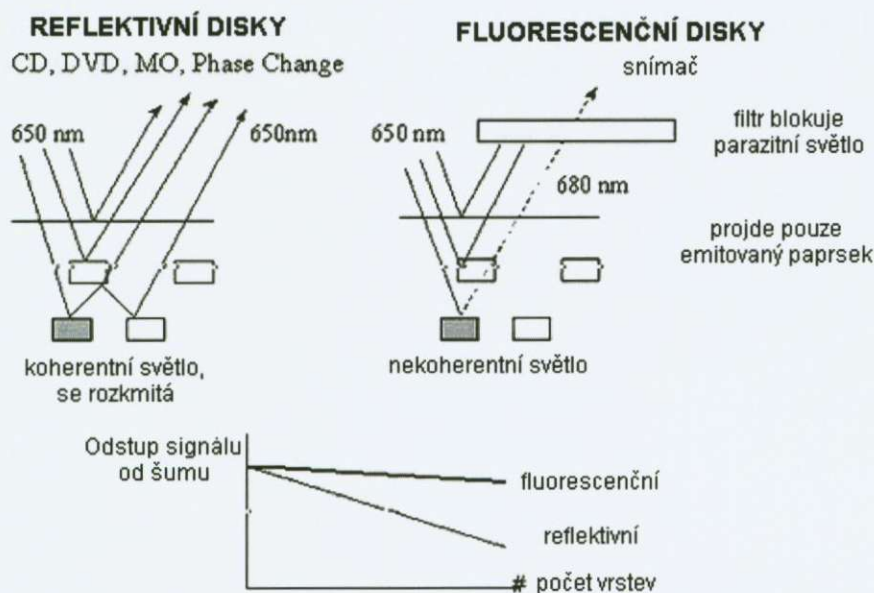
FMD disky používají k záznamu informace několik vrstev viz. obr. č. 6.2. Myšlenka mnohvrstevných optických disků je samozřejmě starší (DVD je realizací této myšlenky pro dvě vrstvy), avšak koherence čtecího laserového paprsku je na obtíž neboť dochází k vícenásobným odrazům a přeslechům mezi jednotlivými záznamovými vrstvami. Dalším problémem je nastavení stupně polopropustnosti jednotlivých vrstev. FMD prototypy mají deset vrstev a další zvyšování počtu vrstev nemá principiální omezení. Předpokládá se, že počet vrstev bude možné zvýšit až na sto, kapacita disku by tak mohla dosáhnout až řádu jednoho terabytu (1TB), tedy 1000GB.



Obr. 6.2: Emitované světlo z FMD disku.<sup>5</sup>

## 6.1. Princip

Ve fluorescenčních discích je záznamová vrstva tvořena fluorescenčním materiálem. Z této vrstvy je po dopadu laserového paprsku emitováno fluorescenční světlo. Toto světlo má jinou vlnovou délku než dopadající laserový paprsek; je mírně posunuto k červenému konci spektra (vyšší vlnová délka) a není koherentní. Emitované světlo není rušeno záznamovými strukturami z ostatních stop. Ve výstupním čtecím systému FMD jednotky je paprsek filtrován tak, aby byla detekována jediná složka odpovídající fluorescenčnímu světlu. Celý princip je znázorněn na obr. č. 6.3.



Obr. 6.3: Rozdíl odrazu paprsku u FMD disků od CD, DVD.<sup>7</sup>

## 6.2. Výhody

### Rychlé paralelní čtení a nalezení potřebné informace

U vícevrstvého disku je schopnost číst data z různých vrstev disku paralelně (přeostřem laserového paprsku). Při kombinaci s paralelním čtením z několika sektorů stejné vrstvy lze dosáhnout velmi vysoké rychlosti přenosu dat, v současnosti se dosáhlo datového přenosu 20Gbit/s.

### Zvýšení kapacity

Kapacita DVD 4,7GB se díky až stu vrstev zvýší 100×. Zprvu se ale setkáme s médii s velikostí 25-140GB, které se budou postupně zvyšovat až na jeden Terabajt (TByte).

### **Bezpečnější média**

Fluorescenční technologie uvolní velmi tvrdé požadavky kladené na výrobu. Již nebude třeba dodržovat velmi přísně předepsanou teplotu, vibrace a laboratorní čistotu vzduchu, jako při výrobě CD nebo DVD. FMD/C tak nabídne mnohem robustnější médium než CD/DVD.

