

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Pedagogická fakulta**

Katedra fyziky

**Alternativní datové nosiče-  
Ukládání velkých objemů dat**

**Jiří Blížil**

Vedoucí bakalářské práce  
Ing. Michal Šerý

České Budějovice 2006

Knihovna JU - PF



3 1 1 5 1 7 2 5 1 8

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

Jiří Bláha

Na tomto místě bych chtěl zanechat můj dík panu Ing. Michalu Šerému za cenné rady, podněty a připomínky, které mi pomohly vypracovat tuto práci.

## OBSAH

1. Úvod-popis současného stavu.....	6
2. Magnetické datové nosiče.....	7
2.1 Magnetické páskové paměti.....	7
2.1.1 Magnetické pásky.....	8
2.2 Magnetické disky.....	9
2.2.1 Hlavy magnetických disků.....	10
2.2.2 Rozměry a kapacita.....	10
2.3 Diskety.....	10
2.3.1 Historie disket.....	10
2.3.2 Struktura diskety.....	11
2.3.3 Typy záznamu.....	12
2.4 Pevné disky.....	12
2.4.1 Charakteristika kotoučů u pevných disků.....	13
2.4.2 Rychlost otáčení pevného disku.....	14
2.4.3 Rozměry pevných disků.....	15
2.4.4 Struktura pevného disku.....	15
2.4.5 Způsob záznamu.....	16
2.4.6 Čtení z média.....	17
2.5 Bernoulliho disky.....	18
2.5.1 Bernoulliho efekt.....	18
3. Magnetooptické datové nosiče.....	20
3.1 Curieho bod.....	20
3.2 Kerruv efekt.....	21
3.3 Odolnost a použití disků.....	21
3.4 Floptical.....	22
4. Optické datové nosiče.....	24
4.1 Třetí generace optických disků.....	25
4.1.1 Numerická apertura (NA).....	25
4.2 HD-DVD.....	26
4.2.1 Kapacita HD-DVD.....	27
4.3 Blu-ray.....	27
4.3.1 Specifikace Blu-ray.....	28
4.3.2 Rozdíly oproti DVD.....	29
4.3.3 Dvakrát tři kapacity BD.....	30
4.3.4 Různé verze Blu-ray Disku.....	31
4.4 Mechaniky optických disků CD a DVD.....	33
4.4.1 Historie CD a DVD.....	33
4.4.2 Technologie CD.....	35
4.4.3 Princip čtení CD.....	36
4.4.4 Mechaniky CD-RW.....	37
4.4.5 Technologie DVD.....	38
4.4.6 Struktura DVD disku.....	38

4.4.7 Formáty DVD.....	39
4.4.8 Formy záznamu.....	40
4.4.9 DVD-R.....	42
4.4.10 DVD-RAM.....	43
4.4.11 DVD-RW.....	44
4.4.12 DVD shrnutí.....	44
4.4.13 Zapisování na CD/DVD.....	44
5.Holografické disky.....	47
5.1 Historie holografického záznamu.....	47
5.2 Princip holografického záznamu.....	48
5.3 Schéma ukládání dat.....	51
5.4 Schéma čtení dat.....	52
5.5 Záznamový materiál.....	53
6. Závěr.....	57
7.Použitá literatura.....	58

# 1. Úvod-popis současného stavu

Svou prací bych chtěl uživatelům PC popsat různé druhy médií, na která mohou ukládat velká množství dat.

Požadavky, které klade zvyšující se rychlost i výkonnost počítačů na kapacitu pamětí, jejich funkční vlastnosti a paměťová média byly v posledních letech znásobeny požadavky především periferního charakteru. Je třeba stále více prostoru pro data všeho druhu archivací počínaje, přes záznam zvuku po stále vzrůstající objem obrazových dat a to nejen statických, nýbrž i dynamických. K tomu nepřispívá jen samotný rozvoj těchto oborů, vyžadující pro provoz i následné ukládání stále větší paměťové kapacity, nýbrž i jejich vzájemné multimediální propojování a pronikání do komunikačních sítí.

Média jsem rozdělil podle principu ukládání do třech skupin. V první části práce se budu zabývat magnetickými nosiči. Zde jsou zařazeny i diskety, ačkoliv svojí kapacitou, sem již dávno nepatří, ale všichni pamatujeme doby, kdy byla disketa, pro mnohé z nás, jediným řešením pro ukládání dat. Z tohoto důvodu jsem je do své práce zařadil. Další kapitola se bude zabývat magnetooptickými médii. Ale hlavní pozornost bude upřena na dnes nejpoužívanější nosiče, a to optické. Sem patří CD, DVD, HD-DVD, Blue-ray a holografické disky, ale ty budou popsány v samostatné kapitole.

## 2. Magnetické datové nosiče

Magnetické diskové paměti jsou v současnosti nepoužívanějším druhem paměti sloužící zejména pro ukládání dat, která nemají charakter záloh nebo dat, jež nejsou často používána, ale naopak slouží např. pro uložení operačního systému, programů a aplikací, které uživatel používá častěji atp. Záznamovým médiem je magnetická vrstva nanesená na povrchu tenkého kotouče vyrobeného ze slitiny hliníku nebo lehké plastické hmoty. Několik těchto disků se většinou ve svém středu spojují a vzniká tak svazek disků, který je hnacím hřídelem uváděn do konstantního otáčivého pohybu.

Záznam údajů na disk se odehrává v soustředných kružnicích, tzv. stopách. Hlava, která slouží jak pro čtení tak i záznam, je umístěna na posuvném rameni. Toto uspořádání je pro každý kotouč ze svazku a tím tedy vzniká soustava hlaviček. Všechny stopy dosažitelné v dané poloze vystavovacího mechanismu tvoří záznamový válec. Vystavování hlav se provádí buď po zcela pevných úsecích krokovým motorkem nebo se u větších hustot záznamu průběžně koriguje servomechanismem. V tomto případě se k vystavování hlav používá lineární motorek.

V každé stopě je záznam rozdělen do úseků dat pevné délky, se kterými se provádějí operace čtení a zápisu, můžeme se tedy setkat se dvěma typy těchto úseků - bloky nebo volnými sektory. Bloky obsahují pouze datové údaje, volné sektory obsahují i adresní informaci, což zkracuje vybavovací dobu.

### 2.1 Magnetické páskové paměti

Magnetické páskové paměti patří k nejstarším vnějším pamětem. Dnes slouží zejména pro zálohování dat. Nejčastěji se používají magnetická páska šíře 0,15" (3,8 mm), má 9 záznamových stop (8

informačních a 1 paritní). Tato páska je umístěna v plastické kazetě, stejně tak jako klasická magnetofonová kazeta, ale páska má mnohem vyšší kvalitu, proto se jim také někdy říká digitální kazety. Je možné se setkat i s páskami 1/4" (6,35 mm).

Páskové paměti pracují s kontaktní záznamovou hlavou, což omezuje životnost pásky. Data jsou zaznamenávána zpravidla sériovým záznamem, a proto mají dlouhou odezvu na vyhledávání dat.

### 2.1.1 Magnetické pásky



Obr. 1 Magnetický pásek

Kvůli děsivé ceně magnetických jader byly nejprve jako sekundární a později i jako primární paměť používány především magnetické pásky. Typická páska byla asi 400 metrů dlouhá a 1,5 až 2,5 cm široká a obsahovala přibližně 5 MB informací. Zařízení pracující s magnetickou páskou byla mechanicky velice složitá a citlivá a vyžadovala proto neustálou péči a seřizování. Pásky jsou ale zásadně sekvenčním (sériovým) záznamovým médiem (tzv. sekvenční přístup k datům). To znamená, že informace uložená někde uprostřed pásky dlouhé i několik set metrů nebyla přístupná ihned, ale bylo ji třeba nejprve pracně několik minut "vyhrabávat".

Kromě minimálního počtu systémů, které měly tento problém vyřešen, byl další nevýhodou fakt, že při provádění byť i jednoduché změny v magnetickém záznamu se celá páska musela kompletně



přepsat. Algoritmy pro efektivní vyhledávání na magnetických páskách tak zabíraly nezanedbatelnou část strojového času. Všichni se tedy při vývoji dalších médií, na který bylo vynakládáno fantastické množství tvůrčí energie i finančních prostředků, snažili o zachování výhod magnetických pásek při současné minimalizaci jejich nevýhod.

## 2.2 Magnetické disky



Obr 2. Magnetický disk

Výsledkem tohoto úsilí byl další stupeň vývoje záznamových médií - soustavy magnetických disků. Skládaly se z několika od sebe oddělených talířových disků (maximální počet byl deset). Tyto "talíře" byly na sebe poskládány a sešroubovány tak, aby mezi nimi zůstaly pevné a přesně odměřené mezery, ve kterých se pohybovaly hřebenové zuby se zapisovacími a čtecími hlavami. Horní i spodní plocha každého disku (zpravidla s výjimkou vnějších stran nejhořejšího a nejspodnějšího disku) měly své vlastní hlavy. Výhodou disků oproti páskám byl především náhodný přístup k datům (random access). To znamená, že kteroukoli informaci bylo možno najít během velice krátkého časového intervalu - několika milisekund místo několika minut, jako tomu bylo u magnetické pásky.

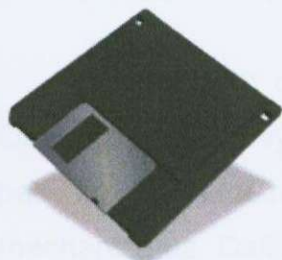
### 2.2.1 Hlavy magnetických disků

Hlavy se musely dostat co nejbližší k povrchu disku, ale nesměly se ho v žádném případě dotknout - to by mělo za následek zničení hlavy i celé sestavy. Kvůli tomu i kvůli nebezpečí zanesení hlav nečistotami ze vzduchu byly tyto paměťové magnetické disky umístěny v klimatizovaných místnostech - výpadek klimatizace byl stejně obávaný jako výpadek celého počítače. Kapacita disků nebyla v porovnání s jejich rozměry nijak oslnivá - sada disků o rozměrech solidní ledničky měla kapacitu necelých 70 MB.

### 2.2.2 Rozměry a kapacita

Současné magnetické disky již nejsou tak rozměrné jako ty původní. Značně se zmenšily, jejich kapacita mnohdy vzrostla a zejména se přesunuly do plastických obalů a používají se jako přenosná paměťová média.

## 2.3 Diskety



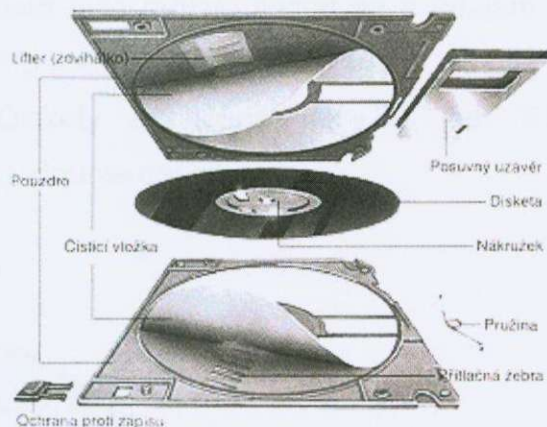
Obr. 3 Disketa

### 2.3.1 Historie disket

Historie se ubírala trendem miniaturizace, takže od původní diskety o rozměru 14" (355,6 mm), se přecházelo k disketám o rozměrech 8" (203,2 mm) až k disketám 5,25" (133,3 mm), což byl

vlastně předchůdce dnes nejrozšířenějšího typu disket o rozměrech 3,5" (88,9 mm).

