

**JIHOČESKÁ UNIVERSITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

Studijní obor: měřicí a výpočetní technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
FYZIKÁLNÍ PRINCIP ZÁZNAMU ZVUKU**

Knihovna JU - PF



Vedoucí bakalářské práce:
RNDr. František Špulák

Autor:
Lubomír Novotný

2005

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Fyzikální princip záznamu zvuku“
vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a materiálů, které uvádím
v seznamu literatury.

V Českém Krumlově dne 18. prosince 2005

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. A.', is written over a horizontal dotted line.

Děkuji panu RNDr. Františku Špulákovi za cenné rady, dohled a odborné vedení při zpracování bakalářské práce na téma : **Fyzikální princip záznamu zvuku.**

Anotace

Tato bakalářská práce „Fyzikální princip záznamu zvuku“ popisuje zvuk jakožto data a snahu lidstva je nějakým způsobem zaznamenat a uchovat k dalšímu použití (přehrání) v jednotlivých etapách vývoje záznamu. Bakalářská práce se na svém začátku zabývá zvukem a jeho fyzikálními vlastnostmi, dále jsou zde popsány první mechanické způsoby záznamu a jejich postupný vývoj až k prvním sériově vyráběným přístrojům na záznam zvuku. Postupem vědy a techniky se dařilo data (zvuk) zaznamenávat i na principu dalších fyzikálních vlastností a veličin, jež jsou zde fyzikálně popsány od prvních vyráběných přístrojů až do současné podoby. Je zde popsán magnetický záznam dat a jeho vývoj dobou, až po podobu pevného disku používaného v např. PC, jakožto i v dnešní době nejrozšířenější optické paměti a jejich různé typy, nazývané optickými disky, které lze přepisovat. Nejmladším typem paměti jsou zde uvedeny paměti typu flash jimž předcházely známě paměti EEPROM také používané v PC. V této práci je objasněna podstata fyzikálního principu záznamu dat, jakožto i užití těchto principů v praxi.

1. Úvod	6
2. Zvuk	11
2.1 Definice zvuku	11
2.2 Vznik zvuku	11
2.3 Sluchový orgán.....	12
2.4 Oblast slyšitelnosti zvuku pro lidské ucho.....	17
2.5 Vznik, vlastnosti a použití ultrazvuku.....	19
2.6 Šíření zvuku v závislosti na prostředí	22
3. Historie (mechanický záznam)	23
3.1 První zařízení záznamu zvuku (fonograf, gramofon)	23
3. 2 Gramofon	29
4. Magnetofon (magnetický záznam)	37
4.1 Historie magnetofonu.....	37
4.2 Magnetofonová kazeta	45
4.3 Disketa.....	46
4.4 Pevný disk	48
5. CD-disk (optický záznam).....	53
5.1 CD-ROM.....	53
5.2 CD-WORM.....	58
5.3 MO-CD	59
5.4 Princip systému MiniDisc	61
5.5 Výroba CD-R	65
5.6 CD-RW	69
5.7 DVD	70
5.8 DVD-R.....	73
5.9 DVD-RW	74
6. Paměti typu flash (elektronický záznam)	75
7. Závěr	78
8. Literatura.....	79

1. Úvod

Pro nás je samozřejmostí, že si můžeme kdykoliv poslechnout naše oblíbence z magnetofonové kazety nebo z CD. Rodiče někdy sáhnou do hudebního archivu a vyndají oproti CD poněkud větší černou desku LP, položí ji na přístroj nasadí přenosku, zmáčknu knoflík a začne to hrát. Hudba se poslouchá dobře až na to, že to občas zapraská. Zkrátka není nad kvalitní poslech z CD... A to ještě netušíte, že ve vedlejší místnosti sedí dědeček s babičkou, kteří vás kýváním prstu přivolají. Dědeček v ruce drží také černou desku, ale vám ji nepůjčí. Co kdybyste ji upustili. Je totiž křehká, mohla by se rozbit. Opatrně ji pokládá na gramofon. Ten ale vypadá jinak než tátův. Dědeček musí natáhnout péro, pak přiloží přenosku, přístroj odbrzdí, ozve se praskání a zpoza něj hudba. Babička si také vzpomene na starou, ale jinou melodii, kterou dobře zná, ta vychází ze staré dřevěné šperkovnice (obr. 1.0.1), kterou má ještě po své matce. Vždy, když natáhne pérko kličkou a šperkovnici otevře, tato melodie zní a opakuje se, dokud se víko šperkovnice nezavře. Je toto snad předchůdce jakéhosi fonografu?



Obr. 1.0.1

Detail hracího mechanismu ze staré šperkovnice z části připomíná fonograf (viz obrázek 1.0.2), hrací pružinky (vytvářející zvuk) jsou zde natahovány malými čepy, které jsou zapuštěny do otáčejícího se válce. Hrací, a o něco složitější mechanismy tohoto typu se používaly ve flašinetech.



Obr. 1.0.2

Tady pomyslnou rodinu opustíme a povíme si jak to bylo se záznamem zvuku i podobou zvukových nosičů. Začneme od roku 1877. Tehdy byla touha zachytit a uchovat zvuk korunována úspěchem. Slavný vynálezce Thomas Alva Edison si nechal patentovat svůj fonograf. Jak tento vynález vypadal a fungoval? Představme si rozšířenou rouru, do které mluvíme. Tím vznikají zvukové vlny, které narážejí na překážku - membránu - z pergamenu. Na ní je připevněn hrot. Jak mluvíme, membrána s hrotem se chvěje a hrot vyrývá do cínového (později voskového) válce prohlubně, podle síly hlasu hlubší či mělké. Válec se přitom otáčí zleva doprava. Chceme-li si nahrávku poslechnout, přetočíme válec zpět v obráceném směru, na začátek nasadíme hrot membrány a otáčíme klikou stejně rychle zprava do leva.

Z roury, do které jsme prve mluvili, teď naopak slyšíme vycházet svůj hlas. Skoro ho sice nepoznáme, zní ostře, kovově, sykavky skoro neslyšíme, rychlost otáčení kliky ho zkresluje ještě víc, ale už se dá mluvit o nahrávce. Její délka byla zprvu dvě minuty, později čtyři.

A jak se nahrávala hudba? Uprostřed místnosti stála nebo seděla kapela, kolem ní se rozmístilo deset nahrávacích fonografů. Hlasatel do každého oznámil, co se bude hrát, a orchestr odehrál např. dvě minuty hudby. Byl-li o nahrávku zájem, celý proces se opakoval. Jestli že se např. prodalo 3000 válečků, musel orchestr nahrávat třistakrát. Hudebníci se proto nahrávání hudby zprvu vyhýbali. Různí vynálezci se pokoušeli fonograf zdokonalit. Jedním z nich byl Alexander Graham Bell, který používal lepenkové válečky pokryté vrstvou vosku a pro záznam i přehrávání měl membránu se safírovým hrotem. Mechanismus nepoháněl klikou, ale pedálem podobným jako u šlapacích šicích strojů našich babiček. Celý přístroj nazval gramophone.

V roce 1887 si Emile Berlinger nechal patentovat jiné vylepšení fonografu, u něhož nahradila voskový váleček kruhová deska ze zinku, potažená voskem. Nahrávalo se takzvaným stranovým zápisem. Hrot nebyl napojen na membránu přímo, ale pomocí zahnuté páky. Jak se deska otáčela, posunovalo se zároveň pohyblivé rameno zvukovky směrem ke středu desky, takže vznikaly spirálovité drážky. Tato vlnovka už nemohla být porušena jinou drážkou, která by byla vyryta po ní. Ve vosku vzniklá drážka se pak v kyselinové lázni vyleptala do kovu. Tak vznikla originálmatrice ze které bylo možné lisováním vyrobit libovolné množství kopií - gramofonových desek. To byl i jeden z důvodů, proč od roku 1891 začal tento vynález vytlačovat z trhu méně kvalitní a hůře kopírovatelné i uskladnitelné válečky. První gramofonové desky měly průměr 6 cm. Později se jejich průměr zvětšoval, až se ustálil na 25 cm a 35 cm. Desky se tehdy také nahrávaly na různé rychlosti, proto i přehrávače musely mít regulátor rychlosti. I ta se ale časem ustálila na 78 otáčkách za minutu. Gramofonové desky začaly fonografické válečky trumfovat i délkou nahrávky. Definitivní ránu v roce 1905 zasadila první deska s oboustranným záznamem. Vývoj ale pokračoval dál. V letech 1925-1926 byl zaveden elektrický způsob. Zhruba o dvacet let později představila americká společnost CBS první dlouhohrající desku (long play-LP). Běžně prodávat se tyto

desky začaly od června 1948. Původní rozbitné (šelakové) desky byly v roce 1951 nahrazeny deskami z polvinylchloridu (zkráceně vinylu), tedy nerozbitné hmoty. Na čem se desky přehrávali? Ty nejstarší na mechanických gramofonech. Později s elektrickým záznamem zvuku přišly i elektrické gramofony s přenoskou, zesilovačem a reproduktorem. Bouřlivý rozvoj gramofonového průmyslu po 2. světové válce přinesl i zdokonalení reprodukčních soustav.

Zlepšil se způsob snímání zvuku i poslechu. Monofonii (jeden reproduktor) vystřídala stereofonie. Stereo se dvěma reproduktory vytváří dojem, že posluchač sedí před orchestrem a některé zvuky k němu přicházejí zleva, jiné zprostředka a další zprava. Ještě dále šla kvadrofonie. Čtyři reprosoustavy působí, jako bychom seděli uprostřed všeho dění.

Zatím jsme mluvili o tom, jak se vyvíjel gramofon a gramofonová deska. Ale v přístrojích, které nosíte čas od času třeba i do školy, walkmanech nejsou desky, ale kazety. Jak tedy vypadal prapředek kazety? Zvuk se nahrával na zmagnetizovaný drát, později na ocelový pás pokrytý kovovým prachem (bezprostřední předchůdce magnetofonového pásku). V tomto případě se jedná o takzvaný magnetický záznam na magnetický nosič. Autorem myšlenky magnetického záznamu byl v roce 1888 Oberlin Smith, její realizace se ujal na počátku 20. stol. Dán Waldemar Poulsen. Drát (pás) procházel mezi dvěma póly elektromagnetu. Při záznamu probíhal elektromagnetem proud z mikrofonu. Při mluvení nebo zpěvu se měnil akustický tlak, který způsoboval změny magnetizace drátu. Tyto změny-tedy nahrávka-byla trvalá, pokud nebyl drát znovu vystaven magnetizaci. V tom případě byl zápis buď smazán, nebo přetočen novým záznamem. Přehrávání nahrávky probíhalo tak, že se jinou magnetickou hlavou snímala magnetizace drátu. Tento vynález se jmenoval Telegraphon. Jako v případě gramofonové desky i zde docházelo k postupnému zdokonalování záznamu i k rozšíření možností jeho využití. Vylepšení vždy souviselo s novými objevy v oblasti elektrotechniky. V roce 1935 se objevil nový přístroj nazvaný magnetofon, který poprvé používal magnetofonové pásky z plastické hmoty potažené povlakem vrstvy oxidu železa. Práce s těmito pásky byla podstatně jednodušší než s ocelovými: byli lehčí, ohebnější, levnější, daly se stříhat i slepovat, což usnadňovalo práci při nahrávání ve studiu.

Kromě samotných přístrojů se zkvalitnily i prostředníci záznamu - mikrofony. Brzy po válce bylo možné používat špičkové magnetofonové pásky v nahrávacích studiích stejně jako amatérské přístroje, např. při přetáčení písniček z rozhlasového přijímače. Další vylepšování přístrojů vedlo i k jejich postupnému zmenšování. Kotouče magnetofonových pásků se zmenšily do podoby audiokazet a někdejší kotoučové magnetofony až do velikosti walkmanů. Dokonalou reprodukci v těchto případech neobstarávají klasické reproduktory, nýbrž sluchátka. I ten sebedokonaleji nahraný pásek či sebedokonaleji přehrávaná deska ztrácí dříve nebo později svou původní kvalitu. Čím to je? Dochází tu ke vzájemnému doteku (tření) desky a přenosky nebo pásku s přehrávací či nahrávací hlavou přístroje. Ideálem vynálezců bylo proto vymyslet přístroj, který by zvuk nahrával i reprodukoval, aniž by se dotýkal zvukového nosiče.

Vyřešení tohoto problému přinesl až digitální záznam a přehrávání zvuku, vám asi nejznámější v podobě CD. Tento vynález ale mohl vzniknout až na určitém stupni rozvoje výpočetní techniky. První pokusy s digitálním záznamem se uskutečnily v polovině 70. let 20. století. Nahrává se na magnetickém principu a zvuk je převeden do číselného kódu, který je možné dále vylepšovat či jinak upravovat. Nahrávka je přenesena na hudební nosič, který se např. jako CD dostane k nám domů. Kvalita zvuku se ani po několikerém přehrávání nesnižuje. Zvuk je totiž snímán laserovým paprskem a nedochází zde k žádnému mechanickému opotřebení. CD disk je paprskem zespodu osvětlován a paprsek sleduje záznamovou stopu. Světlo odražené od záznamu je optickým systémem přeměněno na elektrický signál, který CD přehrávač dále přemění na zvuk, a ten pak slyšíme. Pro nás posluchače je důležité, že na CD o průměru cca 12 cm se vejde víc hudby než na LP desku, a nahrávka navíc lépe zní. Možností digitálního záznamu nejsou ještě zdaleka vyčerpány. V budoucnu můžeme očekávat např. další kombinace audio a video záznamů a jejich propojení se vším, co nabízí počítače. První vlašťovky se již objevily v podobě DVD - digital visual disc. Čeká nás, doufejme ještě mnoho příjemných překvapení, která nám snad vědci v oblasti hudebních nosičů připraví.

2. Zvuk

2.1 Definice zvuku

Zvukem je každé *mechanické vlnění* v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Jeho frekvence je v rozmezí 20 Hz – 16 kHz. Mechanické vlnění s frekvencí $f < 20$ Hz se nazývá infrazvuk, s frekvencí $f > 16$ Hz ultrazvuk. Periodické zvuky nazýváme hudební zvuky nebo tóny.

2.2 Vznik zvuku

Zvuk vzniká vibracemi - od hluku motoru u automobilu až po hvízdání průvanu skrze okno. Hudební nástroje tuto skutečnost využívají. V bicích nástrojích, jako je buben nebo činel, kmitá plastická kůže nebo tenká vrstva kovu a při úderu tak vzniká zvuk. V houslích a podobných strunných nástrojích zvuk vzniká udržováním kmitů strun smyčcem. Tělo houslí nebo kytary působí jako rezonátor, chvěje se stejnou frekvencí, jako je základní tón vytvořený strunou, a tak jej zesiluje. Tvar těla zajišťuje, že nástroj rezonuje na většině frekvencí ve svém rozsahu.

Výška (frekvence) zvuku kmitající struny závisí na třech jejích vlastnostech – tloušťce, délce a mechanickém napětí. Struna, která je silná, dlouhá nebo povolena, vytváří nižší zvuk než struna, která je silná, tenká či napjatá. Vysoké tóny na kytare nebo houslích se hrají na tenčích strunách. K dosažení ještě vyšších tónů stlačuje kytarista nebo houslista struny na hmatníku, a tak je zkracuje. Změna tónu s napětím je jasně patrná, když hráč strunný nástroj ladí tak, že zvyšuje nebo snižuje napětí strun.

Zvuk z flétny, trubky či jiného dechového nástroje pochází od kmitajícího sloupce vzduchu. Ve vzduchu vzniká „stojatá vlna“ se střídavými uzly (kde se vzduch nehýbe) a kmitnami (body největší výchylky). Vyšší tóny vznikají silnějším fouknutím, čímž vznikají stojaté vlny s větším počtem uzlů. Stejně tak může hráč odkrýt otvory nebo stlačit klapky, čímž vibrující vzduchový sloupec zkracuje.

Když zvukové vlny narazí na přepážku, odrazí se. Ve velmi velké místnosti či sále, např. v katedrále, se zvuk odráží od stěn a stropu. Důsledkem toho je dozvuk, kdy posluchač slyší tentýž zvuk v několika lehce oddělených okamžicích v závislosti na tom, jak daleko se zvuk při odrazech šířil. Koncertní sály jsou stavěné speciálně s použitím povrchů, které zvuk absorbují, aby tak dozvuk minimalizovaly a každý z posluchačů slyšel zvuk v téže okamžiku.

Pokud je odrážející povrch velký a vzdálenější než zhruba 30 m od zdroje zvuku, odraz je vnímán jako ozvěna. U malé překážky nebo na okraji budovy se akustické vlny pouze ohnou a tento proces se nazývá difrakce. Tento jev vysvětluje, jak se zvuk může šířit i za rohy. Směr šíření akustických vln se také mění, když přechází z jednoho prostředí do jiného s rozdílnou hustotou. Tento jev je známý jako refrakce nebo lom.