### **Flexibilita použití**

FMD/C nabídne mnohem větší rozsah použití a nasazení než CD/DVD co se týče rozměrů tvarů a velikostí pro Read-Only, R i RW média.

### **Potenciál pro další růst**

FMD/C je mladá technologie, která bude ještě růst a bude se i nadále vyvíjet. Navíc nabízí i jasnou linii budoucího vývoje.

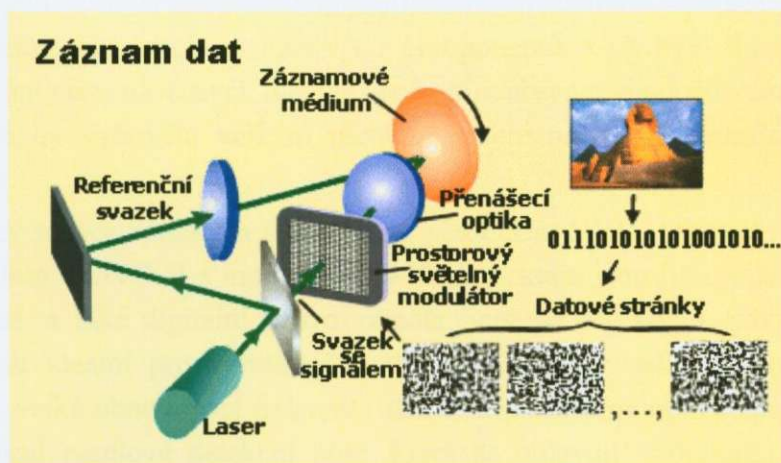
## 7. HVD (*Holographic Versatile Disc*)

Zakladateli HVD aliance jsou CMC Magnetics, FUJI, Nippon Paint, Optware, Pulstec a TOAGOSEI.

V roce 1948 objevil maďarsko-britský elektroinženýr Dennis Gabor princip holografie a v roce 1971 za tento objev obdržel Nobelovu cenu. Holografie je podle slovníku způsob zobrazování trojrozměrných předmětů pomocí záznamu a následné rekonstrukce informací nesených světlem.

### 7.1. Základní princip

Při holografickém záznamu dat viz. obr. č. 7.1, se souvislý laserový svazek rozděljuje na dva, jeden, který ponese data signální (*Signal Beam*) a druhý referenční paprsek (*Refernc Beam*). Data, která mají být uložena se zakódují na signální svazek pomocí prostorového světelného modulátoru SLM (*Spatial Light Modulátor*). Data, nebo řetězce bitů se nejprve uspořádají do stránek či velkých datových polí. Logické hodnoty "0" a "1" se překládají do pixelů na prostorovém světelném modulátoru SLM a to tak, že buďto světlo pohlcují, nebo ho propouští. Signální paprsek tedy po průchodu modulátorem nese "šachovnicový" vzor datové stránky. Tento signální svazek pak na fotocitlivém záznamovém médiu interferuje s referenčním svazkem, čímž dojde k nahrání datové stránky (čtení viz. obr. č. 7.2 se pak odvozuje od referenčního svazku, který je proměnný, však pro každou stránku pevně daný).

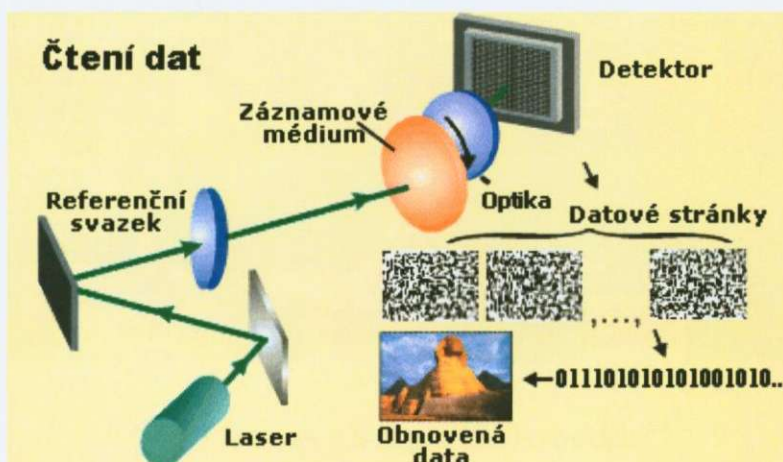


Obr. 7.1: Znázornění zápisu na holografické médium.<sup>5</sup>

Interference tohoto vzoru způsobuje modulaci v indexu lomu záznamového materiálu. Referenční paprsek se používá při čtení k tomu, aby způsobil ohyb na zaznamenaných mřížkách, čímž může dojít k rekonstrukci pole bitů.