Zajímavostí je, že se zmenšováním rozměrů disket bylo nutné řešit i například problémy s kompenzací tepelné roztažnosti či házivosti média. V neposlední řadě bylo nutné řešit i problém hustoty záznamu, což je dnes v době zvyšování kapacit disků velmi diskutovanou otázkou.



Obr. 4 Struktura diskety

### 2.3.2 Struktura diskety

Magnetický disk je uzavřen v ochranném plastickém obalu. Obal má kruhový výřez pro upnutí disku na hnací vřeteno. Na disku je pak kovový kroužek s otvory, které přesně kopírují zachytávací mechanismus. Dalším otvorem, který je překryt odkrývací záklopkou, je otvor umožňující čtecí (zápisové) hlavičce dotyk s médiem (diskem). Kapacita disket vzrostla z původních 200 kB na 1,44 MB. Velkou nevýhodou je kromě mechanického poškození diskety i vybavovací doba, která se pohybuje kolem 200 ms. Při čtení nebo zápisu se hlavička přímo dotýká média. Aby nedošlo k jeho nadměrnému otěru, je hlava k médiu přitisknuta jen při těchto operacích a nebo se rotace média zastavuje, je-li doba mezi operacemi delší než 10 s.

### 2.3.3 Typy záznamu

Pokud se opět vrátíme trochu do historie, můžeme se podívat na různé druhy záznamu. Ten mohl být buď jednostranný (SS, single side) nebo oboustranný (DS, double side). Pro oboustranný záznam se používaly dvě hlavy. Diskety označené jak DS, tak SS měly citlivou magnetickou vrstvu z obou stran, ale u SS byla zaručena jakost pouze strany jedné. Často bylo možné setkat se s údajem, který označoval hustotu záznamu - jednoduchou (SD, single density) nebo dvojnásobnou. Diskety označené jak DS tak SS měly citlivou magnetickou (DD, double density).

### 2.4 Pevné disky



Obr. 5 Pevný disk

Pevný disk se skládá z jednoho či více kovových kotoučů potažených z obou stran magnetickým materiálem (oxidy železa). Samotné podložky se vyrábějí ze slitin kovů, jako je např. AlMg, které nejsou magnetické. Na podložku se nanáší vlastní aktivní vrstva, která je složena z pojiva (většinou polyesterové pryskyřice), ve kterém jsou rozptýleny feromagnetické částice. Jsou to především oxidy železa (feromagnetické materiály), novější materiály jsou např. z oxidů chromu nebo jsou to přímo částice čistého železa a jeden z nejmodernějších

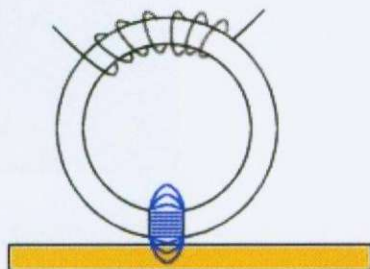
materiálů jsou barnaté ferity. Samotné částice feromagnetického materiálu mají velikost 0,04 až 1 $\mu$ m. Větší částice se již nedají použít, protože při jejich zmagnetování se v nich vytváří více magnetických domén.

Celá záznamová vrstva mívá tloušťku okolo 1 $\mu$ m a na nemagnetickou podložku se nanáší buďto kontinuálním poléváním nebo odstředivým litím na kotoučovou podložku a vytvrzuje se při teplotě 200 °C. Kromě rozptýlených částic v pojivu (je jich asi 20 %) jsou do magnetické vrstvy přidávány další přísady, pomocí kterých jsou určovány mechanické vlastnosti pevných disků. Jako přísady, která upravuje tvrdost magnetické vrstvy, se používá hlavně oxid hlinitý. Další používanou přísadou je uhlík, ten zajišťuje určenou vodivost, která je nutná k odvádění elektrostatického náboje.

#### **2.4.1 Charakteristika kotoučů u pevných disků**

Počet kotoučů je různý od jednotlivých mechanik. Například původní mechanika počítače XT o kapacitě 10 MB měla tyto kotouče dva. Novější disky jich mají více. Výroba kotočů je technologicky nejvíce náročná (tudíž i nejdražší), protože povrch kotouče musí být téměř absolutně hladký. Z toho plyne, že pevný disk s více kotouči o určité kapacitě bude dražší, než disk o stejné kapacitě, avšak s menším počtem kotoučů. Protože na pevném disku při vzájemném pohybu čtecích/záznamových hlav a svazku kotoučů vznikají velmi náročné dynamické poměry (obvodová rychlost disku může dosáhnout až 200 km/hod), opatřuje se povrch jednotlivých kotoučů tzv. mazacími prostředky, které chrání vlastní záznamovou vrstvu a zajišťují hladké "klouzání" hlav po disku. Většinou se jako mazací prostředky používají

fluorovodíkové sloučeniny, které se ve velmi tenké vrstvě nanášejí na aktivní vrstvu nebo jsou případně přímo součástí vrstvy.

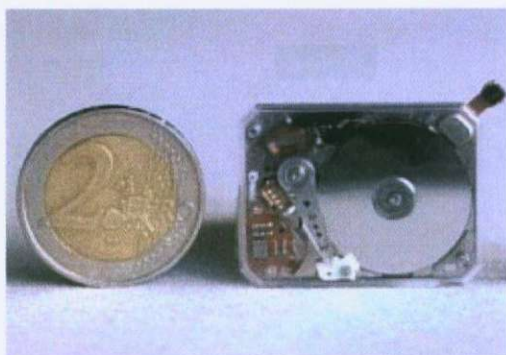


Obr.6 Kotouč

Pro každý povrch kotouče má pevný disk elektromagnetickou čtecí a zápisovou hlavu s mikroskopickou cívkou. Hlavy disku uchovávají data na disku elektromagneticky. Materiál tvořící magnetický povrchů kotoučů, má nízkou koercivitu při pokojové teplotě a to umožňuje velmi malé čtecí a záznamové hlavy a slabé magnetické pole. Všechny hlavy jsou umístěny na jednom společném rameni a pohybují se tedy zároveň. Jsou výkyvné po obvodu kružnice a ovládají se velmi přesným motorem. Čím je motor rychlejší a kvalitnější, tím má pevný disk menší přístupovou dobu - tím také rychleji reaguje na povely.

#### 2.4.2 Rychlost otáčení pevného disku

Pevný disk se točí konstantní rychlostí (nikoli tedy jako u CD), která je obvykle v intervalu 3 600 až 7 200 otáček za minutu. Novinkou a výjimkou je Seagate Cheetah s 10 033 otáčkami za minutu.



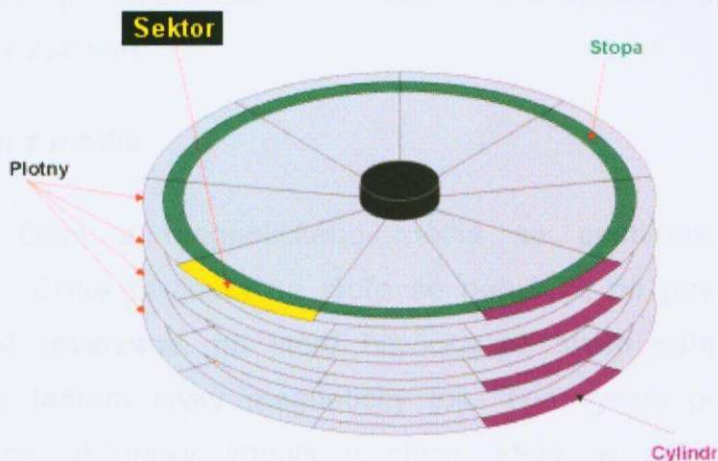
Obr. 7 Miniaturizace pevného disku

### 2.4.3 Rozměry pevných disků

Pevné disky se dříve dělaly prakticky jen v šířce 5,25". V současné době se produkují pouze 3,5" disky a 2,5" disky do notebooků. Avšak samozřejmě existují výjimky (například firma Quantum svou řadou pevných disků BigFoot nebo Toshiba se svými mikro disky).

### 2.4.4 Struktura pevného disku

Pevný disk je sestaven tak, že jeho kotouče jsou uchyceny na společné ose jeden za druhým. Každou stranu kotouče označujeme jako povrch. Z toho plyne: **jeden kotouč dva povrchy**. Dále je každý povrch rozdělen do soustředných kružnic - stop. **Stopy**, které se nacházejí na různých površích pod sebou, tvoří tzv. válec - **cylindr**. Povrchy jsou obrazně rozděleny ještě paprscitě. Díky tomuto rozdělení nám vznikly oblasti, které se nazývají **sektory**. (1 sektor = 512 Bytů).



Obr. 8 Rozložení kotoučů disku

K důležitým místům uvnitř pevného disku patří i parkovací oblast. Ta se nachází vždy mimo datovou část a podle provedení pevného disku je buď u středu nebo při okraji kotouče.

#### 2.4.5 Způsob záznamu

Spočívá v použití vlastností magnetického pole a magnetických materiálů. Záznam ale i čtení se provádí magnetickou hlavou. Je to cívka navinutá na jádře, které je v místě, kde se nejvíce přibližuje záznamové vrstvě přerušena štěrbinou. Když cívkou necháme procházet elektrický proud (jde o záznam na disk), vytvoří se v jádru odpovídající magnetický tok, který se uzavírá přes štěrbinu v jádře. Jelikož je štěrbina velmi blízko magnetické vrstvě média (řádově několik mm), ovlivňuje tento tok i záznamovou vrstvu média, které se v místě styku magnetuje. Změnou směru elektrického proudu v cívce se mění i magnetický tok jádrem cívky a její štěrbinou a tím na záznamové vrstvě vznikají části magnetované jedním či druhým směrem. Mezi těmito dvěma směry magnetizace vznikají oblasti, kde se magnetizace mění, a



ty se nazývají magnetické reverzace. Právě ty jsou důležité pro magnetický záznam.

#### 2.4.6 Čtení z média

Při čtení z magnetického média se postupuje opačným způsobem. Cívka navinutá na jádře se pohybuje po povrchu disku. Magnetické reverzace, na které hlavička při svém pohybu narazí, uzavírají s jádrem cívky magnetický tok. Ten vyvolá podle směru magnetizace elektrický impuls v cívce, který je dále zpracován přídatnou elektronikou. Způsob uložení magnetických reverzací závisí na použitém kódování dat. Nejběžnější a nejznámější jsou technika záznamu FM (frekvenční modulace), MFM (modifikovaná frekvenční modulace) a tzv. RLL kódy.

U disků (a nejen u nich) je důležitým parametrem jeho rychlost. Ta je mimo jiné dána přenosovým módem.