2.3 Sluchový orgán

Sluchový orgán reaguje na tlak vykonávaný molekulami (nejčastěji vzduchu) a patří proto mezi mechanoreceptory. Je ze všech mechanoreceptorů nejcitlivější, zaznamenává energii již o hodnotě asi $5 \cdot 10^{-23}$ J. Orgánem sluchu je ucho (latinsky *auris*). Lidské ucho vnímá zvukové vlny v rozsahu frekvencí 16 Hz - 20 000 Hz a nejcitlivější je pro tóny v oblasti okolo 1000 Hz - 3000 Hz (mluvené slovo). Je schopné rozlišit přibližně 400 000 rozličných druhů zvuků. U zvířat (krysa, pes) je rozsah vnímání zvukových vln posunut většinou k vyšším frekvencím. Tak například kočka vnímá zvukové vlnění o frekvenci 60 Hz - 65 000 Hz, pes 15 Hz - 50 000 Hz (ultrazvukové píšťalky) a mol dokáže vnímat vlnění o frekvenci až 150 000 Hz. Jiná zvířata, např. netopýr, využívají ultrazvuk k orientaci.

Zvukové vlnění postupuje uchem tak, že se zvukové vlny nejprve zachytí ušním boltcem. Tlaková zvuková vlna potom pokračuje vnějším zvukovodem (dlouhým 2 cm - 3 cm), zakončeným bubínkem. Molekuly vzduchu ve fázi zhuštění narážejí více na membránu bubínku a způsobují, že se prohýbá do dutiny středního ucha. Membrána bubínku je mimořádně citlivá, odpovídá na tlaky, na něž i nejcitlivější

dotykové receptory kůže jsou zcela necitlivé. Z bubínku se zvuková energie převádí dále dutinou středního ucha soustavou tří malých sluchových kůstek (kladívko, kovadlinka, třmínek) na membránu oválného okénka vnitřního ucha.

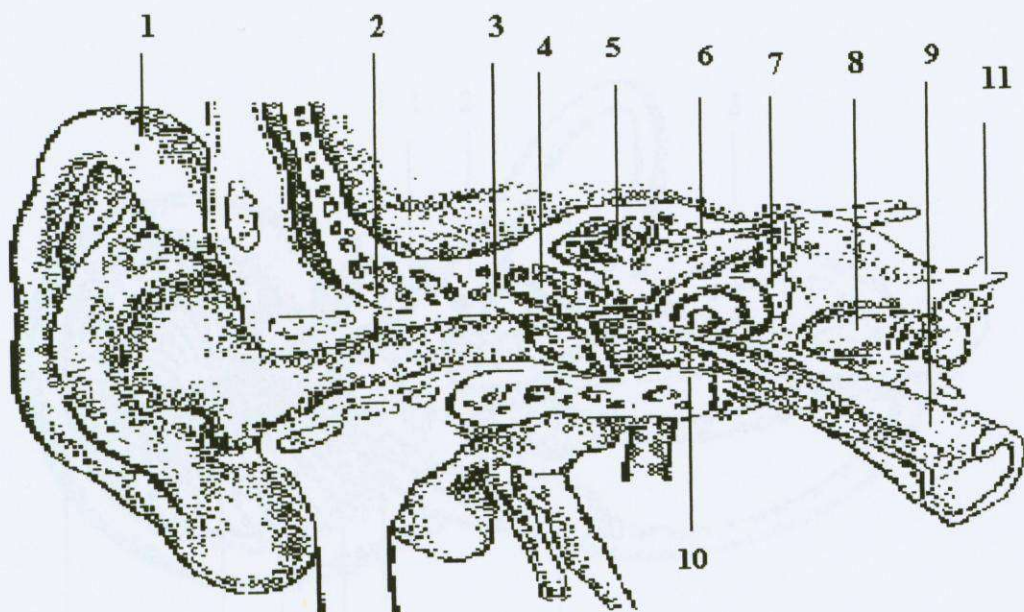
Vlastní receptory zvukových vln jsou uloženy ve vnitřním uchu v blanitém hlemýždi, což je útvar uložený v kostěném labyrintu kosti skalní. Blanitý hlemýžď je vazivová, slepě uzavřená trubička stočená do tvaru ulity (2,5 závitů), vyplněná tekutinou - endolymfou. Je uložen v kostěném hlemýždi v perilymfě. Blanitý hlemýžď rozděluje kostěný hlemýžď na dvě patra - na patro předsíňové a bubínkové. Obě patra se spojují ve vrcholu hlemýždě.

Sluchové receptory v blanitém hlemýždi jsou součástí Cortiho orgánu. Jsou usazeny na vazivové membráně dolní stěny blanitého hlemýždě (bazální membrána) a svými vláskovitými výběžky se těsně dotýkají krycí membrány. Zvukové vlny se přenášejí sluchovými kůstkami na oválné okénko, které rozechvěje perilymfu, v níž je uložen blanitý hlemýžď. Vlnění se přenáší na endolymfu v blanitém hlemýždi. Kmity endolymfy způsobují posun krycí membrány proti membráně bazální, na níž spočívají vláskové buňky. Vlnění perilymfy se vyrovnává vyklenutím kulatého okénka do bubínkové dutiny středního ucha.

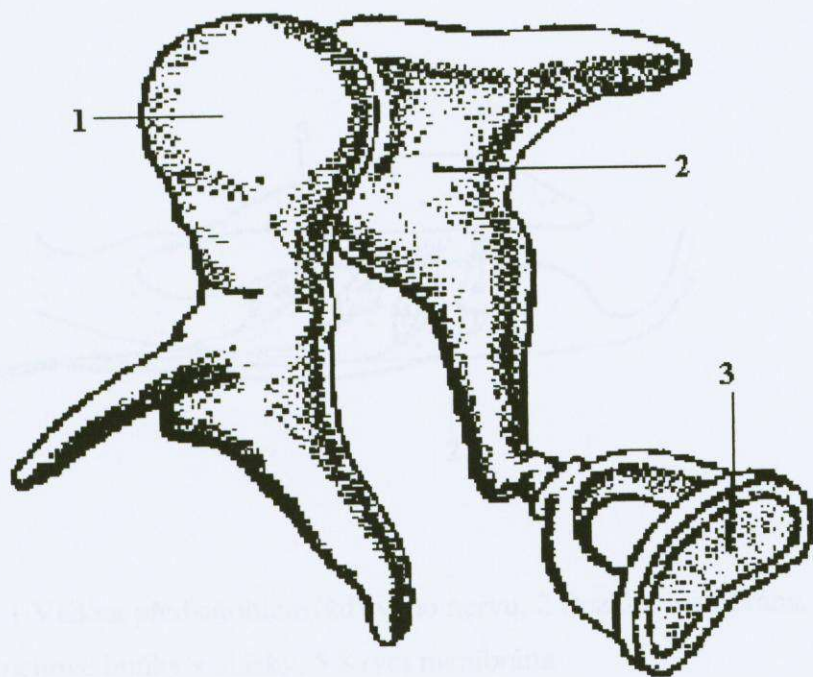
Každá z vláskových buněk je vybavena asi 100 vlásky (ciliemi), které jsou v těsném kontaktu s krycí membránou. Relativní pohyb obou membrán proti sobě vede k nepatrnému ohybu vlásků, což představuje podnět pro vláskové buňky, který vyvolává jejich podráždění.

Vláskové buňky Cortiho orgánu jsou tak citlivé, že mohou zachytit výchylky vlásků blížíící se průměru atomu vodíku. Velikost vychylování bazální membrány a tím i pohyb vlásků se různí podle frekvence vibrací zvukového zdroje a má proto zásadní význam pro rozlišování výšky tónů. Hluboké tóny rozechvívají delší, vysoké tóny kratší vlákna, z nichž je složena bazální membrána.

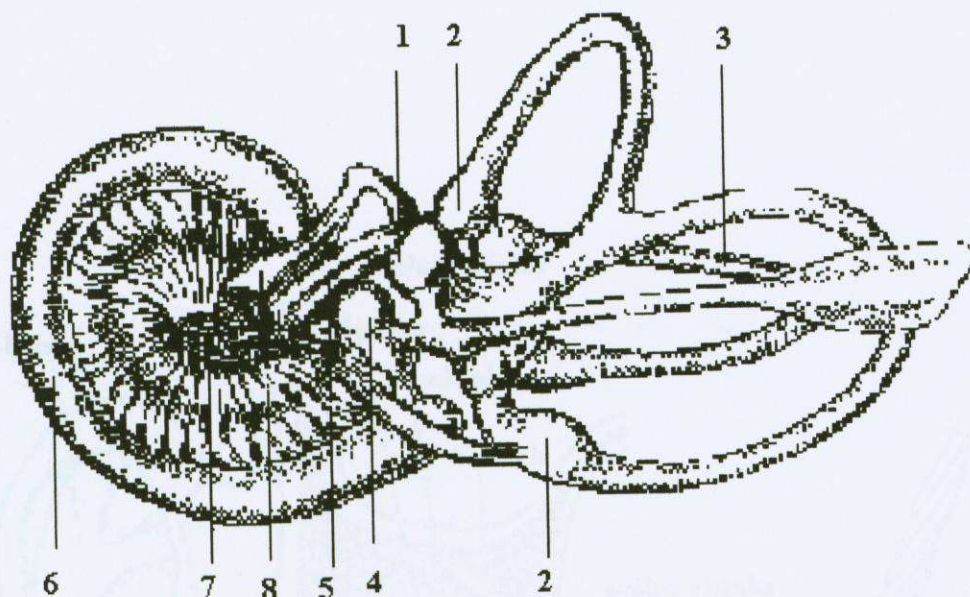
Vláskové buňky jsou ve spojení s vlákny nervových buněk VIII. hlavového nervu (nerv předsíňohlemýžďový). Podráždění vláskových buněk se přenáší na nervová vlákna, kde vznikají akční potenciály, které se vedou do mozkového kmene a odkud až do spánkového laloku mozkové kůry (sluchové centrum).



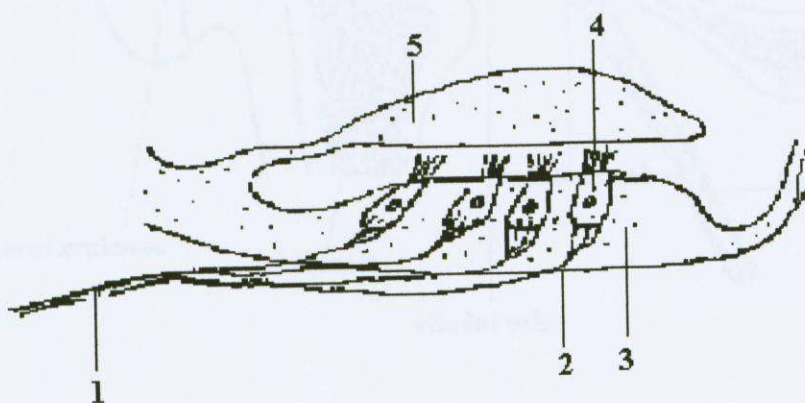
Obr. 2.3.1 1 Boltec, 2 Zevní zvukovod, 3 Bubínek, 4 Sluchové kůstky středního ucha, 5 Polokruhové kanálky, 6 Předšíňohlemýžďový nerv, 7 Kostěný hlemýžď, 8 Tepna, 9 Eustachova trubice, 10 Dutina středního ucha, 11 Kost skalní



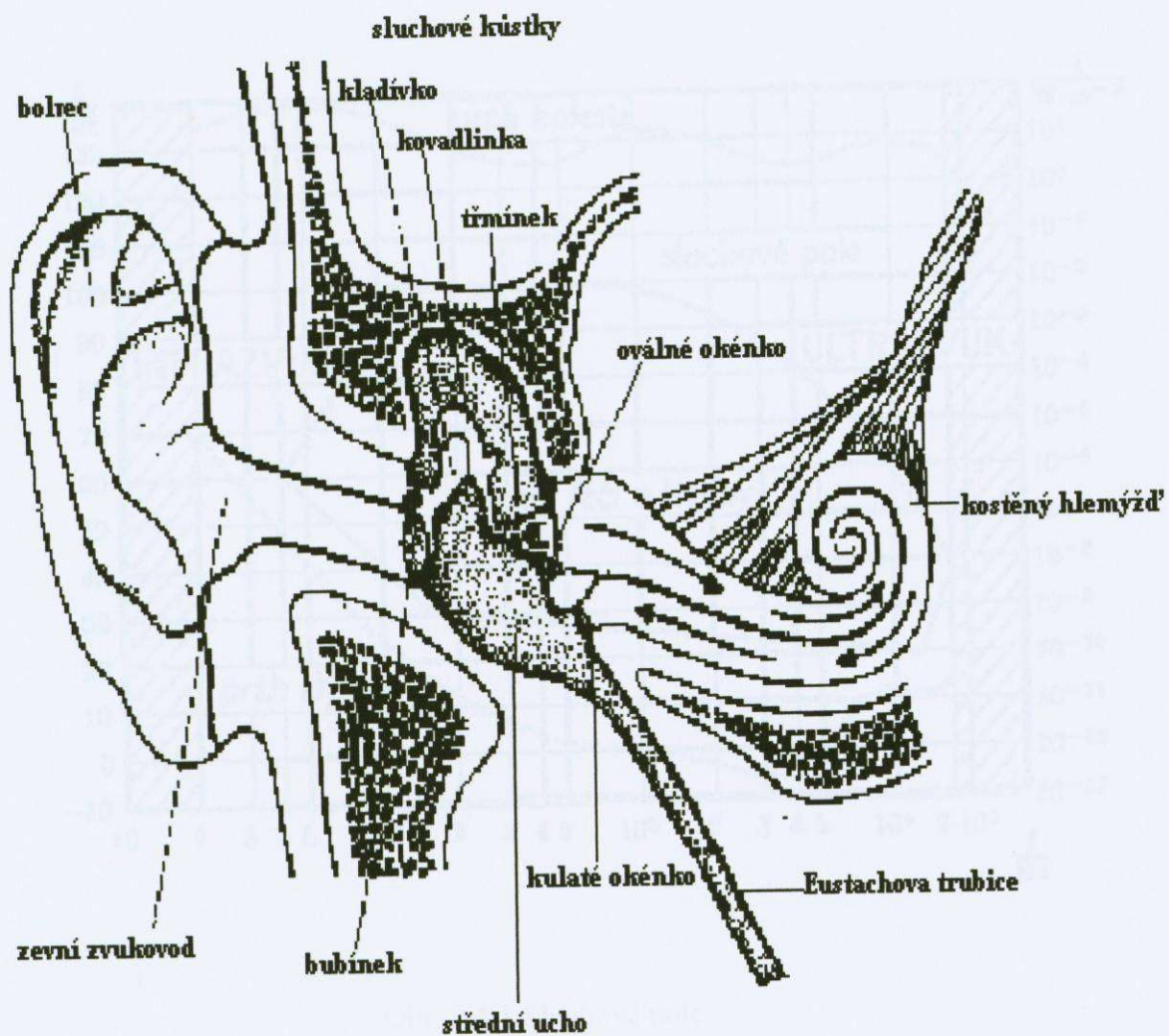
Obr. 2.3.2 1 Kladívko, 2 Kovadlinka, 3 Třmínek



Obr. 2.3.3 1 Polokruhové trubičky, 2 Baňky, 3 Vejčitý váček, 4 Kulovitý váček, 5,7 Nerv předsíňohlemýžďový, 6 Nerv lící, 8 Blanitý hlemýžď



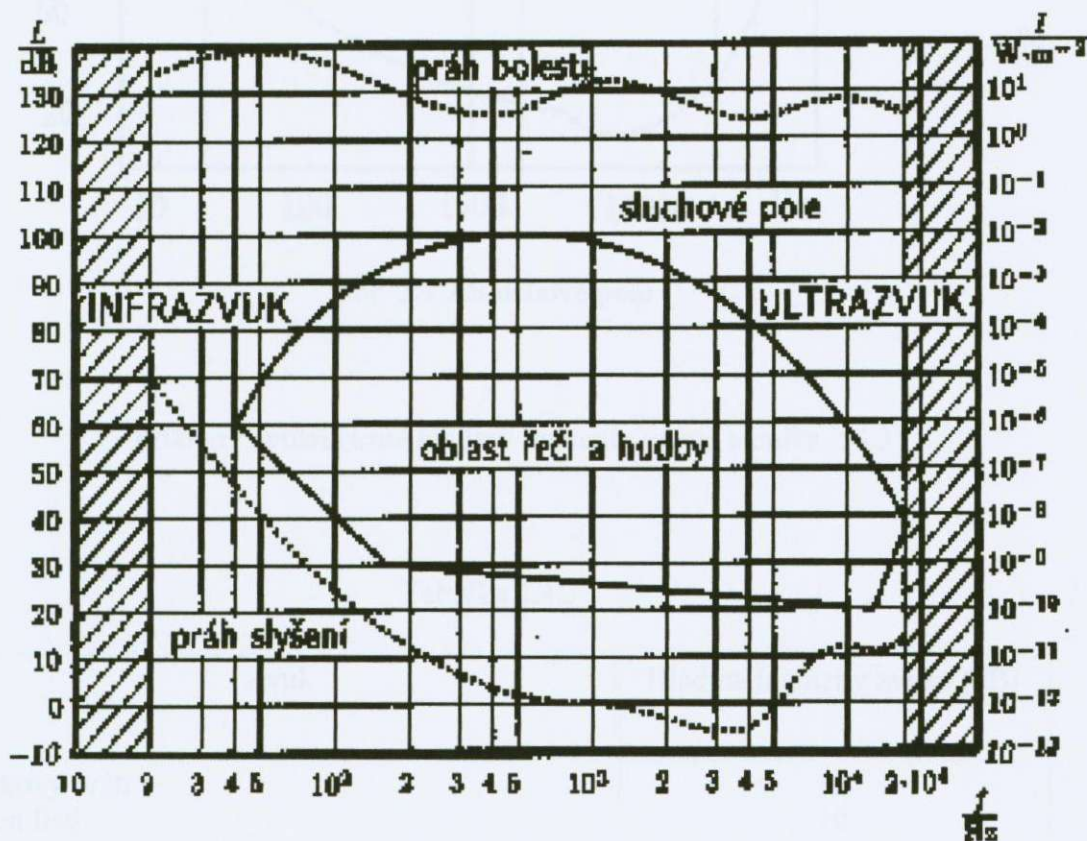
Obr. 2.3.4 1 Vlákna předsíňohlemýžďového nervu, 2 Bazální membrána, 3 Cortiho orgán, 4 Sluchové buňky s vlásky, 5 Krycí membrána