Zrekonstruovaná sada (pole) dat se promítá na detektor, který se skládá z řady (čtverců, či obdeníků) pixelů a dovede tak číst data paralelně. Rychlost takového holografického čtení se pak může pohybovat od 10-ti do 100MB/s.

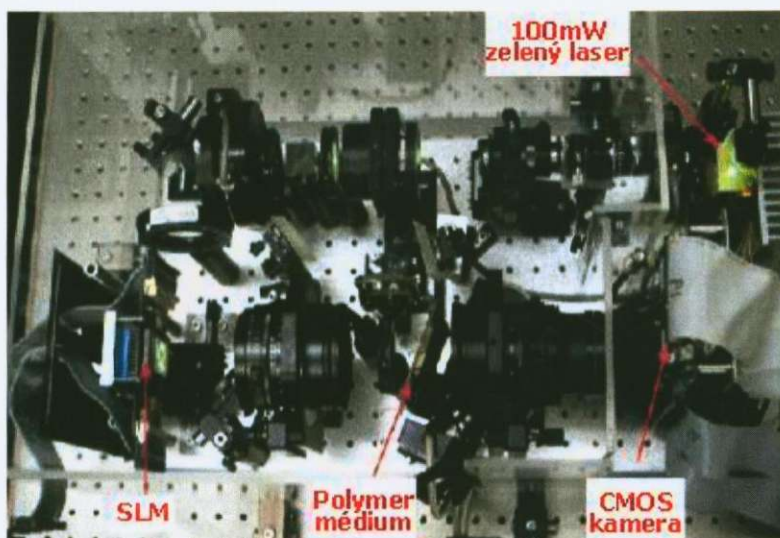


Obr. 7.2: Čtení z holografického média.<sup>5</sup>

Proměnlivou hodnotou referenčního paprsku, např. při změně úhlu dopadu, nebo změně vlnové délky, je právě možné číst ze stejného místa různá data, použije-li se vždy právě taková úroveň referenčního paprsku, která byla použita při zápisu. Čtení je tak závislé na proměnlivé hodnotě referenčního paprsku. Takový způsob multiplexování dat pak přináší enormní kapacitu zápisu holograficky uložených dat.

V minulosti byla realizace holografického ukládání dat v podstatě nemožná, díky nedostatku vhodných systémových komponentů. Což bylo dáno složitostí multiplexování takto uložených dat, ale především absencí vhodného zánamového média, které by vyhovělo velkým nárokům, které na něj holografický způsob zápisu klade.

Velký rozvoj optických technologií, především DVD (DVD-R s červeným laserem 680nm a DVD-B s modrým 405-407nm), které jsou již pro holografický zápis vhodné, a také digitální mikro zrcadla, jenž se objevují v nových typech displejů, jsou ideální pro světelnou modulaci a to díky velkému počtu pixelů (~1 milion), velké obnovovací frekvenci až 2kHz. a velkému optickému kontrastu. CMOS aktivní pixelové detekční pole, která se objevují v digitální fotografii, vykazují rychlý přístup i vysoký datový přenos, rovněž využitelný v holografickém záznamu. Nemalou měrou také zasáhlo velké snížení cen těchto komponentů, které jdou ruku v ruce s jejich hromadným nasazením i do spotřební elektroniky.



Obr. 7.3: Čtení z holografického média. <sup>11</sup>

## 7.2. InPhase technologie

Tým vyvíjející InPhase technologii vytvořil několik multiplexních technik, které jsou jednoduché a mají lehce realizovatelnou architekturu. Problém všech předchozích holografických metod byl v tom, že vyžadovaly pohyblivou optiku. Nové způsoby, které využívá InPhase však takovou věc nepotřebují a celá finta je v proměnném referenčním paprsku.