Proces čtení sektoru se skládá ze dvou kroků. Nejdříve se čtecí a zápisová hlava přemístí nad požadovanou stopu. Potom se čeká, až se disk natočí tak, že požadovaný sektor je pod hlavou, který následně přečte. Posun hlavy obvykle zabere většinu času. Nejideálnější by bylo, kdyby byly sektory souboru uloženy na stejné stopě. V případě uložení sektorů na více stopách by bylo ideální, kdyby tyto stopy byly umístěny na různých površích pod sebou. Průměrný čas vystavení hlavy na požadovanou stopu se nazývá doba vyhledávací a čas čekání na to, až sektor najede pod hlavu se nazývá doba čekací. Součet těchto časových hodnot označujeme termínem - **přístupová doba**. Přístupová doba je důležitým faktorem výkonosti pevného disku.

## 2.5 Bernoulliho disky



Obr. 9 Bernoulliho disky

### 2.5.1 Bernoulliho efekt

Bernoulliho disky pracují na principu tzv. Bernoulliho efektu. Jde v podstatě o stejný princip jako ten, díky kterému letadla létají. Disk se po vložení do mechaniky roztočí a proudění vzduchu vháněné mezi pouzdro a horní povrch disku způsobí jeho přiblížení k zápisové a čtecí hlavě. Hlava se disku nedotýká, proudící vzduch zabraňuje usazování nečistot. Navíc je disk odolný vůči nejrůznějším kolizím a vibracím. V případě, že by čtecí nebo zápisová hlava měla totiž dopadnout na disk, což by u klasického zařízení vedlo k jeho jistému zničení, flexibilní Bernoulliho disk od ní prostě na okamžik odskočí a opět se přitáhne zpět. Výrobci těchto disků udávají, že vydrží přetížení až 1000G, což odpovídá pádu ze tří metrů na betonovou podlahu. Díky odolnosti proti vibracím se úspěšně používají na palubách lodí, letadel a automobilů.



Obr. 10 Princip fungování Bernoulliho disku

Zdůraznit je třeba přístupovou rychlost, která odpovídá klasickým harddiskům. Bernoulliho disky najdou uplatnění v nejrůznějších

oblastech: pro přenos dat v DTP, CAD/CAM a bankovníctví, pro ochranu dat (uzamčení do trezoru) či pro těžké provozy.



Obr. 11 - Mapa České republiky

### 7.1 Úvodní poznámky

Základním prvkem každého počítačového systému je zdroj dat, který poskytuje informace o stavu systému a jeho komponentech. Tyto informace jsou využívány k diagnostice a opravě závad. V tomto oddělení jsou popsány různé metody a nástroje pro diagnostiku počítačových systémů. Účelem tohoto oddělení je poskytnout čtenáři přehled o různých metodách a nástrojích, které lze použít k diagnostice počítačových systémů. V tomto oddělení jsou popsány různé metody a nástroje pro diagnostiku počítačových systémů. Účelem tohoto oddělení je poskytnout čtenáři přehled o různých metodách a nástrojích, které lze použít k diagnostice počítačových systémů.

Způsob, jakým je data přenesena, závisí na typu systému a na požadované rychlosti přenosu. V tomto oddělení jsou popsány různé metody a nástroje pro diagnostiku počítačových systémů. Účelem tohoto oddělení je poskytnout čtenáři přehled o různých metodách a nástrojích, které lze použít k diagnostice počítačových systémů.

### 3. Magnetooptické datové nosiče



Obr. 11 Magnetooptické datové nosiče

#### 3.1 Curieho bod

Základním jevem, kterého se využívá, je tzv. Curieho bod, což je teplotní oblast, kdy má použitý magnetický materiál velmi nízkou koercivitu (vysoká schopnost pojmout magnetickou informaci, která umožňuje používat menší záznamové hlavy s nižším magnetickým výkonem). Magnetické jednotky dosahují Curieho bodu při pokojových teplotách, což je na jednu stranu spojeno s nižšími náklady (nemusí se ohřívat povrch média), ale nese s sebou rizika na stranu druhou (poškození běžným magnetickým polem). Jediný současný způsob, jak velmi rychle rozpálit povrch magnetooptického disku na takovou teplotu, je použít výkonný laserový paprsek.

Způsob zápisu je tedy proveden tak, že se nejprve magnetická hlava přepne do stavu logická nula (severní pól magnetického bitu je dole), pak se laser nastaví na vysoký výkon, ohřeje datové bity na Curieho bod a magnetická hlava zapíše logické nuly. Poté se polarita

magnetické hlavy změny a tam, kde jsou logické jedničky, se disk opět ohřeje a zaznamená se informace. Po vychladnutí disku (téměř okamžitě) jsou data zajištěna až do příštího ohřátí. Tím, že je zápis prováděn dvouprůchodovým způsobem, je daná nižší rychlost při zápisu, která je přibližně poloviční oproti čtení.

### **3.2 Kerruv efekt**

Čtení pak používá druhého principu, tzv. Kerrova efektu, který uvádí, že pokud dopadne na magnetický materiál polarizovaný laserový paprsek, tak se potočí. Otočení je menší, než jeden stupeň, ale podle polarity se potočí buď po směru (logická jednička), nebo proti směru hodinových ručiček (logická nula). Citlivá elektronika tuto změnu zachytí a odešle příslušný výsledek. Pro čtení se využívá snížený výkon, neboť již není třeba magnetická data ohřívat. Čtecí proces je jednopřechodový a tedy rychlý.

Laserové diody dokáží zaměřit světelný paprsek na plochu o průměru jednoho mikronu čímž se spolu s vertikální polarizací dosáhne příslušné kapacity. Přístupové doby jsou oproti Bernoulliho diskům nebo klasickým harddiskům o něco pomalejší, ovšem vývoj se rozhodně nezastavil.

### **3.3 Odolnost a použití disků**

Vzhledem k popsané technologii záznamu jsou MO disky odolné vůči obvyklým magnetickým polím, se kterými se můžeme v kanceláři či v dopravních prostředcích setkat. Jízda v prvním vagóně metra jim rozhodně neuškodí. Navíc jsou omyvatelné (v případě znečištění se jednoduše otřou a osuší), nečistoty se lze zbavit opláchnutím v teplé vodě se saponátem. Použití je podobné jako u Bernoulliho disků, i když o trochu více zaměřené spíše na archivaci. Pro automatizaci

prohledávání lze disky umístit do obřích jukeboxů, vybavených podávacím zařízením a jednou nebo více mechanikami.

### 3.4 Floptical



Obr. 12 Floptical

U tohoto zařízení je zajímavé, že na jedné straně nosiče jsou umístěné nezměnitelné stopové informace, které slouží k optickému navádění zápisové a čtecí hlavy. Magnetické a naváděcí stopy se střídají v intervalu 20 mikronů a tvoří soustavu soustředných kružnic. Liší se navzájem rozdílnými povrchovými vlastnosti, naváděcí stopy odrážejí světlo méně než magnetické.

Nad povrchem floptické diskety se pohybují dvě spřažené hlavy - klasická magnetická hlava pro čtení a zápis informací a optická hlava pro přesné čtení informací o poloze. Zdrojem světla (podle verze jde buď o laserovou diodu - holorafický floptical nebo o LEDku - konvenční floptical umístěnou v optické hlavě) osvětluje povrch diskety a podle intenzity odraženého světla můžeme zjistit, kde se hlava přesně nachází. Díky takovému uspořádání mechaniky a média lze magnetickou hlavu nastavit mnohem přesněji než u běžných disket, kde

se používá k tomuto účelu krokový motorek. Další rozdíl najdeme ve vlastním magnetickém záznamu.

U floptických disket se používá na rozdíl od klasické podélné magnetizace díky bariem-ferritové vrstvě vertikální magnetizace. Magnetické domény jsou potom orientovány kolmo na povrch. A právě vertikální magnetizace spolu s naváděcími stopami umožňuje podstatně zvýšit hustotu magnetického záznamu (místo klasických 135 stop na palec u disket je u flopticalů hustota 1 245 stop na palec). V současné době se tak dosahuje neformátované kapacity 25 MB, objevují se ale už i 40 či 80 MB. Díky optice se však dosahuje nejen zvýšení kapacity, ale i rychlosti (asi trojnásobná) a spolehlivosti (díky naváděcí stopě). A jak floptickou disketu poznáte na první pohled od klasické? Jednoduše, je totiž průsvitná.

## 4. Optické datové nosiče

V současné době existují tři základní typy optických pamětí:

- **Umožňující pouze čtení** - CD-ROM (Compact Disc - Read Only Memory). Tyto paměti jsou verzi kompaktních disků CD používaných pro audionahrávky. Kompaktní disk o průměru 12cm pojme 640MB. Data jsou na CD disk zapsána (vypálena) laserovým paprskem ve formě jamek do spirálové stopy na polymerovém kotouči. Při čtení se záznamová stopa ohledává laserovým paprskem a podle odraženého paprsku se vyhodnocuje zapsaná informace. Vzhledem ke způsobu záznamu do spirály má vyšší vybavovací dobu.
- **Umožňující vícenásobné čtení, ale pouze jeden zápis** - WROM (Write Once Read Mostly). Jsou analogií kompaktního disku s tím rozdílem, že prvotní záznam dat provádí uživatel sám. Při něm se obvykle do telurové vrstvy nanesené na skleněném nebo polymerovém kotouči propalují polovodičovým laserem velmi malé otvory. Záznam se obvykle člení do stop ve tvaru spirály. Při čtení se opět užívá laser (s výkonem o řád nižším) a podobně jako u paměti CD-ROM se na základě odrazu paprsku vyhodnotí zaznamenaná informace.
- **Umožňující čtení i zápis** - RWM (Read Write Memory) - magnetooptické paměti. Jedním z principů použitých v prototypch je využití rozdílu magnetických vlastností některých materiálů (např. slitiny fermia, železa a kobaltu) za různých teplot - kritický je tzv. Curieho bod 240 °C. V čtecí a zápisové hlavě je kromě optického systému také malá cívka vytvářející slabé magnetické pole. Při záznamu informace se využívá toho, že lokální zmagnetování vrstvy se provede jen v těch místech, která



jsou laserem ohřáta na Curieho bod. Čtení je založeno na tom, že odrazivost zmagnetovaných a nezmagnetovaných míst, na povrchu disku, se liší.