Obr. 2.3.5 Sluchové ústrojí - souhrn

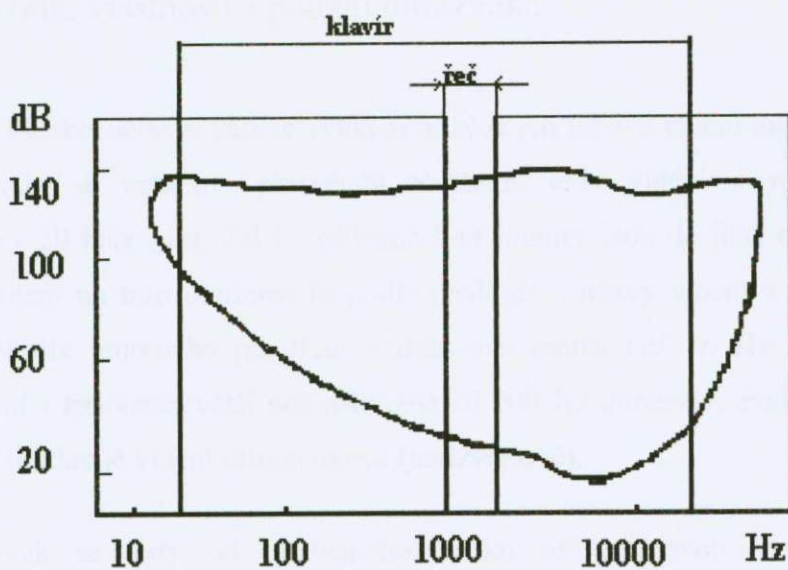
2.4 Oblast slyšitelnosti zvuku pro lidské ucho

Závislost citlivosti ucha na výšce tónu je zřejmá z průběhu *Kingsburyho* křivek stejné hladiny hlasitosti (obr. 2.4.1). Z diagramu vyplývá, že lidské ucho je při všech intenzitách nejcitlivější pro tóny s frekvencí 3 000 až 4 000 Hz.



Obr. 2.4.1 Sluchové pole

Uzavřená čára na obr. 2.4.1 ukazuje, že oblast, ve které je lidské ucho schopné vnímat tóny, je ze všech stran ohraničená. Pokud intenzita zvuku překročí určitou hranici, máme v uchu pocit bolesti a nevnímáme žádný zvuk. Z diagramu na tomto obrázku vyplývá i to, že frekvence vlnění, které lidské ucho může vnímat jako zvuk, je v intervalu 16 Hz až asi 20 000 Hz. (viz obrázek 2.4.2).



Obr. 2.4.2 Sluchové pole

Příklady zvuků různé hladiny intenzity udává tabulka 2.4.3

Tabulka 2.4.3

Zvuk	Hladina intenzity zvuku [dB]
Zvukový práh	0
Šelest listí	10
Šum listí	20
Pouliční hluk v tichém předměstí	30
Tlumený rozhovor	40
Normální pouliční hluk	50
Hlasitý rozhovor	60
Hluk na silně frekventovaných ulicích velkoměsta	70
Hluk v tunelech podzemních železnic	80
Hluk motorových vozidel	90
Maximální hluk motorky	100
Hlasité obráběcí stroje	110
Startující letadlo ve vzdálenosti 1 m	120
Hluk působící bolest	130

2.5 Vznik, vlastnosti a použití ultrazvuku

Podle všeobecného zvyku se zvukem nazývá jen takové vlnění hmotného prostředí, o kterém se můžeme přesvědčit sluchem, tedy vlnění v rozsahu frekvencí 16 Hz - 20 kHz (obr. 2.4.1), přičemž tyto hranice jsou do jisté míry individuální. S ohledem na tuto okolnost (a podle analogie s názvy vlnění v optice) se vlnění jakéhokoli hmotného prostředí s frekvencí menší než 16 Hz nazývá *infrazvuk* a vlnění s frekvencí větší než přibližně 20 000 Hz *ultrazvuk*. Prakticky zajímavým jevem je hlavně vlnění ultrazvukové (nadzvukové).

Ultrazvuk se tedy od obyčejného zvuku liší jen svojí vysokou frekvencí. Jeho poměrně příliš vysoká hodnota je příčinou, že se jako zdroje ultrazvuku obvykle používají speciální přístroje a zařízení. Z čistě mechanických zdrojů ultrazvuku jsou to zejména: speciálně konstruovaná kovová uzavřená píšťala velmi malých rozměrů, tzv. *Galtonova píšťala*, a na podobném principu založený *Hartmanův akustický generátor*, ve kterém proud vzduchu unikající z kuželové trubice naráží na válcový rezonátor. Pomocí Hartmanova generátoru lze získat ultrazvuk s frekvencí 130 kHz a při použití vodíku až 500 kHz. Při pokusech s ultrazvukem a při jeho praktickém používání jsou zdroji ultrazvuku nejčastěji piezoelektrické nebo magnetostrikční ultrazvukové generátory, které jsou o mnoho lépe ovladatelné než generátory mechanické.

Protože jsou ultrazvukové vlny velmi krátké, ultrazvuk se šíří prostředím prakticky přímočaře a při odrazu od překážek platí zákon odrazu. Jeho jinou význačnou vlastností je, že na rozdíl od obyčejného zvukového vlnění je ultrazvuk ve vzduchu a jiných plynech značně absorbován, a to tím víc, čím je jeho vlnová délka menší. Naproti tomu v kapalinách, například ve vodě, se ultrazvukové vlnění může rozšířit i do velmi velkých vzdáleností.

Ultrazvuk se v praktickém životě využívá pro svoje významné vlastnosti různými způsoby. Jeho malá absorpce ve vodě umožňuje velmi rychle a pohodlně měřit například hloubky moří tzv. *metodou ozvěny ultrazvuku*. Zdroj ultrazvuku upevněný na lodi pod vodní hladinou vysílá velmi krátké ultrazvukové impulsy, které se po odrazu ode dna moře vracejí a účinkují na přijímač ultrazvuku. Jestliže mezi

vysíláním a zachycením ozvěny ultrazvukového signálu uplynul čas Δt a rychlost zvuku ve vodě je v , potom hloubku moře určuje vzorec:

$$h = \frac{1}{2} v \cdot \Delta t$$

odraz ultrazvuku na rozhraní dvou hmotných prostředí se využívá i k hledání kazů v kovových výrobcích (*ultrazvuková defektoskopie*).

Rychlé změny tlaku v kapalinách, kterými se ultrazvuk šíří, vyvolávají kmitavý pohyb částic, které se v nich vznášejí. Ultrazvukem se dá tímto způsobem podporovat *homogenizace heterogenních soustav*, tj. vytvářet velmi jemné disperzní (rozptýlené) soustavy, jakými jsou *suspenze, emulze, pěny a koloidní roztoky*. Ultrazvuk účinkuje i na větší molekuly a podporuje jejich chemické reakce. Využíváním tohoto účinku se zabývá obor chemie, který se nazývá *fotochemie*.

Další využití ultrazvuku (měřiče výšky venkovního vedení):

Přístroje pracují na principu měření odrazu zvuku od překážky. Vysílací část přístroje vyšle ultrazvukový impuls (zvukový signál s frekvencí nad pásmem slyšitelným člověkem) a měří čas, který uplyne do doby přijetí ozvěny (odraženého zvuku) od překážky. V tomto případě to může být vodič vrchního vedení, zavěšený kabel atp. Protože jednotka zná rychlost šíření zvuku v atmosféře, snadno spočítá vzdálenost, kterou urazil vyslaný a odražený signál, a tedy i vzdálenost přístroje od měřeného objektu.

Ultrazvukový signál je vysílán ze středu kuželové odrazné plochy v horní části přístroje na obr. 2.5.1. Vysílaný paprsek signálu tvoří kužel, který se rozbíhá směrem k měřenému předmětu. Průměr kuželu se tedy zvětšuje se vzdáleností od přístroje. Na vysílači přístroje je průměr signálového paprsku asi 16 mm, ve vzdálenosti 10 m je to asi 80 cm.



Obr. 2.5.1

Jakmile ultrazvukový signál dosáhne objektu, např. měřeného vrchního vedení, signál se odrazí. Přístroj nyní čeká na příchod odražené vlny. Aby bylo možné odraženou vlnu přijmout a vyhodnotit, musí směřovat do kuželu přístroje. Po přijetí odražené vlny přístroj okamžitě vypočítá vzdálenost a zobrazí tento údaj na displeji LCD. Vzhledem k tomu, že rychlost zvuku se mění s teplotou, jsou přístroje CHM vybaveny měřením teploty a kompenzací jejího vlivu. Teplota okolí je, spolu s ostatními údaji, zobrazena na displeji.

2.6 Šíření zvuku v závislosti na prostředí

Ze zdroje se zvuk šíří jen pružným látkovým prostředím libovolného skupenství. Nejčastěji je to vzduch, v němž se zvuk šíří jako podélné postupné vlnění. Nejdůležitější charakteristikou prostředí z hlediska šíření zvuku je *rychlost zvuku* v daném prostředí. Rychlost zvuku ve vzduchu závisí na složení vzduchu (nečistoty, vlhkost), ale nejvíce na jeho teplotě. Ve vzduchu o teplotě t v Celsiových stupních má zvuk rychlost v_t . $v_0 = 331,82 \text{ [m.s}^{-1}]$ $v_t = v_0 + 0,6 \cdot t \text{ [m.s}^{-1}]$

Rychlost zvuku není ovlivněna tlakem vzduchu a je stejná pro zvuková vlnění všech frekvencí. V kapalinách a pevných látkách je rychlost zvuku větší než ve vzduchu. Přibližné hodnoty rychlosti zvuku pro některé látky jsou uvedeny v tabulce 2.6.1.

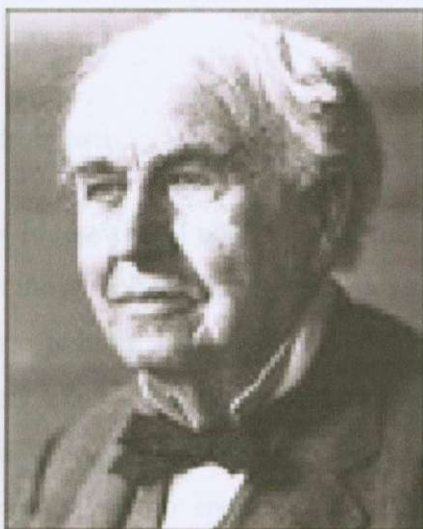
Tabulka 2.6.1 rychlosti šíření zvuku v některých látkách

Látka	Rychlost zvuku [m/s]
Beton	1 700
Led	3 200
Ocel	5 000
Rtuť	1 400
Sklo	5 200
Voda (25 °C)	1 500
Voda (4 °C)	1 400
Vzduch (13,4 °C)	340
Dusík	336
Kyslík	317
Benzín	1 170
Stříbro	2 700
Hélium	971
Metylalkohol	1 240
Kysličník uhličitý	260
Mořská voda	1 500
Kaučuk	40
Korek	500
Olovo	1 300
Platina	2 800
Mosaz	3 400
Dřevo (tvrdé)	3 400
Měď	3 500
Cihly	3 600
Hliník	5 100

3. Historie (mechanický záznam)

3.1 První zařízení záznamu zvuku (fonograf, gramofon)

První zařízení zaznamenávající zvuk se nazývalo fonograf. Vznikl jako výsledek práce **Thomase Edisona** obr. 3.1.1 na dvou ostatních vynálezech: telegrafu a telefonu. Edison pracoval na přístroji, který by zaznamenal telegrafní zprávy, které by pak mohly být opakovaně odesílány. To vedlo Edisona k úvaze, že podobným způsobem by mohl být zaznamenán i telefonní hovor. Experimentoval s rycím hrotem, který byl upevněný proti pohybujícímu se parafinovému papíru. Mechanické vibrace vzniklé řečí vytvořily na papíru drážky. Později Edison nahradil papír kovovým válcem se staniolovou fólií. Zařízení mělo dvě jednotky, jednu pro záznam, druhou pro přehrávání. Když se mluvilo do trouby, zvukové vibrace byly ve svislém směru zaznamenány do válce. Edison zařízení vyzkoušel dětskou říkankou "Mary měla ovečku". K jeho překvapení mu přístroj jeho slova znovu přehrál. Patent na tento fonograf mu byl vydán 19. února 1878. Tento vynález však nebyl zcela původní, podobné zařízení vynalezl "prokletý" básník a vědec Francouz Charles Cros už v roce 1877, ale byla to jen teorie, protože nevytvořil funkční model (navíc jeho obálku s popisem vynálezu otevřela francouzská akademie věd až několik měsíců po doručení). 24. ledna 1878 byla založena *Edison Speaking Phonograph Company*. Edison obdržel 10 000 dolarů za výrobu a prodej práv a 20% ze zisku.

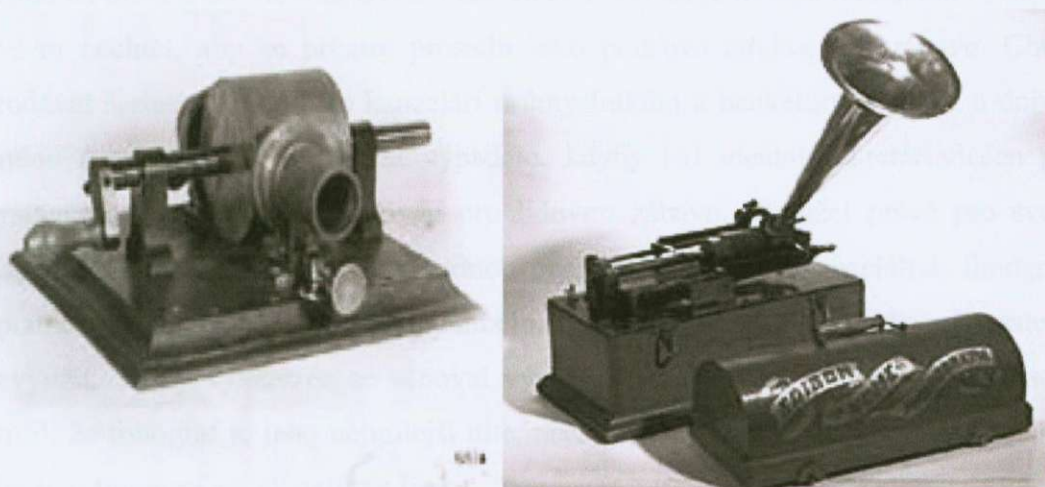


Thomas Edison

Obr. 3.1.1

Zjednodušený princip fonografu:

Dopadnou-li zvukové vlny na pružnou membránu, začne kmitat shodně s vlnovými nárazy. Připevníme-li na tuto membránu (například pergamenovou, jako to učinil Edison) hrot, kmitá tento shodně s membránou. Hrot, sledující přesně výkyvy membrány, vyrývá do voskového (při prvních pokusech do cínového) povrchu válce prohloubeniny sinusového průběhu, které jsou věrným otiskem zvukové vlny, zaznamenané postupně v reálném čase. Válec při záznamu i reprodukci rotuje a přitom se plynule posouvá zleva doprava. Na povrchu válce se tedy při záznamu vytváří šroubovice s nepatrným stoupáním. Membrána s hrotem je přitom umístěna kolmo k ose válce.



Obr. 3.1.2 První Edisonův fonograf a "Domácí Edisonův fonograf"

Vývojové a technické podrobnosti:

První zkušební laboratorní fonograf měl pochopitelně mnoho nedostatků. Především se záznam prováděl do cínové folie, napnuté na mosazném válci. Záznam bylo možno reprodukovat pouze jednou. Přehrávací hrot byl sice odlišný - kulatý, od hrotu záznamového - ostrý zkosený kužel, ale membrána, neboli diafragma byla tuhá a kladla cínové folii velký odpor. Nezřídka se stalo, že se cínová folie při manipulaci roztrhla. Válec byl přímo spojen s klikou, kterou bylo nutno ručně a velmi plynule točit. Přestože byl na hřídeli umístěn velký setrvačnický, docházelo vlivem kolísání otáček a rychlosti, jak při záznamu tak i při reprodukci, ke zkreslení.

Jelikož za chodu přístroje záznamová nebo snímací hlava stála a pohyboval se válec (u pozdějších, sériově vyráběných modelů, to bylo naopak), bylo nutno po každém přehrání zleva doprava válec "přetočit" zase na začátek. Reprodukovaný hlas zněl velmi ostře. Membrána byla málo citlivá, zejména k sykavkám, a naopak velmi zvýrazňovala znělé souhlásky, především r. Vzhledem k tomu, že přístroj nedokázal zaznamenat vyšší harmonické kmitočty, zněly samohlásky nezřetelně.