Jednou z nejdůležitější částí celého vývoje, bylo záznamové médium. Takové médium musí splňovat vysoké nároky, které na něj holografie klade, jako jsou: velký dynamický rozsah, velká citlivost, stálost, optická jasnost, nedestruktivní čtení, malá tloušťka a stálost v okolním prostředí i teplotě. Proto bylo navržen zcela nový typ fotopolymeru, které vykazuje potřebné parametry. Je tvořen směsí dvou nezávisle polymerovaných, ale ještě kompatibilních chemických materiálů. Zapisovatelé disky jsou tvořeny místní polymerizací jedné složky, která vytvoří matici média. Druhá složka, která je fotocitlivá, zůstane bez reakce a roztroušená v této matici. Záznam hologramů nastává skrz prostorový vzor polymerizace fotocitlivé látky, která napodobí optický narušovací vzor generovaný během holografického zápisu. Jinak řečeno, v nosném médiu se vytvoří díky jedné chemické sloučenině jakási matrice, do které se, díky druhé sloučenině, zapisují data. Důležitá skutečnost, oproti klasickým CD a DVD médiím je ta, že holografická média jsou propustná. Tedy žádný odraz. Na jedné straně se médium osvítlí a na druhém se data čtou.



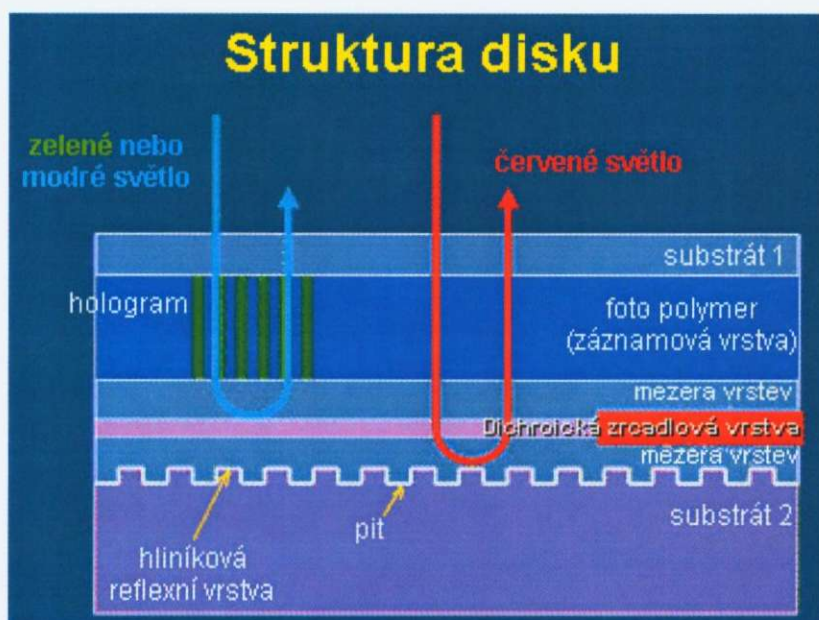
Obr. 7.4: Funkční holografická mechanika podle InPhase.<sup>20</sup>

Tyto materiály umožňují zaznamenat až 31,2Gbitu na čtvereční palec, což v přepočtu na velikost klasické 5 1/4 palcové diskety obnáší 45GB. Avšak nově vyvinutý materiál, spolu s optickou technologií InPhase dovoluje zaznamenat více než 300Gbitů na čtvereční palec a to i se zachováním velmi rychlého datového přenosu. Dále se také pracuje na prepisovatelném materiálu.

Tato technologie také nevyžaduje vysoké otáčky média, aby byl zachován rychlý přenos dat, tak jak vidíme u klasických CD nebo DVD.

### 7.3. Technologie od Optware

Společnosti Optware se podařilo zjednodušit nasazení holografických optických médií, je nyní podstatně jednodušší. Zvládla totiž redukci dříve potřebných dvou paprsků na jeden. Říká se tomu colineární holografie. Kdy je referenční paprsek nahrazen pevně danou strukturou (předformátovanými píty) přímo na médiu. Viz. obr. č. 7.5.



Obr. 7.5: Nahrazení referenčního paprsku předlisovanými pity. <sup>11</sup>

Ovšem při použití pitů se vyskytl jeden závažný problém. Předformátované adresní pity generovaly velký rozptyl světla a tak byl signál hodně znehodnocen. Ovšem i to se podařilo vyřešit, což také demonstruje obr. č. 7.5. Mezi záznamovou vrstvou (Photo Polymer) a předformátované adresní pity bylo umístěno dichroické zrcadlo, které blokuje světelný rozptyl od nich. Samotná technologie pak pracuje stejně, jak už jsem uvedl na začátku jen je vynechán referenční paprsek. Předformátované médium by mělo vzhledem vzdáleně připomínat DVD-RAM.