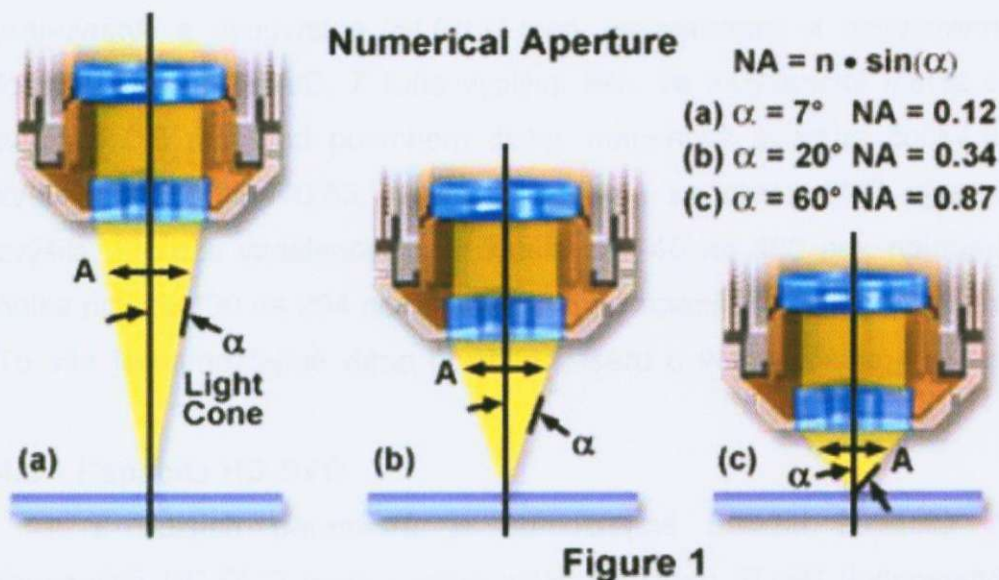
#### **4.1 Třetí generace optických disků**

Podobně jako tomu bylo u zapisovatelných a přepisovatelných DVD, i v případě budoucí generace optických disků mezi sebou soupeří dva různé standardy - Blu-ray a HD-DVD. Některé vlastnosti mají společné, jiné jsou naopak naprosto odlišné. Cílem jich obou ale je zvýšit kapacitu optických médií tak, aby bylo možné vypalovat desítky

GB na jeden disk. Blu-ray a HD-DVD Tak se nazývají třetí generací optických médií. Jsou logickým pokračovatelem DVD např. v tom, že stále používají 12cm disk, stále se na ně zapisuje laserem, jen hustota záznamu se radikálně zvyšuje. Nejjednodušším způsobem zvýšení hustoty je zkrácení a zúžení pitů a zmenšení rozteče mezi drahami. Abychom mohli takto "miniaturizovat", potřebujeme za prvé laser o kratší vlnové délce, ale také čočku s větší numerickou aperturou.

##### **4.1.1 Numerická apertura (NA)**

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. 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 Blu-ray s NA 0,85 musí zaostřovat na mnohem kratší vzdálenost než CD-ROM, jehož apertura je 0,45.



Obr. 13 Numerická aparatura (NA)

Vlnová délka laseru u obou formátů třetí generace je 405 nm, což znamená, že má barvu modro-fialovou (zjednodušeně pak modrou). Formáty Blu-ray a HD-DVD také používají stejné médium - 120mm kolečko s dírou uprostřed. Tím ale společné vlastnosti obou formátů končí, protože oba jsou vyvíjeny jinými skupinami, které se ne úplně shodují ve svých názorech. Podívejme se na oba formáty zvlášť.

#### 4.2 HD-DVD

O formátu HD-DVD (nebo-li High Definition Digital Versatile Disk) toho víme mnohem méně než o Blu-ray. 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. Z toho vyplývá fakt, že záznamová vrstva se nachází 0,6 mm pod povrchem disku, numerická apertura čočky se zvětšila z 0,60 na 0,65. 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.

#### **4.2.1 Kapacita HD-DVD**

Z dalších parametrů je samozřejmě důležitá kapacita. 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, což už jsou velmi slušné hodnoty. Když vezmeme v úvahu možnost použití oboustranného disku, dostáváme se přes 60 GB. Další specifikace hovoří o tom, že HD-DVD bude používat souborový systém UDF (Universal Disk Format), což není žádná velká novinka, čtení signálu bude zpracovááno pomocí PRML (Partial Response, Maximum Likelihood) a kód modulace bude ETM. Ještě poznamenám, že HD-DVD bylo původně nazváno Advanced Optical Disk (AOD), s čímž se můžete místy také setkat.

#### **4.3 Blu-ray**

Druhý formát třetí generace se nazývá Blu-ray a byl představen v roce 2001 firmami Matsushita a Sony. Tyto dvě firmy již na začátku roku 2002 zformovaly konsorcium, které bylo nazváno Blu-ray Disk Association a do kterého dnes patří přes 100 společností z oblasti spotřební elektroniky. Hlavními členy, kteří určují směr, jakým se bude

Blu-ray ubírat, jsou Dell, HP, Hitachi, LG, Mitsubishi, Panasonic, Pioneer, Philips, Samsung, Sharp, Sony, TDK, Thomson, 20th Century

#### **4.3.1 Specifikace Blu-ray**

Jak bylo již řečeno, Blu-ray používá stejnou vlnovou délku záznamového laseru jako HD-DVD, tedy 405 nm. Blu-ray Disk Association přišla s tímto způsobem zápisu dříve, a proto je formát pojmenovaný právě podle barvy laseru. Pokud se ptáte, proč zní "Blu-ray" a ne "Blue-ray", tak důvod je ten, že běžně používané názvy nelze registrovat jako ochrannou známku (což je případ druhého zmíněného).

#### **Specifikace Blu-ray Disk jsou následující:**

Kapacita: 23,3, 25 nebo 27 GB (jednovrstvý disk)

Vlnová délka: 405 nm (modro-fialový laser)

Numerická apertura: 0,85

Hloubka záznamové vrstvy: 0,1mm

Přenosová rychlost: 36 Mbps

Vzdálenost drah: 320 nm

Délka pitu: 138, 149 nebo 160 nm

Průměr disku: 120mm

Tloušťka disku: 1,2mm

Záznamová metoda: fázová změna

Modulace signálu: 1-7PP

Způsob zápisu: on-groove

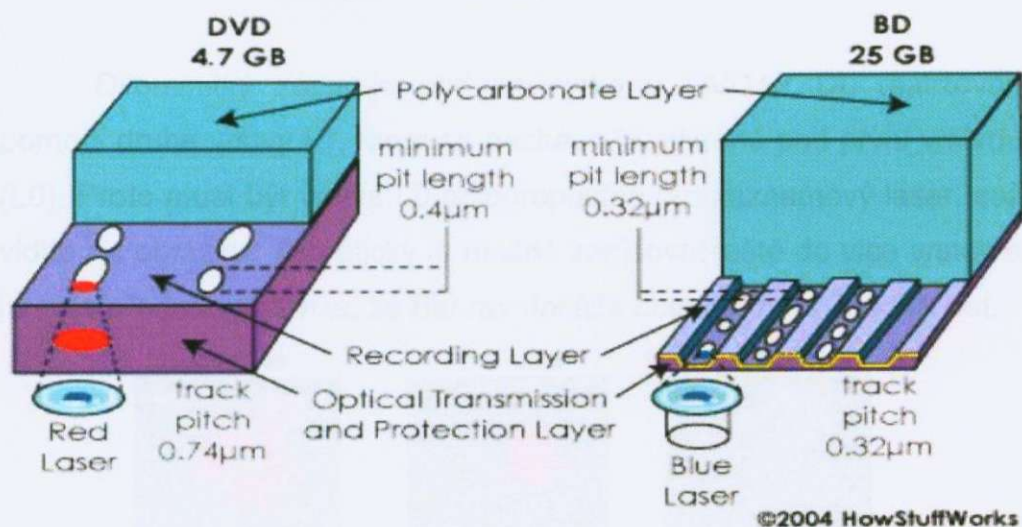
Metoda adresování: wobble

Formát videa: MPEG-2, MPEG-4 H.264/AVC a VC-1

### 4.3.2 Rozdíly oproti 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. Pro BD byl dále určen tzv. on-groove způsob zápisu. Abych to vysvětlil podrobněji - 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 obrázek). 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). A to se dostáváme k jádru věci. Již u DVD bylo možné zaznamenávat data dvěma (včetně DVD-RAM de facto třemi) způsoby – je to in-groove, on-groove, příp. kombinace obojího. Blu-ray využívá on-groove zápis a píty 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.

## DVD vs. Blue-ray Construction



Obr. 14 Rozdíl v konstrukci DVD a Blue-ray

### 4.3.3 Dvakrát tři kapacity BD

Blu-ray Disk, a to je zajímavé, určuje ještě před svým příchodem na trh tři různé specifikace s rozdílnou kapacitou a délkou pitu. Kromě toho definuje i zápis na dvouvrstvý BD, což je realizováno druhou záznamovou vrstvou nacházející se 0,175 mm pod povrchem média. Znamená to, že se může Blu-ray dostat na trh teoreticky v šesti kapacitách:

Délka pitu	160 nm	149 nm	138 nm
Délka channel bit	80 nm	74,5 nm	69 nm
Délka data bit	120 nm	111,75 nm	103,5 nm
Referenční rychlost	5,28 m/s	4,92 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. 3 - Různé verze Blu-ray Disku

Obr. 15 Různé verze Blue-ray disku

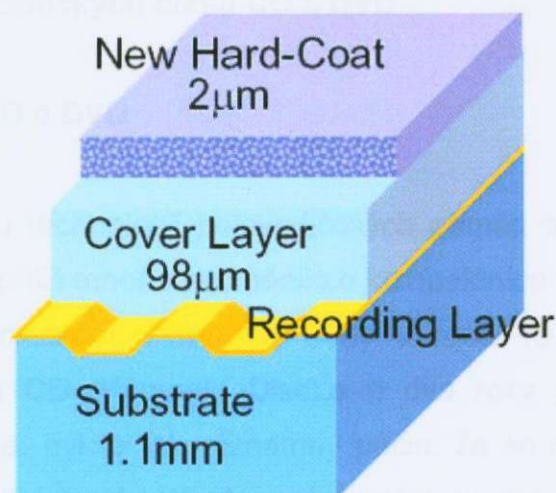
#### 4.3.4 Různé verze Blu-ray Disku

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 vidíte na obrázku. Teoreticky je možné zapisovat ještě do více vrstev a již byla představena vize, že Blu-ray dokáže pojmout přes 200 GB dat.



Obr. 16 Princip dvouvrstvého zápisu

Pozor na prach a škrábance. Protože se záznamová vrstva nachází pouze 0,1mm pod povrchem média, je disk mnohem náchylnější na poškrábání a nečistoty. Stačí pak trochu prašnější 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. Díky snahám Blu-ray Disk Association byla ale vyvinuta technologie hard-coating, která přidává na povrch tenkou, 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.



Obr.17 Vrstvy u BD

Optické disky nové generace se nezastaví u pouhých 2 záznamových vrstev. Společnost TDK představila na CES čtyřvrstvé BD médium s kapacitou 100GB. Vícevrstvé Blu-ray disky se zatím dají vypalovat rychlostí 2x, tedy 9MB/s. Pro srovnání, rychlost 16x u DVD je v přepočtu 21MB/s. S disky Blu-ray se zatím v laboratoři podařilo dosáhnout rychlosti 6x - 27MB/s. 100GB BD média se však objeví až v roce 2007. Konkurence však také nespí - u HD-DVD-ROM se již povedlo dosáhnout kapacity 90GB s třemi datovými vrstvami na každé straně a 64GB u formátu HD-DVD-RAM. Druhý, mnohem podstatnější bod, se týká filmového průmyslu. S rozmachem HDTV a procesorů pro dekódování HD WMV v reálném čase je potřeba mít média pro nahrávání filmů ve vysokém rozlišení. Např. HD WMV ve formátu 1080i (rozlišení 1920x1080) zkonsumuje obrovskou kapacitu a klasický BD-ROM s kapacitou 25 GB by měl pojmout "jen" kolem 135 minut takového videa.