Přes neustálé zlepšování a zdokonalování záznamu zvuku, záznamového materiálu i obsluhy přístroje fonograf nenalezl uplatnění tam, kde chtěl Edison, tedy v kanceláři. Tento Edisonův záměr se přímo promítá i do názvu přístroje "Ideální sekretář". Fonograf byl předváděn na veletrzích a výstavách na celém světě. Při předvádění v Praze dokonce sklidil značný úspěch, protože bylo možno nahrávat přímo na místě a návštěvník slyšel z amerického přístroje rodnou mateřštinu. Edison ovšem nechtěl, aby se přístroj prosadil jako poutňová atrakce pro zábavu. Chtěl prodávat seriosní přístroj do kanceláří průmyslníkům a bankéřům a bál se o dobré jméno firmy. Vždyť jak by to vypadalo, kdyby byl ideální sekretář vláčen po výstavách a manéžích a používán pro lidovou zábavu. Bohužel právě pro svou těžkopádnost nedořešenost a nesnadnou obsluhu nenalezl v kancelářích fonograf uplatnění a postupně se na něj zapomnělo. Celých deset let zůstal Edisonův patent nevyužit. Velký vynálezce se věnoval vývoji elektrické žárovky. Přestože Edison tvrdil, že fonograf je jeho nejmilejší dítě, nechal propadnout patent, a tím umožnil, aby se o fonograf začali zajímat jiní.

A tak jeho vynález posunuli kupředu další vynálezci včetně Chichestera A. Belal a Charlese Sumnera Taintera, který pro fonograf vytvořil voskový válec. Válec z tohoto období měly dva vážné nedostatky. Prvním byla krátká doba záznamu, pouze 2 minuty. Druhým nedostatkem bylo to, že výroba kopií téhož záznamu byla náročná a měla nižší kvalitu.

První opravdu sériově vyráběné válce dodával na trh Thomas Alva Edison od roku 1893. Do té doby bylo nutno nahrávat každý válec zvlášť, přičemž každý byl originál (Pěvec a doprovod hrál třeba 20x totéž najednou dokola, řekněme, 20 přístrojů). O uměleckých kvalitách po dvacáté za jeden den zpívané árii netřeba dlouze spekulovat, přesto jsou tyto nahrávky ze sběratelského hlediska nejcennější.

Druhá, později rozšířená varianta, spočívala v tom, že se nahrál jeden jakoby matriční válec, ze kterého potom mohlo být mechanicky okopírováno pantografem až 112 válců. Ty poslední nestály za moc, ale je nutno si uvědomit, že obecnost neměla možnost srovnávat. A nebylo zhýčkané žádným realistickým zvukovým záznamem.



Obr. 3.1.3 Některé ze sériově vyráběných fonografických válců

Expanzi fonografů a válců přinesl až vynález nové odlévací hmoty, která měla tu vlastnost, že se v průběhu chladnutí v odlévacím kadlubu smrskla a odlitek bylo

možno vyjmout z vnitřní formy lehce ven. Postup výroby byl tento: Nahráný válec se pečlivě štětcem potřel jemným grafitovým prachem, aby byl jeho povrch elektricky vodivý, poté se vložil do elektrolytické lázně spojen se záporným potenciálem baterie a na kladný se připojila a taktéž vložila do roztoku niklová elektroda. Po zapojení proudu do kruhu se začala díky elektrolyze na válečku tvořit jemná vrstva niklu. Doba účinkování lázně je přímo úměrná tloušťce kovové vrstvy. Po vyloučení dostatečně silné vrstvy (cca 5 mm), se voskový válec roztavil a vosk vytekl ven. Takto byl získán negativní otisk záznamu a forma se mohla po patřičné technologické úpravě použít pro odlévání.

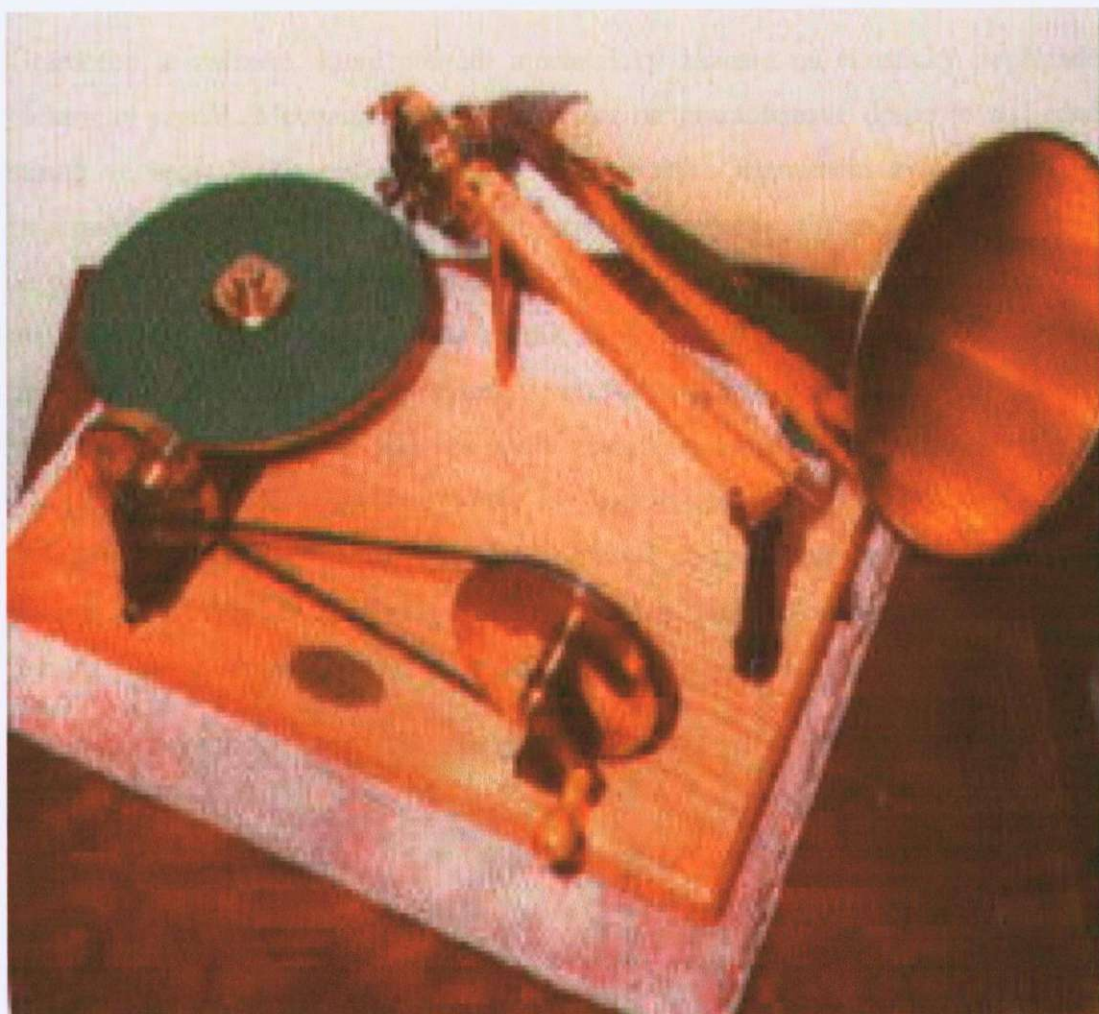
Dnes už víme, že Edisonův fonograf byl jen slepou uličkou. Roku 1895 revolučně změnil způsob záznamu zvuku “nový” muž: Jmenoval se Emile Berliner obr. 3.1.4. Přistěhoval se do Washingtonu z Německa v roce 1870. Berlinerův gramofon - jak nazval svůj “mluvicí” přístroj - se od současných lišil v tom, že pro záznam používal plochý kotouč místo válce navrženého Edisonem. Deska umožňovala hromadnou výrobu a hrací doba byla 4 minuty. Hudba už nepotřebovala křehké válce!



Emile Berliner

Obr. 3.1.4

Berlinerův gramofon získala *Victor Talking Machine Company* (později *RCA*). V roce 1897 založil v Evropě *Deutsche Gramophon* a o rok později *Britain's Gramophone Co.* Jeho ochrannou známkou, později převzatou *RCA*, byl obrázek jeho psa Nipper poslouchajícího “hlas svého pána” - “his master’s voice”. Papírové etikety s touto značkou se objevily v roce 1900.



Obr. 3.1.5 Replika prvního Berlinerova gramofonu

Edison ještě nějakou dobu nabízel své válcové fonografy. Ale po roce 1905 začaly trh ovládat desky a deskové gramofony obr. 3.1.5. Edison byl nucen vyrábět deskové fonografy. Ale jeho desky nebyly kompatibilní s ostatními deskami a přehrávači, například používal již zmíněný vertikální způsob záznamu zvuku do drážky na rozdíl od Berlinerova a dnešního stranového způsobu (popis těchto způsobů záznamu v kapitole 3.2 str. 30).

3. 2 Gramofon

Gramofon je zařízení, které převádí mechanický záznam na akustický popřípadě elektrický signál. Mechanický záznam zvuku na gramofonové desce je na jedné straně ve srovnání s optickým nebo magnetickým záznamem zvuku nejstarší, na straně druhé však už byl těmito druhy záznamu téměř vytlačen. Všichni asi tuší, že gramofonový záznam je proveden mechanicky ve tvaru spirály, která se snímá zvnějšku směrem ke středu (na rozdíl např. od CD). Protože se již takřka nepoužívají čistě mechanické gramofony, převádí se záznam v drážce přenoskou na signál elektrický, který se dále zesiluje v zesilovači a převádí na akustický signál v reproduktorech. Všechny tyto bloky lze konstrukčně sloučit do jednoho celku. U kvalitnějších zařízení však bývá gramofonové chassis které se skládá z kostry, pohonného systému a raménka s přenoskou. Na obrázku 3.2.1 jsou znázorněny jedny z prvních sériově vyráběných gramofonů.



Obr. 3.2.1

Profil záznamu na desce:

Vlastní způsob záznamu můžeme rozdělit na monofonní a stereofonní (popř. ještě na kvadrofonní, ten ale nedoznal velkého rozšíření a pro kvadrofonii se často používal stereofonní záznam).

Monofonní záznam:

Monofonním záznamem myslíme záznam jednoho signálu. Podle toho, ve kterém směru probíhá změna z klidové polohy drážky, jej dělíme na hloubkový a stranový.

Hloubkový záznam (vertikální):

Původní *Edisonův záznam* byl hloubkový. Při něm se pro záznam signálu používá proměnná hloubka drážky. Dnes se tento způsob záznamu nepoužívá.

Stranový záznam:

Při stranovém záznamu (jehož otcem je *Berliner*) je hloubka drážky konstantní a vlastní signál se zaznamenává "do stran". Tento způsob záznamu se používá pro monofonní nahrávky. Jeho typické parametry jsou: šířka drážky minimálně 0,05 mm, hloubka drážky přibližně poloviční 0,025 mm.

Stereofonní záznam:

Stereofonní gramofonová deska byla poprvé předvedena v roce 1957. Při stereofonním dvoukanálovém záznamu jsou na desce zaznamenány dva na sobě nezávislé signály, které se reprodukuje jako signál pro levý a pravý kanál. Tyto dva signály se zaznamenávají ve dvou na sebe kolmých směrech, které svírají s osou desky úhel plus a minus čtyřicet pět stupňů (tzv. *systém šikmého osového kříže*). Tento způsob záznamu se též označuje jako *systém X*, *systém 45/45 stupňů* resp. *Westrex*.

Konstrukce gramofonu:

Vlastní gramofon se skládá principiálně z následujících částí:

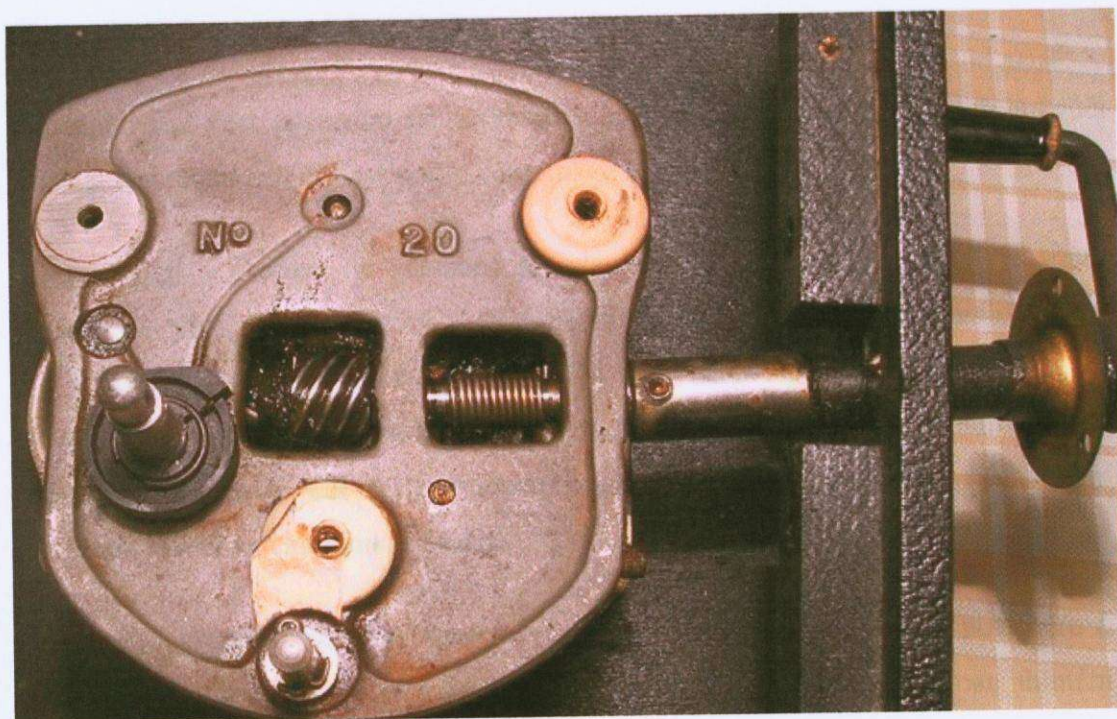
- pohon talíře s gramofonovou deskou
- gramofonové raménko (přenoska) - obrázek 3.2.2
- snímací měnič (jehla)



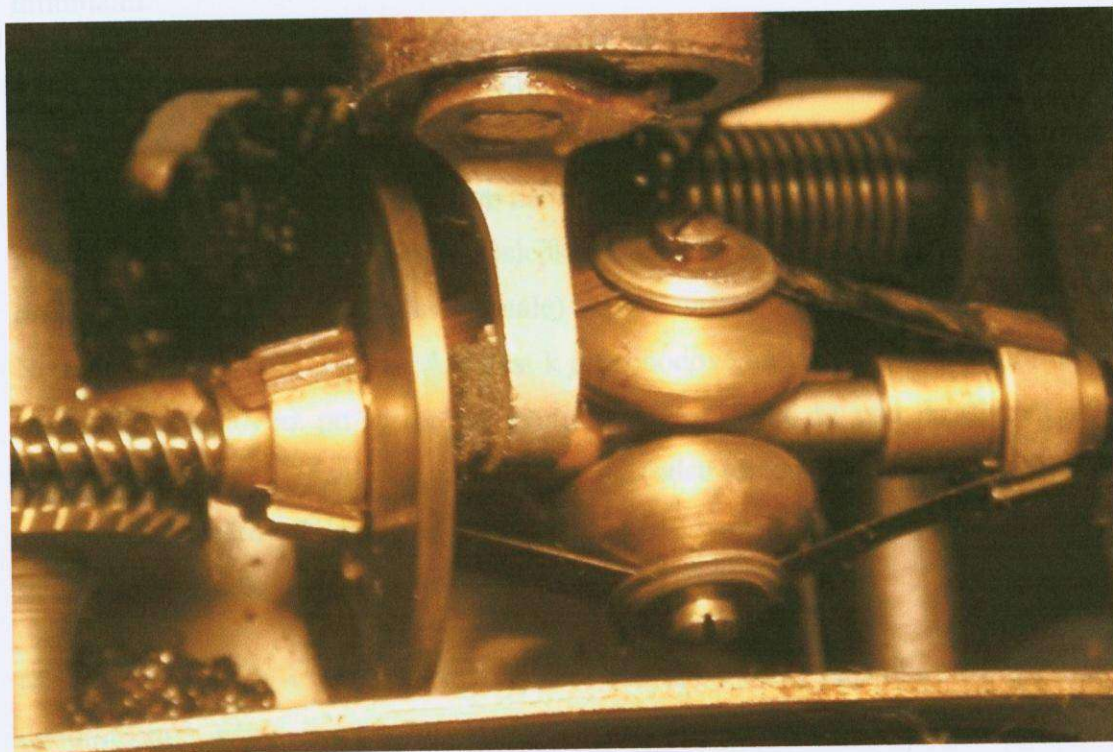
Obr. 3.2.2

Pohon talíře:

Pohon talíře s gramofonovou deskou je buď přímý nebo s převodem. Převod se uskutečňuje pomocí gumového mezikola (třecí převod) - u nejnižší třídy gramofonů, nebo pomocí gumového řemínku - u střední třídy gramofonů. Jako motorek se používá buď střídavý asynchronní (většinou přímo připojený k síti) nebo nízkonapěťový stejnosměrný s určitou elektronickou regulací otáček. V nejvyšší třídě se používá přímý náhon bez převodu, kdy je talíř součástí elektromotoru. Samotný elektromotor je podobného typu jako v disketových mechanikách (většinou ale s větším počtem kroků). K řízení je potřeba relativně složitá elektronika a vlastní otáčky jsou odvozovány od krystalem řízeného oscilátoru (čímž je zaručena vysoká stabilita). Na obrázku 3.2.3 je zobrazen mechanismus pohonu talíře jednoho z prvních gramofonů poháněného pružinou.