Na začátku roku 2005 společnost InPhase představila svou „holografickou“ mechaniku s níž lze na jeden čtvereční palec záznamového média lze uložit 200 GB dat při přenosové rychlosti 27 MB/s. První mechaniky půjdou do komerčního prodeje tento rok s kapacitou 300 GB na jedno médium, což představuje úložný prostor zhruba srovnatelný se 462 CD. Do roku 2009 můžeme čekat až 1,6TB média.

Této hustoty záznamu bylo dosaženo pomocí modrého laseru na média HDS5000 ( první holografická media). Datová „stránka“, která je zaznamenána jednou expozicí laseru na médium, čítá zhruba milion bitů. „Kniha“ obsahuje 252 takových stránek a celkem 15 knih je zaznamenáno na jednom místě v záznamovém médiu tlustém 1,5 mm.



Obr. 7.6: Holografická média s kapacitou až 100GB. <sup>11</sup>

Holografická média se moc nepodobají klasickým. Na obr. č. 7.6 vidíme CD s kapacitou 100GB a kreditní kartu na 20GB. Podle InPhase by data měla na takových médiích vydržet až 30 let, což je srovnatelná doba jako na CD-R/RW.

## 8. Porovnání

Jak jsem se již zmínil v úvodu mé práce porovnám zmíněné technologie uchování dat optickou cestou.

V současnosti jsou CD nosiče vytlačovány DVD médii, neboť jejich kapacita není dostačující. Proto výroba stagnuje a cena vzrůstá, sice jen nepatrně (řádově v desítkách haléřů na kus). Jediné jisté místo, které si zatím CD nosiče drží, je na poli hudebním, jako CD-DA. Do budoucna jsem, ale k udržení CD-DA skeptický, neboť s rozvojem internetu, s rostoucí podporou serverů prodávající hudební skladby ve formátu mp3 a s rostoucím prodejem kapesních mp3 přehrávačů, by mohlo dojít k jejich vymizení z běžného života. Těmto serverům nahrává fakt, že lidé si originál CD radši vypůjčí a okopírují, než aby si kupovaly předražené originály.

Výhoda CD-R je větší životnost než u DVD, hlavně při použití zlaté odrazové vrstvy. To ocení především ti, co si budou chtít zálohovat foto.

Naopak DVD disky se mohou pochlubit 7x (na jednu vrstvu) až zhruba 20x (použitím dvouvrstevných oboustranných médií) větší kapacitou. Ceny jednovrstevných jsou téměř stejné a u dvouvrstevných pak 10x větší. Při nástupu DVD byl problém s kompatibilitou tří jejich různých formátů, v současnosti, díky firmám jako je LG se podařilo vyrábět multifunkční DVD mechaniky s podporou všech jejich formátů. Stále se ale můžeme setkat s nekompatibilitou, především u starých stolních přehrávačů. Proto, bych doporučil při tvorbě DVD-Video používat DVD-R disky, pro jejich kompatibilitu i s těmito starými stolními přehrávači.

DVD-RAM, formát, který se moc nerozšířil, je skvělý pro stolní rekordéry, kamery a pro opakovanou zálohu dat na PC. Může tedy snadno nahradit ostatní prepisovatelné DVD, neboť jsou kvalitnější, s větším počtem prepisovatelných cyklů, až 100 000x. Jejich většímu rozšíření, bohužel brání cena srovnatelná s DVD DL, tedy cca 100 Kč



Obr. 8.1: Loga HD-DVD a Blu-ray.<sup>5</sup>

Nejzřetlivějšími nástupci DVD, jsou Blu-ray, HD-DVD a FVD, VMD disky, největší boj je však mezi HD-DVD a Blu-ray. Každý formát se na svou stranu snaží přilákat co největší počet firem, hlavně z filmového průmyslu, neboť tyto disky mají být určeny především pro filmy s vysokým rozlišením v HD-TV. Jejich nástupu brání, nemožnost se dohodnout na ochraně proti kopírování. Co se týče kompatibility, řešení opět asi přinese jako první firma LG, která se nedávno zmínila o optické hlavě schopné číst DVD, Blu-ray a HD-DVD.

Nemohu opomenout FVD, VMD disky, za kterými stojí ekonomicky mocná Čína, bohuže o nich se toho moc neví.