## 4.4 Mechaniky optických disků CD a DVD

### 4.4.1 Historie CD a DVD

Zatímco u technologii polovodičových pamětí se toho za dobu jejich existence příliš mnoho nezměnilo, o kompaktních discích se to říct nedá. Když společnosti Philips a Sony v roce 1979 specifikovaly zvukový systém CD (Kompakt Disc), a o dva roky později ho také zavedly do praxe, byl to tak významný počín, že se dějiny audio a o něco později i výpočetní techniky začaly dělit na dobu před zrozením disku CD a po něm. Systém CD totiž do této sféry jako první vnesl jeden nový důležitý prvek: optický záznam. V následujících letech jejich klonováním postupně vznikly disky pro zápis dat CD-ROM, pro informační a zvukové a zábavné programy CD-I a pro ukládání fotografií Photo CD. Sudičky však spokojeny nebyly. Neočekávaly zrození zvukové, ale obrazové desky.

V šedesátých a sedmdesátých letech se obrazovou desku pokoušelo vyvinout hned několik firem (Telefunken, JVC, Philips). Později se Philips pokusil rozhybat stojaté vody kolem „obrazové desky“ zavedením zlatých disků **CDV** s klasickým průměrem 12cm, které na okraji nesly nejvýše šestiminutový analogový obrazový záznam a za ním zhruba dvacetiminutovou digitální zvukovou nahrávku. Sice ani v tomto případě příliš nepochodil, přispěl však k uzvrzení názoru, že z výrobních i provozních důvodů může uspět jedině disk, který bude rozměrově i systémově kompatibilní s dosavadním CD, tedy plně digitální, přičemž kromě dostatečné hrací doby zajistí také vysokou kvalitu obrazu. Závěr jednoznačný, jeho realizace ovšem dost obtížná. Úplná digitalizace barevného kinetického obrazu by vyžadovala datový tok kolem 27MB/s, takže klasické CD s kapacitou 650MB by pojalo jen 24 sekundový záběr. Ten by se navíc nemohl přehrávat v reálném

čase, neboť takový datový tok by přístroje nedokázaly zpracovat. Přesto se řešení našlo. Nabídky ho nově vyvíjené technologie komprese dat, založené na jejich redukci jednak v rámci každého snímku, jednak v navazujících snímcích.

Zmíněné poznatky zúročil stříbrný disk **Video-CD**, rozměrově i vzhledově shodný s klasickým cédéčkem. Video-CD s digitální audiovizuální nahrávkou komprimovanou podle **MPEG-1(Morión Picture Experts Group)**, tj. s konstantním datovým tokem 1,5MB/s, garantujícím obraz s horizontálním rozlišením 240 řádek, tedy stejným jako u systému VHS, vystačí až na 74 minut záznamu. Pro hrané filmy, jejichž stopáž se pohybuje mezi 90 až 140 minutami, ovšem jeho kapacita nedostačuje.

V době, kdy se disk Video-CD snažil prosadit, již bylo zaděláno na další kvalitativní skok. Protože filmový a počítačový průmysl stále hlasitěji volal po optickém záznamovém nosiči s větší kapacitou a pokrok v oblasti polovodičové techniky takové zvýšení umožňoval, pustili se výrobci do zdokonalování dosavadního CD. Patnáct let po zrození zvukového CD tak ohlásili příchod jeho obrazového následníka s mnohonásobně vyšší kapacitou. Zádrhel byl ovšem v tom, že nepřišel sám. Kromě firem Philips a Sony, původců CD, které uvedly disk **Multimedia CD**, vlastní verzi **Super Density Digital Video Disc**, představily také firmy sdružené kolem společnosti Toshiba a Thomson. Aliance SDDVD navrhovala disk oboustranný a dohoda dvouvrstvý. Na chvíli to vypadalo, že se zopakuje kazetové dilema, kdy se perou dva mírně odlišné formáty. Hrozící nebezpečí konkurenčního boje, jenž by neprospěl výrobcům, spotřebitelům ani systémům samým, se po dlouhých jednáních naštěstí podařilo odvrátit.

Výsledný kompromis dostal neutrální název **DVD - Digital Versatile Disc**, kde versatile znamená všestranný, ale v současné době se spíše vžil název **Digital Video Disc**. Obdobně jako u jeho

předchůdce se postupně objevují jeho modifikace. DVD-ROM, DVD-R pro jednorázový záznam, DVD-RAM resp. DVD-RW pro opakované nahrávání a DVD-Audio.

#### 4.4.2 Technologie CD

Médium CD-ROM vznikalo původně jako audio nosič a jeho autory byly firmy Philips a Sony. CD dovoluje uložení až 700 MB programů a dat. V současnosti všechny vyráběné mechaniky a disky odpovídají žluté knize Philips Sony, ta určuje fyzický formát CD-ROM, a standardu ISO 9660 - popisuje logickou strukturu a formát dat na CD-ROM.

CD-ROM mechaniky se prosadily velmi rychle, a to hlavně kvůli své velké kapacitě, která dovolila výrobcům software použít pro šíření programů jediné levné médium místo mnoha nespolehlivých disket. Také kapacita 700 MB se zvyšuje s pokusy zhustit vodící spirálu laseru na maximum, takže se dá dnes běžně zapsat na CD-R disk například 800 MB dat. Také rychlost čtení se neustále zvyšuje. Současné mechaniky se točí až 52x rychleji, než-li běžné hudební CD, což samozřejmě zvyšuje jejich přenosovou rychlost až na 8 Mb/s, avšak "něco za něco". Mechaniky jsou díky tomu stále více náchylnější na prach a při znečištění optiky laseru mechanika přestává číst a při poškrábání média musí zpomalit otáčky.

Na rozdíl od dříve uvedených diskových zařízení (pružné disky, pevné disky, ZIP disky, Magnetooptické disky apod.) nejsou data ukládána do soustředných kružnic, ale do jedné dlouhé spirály podobně jako na gramofonové desce. Spirála začíná u středu média a rozvíjí se postupně až k jeho okraji. Záznam (spirála dat) je pouze na spodní straně disku, tj. záznam na CD-ROM disku je jednostranný. Délka celé spirály je zhruba 6 km a hustota dat v ní uložených je konstantní.

Rychlost čtení spirály je v single speed mechanice asi 1,3 m/s. Rychlost otáčení CD-ROM disku není konstantní, ale je kontinuálně přizpůsobována podle toho, zda se čtení provádí blíže kraji nebo středu disku. U středu disku je rychlost otáčení vyšší (asi 500 otáček za minutu) a u kraje naopak nižší (asi 200 otáček za minutu). Toto přizpůsobování otáček disku zaručuje, že data jsou čtena ze spirály konstantní rychlostí.

Přístupová doba u datových CD-ROM disků je potom závislá na čase nutném k regulaci otáček. Je tedy velmi nevhodné číst data uložená v různých částech disku, protože je neustále nutné přizpůsobovat rychlost otáčení. Tento problém plně neodstraňují ani mechaniky s vyšší přístupovou rychlostí, i když samozřejmě mechaniky s vyšší rychlostí čtení mají i nižší přístupovou dobu. Přístupová doba se u CD-ROM mechanik pohybuje od 100 ms do 300 ms.

Protože šířka stopy spirály je velmi malá, data jsou uložena s poměrně velkou hustotou a vlastní CD-ROM nosič není ničím chráněn, je velká pravděpodobnost, že i při běžné manipulaci s CD-ROM diskem může dojít ke špatnému přečtení některých uložených bitů. Proto informace uložené na médiu CD-ROM jsou silně redundantní (nadbytečné) a mechanika má obvody realizující na základě těchto nadbytečných informací poměrně složité algoritmy pro korekturu chyb vzniklých při čtení.

#### **4.4.3 Princip čtení CD**

Hnací motor neustále mění rychlost otáčení disku CD-ROM, takže bez ohledu na to, kde se vzhledem k poloměru disku nachází komponenta, která má název detektor, pohybuje se část disku bezprostředně nad detektorem vždy stejnou rychlostí.

**(1):** Laser vytváří koncentrovaný paprsek světla, který je dále zaostřován čočkami a zaostřovací cívkou.

**(2):** Laserový paprsek proniká ochrannou vrstvou z plastu a dopadne na odraznou vrstvu, která vypadá jako aluminiová fólie na spodní straně disku.

**(3):** Na povrchu odrazné vrstvy se střídají jamky a plošky. Plošky jsou oblasti s rovným povrchem a jamky jsou prohloubeniny v odrazné vrstvě. Tyto dva povrchy představují záznam jedniček a nul použitých k uložení dat.

**(4):** Světlo, které dopadne do jamky je rozptýleno, ale světlo, které dopadne na plošku, se odrazí zpět do detektoru, kde projde hranolem, který ho odkloní a odražený paprsek dopadne na světlocitlivou diodu.

**(5):** Každý puls, který dopadne na světlocitlivou diodu v ní vyvolá malý elektrický náboj. Tyto náboje v koordinaci s časovačem vytváří nuly a jedničky a tak vzniká proud dat, kterým počítač dokáže porozumět.

#### 4.4.4 Mechaniky CD-RW



Obr. 18 Mechanika CD-RW

Mechaniky CD-RW (Compact Disk - Rewritable) jsou určeny k záznamu na disky CD-ROM a na CD-RW. CD-RW disky dovolují na rozdíl od CD-R disků, aby záznam byl přemazán a proveden znovu. Přemazání však nemůže být prováděno libovolně, jako např. na

pevném disku, ale pouze na celém disku.

#### 4.4.5 Technologie DVD



Obr. 19 Dvě DVD s různými spodními stranami.

DVD kvalitativně rozvíjí technologii CD (Compact Disc). Disk DVD je na první pohled od CD nerozlišitelný. Má stejný průměr i tloušťku a užívá stejný bezkontaktní způsob čtení dat laserovým paprskem. Velikost záznamových prohlubní (pitů) je však mnohem menší, jejich vzdálenost kratší a záznamová kapacita tudíž mnohonásobně větší (až 15.8 GB oproti 0.65 GB na CD). V návaznosti na to byla zkrácena vlnová délka paprsků snímacího laseru. Stejně jako CD je i DVD odolné proti magnetickému poli, neničí se přehráváním a jednoduše se skladuje.

#### 4.4.6 Struktura DVD disku

Jednostranný DVD je tvořen čtyřmi hlavními vrstvami. První je silný polykarbonát, který voří základ pro ostatní vrstvy. Další mnohem tenčí vrstva je z nepropustného odrážejícího materiálu uložená na vrstvě základní. Pak přichází tenká vrstva průhledného filmu a nakonec povrchová vrstva čirého ochranného plastu. Data a ostatní jsou stejně vyjádřena jak u CD-ROM, a to pomocí plošek na dvou z povrchů - totiž na průhledné vrstvě a na lesklé neprůhledné vrstvě. Jamky jsou

mnohem menší a proto DVD pojme až 8,5 GB dat. Podobně jako CD-ROM používá DVD ke snímání laser, ale o kratší vlnové délce, aby s ním bylo možno snímat přesně menší jamky a plošky.