Obr. 3.2.3



Obr. 3.2.4

Na obrázku 3.2.4 je detailně vidět odstředivá regulace konstantních otáček prvních gramofonů poháněných pružinou.

Gramofonové raménko (přenoska):

Raménko má vést přenosku při snímání a zajistit tak její správnou polohu vůči drážce. Raménka pak dělíme podle konstrukce na:

Tangenciální - (kolmo na záznam) je zdánlivě správná cesta, jelikož je tímto způsobem vytvářen mechanický záznam vedeným rycím nožem do záznamové fólie. Ve skutečnosti se však musí řešit problém správného sledování drážky, protože gramofonové desky nelze dokonale vystředit, což brání jednoduchému použití tohoto způsobu. (V ČR tento způsob používá firma AURA, kde přenoska je zavěšena struně nad snímanou deskou).

Arkusové - přenoska se pohybuje nad snímanou deskou po kružnici o poloměru L rovné délce ramínka a nelze tedy zaručit, aby ve všech bodech byla osa snímání totožná s tečnou k drážce a tedy i s vektorem drážkové rychlosti v_d . I přes tuto zásadní nevýhodu lze raménko konstruovat tak, aby byla chyba stranového úhlu minimální.

Zdálo by se, že zalomení odstraní chybu stranového úhlu i při arkusovém snímání. Ale ve skutečnosti zalomením vzniká dostředivá síla F_s skating, která je závislá na povrchu desky (materiál, drsnost, typ nahrávky), tvaru snímacího hrotu, síle na hrot a na drážkové rychlosti. V jejím důsledku je hrot přitlačen větší silou na vnitřní drážku (informace o levém kanále) než vnější drážku (pravý kanál). Nekompensování této chyby může vést k jednobodovému dotyku (ztráta informace z pravého kanálu) až po vyskočení hrotu z drážky. Proto se tato dostředivá síla alespoň částečně kompenzuje antiskatingem (odstředivou silou stejné velikosti a opačného směru). Vytváří se použitím pružiny nebo závažíčka zavěšeného na struně a přes kladku připojeno ke konci raménka.

Musí se však brát v úvahu i dynamické chování celého raménka. To má tvar dvouramenné páky, na přední části je na lehké skořepině upevněna snímací přenoska, na zadním rameni je upevněno vyvažovací závaží pro nastavení vertikální síly na hrot. Aby měl systém dobré sledovací vlastnosti a malá vertikální síla na hrot i při zvlněné desce je nutno, aby celkový moment setrvačnosti v obou rovinách byl minimální.

Přenoska je nejcitlivější a tedy i nejchoulostivější součást gramofonu, kde zastává funkci mechanicko-elektrického měniče. Kvalita přenosky je určena několika faktory. Patří sem šířka kmitočtového pásma, ve kterém je přenoska schopna pracovat. To je omezeno zdola především rezonancí raménka a shora pak rezonancí chvějky. Dále pak poddajnost, potřebná síla na hrot a citlivost.

Magnetodynamický měnič:

U tohoto měniče je snímací hrot pevně spojen s miniaturním permanentním magnetem umístěným mezi pólovými nástavci snímacích cívek. Při snímání se vlivem jeho pohybu indukuje v cívkách (pro stereofonní záznam) napětí úměrné rychlosti pohybu magnetu. Magnetodynamický měnič se někdy označuje písmeny *MM* (*moving magnet*).

Elektrodynamický měnič:

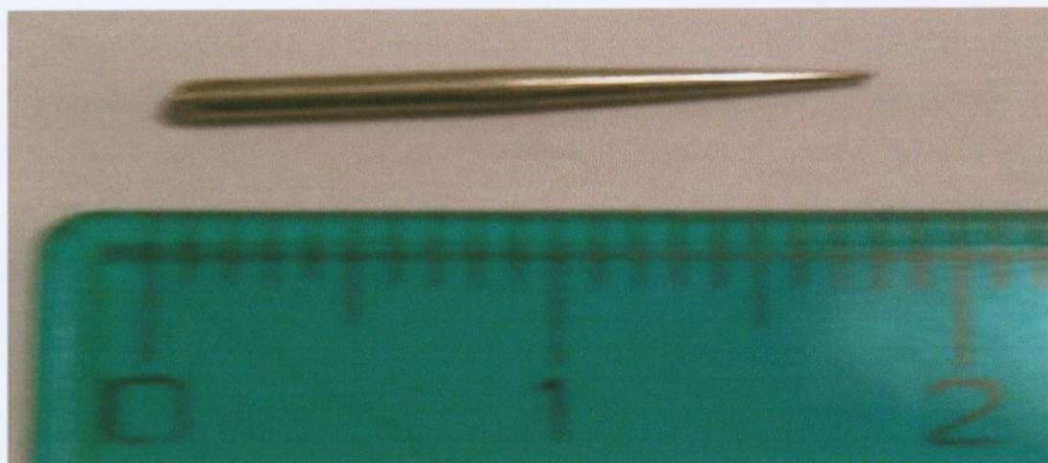
U elektrodynamického měniče je naopak s hrotem pevně spojena cívka, která se pohybuje mezi pólovými nástavci permanentního magnetu. Protože velikost indukovaného napětí je úměrná rychlosti, tak se jedná opět o *rychlostní měnič*. Elektrodynamický měnič se někdy označuje písmeny *MC* (*moving coil*).

Jehla (chvějka):

Na kvalitu celé přenosky má velmi významný vliv provedení hrotu. V levnějších typech má tvar rotačního kužele zakončeného kulovým vrchlíkem. Poloměr zaoblení vrchlíku musí být dostatečně malý, aby hrot byl schopný sledovat i nejjemnější zvlnění drážky (obrázek 3.2.5).

Používá se svislá síla na hrot o velikosti 15 mN – 40 mN pro systémy elektromagnetické a 50 mN -100 mN pro systémy piezoelektrické. Hodnotnější přenosky mívají hrot eliptický (biradiální), tedy i eliptický průřez a v oblasti styku s drážkou může mít podstatně menší poloměr zakřivení.

Nevýhodou tohoto tvaru však je poměrně malá plocha styku s drážkou, kdy působí na stěny drážky velký tlak a hrozí nebezpečí trvalé deformace materiálu desky. Proto je biradiální hrot používán pouze u systémů s menšími svislými silami na hrot 10 mN - 20 mN.



Jehla tvaru rotačního kužele obrázek 3.2.5

Dále je nutno si všimnout materiálu hrotu. Pro levnější systémy se vyrábí hroty ze syntetického safíru, pro jakostnější přenosky se používá diamant. Jejich životnost hodně závisí na povrchu desky a na síle na hrot. Opotřebení safírových hrotů se u běžného zařízení začne projevovat již po 6 hod provozu, u hrotu diamantového při svislé síle na hrot 20 mN po asi 400 hod a při svislé síle 50 mN již po asi 50 hod! Při normálním provozu je celková životnost safírového hrotu do 100 hod, u chvějky (jehly) s hrotem diamantovým 1000 hod.



Náhradní chvějka (jehla) pro gramofon Lenco L-3806 na obrázku 3.2.6

Na obrázku 3.2.7 je znázorněn jeden z posledních typů gramofonů prodáváných v České Republice v dnešní době. Profesionální gramofon Lenco L-3806, direct drive - pohon bez převodového řemenu, kontrola rychlosti otáčení stroboskopem, stabilní šasi, "quick start" spuštění do 0,4 sec., bodové osvětlení jehly, konektor k připojení lampičky (není součástí dodávky).



Obr. 3.2.7

Definitivní konec éry gramofonových desek pak znamenalo zavedení laserových **digitálních kompaktních disků CD** v 80. letech a jejich všeobecné rozšíření v průběhu let devadesátých. Kompaktní disky CD převyšují gramofonové desky po všech stránkách - podstatně nižší úroveň šumu, nesrovnatelně větším dynamickým rozsahem, odolností vůči poškození, neexistuje opotřebení přehráváním, menší rozměry a podstatně snadnější manipulace.

4. Magnetofon (magnetický záznam)

4.1 Historie magnetofonu

Historie magnetofonu začíná roku 1878, kdy americký mechanik **Oberlin Smith**, inspirován návštěvou v **Edisonových** laboratořích, pojal myšlenku záznamu telefonních signálů ocelovým drátem. O rok později se **Smith** rozhodl publikovat tuto myšlenku v odborném časopise. Ta nebyla složitá: zvukové kmity se převedou na elektrické a těmi se zmagnetizuje pohybující se zvukové médium, které potom při přehrávání vytváří elektrické kmity o shodné frekvenci jako při nahrávání (ty se pak převedou na kmity zvukové). Složitější byla realizace.

Koncem 20. let kupuje **Stillovu** licenci britská *Ludwig Blattner Picture Corporation*. Blattner se neúspěšně pokouší stále distribuovat filmy se synchronizovaným zvukem. Ve svých pozdějších přístrojích už pro záznam používá ocelový pásek. V roce 1931 prodává tento experimentální páskový přístroj britské BBC. Na obrázku 4.1.1 první magnetofon s nekovovým páskem opatřeným magnetickou vrstvou.



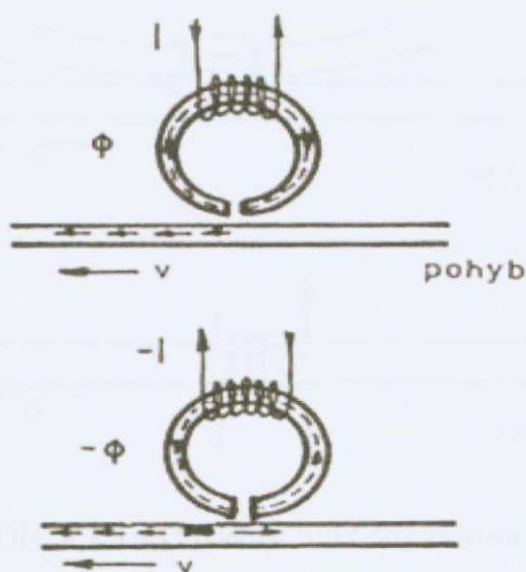
Obr. 4.1.1

Princip magnetického záznamu zvuku:

Základním principem magnetického záznamu zvuku je střídavé magnetizování záznamového materiálu magnetofonovou hlavou. Záznamový materiál je tvořen základním nosičem, na němž je nanесena magneticky citlivá vrstva.

Magnetofonová hlava je cívka tvořená tenkými plíškami magneticky vodivého materiálu uspořádaných do tvaru prstence. Prochází-li vinutím cívky střídavý proud, vystupují v místě štěrbin magnetické silové čáry z jádra a magnetizují záznamový materiál, který probíhá před šterbinou. V záznamovém materiálu zůstane zbytková (remanentní) indukce $\overline{B}_r$. Intenzita magnetického pole $\overline{H}$, která je lineárně závislá na proudu procházejícím hlavou, vyvolá v pásku remanentní indukci $\overline{B}_r$, která již však na $\overline{H}$ lineárně nezávisí. Při malých intenzitách magnetického pole hlavy je nelinearita tak výrazná, že dochází k neakceptovatelnému zkreslení signálu teprve od určité hodnoty $\overline{H}$ se $\overline{B}_r$ zvětšuje lineárně až se při extrémních hodnotách intenzity magnetického pole dostaneme do oblasti nasycení. Řešením je volba pracovního bodu, který se pomocí předmagnetizace dostane do středu lineární části charakteristiky.

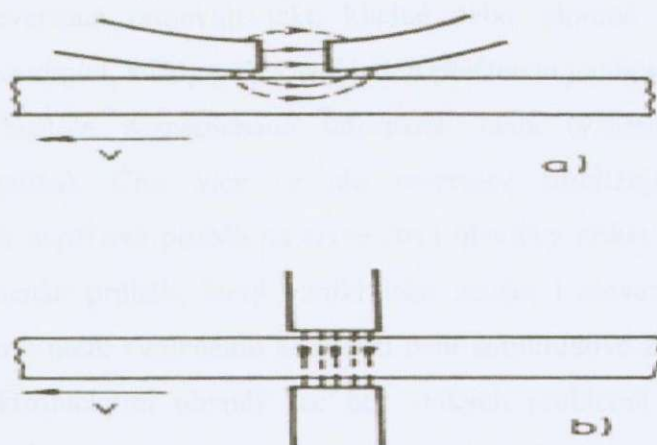
Vnější paměti pracují nejčastěji se záznamem magnetickým. Záznamové médium má tvar kruhové desky (disk, disketa) nebo dlouhé pásky (magnetická páska), je pokryto aktivní magnetickou vrstvou a pohybuje se konstantní rychlostí. V bodu dotyku s povrchem media nebo jen v nepatrné vzdálenosti od něj je šterbina magnetického obvodu. Ten tvoří jádro (přerušené právě touto šterbinou), na němž je navlečená cívka. Magnetický tok, který prochází jádrem (při průchodu elektrického proudu cívkou) se v místě šterbiny rozptyluje do nejbližšího okolí a uzavírá přes vzduchovou mezeru. Jeho rozptýlené siločáry zasahují i do aktivní vrstvy záznamového materiálu, kterou magnetizují (celá situace viz obr. 4.1.2).



Obr. 4.1.2 Princip záznamu na magnetické médium

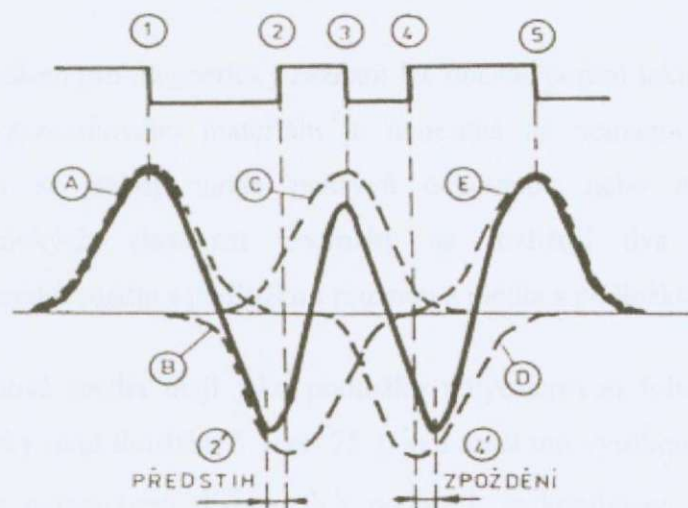
Mění-li se směr elektrického proudu v cívce, mění se směr magnetického toku jádrem i vzduchovou šterbinou a tím i smysl magnetizace vrstvy. Když se vrstva pohybuje, vznikají v ní oblasti magnetované tím či oním směrem a mezi nimi místa změny smyslu. Těm říkáme místa **magnetických reverzací**. Právě jejich přítomnost na specifických místech média představuje zapsanou informaci. Při čtení se médium okolo hlavičky pohybuje stále stejným směrem. Magnetické reverzace však nyní představují změny magnetického pole vyvolávané magnetickým médiem. Tyto změny způsobují vznik napěťových impulsů na svorkách cívky, které pak dále zpracovávají elektronické zesilovače.

Popsané uspořádání magnetického obvodu představuje podélné magnetování aktivní vrstvy. Je však možné i jiné uspořádání magnetického obvodu, které způsobí příčné magnetování média. Pomineme případ, kdy magnetické siločáry působí v rovině média kolmo na směr jeho pohybu, protože nemá žádný praktický význam. Mnohem zajímavější je uspořádání podle obrázku 4.1.3 b. Záznamová a čtecí hlava mají v tomto případě odlišné tvary a magnetický tok se uzavírá přes magneticky vodivou vrstvu média umístěnou pod aktivní vrstvou. Toto uspořádání nazýváme vertikální záznam (vertikální vzhledem k rovině záznamového materiálu) a proti podélnému záznamu má dvě zásadní výhody. První spočívá v dosažitelnosti vyšší hustoty záznamu, druhá ve vyšší šumové imunitě. Proto je vertikální záznam v současné době mezi výrobci preferován.



Obr. 4.1.3 a) Podélný b) Příčný záznam

Jedním z problémů magnetického záznamu je, jak určit právě ta specifická místa, ve kterých při čtení testovat přítomnost reverzací. Médium nesoucí informaci se totiž při zápisu může pohybovat jinou rychlostí než při čtení, proto nelze vzdálenost měřit časem. Kromě toho dochází ke zdánlivému posuvu reverzací na již zaznamenaném médiu, takže ani přesné dodržení rychlosti problém neřeší. Posun reverzací vysvětlíme následujícím rozбором: předpokládejme, že máme zapsat posloupnost několika bitů. Jeden bit dat se zapisuje do jednoho, tzv. bitového intervalu. Všechny bitové intervaly pro jedničky i nuly jsou stejně dlouhé. Každou jedničku zaznamenejme jednou reverzací, pro nulu reverzací v bitovém intervalu neprovedeme. Tomuto kódování se říká "bez návratu k nule s inverzí" (Not Return to Zero with Inversion - NRZI).