Nakonec tu máme nejzajímavější technologie. fluorescenční a holografické disky, jejichž kapacity dosahují 1TB., zatím jsou určeny jen pro průmyslové

využití, a tak si široká spotřebitelská veřejnost bude muset ještě nějakou dobu počkat.

Přehled technických údajů zmíněných technologií záznamů a čtení datových médií optickou cestou jsou uvedeny v příloze, jako tabulka.

## 8. Závěr

Cílem práce bylo vytvořit komplexní přehled způsobů záznamů a čtení dat z datových nosičů optickou cestou. Měla by sloužit k prozkoumání a přiblížení této problematiky a otázek běžným uživatelům a to doufám splňuje.

Bohužel o některých současných a nastupujících formátech je velmi málo informací, protože, což je vcelku pochopitelné, si je firmy bedlivě hlídají před konkurencí. Z čehož vyplývá nedostatek některých podrobnější technických údajů.

K dispozici je i elektronická verze této práce na přiloženém DVD a v horizontu několika měsíců, bude i uveřejněna na <http://www.ziva-hudba.com/burva> v XHTML formátu.



## Seznam použité literatury:

- [1] Michal Naderu: Průvodce k CD-ROM  
ISBN 80-85826-14-7
- [2] Petr Broža: Vypalujeme CD a DVD pomocí Nera, Computer Press, Brno, 2004  
ISBN 80-251-0125-8
- [3] Martin Bartoň: Velká kniha p vypalování CD, Unis publishing s.r.o., 1999  
ISBN 80-86097-26-9
- [4] Karel Voráček: Používáme DVD, Grand publishing, Praha, 2002  
ISBN 80-247-0365-3
- [5] <http://www.cdr.cz/>
- [6] [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~danekl/Archiv.PCK/archiv/pck\\_2000/006/](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~danekl/Archiv.PCK/archiv/pck_2000/006/)
- [7] <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~danekl/Archiv.PCK/006/index.html>
- [8] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-5D6052F0B32561D7C1256F8C007D9B25.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-5D6052F0B32561D7C1256F8C007D9B25.html)
- [8] <http://www.studentske.sk/informatika/>
- [9] <http://www.snek.ok.cvut.cz/nm/hardware.html>
- [10] <http://www.dvdforum.com/>
- [11] [http://www.optware.co.jp/english/index\\_tech.htm](http://www.optware.co.jp/english/index_tech.htm)
- [12] <http://www.c-3d.net/>
- [13] Materiály pro výuku AVT poskytnuté ing. Pavlem Čudkou
- [14] <http://www.hardware.einstein.cz/>
- [15] <http://www.pctuning.cz/i>
- [16] <http://www.sourcewire.com/>
- [17] <http://www.logout.sh.cvut.cz/~jaryn/pz/referat/pz/referat/referat.html>
- [18] <http://www.video.az4u.info/>
- [19] <http://www.dvdforum.org/>
- [20] <http://www.inphase-technologies.com/technology/index.html>

Parametr	Jednotka	CD	DVD		FVD	VMD	Blu-ray			HD-DVD		FMD	HVD
		1	1 (SL)	2 (DL)	1 až 2	5 až 20	1 (SL)	2 (DL)	4	1 (SL)	2 (DL)	až 100	
vrstvy		1	1 (SL)	2 (DL)	1 až 2	5 až 20	1 (SL)	2 (DL)	4	1 (SL)	2 (DL)	až 100	
vlnová délka laseru	nm	775 - 830	635 - 650		650	-	405			405		650	680 - 407
hloubka záznamové vrstvy	mm	-	0.6		-	-	0.1			0.6		-	-
délka bitového kanálu	μm	0.28 - 0.32	0.13	0.15	-	-	0.13 - 0.15			-		-	-
minimální délka pitu	μm	0.83 - 0.97	0.40	0.44	-	-	0.138	0.149	0.160	0.204		-	-
stoupání závitů spirály	μm	1.6	0.74		-	-	0.32			0.4		-	-
NA optické čočky	-	0.45	0.60		-	-	0.85			0.65		-	-
kapacita	GB	0.7	4.50	8	6	40	25	50	100	15	30	25-140	200
maximální kapacita	GB	0.87	15.9		16	100	100			30		1000	1600
přenosová rychlost	Mbps	0.15 - 7.8	1.38 - 22.1		-	40	36 - 216			-		2000	27

Tab. Přehled technických údajů, známých formátů optických nosičů.