**(1):** Změnou proudu protékajícího magnetickou cívkou, která obklopuje laserový paprsek zaostří snímací hlava DVD tak, že je soustředěn pouze na povrch průhledné vrstvy.

Kapacita jednostraného DVD disku se zdvojnásobí, když se stejné vrstvy materiálu použijí i na druhé straně disku. Ale protože současné DVD mechaniky mají pouze jednu hlavu, musíte disk vyjmout a otočit, když chcete číst data z druhé strany.

Průhledná vrstva činí jen polovinu dat, které DVD dokáže pojmout. Nastavením proudu v cívce obklopující laser může snímací hlava měnit ohniskovou vzdálenost laserového paprsku, takže ten projde průhlednou vrstvou s minimálním zkreslením. Tento paprsek dopadne na neprůhlednou vrstvu a čte z ní jako na průhledné.

#### 4.4.7 Formáty DVD

**DVD-Video:** je určeno pro uchování videosekvencí přehratelných v DVD přehrávačích připojených k televizoru nebo zapojených do systému tzv. domácího kina, resp. v DVD počítačových kitech integrovaných do PC. DVD stolní přehrávače dodávají výrobci z oblasti klasické spotřební elektroniky. Tyto přehrávače pro začátek zcela stačí na vstup uživatele do světa multimédií. Počítačové výrobce nabízejí DVD mechaniky, samostatně prodávané karty pro MPEG-2, nebo kompletní DVD kity (DVD mechanika spolu s kartou MPEG-2). Logický formát DVD obsahuje video ve formátu MPEG-2, 8 jazykových verzí zvuku, 32

verzí titulků a 9 různých pohledů kamery. Obsahuje také navigační systém pro snadný přístup k jednotlivým informacím a dalším funkcím.

**DVD-Data:** datové DVD využívá rozšířeného formátu UDF/ISO (Universal data format / Industrial standard organization) přístupný ke čtení ve všech počítačových operačních systémech s podporou UDF.

**DVD-Audio:** je formát, který je předurčen, aby v domácnostech nahradil definitivně a velmi brzy CD-Audio disky, které se používají již řadu let. Tento formát je již definitivně určen a na světových trzích se objevují první tituly. Jeho přednost je kromě velké kapacity, kterou DVD poskytuje, také možnost uložit na disk digitální záznam zvuku s vyšší vzorkovací frekvencí (48, 96 nebo 192 kHz) a s větší datovou hloubkou (místo 16 bitů u CD-Audio až 24 bitů u DVD-Audio). Kromě toho se očekává velmi intenzivní přírůstek titulů, protože vydavatelské společnosti budou chtít využít existence nového média pro tzv. remastering starých a úspěšných titulů (populární skupiny, velká kluturní a umělecká díla atd.).

**DVD-Hybrid:** je kombinací dvou nebo více formátů jako u CD.

#### 4.4.8 Formy záznamu

DVD-lisovaná jsou určena pro hromadnou distribuci dat, filmů, zvukových nahrávek na nosiči zvaném DVD (Digital Versatile Disc). Přední výrobci počítačů i spotřební a zábavní elektroniky se na základě požadavků na nové záznamové médium dohodly na vytvoření **DVD-Fora**. V rámci tohoto fora byly zpracovány veškeré požadavky na dané médium, na základě nichž byl utvořen formát lisovaného DVD. Mezi požadované vlastnosti byla zpětná kompatibilita zařízení se starším, ale



velmi rozšířeným nosičem CD (ve verzích CD-ROM pro počítače, CD–Audio pro zvukové nahrávky a CD–Video pro digitální nahrávky filmů). Byly stanoveny 2 velikosti DVD media (80 a 120 mm). Na každé medium lze uložit záznam na dvou stranách ve dvou vrstvách.

V případě 12 cm disku se tedy jedná o :

**DVD 5** – jednostranný jednovrstvý disk s celkovou kapacitou 4,4 GB

**DVD 10** – oboustranný jednovrstvý disk s celkovou kapacitou 8,8 GB

**DVD 9** – jednostranný dvouvrstvý disk s celkovou kapacitou 8,1 GB

**DVD 18** – oboustranný dvouvrstvý disk s celkovou kapacitou 15,8 GB

Tyto disky jsou lisovány stejnou technologií jako disky CD, tj. obtiskem **GLASMASTRU** (skleněného originálu) do plastické hmoty. Tato technologie je velmi náročná na výrobu a vyplatí se u vícekusové série.

DVD je především nosičem obrazu. Digitální obraz má při standardním kódování velice vysoký datový tok – přes 20 Mb/sec. To představuje při např. dvouhodinovém filmu 144 GB. Avšak na základním typu DVD je k dispozici pouze 4,4 GB pro uložení obrazu a zvuku. To by si vynutilo nerealizovatelný kompresní poměr 32:1. Proto byl vyvinut speciální kompresní algoritmus **MPEG-2**, který takovou kompresi zaručí a to při zachování vysoké kvality obrazu. MPEG-2 je založen na ukládání kompletních a rozdílových obrázků. Neukládá všech 25 snímků za sekundu, z nichž je signál složen, ale v průměru jen 2-3 a ze zbylých snímků se zaznamenávají jen rozdíly a jejich obsah. Algoritmus MPEG-2 tak účinně snižuje datový tok při zachování vysoké kvality obrazu. Maximální přenosová rychlost dosahuje 9,8 Mb/sec. Při tom kvalita obrazu je téměř shodná s kvalitou vysílání v televizi. Horizontální rozlišení dosahuje dvojnásobku rozlišení videosystému VHS a podstatně vyšší je i odstup videosignálu od šumu.

DVD pracuje s oběma televizními normami (PAL, NTSC) a také DVD přehrávače obě tyto normy ošetřují. Na DVD mohou být samostatně uloženy i statické obrázky, slide show nebo jiné grafické informace včetně 3D grafiky, animací a virtuální reality. Uloženy jsou v plném rozlišení 720 x 526 ve 24 bitech pro barvu. Systém DVD považuje za standard širokoúhlý obraz s poměrem 16 : 9, ale podporuje i obraz pro klasickou obrazovku 4 : 3. Širokoúhlý obraz je na disku uložen buď nekomprimovaný (tj.s menší obrazovou plochou, ohraničenou dvěma vodorovnými černými pruhy), nebo komprimovaný (tj. v celé obrazové ploše, ale stranově stlačený).

#### 4.4.9 DVD-R

Je technologie založena na konceptu CD-R. DVD-R je medium typu **WORM** (zápis jednou/čtení mnohokrát). Možnosti využití jsou stejné jako u lisovaných medií, tj. DVD-Video, DVD-Audio, DVD-ROM. Velkou výhodou DVD-R je možnost využití v kterémkoliv zařízení umožňující přehrávání stejného formátu, ve kterém je DVD-R nahráno (home system DVD-Video players, DVD-ROM mechanikách, DVD-Audio přehrávačích). Existují dvě specifikace DVD-R. Obě navrhla a schválila organizace DVD Forum.

**a) původní verze** - specifikace 1.0 je schopna nést maximálně 3,95 GB na jednu stranu, počítá se také s dvoustranným médiem s kapacitou 7,9 GB.

**b) nová specifikace** - verze 1.9 (připravuje se 2.0), hovoří se o takzvané verzi pro DVD authoring, která je schopna pojmout kapacitu až 4,7 GB dat, data jsou čtená, zapisovaná konstantní rychlostí 11,08 Mb/s, což je ekvivalent 9 x základní přenosové rychlosti CD-ROM.

DVD-R, záznamové médium se skládá z několika vrstev:

a) čirý substrát

- b) b) záznamová
- c) c) odrazová
- d) d) ochranná
- e) e) adhezní

#### 4.4.10 DVD-RAM

Návrh prepisovatelného media, které bylo zamýšleno použít převážně v počítačích, kde má nahradit velmi rozšířené MO disky, nebo třeba Panasonic PD a to na metodě zvané Phase change. Princip spočívá v zahřátí speciální vrstvy, která se v určité teplotě stává ovlivnitelnou magnetickým polem. Záznamový Laser zahřívá povrch disku, nad kterým přejíždí magnetická hlava, která elektromagnetickou indukci mění (nebo nemění – záleží zda jde o logickou 0 či 1) vrstvu na disku. Ta pak při přehrávání slabým laserem v případě logické 1 odráží světlo do čočky, v případě logické nuly 0 mimo.

**a) verze 1.0** (původní specifikace) předpokládá použití média s kapacitou 2,6 GB na jednu stranu, respektive 5,2 GB oboustranně. 2,6 GB media jsou podobná mediím DVD-R nebo RW. Media 5,2 GB jsou oboustranná a zapouzdřená ve speciálních pouzdrech typu CADDY určena pouze pro DVD-RAM. Specifikace stanoví zápisovou rychlost na 1X (11,08 MB/s).

**b) verze 2.0** stanovuje kapacitu DVD-RAM, oproti původní specifikaci je důležitá změna kapacity, dochází k navýšení na 4,7 GB a také u záznamové rychlosti na 2X DVD (22,16 Mb/s) a také možnost vypalování v normálních DVD-RW mechanikách, ale musí DVD-RAM podporovat.

#### **4.4.11 DVD-RW**

Je to jiný návrh na formát, který má stejné vlastnosti jako DVD-RAM v2.0. Je také postaven na principu Phase Change, mezi jeho hlavní výhody je podpora výrobců stolních DVD přehrávačů, například hlavní protagonista tohoto záznamu – firma PIONEER produkuje všechny nové přehrávače schopné přehrávat DVD-RW, DVD-RW má namířeno do cílové oblasti spotřební elektroniky, tento formát použila firma Pioneer pro svůj první komerční DVD-Video Recorder, který byl první svého druhu na světě.

#### **4.4.12 DVD shrnutí**

DVD je skvělá technologie, její přístupnost pro širokou veřejnost je maximální, přehrávače stojí už méně než VHS videa, titulů pro DVD a to jak Video tak Data jsou na trhu přehršle. DVD-RW mechaniky do PC jsou tak levné jako před 2 lety normální CD-RW mechaniky, i DVD-Recorder pro domácí kino je dnes taky levný, dokonce některé umí zapisovat a zároveň sledovat zapisovaný záznam. Cena médií je srovnatelná s norm. CD. Co se PC týče tak se mechaniky připojují stejně jako CD mech. existují i Firewire externí vypalovačky.

#### **4.4.13 Zapisování na CD/DVD**

CD-ROMy a DVD disky jako optická média určená pouze ke čtení dat mají své ekvivalenty umožňující záznam. Přepisovatelný znamená, že můžete soubory na disk nejen přenášet, ale že je můžete také vymazat a měnit úplně stejně, jak to můžete dělat na pevném disku (pouze u DVD-RAM). Ekvivalentem CD-ROMu je CD-Rewritable (CD-RW). U disku DVD je to DVD-RAM a DVD-RW. I když se CD-RW a DVD-RAM liší v tom, kolik dat na ně lze zapsat, oba používají techniku,

kteřá se nazývá technologie změny fáze zápisu, změny a vymazání dat.