Obr. 4.1.4 Vznik posunutí magnetických reverzací

Při čtení se reverzace projevují jako kladné nebo záporné napěťové pulsy. Polarita není rozhodující, každý puls značí jednu přečtenou jedničku. Jednoduché to je, pokud je hustota zaznamenané informace malá (vzhledem k velikosti generovaného pulsu). Čím více se ale reverzace přibližují, tím složitější a deformovanější napěťový průběh na cívce čtecí hlavičky získáváme. Na obrázku 4.1.4 je zaznamenaný průběh, který vznikl jako součet izolovaných napěťových pulsů. Vzhledem k námi zvolenému kódování není amplitudové zkreslení záznamu na závadu. Elektronickými obvody lze bez velkých problémů detekovat místa s maximální amplitudou a určit tak zapsané jedničky. Mnohem horší ale je, že se tyto maximální amplitudy vyskytují na jiných místech, tedy v jiných okamžicích, než byly zapsány. To je vidět na reverzacích 2' a 4' (viz. obr. 4.1.4). Zatímco první z nich předbíhá, druhá se za správným místem opoždí. Posunutí reverzací způsobuje, že zapsanou interpretaci nelze s určitostí interpretovat správně, a to zejména v případě, kdy bylo za sebou zapsáno několik nul. Možným řešením by bylo souběžné zaznamenávání časových synchronizačních značek, které by se poté daly využít jako opěrné body pro stanovení oněch tzv. specifických míst. Žádné souběžné zaznamenávání synchronizačních značek však v tomto kódu možné není, posun reverzací se tedy řeší tzv. před kompenzací. Ta spočívá v jednoduchém předpokladu, že k posunutí při čtení dojde. A tak se některé reverzace zapisují později, než by se zapisovat měly, jiné naopak dříve. Posunutím se ocitnou blíže místu, kde by se měly vyskytovat v ideálním případě.

Média pro magnetický záznam:

Záznamové médium pro magnetický záznam lze obecně popsat takto: aktivní vrstva magnetického záznamového materiálu je nanesena na nemagnetické podložce. Aktivní vrstva se někdy navíc pokrývá ochrannou nebo mazací vrstvou. Podle mechanických vlastností podložky se rozlišují dva základní typy záznamových médií: média s podložkou pružnou a média s podložkou pevnou.

Pružná záznamová média mají jako podložku polyesterovou fólii. Podložky pro magnetické pásky mají tloušťku $6\ \mu\text{m}$ – $75\ \mu\text{m}$ a musí mít vysokou pevnost v tahu. Nejdůležitějším parametrem disketových podložek je koeficient změny rozměru v závislosti na teplotě. Ten má totiž rozhodující vliv na dosažitelnou příčnou hustotu záznamu. Regulační smyčka vystavovacího mechanismu je, jak ostatně uvidíme

dále, obvykle otevřená (bez zpětné vazby). Pružná záznamová média využívají zkušeností s hromadnou výrobou záznamových médií pro audiovizuální techniku, představují však jen 25 % - 30 % z produkce všech magnetických záznamových médií. Vzhledem k hromadné výrobě je jejich cena velmi příznivá. Digitální magnetické pásky jsou nejčastěji volné půlpalcové nebo kazetové čtvrtpalcové. Nejobvyklejší jsou však diskety.

Podložky pevných záznamových médií jsou z nemagnetických kovových materiálů. Mají výhradně diskový tvar a razí se obvykle z pásu slitiny $AlMg$ vyválcované z vybraných a „vystřnutých“ ingotů. Po vyražení se rovnají, stabilizují a obrábějí na požadované rozměry a hrubost povrchu. Požadavek na kvalitu povrchu souvisí se způsobem nanášení aktivní vrstvy. Pro tenkovrstvá média musí být kvalita povrchu vyšší. Pevná záznamová média se vyrábějí ve standardizovaných rozměrech jako výměnné nebo pevné diskové svazky s max. 19 pracovními povrchy.

Média s lakovou vrstvou:

Lakové záznamové vrstvy jsou tvořeny částicemi záznamového feromagnetického materiálu rozptýlenými ve vytvrzeném pojivu. Kromě nich (tvoří asi 20% objemu aktivní vrstvy pevných disků a až 40 % objemu vrstvy médií pružných) jsou obsaženy i další přísady upravující tvrdost vrstvy a její odolnost proti otěru. K tomuto účelu je nejlepší Al_2O_3 . Dále je uhlíkem upravována elektrická vodivost nutná k odvodu elektrostatického náboje. V některých případech se přidávají přísady upravující mechanické vlastnosti styku média se záznamovou a čtecí hlavičkou nebo přísady upravující optické vlastnosti média. Jako pojivo se pro pružná média používá polyvinyl nebo polyuretan, pro disky pevné pak tvrzené polyesterové pryskyřice.

V lakových záznamových vrstvách jsou aktivním záznamovým materiálem dosud oxidy železa – ferity Fe_2O_3 . Vyskytují se v pevných i pružných discích, na magnetických páskách pro analogový i digitální záznam. Na páskách pro digitální záznam vysoké hustoty, ale i u současných pásek pro analogový záznam videosignálu (8 mm), se uplatňují lakové záznamové vrstvy s CrO_2 nebo i s čistě kovovými (Fe) částicemi. Ze stádia laboratorních zkoušek postoupily záznamové vrstvy na bázi barnatých feridů $BaO_6 (Fe_2O_3)$. Ty vytvářejí částice ve tvaru malých

plochých šestiúhelníků a jsou vhodné zejména pro výrobu velmi tenkých lakových záznamových vrstev nebo vrstev pro vertikální záznam.

Samotné částice záznamového materiálu mají rozměry $0.004 \mu m$ až $1 \mu m$. Při záznamu se zmagnetuje vždy jistá oblast a v záznamové vrstvě vznikají domény (stejně orientované oblasti částic). Větší částice jsou tedy nevýhodné, protože nedovolují zvyšovat hustotu záznamu. Částice s rozměrem pod $0.04 \mu m$ zase za působení teploty samovolně mění směr magnetizace.

Na výsledné magnetické vlastnosti má vliv i tvar samotných částic. Výhodné je, jsou-li díky němu magneticky anizotropní. Jehličkové záznamové materiály mají osu snadné magnetizace ve směru většího rozměru. Anizotropie se kromě toho uměle zvyšuje směrovou orientací částic. Dělá se to vnějším magnetickým polem během tvrzení záznamové vrstvy pevných disků a některých pásek. Jindy je naopak zapotřebí směrově izotropní záznamový materiál (diskety, magnetické pásky pro záznam rotujícími hlavami), tehdy se anizotropie při výrobě uměle ruší.

Důležitou vlastností částic záznamového materiálu je i jejich chemická stabilita a slučitelnost s použitým pojivem, dalšími přísadami záznamové vrstvy i s materiálem případné styčné plochy se záznamovou a čtecí hlavou.

Záznamové lakové vrstvy se buď nanášejí kontinuálním poléváním pohybujícího se pásu pružné podložky (šířka 300 mm - 8000 mm, rychlost pohybu 1 m/s až 2 m/s) nebo odstředivým litím na otáčející se pevné podložky disku. V současné době jsou už tyto technologie tak propracované, že se dosahuje tloušťek jen kolem 1 mikrometru. Po nanesení na podložku se lakové záznamové vrstvy vytvrzují. K vytvrzení polyuretanových pojiv stačí pokojová teplota, vrstvy pevných disků s pryskyřičnými pojivy se vytvrzují až při $200^\circ C$. Po vytvrzení se povrch ještě mechanicky upravuje kalandrováním nebo broušením. Široký pás pružných médií se poté ještě řeže na požadovanou šířku nebo se z něj razí diskety.

Lakové záznamové vrstvy mají i některé nepříznivé vlastnosti. Jsou to především nižší amplituda čteného signálu a menší odstup signálu od šumu. Obě jsou způsobeny malou objemovou hustotou záznamového materiálu v aktivní vrstvě. Horší je i záznam a čtení vysokofrekvenčních signálů.

Média s tenkou vrstvou:

Pro tenké záznamové vrstvy lze použít libovolný feromagnetický materiál s požadovanými magnetickými vlastnostmi o tloušťkách vrstvy $0.1 \mu m$ a menších. Nejčastěji se používají čisté kovy nebo jejich slitiny. Jde především o slitiny kobaltu s niklem, ale i chrómem, platinou a wolframem. Používají se však i další nekovové přísady, např. fosfor.

Pro nanášení tenkých záznamových vrstev lze použít čtyři různé základní postupy: vakuové napařování, galvanické pokovování, chemické (bezproudové) pokovování a vakuové naprašování. Dosud nejúspěšnější je metoda chemického pokovování. Ostatní technologie buď ještě neposkytují záznamové vrstvy požadovaných vlastností nebo jsou příliš drahé.

Při chemickém pokovování se podložka ponoří do lázně tvořené rozpuštěnými solemi kobaltu a niklu a dalšími přísadami, z nichž důležitou je např. fosforečná sůl, která tvoří zdroj iontů fosforu. Přítomnost tohoto prvku zvyšuje koercitivní sílu záznamové vrstvy. Vrstva se na povrch vylučuje chemickým procesem redukce a takto se vytvářejí záznamové vrstvy *Co-Ni-P* s tloušťkou menší než 100 nm. I přes značné úsilí věnované vývoji chemického pokovování nejsou problémy s masovou výrobou takovýchto záznamových médií zvládnuty uspokojivě.



Obr. 4.1.5 Legendární československý dvourychlostní magnetofon Sonet duo z Tesly Přelouč se šoupátkovým ovládáním čs. patentem (1959-1962).

4.2 Magnetofonová kazeta

Magnetické páskové paměti patří k nejstarším vnějším pamětem. Dnes slouží zejména pro zálohování dat. Nejčastěji se používá magnetická páska šíře 0,15" (3,8 mm). 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 obrázek 4.2.1. Je možné se setkat i s páskami 1/4" (6,35 mm).



Obr. 4.2.1

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.

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 cm 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".

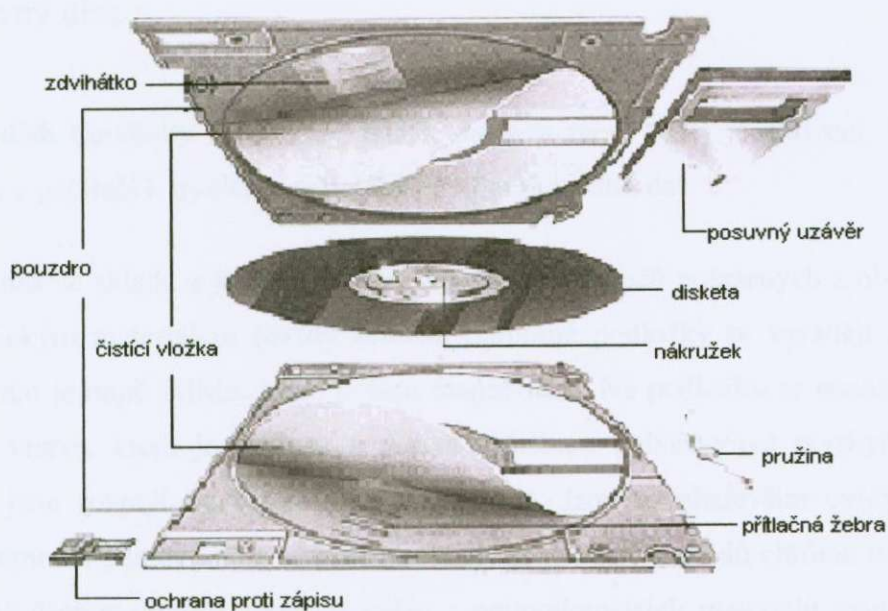
Kromě minimálního počtu systémů, které měly tento problém vyřešen, byl další nevýhodou fakt, že při provádění byť i jednoduché změny v magnetickém záznamu se celá páska musela kompletně přepsat. Algoritmy pro efektivní vyhledávání na magnetických páskách tak zabíraly nezanedbatelnou část strojového času. 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.

4.3 Disketa

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 „háživosti“ (tj. těžiště diskety není v ose otáčení média). V neposlední řadě bylo nutné řešit i problém hustoty záznamu, což je dnes v době zvyšování kapacit disků velmi diskutovanou otázkou.

Magnetický disk (obr. 4.3.1) 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 zachytávající 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.



Obr. 4.3.1

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 (DD, double density).

4.4 Pevný disk

Pevný disk (anglicky *hard disk*, **HDD**, doslova *tvrdý disk*) je zařízení, které se používá v počítači k trvalému uchování většího množství dat.

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 chrómu nebo jsou to přímo částice čistého železa a jeden z nejmodernějších materiálů jsou barnaté ferity. Samotné částice feromagnetického materiálu mají velikost 0,04 μm až 1 μm . Větší částice se již nedají použít, protože při jejich zmagnetování se v nich vytváří více magnetických domén.

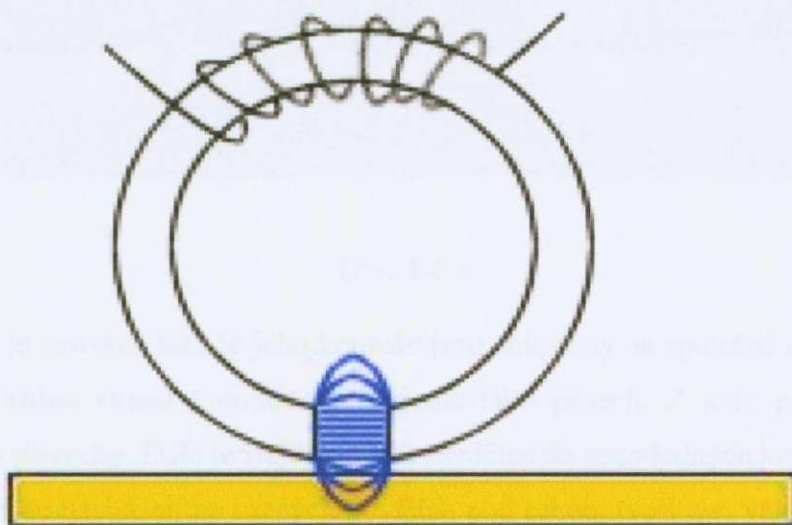


Obr. 4.4.1

Celá záznamová vrstva má tloušťku okolo 1 μm 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 přísada, 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.

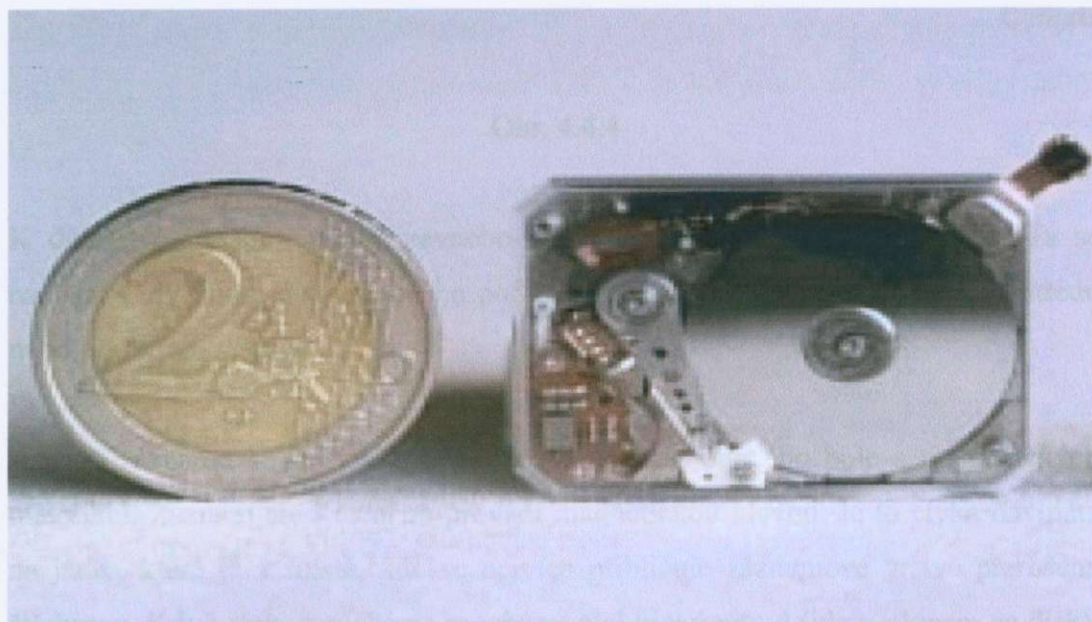
Počet kotoučů je různý od jednotlivých mechanik. Například původní mechanika počítače XT o kapacitě 10 MB měla tyto kotouče dva. Novější disky jich mají více. Výroba kotoučů je technologicky nejvíce náročná (tudíž i nejdražší), protože povrch kotouče musí být téměř absolutně hladký. Z toho plyne, že 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. Pro každý povrch kotouče má pevný disk elektromagnetickou čtecí a zápisovou hlavu s mikroskopickou cívkou. Obrázek 4.4.2.