Tento systém zapisuje data u obou typů disku tak, že zaostří laserový paprsek vykokou intenzitou na vrstvu vytvořenou typicky ze stříbra, india, antimonu a teluru, která je posazena na plastovém základu disku. Ve svém původním stavu má tato vrstva pevnou polykrystalickou strukturu.

**(1):** Laserový paprsek selektivně zahřívá místa na 482 až 704°C. Kam paprsek dopadne, roztaví teplo krystaly v nekystalické neboli amorfní skupenství. Tato místa odrážejí méně světla než okolní nezměněná.

Později, když při čtení dat z disku slabší laserový paprsek narazí na nekystalickou oblast, paprsek se rozptýlí a světlocitlivá dioda ve snímací hlavě ho nezaznamená. Tyto oblasti se svou nižší odrazivostí se stávají jamkami a představují jedničky. Nezahřátá místa jsou plošky s vyšší odrazivostí a představují nuly. Když laserový paprsek dopadne na plošku, odrazí se přímo do diody a vytvoří v ní elektrický proud, který je odeslán do počítače.

### **Infračervený laser**

Ke čtení a zápisu dat pomocí změny skupenství používá laser u CD-Rewritable stejnou vlnovou délku jako u CD-ROM. Laserový paprsek je tvořen infračerveným světlem o délce 780 nanometrů. Vlnová délka určuje jak malé budou jamky a plošky a jak těsně bude navinutá záznamová drážka. CD-RW pojme 700MB dat.

### **Červený laser**

DVD-RAM používá ke čtení a zápisu červený laser. Protože má

toto světlo vlnovou délkou 635 až 650 nanometrů, která je kratší než u infra. světla, vytváří červený laser jamky a plošky menší a spirála záznamové drážky je těsnější. Přesnější mechanika a optika s malými jamkami a ploškami také přispívá k vyšší kapacitě DVD, která je 4,7 GB na každé straně. Mechanika má záznamovou rychlost 1,3MB za sekundu a čtecí rychlost 1,2 až 2,7MB za sekundu.

Chcete-li data vymazat nebo změnit jamku zpět na plošku, používá se proces rekrystalizace, kdy jednotka CD-RW a DVD-RAM použije nízkoenergetický paprsek k zahřátí oblastí jamek na 204°C. Tato dávka tepla je pod bodem tavení krystalů, avšak vyvolá fázi přeměny média, které rekrystalizuje do svého původního stavu.

## 5.Holografické disky

Z důvodů stále se zvyšujících požadavků na kapacitu a rychlost záznamových zařízení, které v současnosti zastupují převážně magnetické disky, jež svými parametry pomalu přestávají stačit, je třeba hledat novou technologii záznamu dat. Jedním z řešení se zdá být holografická paměť.

### 5.1 Historie holografického záznamu

Princip holografie je znám již od roku 1947, kdy jej objevil britský fyzik maďarského původu Dennis Gabor (1900-1979) při práci na zlepšení rozlišovací schopnosti elektronového mikroskopu. Za tento objev byl v roce 1971 oceněn Nobelovou cenou za fyziku. Termín holografie vznikl složením z řeckých slov 'holos'=celý, úplný a 'grafein'=psát, úplný záznam. Informace o každém detailu zobrazeného objektu je totiž - narozdíl od konvenčních metod záznamu obrazu - zapsána v celém objemu hologramu a ne jen v jeho lokalizované části. Skutečný význam Gaborova objevu byl však plně doceněn až po konstrukci laseru v roce 1960. Teprve laserové světlo bylo totiž dostatečně bodové a koherentní, aby mohlo uspokojivě realizovat Gaborovu myšlenku. S myšlenkou využití metody holografie k hustému zápisu binárních dat přišel v roce 1963 Pieter van Heerden, pracující tehdy pro firmu Polaroid. V šedesátých letech se také objevily první pokusy o konstrukci holografické paměti. Ty tehdy probíhaly v laboratořích předních firem - IBM, RCA, Bell, Thompson - a sovětské akademie věd.

Vývoj holografických pamětí zaznamenal velký pokrok během 90. let 20. století, kdy dvě americká konsorcia sdružující univerzitní

výzkumné týmy s komerčními společnostmi vytvořily model funkčního holografického záznamového a čtecího zařízení. Přes první praktické úspěchy nové technologie, kterých bylo v 90. letech dosaženo, se velké společnosti zastoupené v obou konsorciích následně rozhodly ustoupit od dalšího masivního financování vývoje v této oblasti. Kromě technických problémů přispěly k recesi oboru holografických technologií také nově otevřené možnosti dalšího vývoje dosavadních magnetických nosičů informace, které jsou bližší standardně používaným technologiím a tedy i snadněji převoditelné do praxe. V současné době je vývoj holografických pamětí podporován řadou společností. Nejbližší k uvedení svého produktu na trh je společnost InPhase Technologies, která se oddělila od Bellových laboratoří v roce 2000 a která chystá uvedení svých pamětí na trh již koncem roku 2005. Další společností je firma Aprilis Inc., založená v roce 1999 odštěpením od Polaroidu. Za zmínku stojí i britská firma P3 Holographics vyvíjející holografické paměti s možností přepisu.

## **5.2 Princip holografického záznamu**

Při holografickém záznamu dat se souvislý laserový paprsek rozděluje na dva. Jeden ze svazků - signální - je modulován vlastnostmi zobrazovaného objektu a nese informace o něm ve své amplitudě a fázi. Druhý mívá, jako pomocný svazek, jednoduchý tvar (rovinná nebo kruhová vlna). Každým z obou svazků lze vyvolat ten druhý.



## 1 Záznam



Obr.19 Průnik dvou paprsků

Průnik dvou paprsků vytváří interferenční pole světlých a tmavých bodů

## 2 Záznam



Obr. 20 Interferenční pole

Fotocitlivivé médium zaznamená interferenční pole

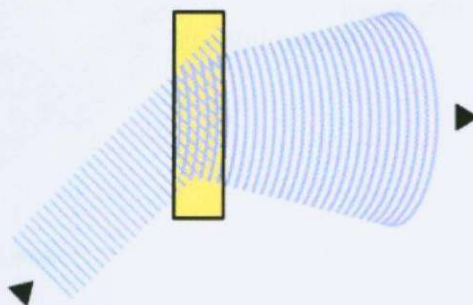
### 3 Záznam



Obr. 21 Hologram

Obraz uvnitř média = hologram

### 4 Čtení

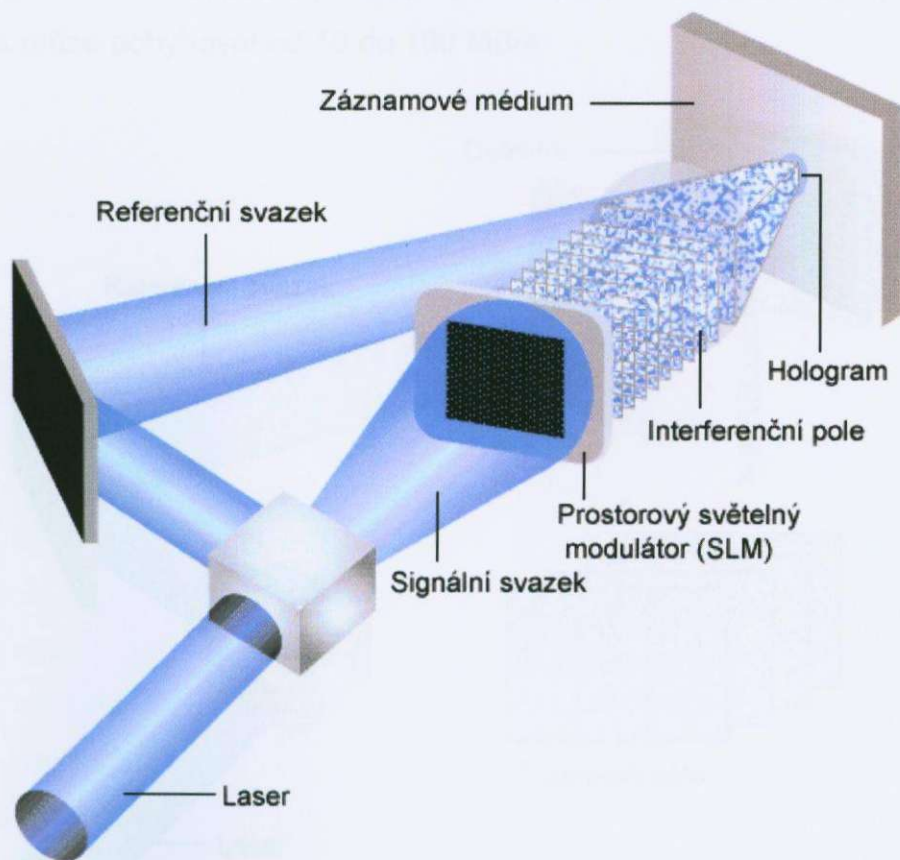


Obr. 22 Obnovení dat paprskem

Osvícení média jedním paprskem obnoví data .

Data, která mají být uložena, se nakódují na signální svazek pomocí prostorového světelného modulátoru (Spatial Light Modulator - SLM). Data (řetězce bitů) se nejprve uspořádají do stránek či velkých datových polí. Logické hodnoty "0" a "1" se překládají do pixelů na prostorovém světelném modulátoru, 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 uložení datové stránky.

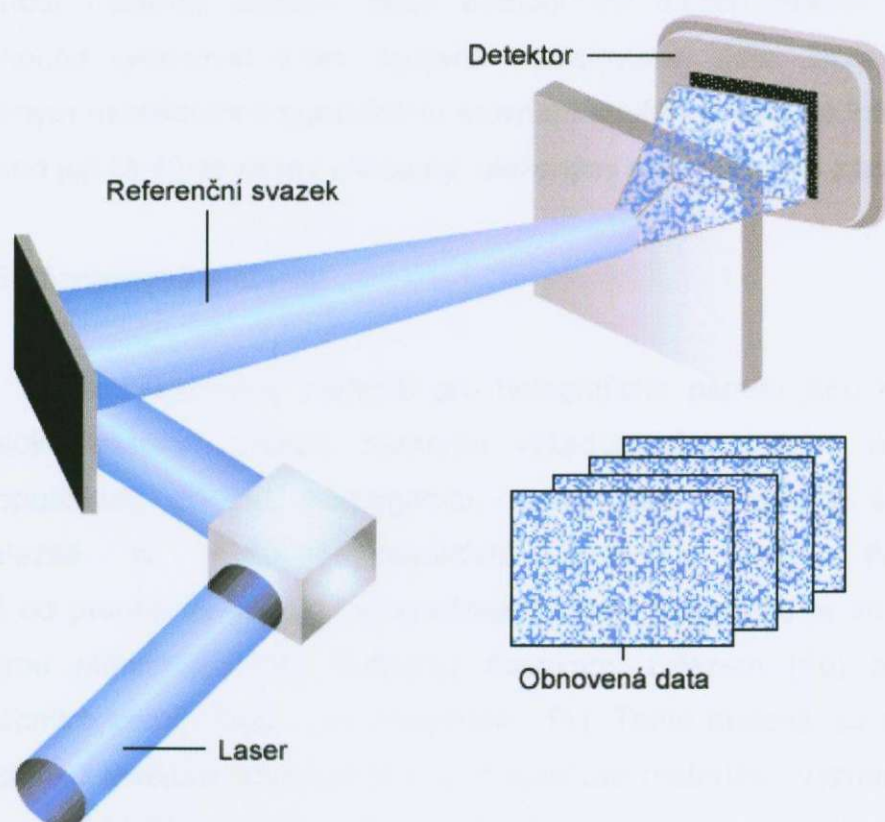


Obr. 23 Princip holografického záznamu

### 5.3 Schéma ukládání dat

Čtení holografického záznamu je založeno na ohybu čtecí vlnoplochy na záznamu interferenčního pole. Je-li záznam ozářen vlnoplohou shodnou s jedním z obou svazků za stejných podmínek, za jakých proběhl záznam (směr, tvar), vybaví se i druhý svazek. Právě tak se používá referenční paprsek při čtení k tomu, aby způsobil ohyb na

zaznamenaných mřížkách, čímž dochází k rekonstrukci pole bitů. Zrekonstruovaná sada dat se promítá na detektor, který se skládá z pole pixelů a dovede tak číst data paralelně (princip CMOS známý z digitálních fotoaparátů). Rychlost takového holografického čtení se pak může pohybovat od 10 do 100 MB/s.