Obr. 4.4.2

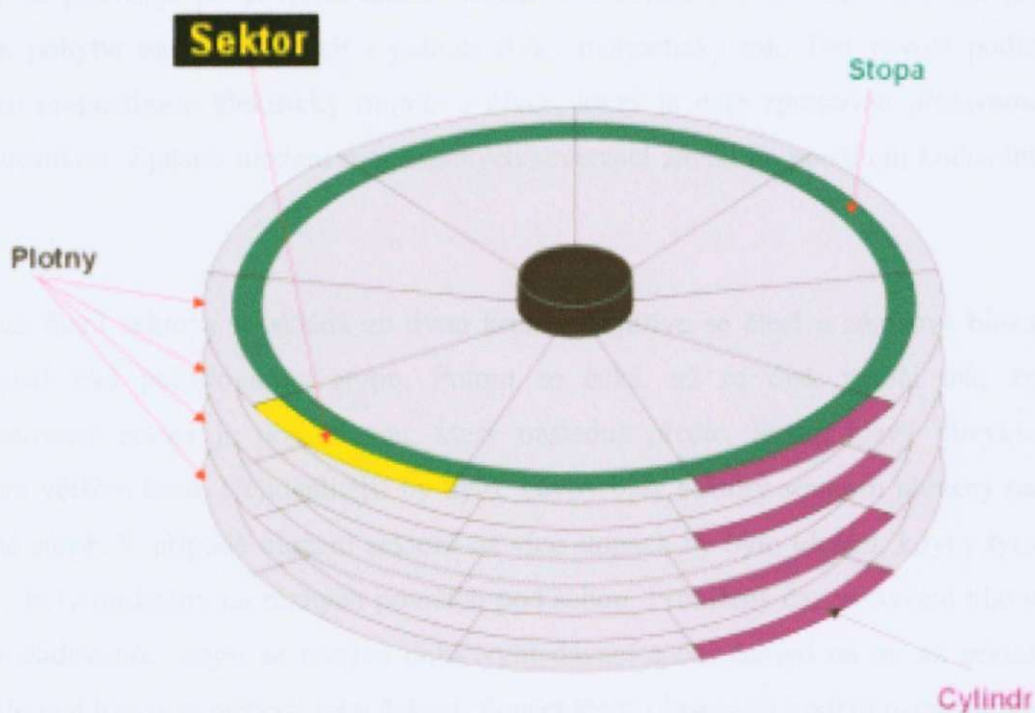
Hlavy disku uchovávají data na disku elektromagneticky. Povrch disku je pokryt magnetickým materiálem. Všechny hlavy jsou umístěny na jednom společném rameni a pohybují se tedy zároveň. Jsou výkyvné po obvodu kružnice a ovládají se velmi přesným motorem. Čím je motor rychlejší a kvalitnější, tím má pevný disk menší přístupovou dobu - tím také rychleji reaguje na povely. Pevný disk se točí konstantní rychlostí (nikoli tedy jako u CD), která je obvykle v intervalu 3 600 otáček a 7 200 otáček za minutu. Novinkou a výjimkou je Seagate Cheetah s 10 033 otáčkami za minutu.

Pevné disky se dříve dělaly prakticky jen v šířce 5,25" (palců). 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) na obrázku 4.4.3.



Obr. 4.4.3

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) obrázek 4.4.4.



Obr. 4.4.4

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

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 štěrba 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.

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 přidavnou elektronikou. Způsob uložení magnetických reverzací závisí na použitém kódování dat.

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.



Obr. 4.4.5 Pevný disk

Dnes se pevné disky běžně používají i v konzumních produktech – MP3 přehrávače, videorekordéry a podobně.

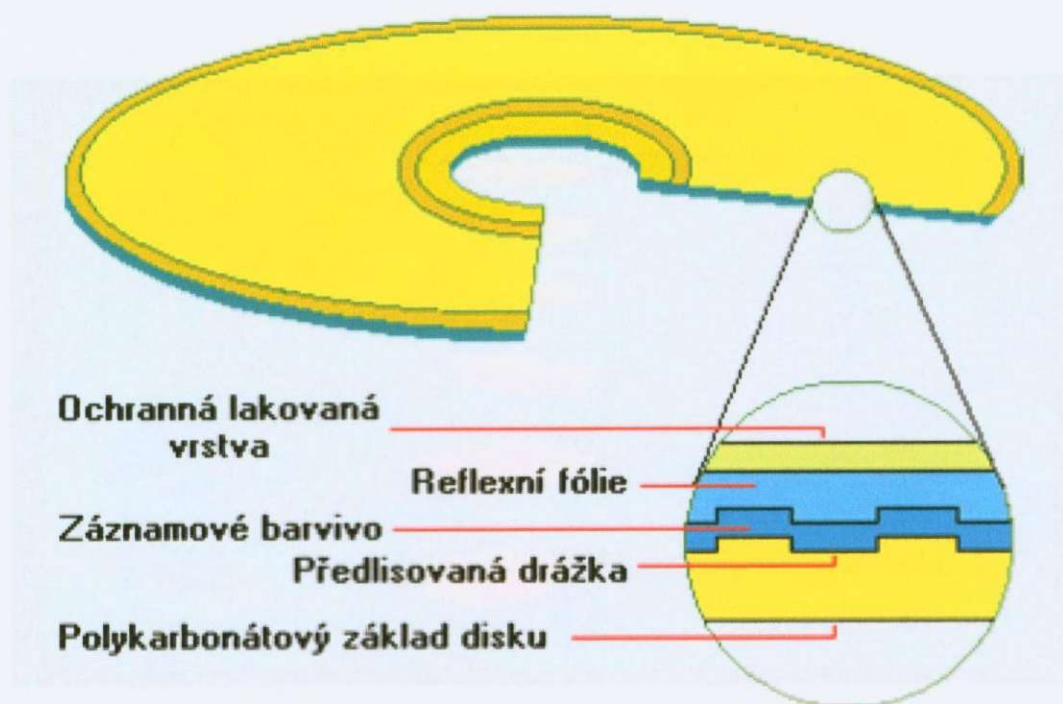
5. CD-disk (optický záznam)

Objev laseru (1960) se stal impulsem k úvahám o jeho využití ve výpočetní technice. Jednou z možností jsou i vnější paměti, neboť paprsek lze optickou soustavou zaostřit na plošku o rozměru menším než 1 mikrometr a tohoto lze využít v optickém médiu nazvaném kompaktní disk (CD), jedná se o poměrně mladé médium (1979, do praxe uvedeno 1982). Laserový záznam je vysoce odolný proti působení vnějších magnetických polí, a proti prachu, poškození povrchu a je možné jej chránit průhlednou ochrannou vrstvou. K dispozici byla samozřejmě řešení osvědčená z pamětí magnetických, např. médium ve tvaru rotujícího disku, metody kódování, atd. Řešily se však i problémy nové, např. interakce intenzivního optického svazku s tenkými vrstvami, časová stálost změn a jejich optická detekce.

Rozhodující zvrat nastal na začátku 90. let, kdy optické vnější paměti překonaly většinu pozitivních vlastností pamětí magnetických. Jistě na tom mělo svůj podíl i rozšíření digitálního záznamu zvuku CD-DA (Compact Disc - Digital Audio). Optické paměti však stále ještě mají svůj vrchol rozvoje před sebou, neboť většina pamětí dosud pracuje na principu magnetickém.

5.1 CD-ROM

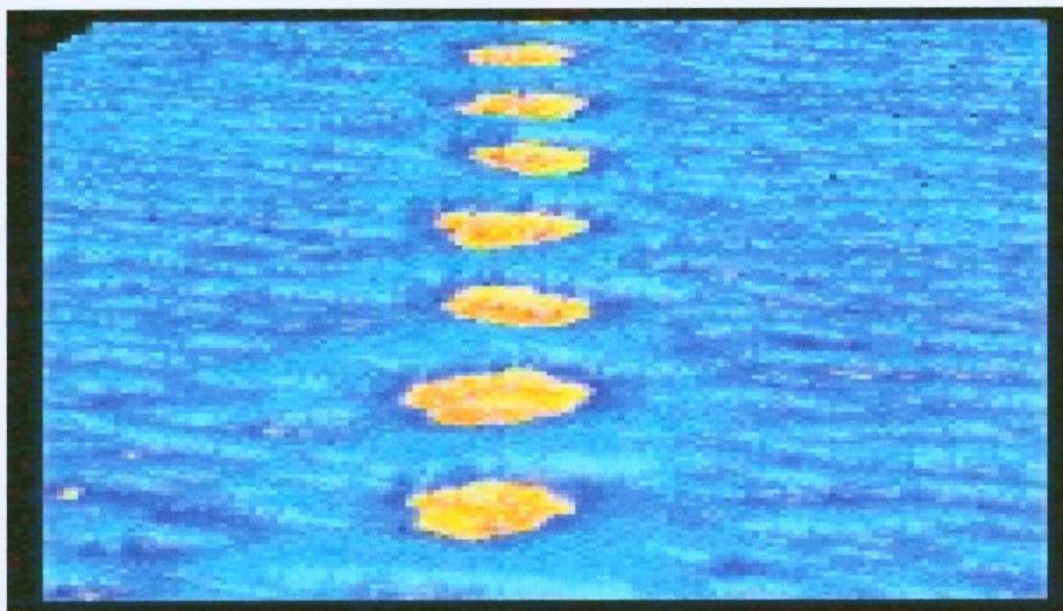
Povrch se záznamem je čitelný zespoda a vlastní záznam je proti vlivům vnějšího prostředí dobře chráněn. Životnost disku závisí na technologické preciznosti výroby. Předpokládá se, že je-li kvalitně utěsněn vnitřní a vnější okraj povrchového ochranného povlaku, bude životnost dat na CD přesahovat dobu lidského života. Jen na okraj připomeňme, že právě popisované médium je určeno pouze pro čtení, proto je jeho označení CD-ROM. Zápis dat je možný pouze při výrobě a provádí se lisováním.



Obr. 5.1.1 Struktura CD

Jak je patrné z řezu médiem (viz obr. 5.1.1), skládá se CD-R (Recordable - schopnost zapisovat), jako lisovaný CD-ROM ze tří základních vrstev. Vrchní ochranné lakované (většinou) vrstvy, střední vrstvy z reflexní zlaté fólie. Zlato bylo vybráno proto, že nereaguje s barvivem a koroduje mnohem méně, než kterýkoliv jiný kov. Zlato je navíc velmi reflexní. Používá se 24 karátové zlato. Dnes se již také velmi často setkáte se stříbrnou fólií, která sice nevykazuje tak dobré vlastnosti jako zlato, je však podstatně levnější a pro spotřební použití naprosto vyhovuje. A organického barviva. Tato organická sloučenina je vlastním záznamovým médiem vpolykarbonátové spodní vrstvě CD-R mechaniky, čímž je umožněno velmi přesné nahrání dat na disk.

Vypálené CD-R má na rozdíl od CD lisovaného, nepravidelné okraje. Rovněž vypálený pit (viz obr. 5.1.2) je poněkud mělčí než pit lisovaný. Při vypalování se právě toto organické barvivo zahřeje, což způsobí jeho fyzickou změnu. Vypalovací paprsek tak vytváří miniaturní prohlubně. Přestože se vypálený pit – ona zmíněná prohlubeň, od pitu lisovaného fyzikálně liší, i nadále se hovoří o pitu. Prohlubeň zvaná pit mění odrazivost od zlatého podkladu. Rozdíl mezi lisovaným a vypáleným pitem je důvodem, proč na některých starších CD-ROM mechanikách není možné vypálená CD přečíst. Aby to možné bylo, museli výrobci u mechanik upravit algoritmus ostření a vyhodnocování logických úrovní. V současné době se s podobným problémem setkáváme u CD-RW médií.

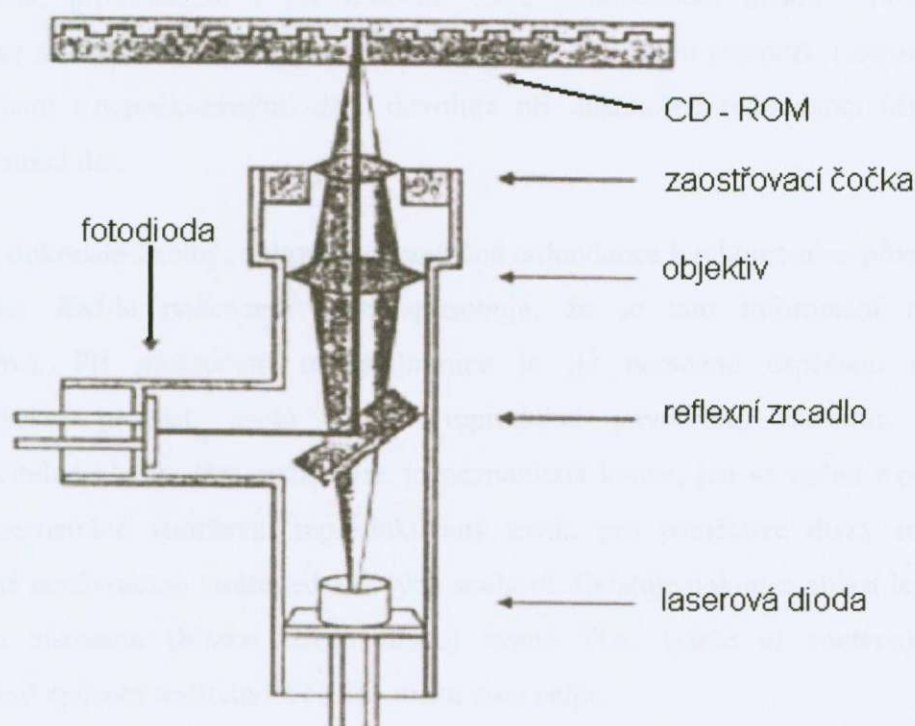


Obr. 5.1.2 Záznam pitů na CD-R

Rozměry CD-R jsou shodné s lisovanými, tedy celková šíře je 1,2 mm a průměr činí 12 cm s centrálním otvorem 1,5 cm. CD váží bez obalu 18 gramů. Na CD se stejně jako na klasickou vinylovou desku zapisuje do jedné spirální stopy. Data jsou do této stopy zaznamenávána digitálně pomocí stupňů (land) a děr (pitů) - viz dále. Díra je 0,12 μm hluboká a 0,6 μm široká. Jedno CD jich obsahuje kolem dvou biliónů. Délka díry je mezi 0,83 μm a 3,3 μm , což je pro srovnání velikost bakterie. Mezera mezi jednotlivými sousedními stopami je 1,6 μm . Znamená to, že CD se záznamovou šířkou 3,3 cm obsahuje: 0,6 μm šíře stopy + 1,6 μm mezi stopami = 22 μm což je šířka jednoho závitu. Vydělíme - li tuto hodnotu záznamovou šířkou dostaneme 15 000 závitů. Celková délka stopy je 5 km.

Na rozdíl od LP desky se CD čte od vnitřku k okraji a zatímco LP používá konstantní rychlost otáčení (konstantní úhlová rychlost - CAV), u CD je konstantní rychlost obvodová (CLV). Znamená to tedy, že se rychlost otáčení CD mění od 200 ot./min do 530 ot./min. podle typu mechaniky a značky.

Nejrozšířenějšími optickými pamětmi jsou dnes CD-ROM. Používají se jako velkokapacitní paměti v multimediálních aplikacích a jako média k šíření softwaru. Coby materiál je používán polykarbonát, do kterého jsou lisováním podle matrice "naprogramována" data. Strana se záznamem je pokryta reflexní vrstvou a opatřena ochranným lakem, na kterém je také natištěn popis CD. Záznam má podobu prohlubní a ostrůvků (pitů) a stupňů (land). Jedničky v datech se na optické médium zapisují jako přechody mezi pitem a polem, příp. naopak. Stejně jako na médiích magnetických se datové nuly nezapisují. Tyto přechody (změny) jsou obdobou magnetických reverzací známých z magnetických médií. Při čtení dopadá laserový paprsek nejprve na ten povrch disku, na kterém nejsou vylisovány pity. Prochází celou tloušťkou průhledného polykarbonátu, odráží se od vnitřní strany vrchní roviny kotoučku (pokryté reflexní kovovou vrstvou) a znovu prochází celou jeho tloušťkou ke čtecímu senzoru, prochází tedy celé médium dvakrát. Pokud se v místě odrazu svazku od horního povrchu nachází pit, dojde k částečnému rozptýlení odrazu, což vyvolá na čtecím senzoru jinou odezvu, než v případě odrazu čistého. Celou cestu paprsku znázorňuje obrázek 5.1.3.



Obr. 5.1.3 Záznam na CD-ROM a princip čtení dat z optického disku

Vlastní informaci na CD nesou prohlubně a výstupky, přičemž kódování je následující: jednička v datech se zaznamenává přechodem z prohlubně na výstupek nebo naopak. Je to tedy podobné, jako u záznamu magnetického.

Spolehlivost záznamu na CD disku:

Obecně se ví, že CD disky jsou velmi odolné proti poškození. Je to dáno samotným principem. Data jsou na disku chráněna svou polohou, neboť jemná struktura nesoucí informace je snímána skrze celou tloušťku CD. Drobné nečistoty a škrábance na hladké ploše disku jsou pro snímací objektiv neviditelné, protože na ně není zaostřeno, jsou daleko mimo hloubku ostrosti objektivu. Kromě zaznamenávaných informací je na CD zaznamenáno určité množství informací navíc. Tyto nadbytečné informace (redundance) jsou organizovány tak, že dovolují správně obnovit značné množství chybějícího nebo nesprávně přečteného záznamu. Tyto data nejsou na disku zaznamenána bezprostředně za sebou, jsou v určité délce rozházena, promíchána. I při hrubém, ostře ohraničeném místním poškození záznamu se vlastně poškodí data jen trochu, byť ve větším rozmezí, rozprostřeně. Promíchání s nepoškozenými daty dovoluje při dostatečné redundanci úspěšnou rekonstrukci dat.