Obr.24 Princip obnovení dat

#### 5.4 Schéma čtení dat

Proměnlivou hodnotou referenčního paprsku, např. při změně úhlu dopadu nebo změně vlnové délky, je 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 přináší enormní kapacitu zápisu holograficky uložených dat.

Z podstaty holografického zobrazení vyplývá také možnost asociativního vybavování dat. Lze zjistit, zda je daný hledaný datový soubor v paměti zapsán, nebo pomocí jím modulovaného signálu dokonce vybavovat s ním spojená (asociovaná) data. Dochází tak jediným osvětlením k paralelnímu srovnání struktury hledané informace (nebo její části) se všemi záznamy, uloženými v paměťovém záznamu.

## 5.5 Záznamový materiál

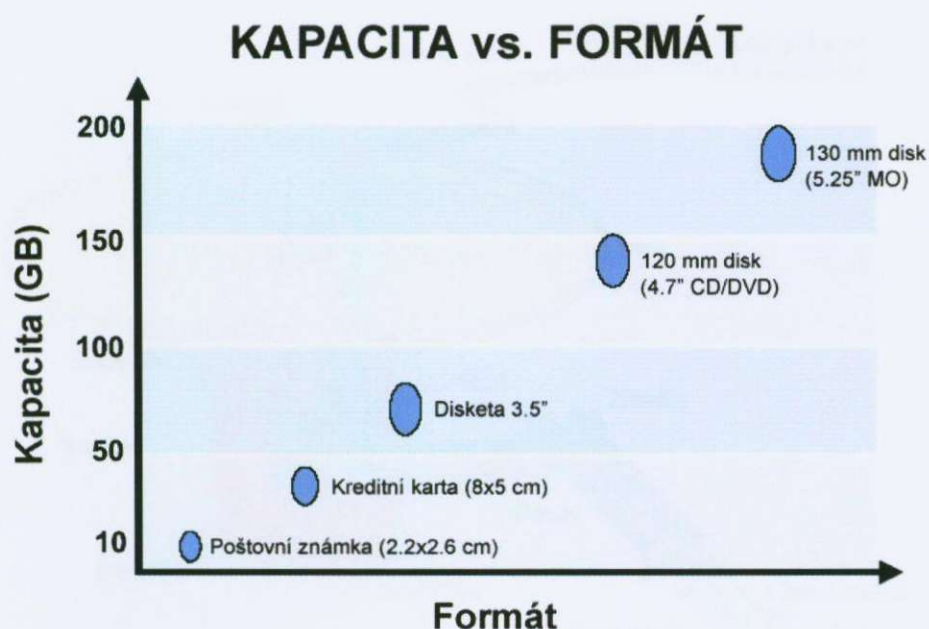
Na záznamový materiál pro holografické paměti jsou kladeny vysoké nároky. Způsob záznamu vyžaduje dostatečnou optickou propustnost, citlivost, homogenitu, rozměrovou a teplotní stabilitu. Důležité je také nedestruktivní čtení a malá tloušťka. Již od prvních pokusů o holografický záznam informace je ve středu zájmu niobičnan lithný ( $\text{LiNbO}_3$ ) dopovaný železem (Fe) a prvky vzácných zemin (např. praseodymem - Pr). Tento materiál se získává růstem z taveniny podobně jako polovodičové materiály. Vyznačuje se piezoelektrickými vlastnostmi, spojenými se změnou indexu lomu v důsledku odlišného vnitřního pnutí.

Jinými významnými kandidáty záznamových materiálů jsou polymery. Pro trvalý záznam lze využívat difuze barviva za tepla, vázaného na polymerované řetězce nebo změny absorpce fotochromních molekul ozářením. Jiný mechanismus je založen na vzniku optické anisotropie v důsledku polymerizace pod vlivem ozářením, takže záznam je zobrazen změnou dvojlomných vlastností. Dvojlomný je i záznam využívající reorientace chromoforů na bázi azo-barviv v důsledku ozářením. Vlastnosti polymerů většinou převyšují vlastnosti

niobičnanu lithného. Zatím se polymery jeví jako vhodnější pro trvalý holografický záznam. To ukazují i výzkumy firem, které se holografickými záznamy zabývají. Např. firma InPhase tech. vytvořila speciální fotopolymer vykazující potřebné parametry. Je tvořen směsí dvou nezávisle polymerovaných, ale ještě kompatibilních chemických materiálů. Zapisovatelné 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 generovaný během holografického zápisu (zjednodušeně: v nosném médiu se vytvoří díky jedné chemické sloučenině matrice, do které se, díky druhé sloučenině, zapisují data).

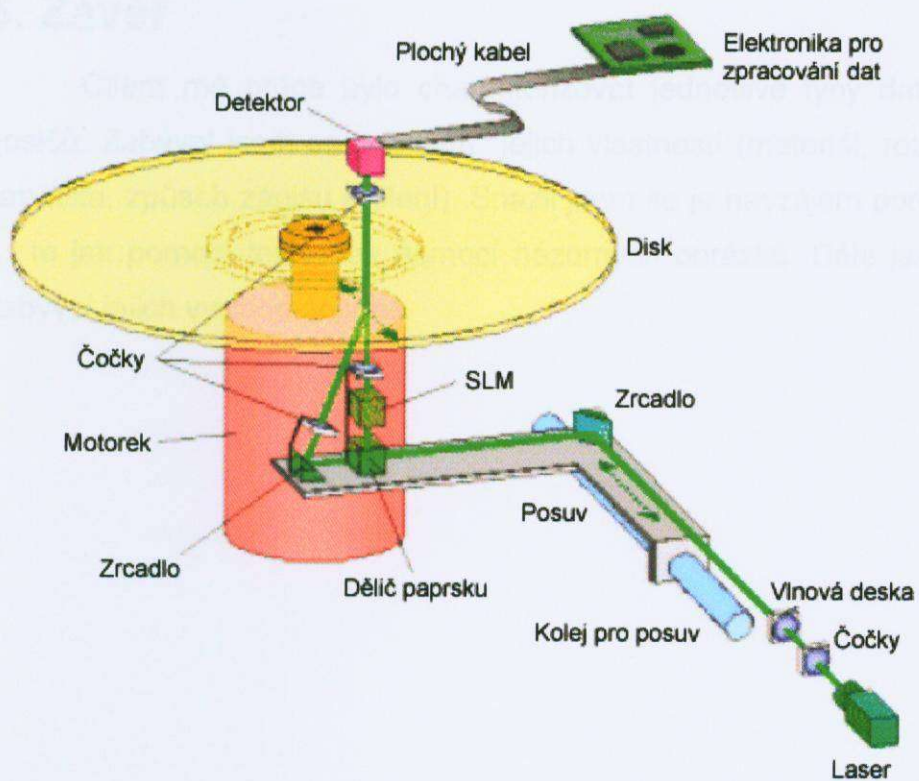
Důležitá skutečnost oproti klasickým CD či DVD diskům je ta, že holografická média jsou propustná. Tedy žádný odraz. Na jedné straně se médium osvítlí a na druhé se data čtou. Tyto materiály umožňují zaznamenat až 31,2 Gb na čtvereční palec, což v přepočtu na velikost klasické 5.25" diskety obnáší 45 GB! Ovšem nově vyvíjené materiály jsou schopny zaznamenat až 300 Gb na čtvereční palec i se zachováním velmi rychlého datového přenosu. Tato technologie také nevyžaduje vysoké otáčky média, aby byl zachován rychlý přenos dat, tak jak vidíme u dnešních CD a DVD.

Na následujícím grafu je znázorněna závislost kapacity na velikosti použitého média, při použití modrého laseru (405-407 nm) a jednoduchého způsobu zápisu u média Tapestry™ vyvinutého firmou InPhase Technologies:



Obr. 25 Graf závislosti kapacity a formátu(rozměrů) média

Výhody holografického záznamu jsou tedy zřejmé. Jedinou nevýhodou - nemožnost přepisu holografického zápisu - se snaží překonat několik firem, nutno říct že s nadějnými výsledky. Jedinou otázkou proto zůstává, jak dlouho bude velkým společností trvat, než plně uvěří technologii, kterou většina současníků považuje za sci-fi. Funkční holografická mechanika by pak mohla vypadat třeba takto:



Obr. 26 Návrh holografické mechaniky



## 6. Závěr literatura

Cílem mé práce bylo charakterizovat jednotlivé typy datových nosičů. Zabýval jsem se popisem jejich vlastností (materiál, rozměry, kapacita, způsob zápisu a čtení). Snažil jsem se je navzájem porovnat, a to jak pomocí textu, tak pomocí názorných obrázků. Dále jsem se zabýval jejich využitím v praxi.

## 7. Použitá literatura

1. <http://www.cdr.cz>
2. [http://www.optware.co.jp/english/index\\_tech.htm](http://www.optware.co.jp/english/index_tech.htm)
3. <http://www.c-3d.net>
4. <http://www.svethardware.cz>
5. <http://www.earchiv.cz>
6. Mark Manasi: Velký průvodce hardwarem. Grada
7. Časopisy: Chip, Computer
8. <http://www.inphase-technologies.com>
9. <http://hardwareparadise.wz.cz/>
10. <http://www.gymvp.cz/local/Vyptech/12disky.htm>
11. [http://www.markonet.cz/vyuka/principy/p\\_50.html](http://www.markonet.cz/vyuka/principy/p_50.html)
12. <http://pcsvet.cz>
13. Pavel Roubal: Počítače, Computer press
14. <http://www.p3holographics.com>
15. <http://www.aprilisinc.com>
16. <http://www.stech.cz>