Disk je dokonale čitelný, dokud stačí zmíněná redundance k rekonstrukci původního záznamu. Každé poškození však způsobuje, že se tato informační rezerva vyčerpává. Při překročení určité hranice je již nemožné úspěšnou úplnou rekonstrukci provést, proto se při reprodukci původního záznamu objeví neopravitelné chyby. Pro audio disk to neznamena konec, jen se začne z počátku zcela neznatelně zhoršovat reprodukováný zvuk, pro paměťové disky to však znamená nenávratnou ztrátu jednotlivých souborů. Existuje dokonce oblast ležící na počátku záznamu (blízko středu disku) zvaná TOC (table of contents), jejíž poškození způsobí nečitelnost celého disku jako celku.

5.2 CD-WORM

České označení těchto médií by bylo "pro jeden zápis" (Write Once Read Many times). Na ty lze zapisovat u uživatele, potíží je však v tom, že jen jednou. Jejich záznamovou vrstvu tvoří materiál, v němž lze laserem vyvolat lokální opticky detekovatelné změny.

První technologií a zároveň nejstarším způsobem je vypalování otvorů do tenké vrstvy - tzv. ablativní metoda (lat. ablatio - odnášení, odnímání). Otvor vznikne tehdy, když teplota ve středu světelné stopy překročí bod tání vrstvy. Vlivem povrchového napětí se roztavený kov stáhne k neroztaveným okrajům a ztuhne ve tvaru kráteru. Nejběžnějším médiem pro tento způsob záznamu je kovová vrstva tloušťky 30 μm – 50 μm vakuově nanesená na neprůhlednou podložku. Vlastnosti tohoto záznamového média se výrazně zlepšily po zavedení třívrstvé struktury: na podložku se nejprve nanese vrstva s vysokou odrazivostí (zpravidla hliníková, tloušťka asi 100 nm). Dále se nanese vrstva průhledného izolačního materiálu, a nakonec velmi tenká vrstvička kovového záznamového materiálu. Ten musí mít pro každou danou vlnovou délku vysokou antireflexivitu (pohltí až 90% dopadající světelné energie). Krátery se, vzhledem k nízké teplotě tání a vysokému povrchovému napětí, vytvoří popsáním způsobem. Jako vhodný se pro tenkou záznamovou vrstvu ukázal tellur, často s příměsemi antimonu a selenu, neboť ty zvyšují jeho odolnost proti oxidaci. Záznam se provádí tak, že se v záznamovém režimu, který používá výrazně vyšší výkon laserové diody, pítý do speciální vrstvy "vypálí".

Toto vypálení nelze chápat v pravém slova smyslu, nýbrž tak, že ve vrstvě dojde k nevratným změnám, při kterých se v daném místě změni některý charakteristický optický parametr (např. koeficient reflexe). Ve čtecím režimu, kdy je intenzita záření laserové diody mnohem nižší, ke změnám ve vrstvě nedochází. Jen odraz je ve vypáleném místě jiný, což čtecí senzor indikuje jako pit. Na izolační vrstvu se používají různé polymery.

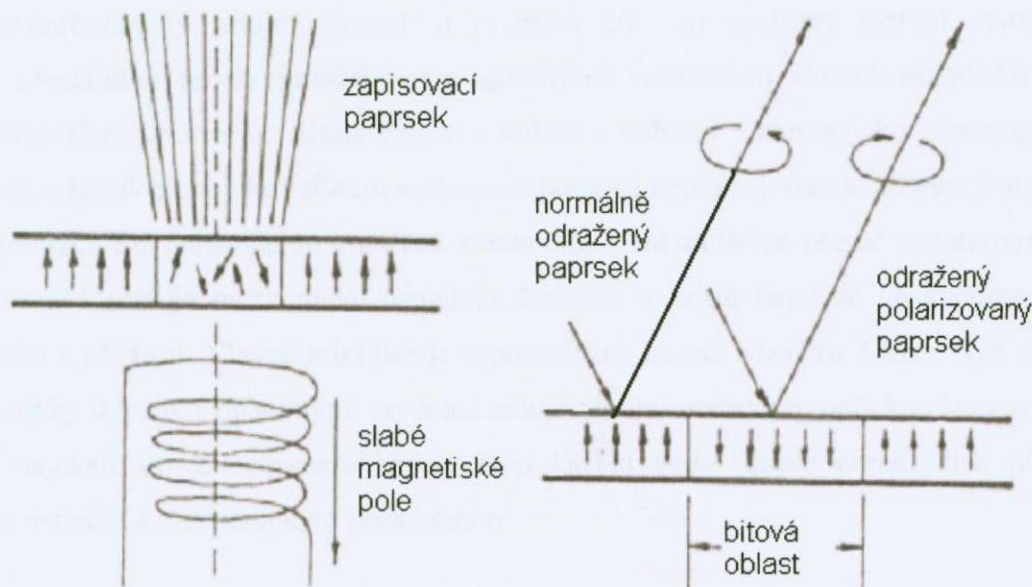
Druhá technologie WORM záznamu pracuje také s třívrstvou strukturou. Vrchní vrstvu však tvoří vysokotající kov, jako je titan, slitiny platiny a zlata. Polymerové dielektrikum je zvoleno tak, aby jeho teplota vypařování ležela hluboko pod bodem tání daného kovu. Vlivem laserového impulsu se vrchní vrstva ohřeje natolik, že se pod ní ležící polymer vypaří a tlak plynu vrchní kovovou vrstvu vyboulí. Tuto metodu označujeme jako metodu bublinovou. V místě deformace původní reflexní vlastnost zanikne, takže se uplatní reflexe od spodní hliníkové vrstvy. Vhodnou kombinací tloušťky dielektrika lze pro danou vlnovou délku vytvořit takové reflexní podmínky, že se laserové světlo odráží s jinou fází a tak se detekuje zapsaná informace. Třívrstvou strukturu pokrývá i v tomto případě poměrně silná vrstva průhledného materiálu, která záznam chrání před prachovými částicemi. Usadí-li se na povrchu a nejsou-li při otáčení smeteny odstředivou silou, jsou již daleko od ohniskové roviny čtecího zařízení a čtení neovlivní.

5.3 MO-CD

Magnetooptický disk MO-CD kombinuje oba principy - magnetický i optický. V této souvislosti se dokonce dosti často používá označení termomagnetooptický disk. Využívá se totiž lokální změny magnetické orientace, vznikající za současného působení tepla a elektromagnetického pole. Tento proces je vratný.

Informace se na MO disk zaznamenává magneticky při současném ozáření daného místa výkonným laserovým svazkem. Základem MO disku je magnetická vrstva, jejíž Curieův bod leží v okolí 180 °C. Curieův bod je teplota, při které látka přechází z chování feromagnetického na chování paramagnetické. Magnetický stav látky paramagnetické se dá změnit podstatně slabším magnetickým polem než stav látky feromagnetické. Tohoto faktu se využívá při záznamu. Laserový paprsek se zaostří do stopy o průměru menším než jeden mikrometr a laserová dioda se přepne do výkonového režimu. Dopadem svazku se osvětlené místo ohřeje na teplotu přesahující Curieovu a magnetické pole záznamové hlavy přemagnetuje ohřátou oblast do příslušného směru. Přestane-li laserový paprsek na dané místo působit, dojde rychle k ochlazení a tím i k přechodu magnetické vrstvy do stavu feromagnetického. Vnější magnetické pole záznamové hlavy však již nestačí k přemagnetování, je příliš slabé.

Změna magnetické orientace vede ke změně polarizace odraženého paprsku. Celou situaci ukazuje obrázek 5.3.1.



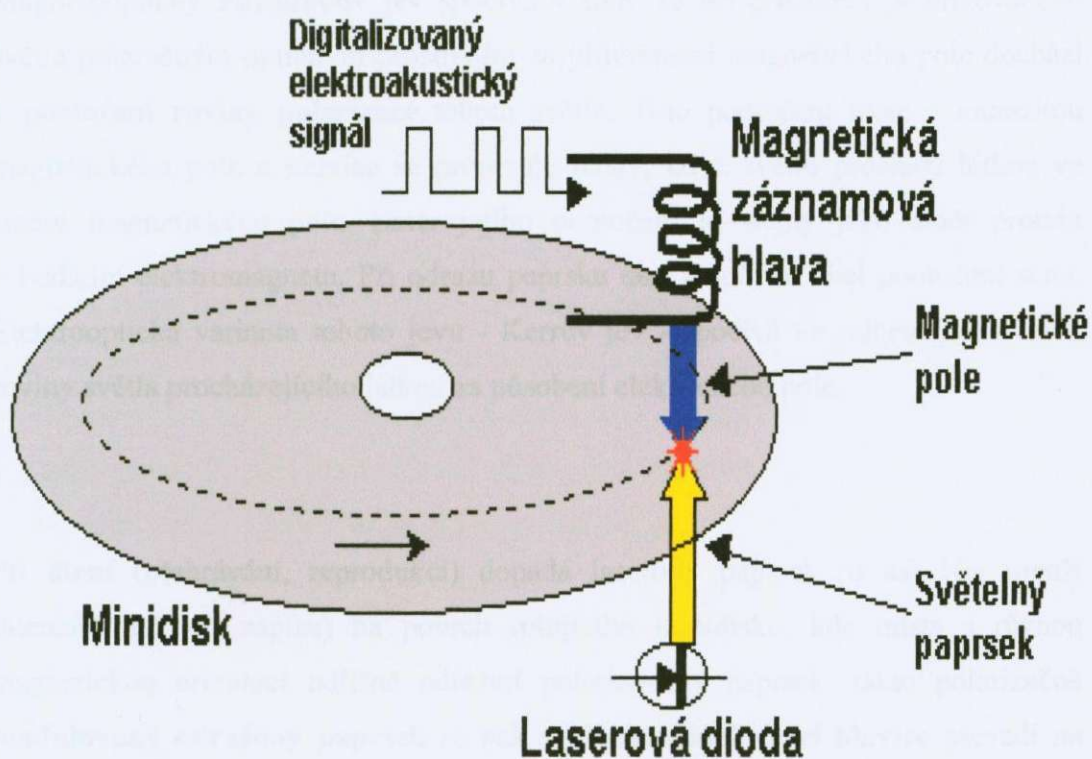
Obr. 5.3.1 Princip termomagnetooptického záznamu a čtení

Jedním z prvních studovaných materiálů použitých pro výrobu magnetooptických disků byla slitina MnBi. Její nevýhodou však byla poměrně vysoká Curieova teplota (360 °C). V současné době se dosahuje velmi dobrých výsledků s amorfními slitinami vzácných zemin. Jako vhodné se nabízejí i oxidy s granátovou strukturou obsahující vizmut, který posiluje změnu polarizace odraženého paprsku. Použitelnost těchto materiálů závisí na tom, bude-li je možno průmyslově nanášet ve formě tenkých polykrystalických vrstev, např. naprašováním na průhledné podložky.

Systém, který spojuje vysokou kvalitu digitálního záznamu s operativností a flexibilitou nahrávání a reprodukce (a navíc umožňuje vkládat popisy a poskytuje řadu editačních možností), je **MiniDisc**. Tento systém vyvinula známá japonská firma Sony na přelomu 80.let a 90.let.

5.4 Princip systému MiniDisc

Systém MiniDisc (MD) je založen na principu **magneto-optického** záznamu digitalizovaných zvukových dat. Médium pro záznam a reprodukci je polykarbonátový rotující kotouč o průměru 64 mm opatřený aktivní vrstvou se speciálními **feromagnetickými** a **optickými** vlastnostmi. Povrch minidisku je tvořen třemi vrstvami: slitina železo - kobalt - terbium - chrom jako záznamová vrstva, hliník-titan jako reflexní vrstva a silikonová ochranná vrstva. Středový otvor minidisku má nalisovanou kovovou středovku, která zajišťuje přesné vycentrování a rovněž snižuje mechanické namáhání kotouče v místě nasazení na náhonovou hřídel v přístroji. Vlastní minidisk je zapouzdřen v kazetě rozměru 7 cm x 6,75 cm, tloušťky 0,5 cm, s posuvnými krytkami zakrývajícími otvory pro optickou laserovou a magnetickou záznamovou hlavu. Tato kazeta velmi dobře chrání disk před znečištěním a mechanickým poškozením.

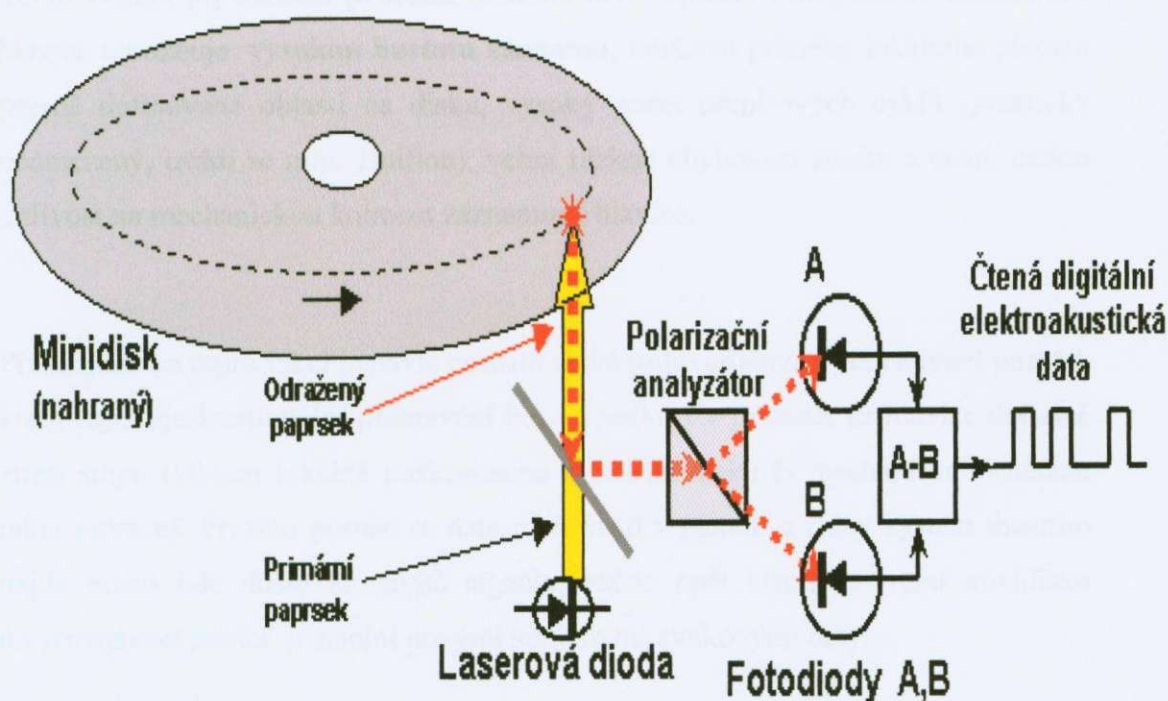


Obr. 5.4.1 Princip magneto-optického záznamu digitalizovaných dat na minidisk

Princip záznamu je schématicky znázorněn na obr. 5.4.1. Optická a magnetická hlavice jsou umístěny proti sobě, mezi nimi se těsně pohybuje vlastní kotouč minidisku. **Polovodičový laser** vyzařuje při záznamu konstantní (nemodulovaný) světelný paprsek s výkonem asi 5 mW - tento výkon se automaticky doladuje při vložení média. Paprsek při dopadu na povrch disku zahřeje lokálně aktivní vrstvu na tzv. **Curieovu teplotu** (což je teplota, při níž daný materiál ztrácí feromagnetické vlastnosti a stává se látkou paramagnetickou - u materiálů používaných na MD činí jen asi 180 °C). Po průchodu paprsku se teplota povrchu okamžitě sníží pod Curieův bod a feromagnetické vlastnosti se obnoví. Přivedeme-li do magnetické hlavice umístěné naproti z druhé strany disku signál, zůstane díky magnetickému poli v aktivní vrstvě stopa tohoto signálu v podobě změny magnetické orientace. Tato změna magnetizace pak vede i ke **změně polarizace odraženého světelného paprsku** při čtení - přehrávání (v důsledku tzv. Faradayova jevu).

Magnetooptický **Faradayův jev** spočívá v tom, že při průchodu polarizovaného světla průzračným optickým prostředím za přítomnosti magnetického pole dochází k **pootočení roviny polarizace** tohoto světla. Toto pootočení roste s intenzitou magnetického pole a nejvíce se projevuje tehdy, když světlo prochází látkou ve směru magnetického pole. Směr jejího pootočení je stejný jako směr proudu v budícím elektromagnetu. Při odrazu paprsku tam a zpět se úhel pootočení sčítá. Elektrooptická varianta tohoto jevu - **Kerrův jev** - spočívá ve stáčení polarizační roviny světla procházejícího látkou za působení elektrického pole.

Při **čtení** (přehrávání, reprodukci) dopadá laserový paprsek (o asi 10x menší intenzitě než při zápisu) na povrch rotujícího minidisku, kde místa s různou magnetickou orientací odlišně odrážejí polarizovaný paprsek; takto polarizačně **modulovaný odražený paprsek** se pak ve **fotodiodách čtecí hlavice** převádí na elektrický signál reprodukcující původní zapsaný signál - obr.5.4.2.



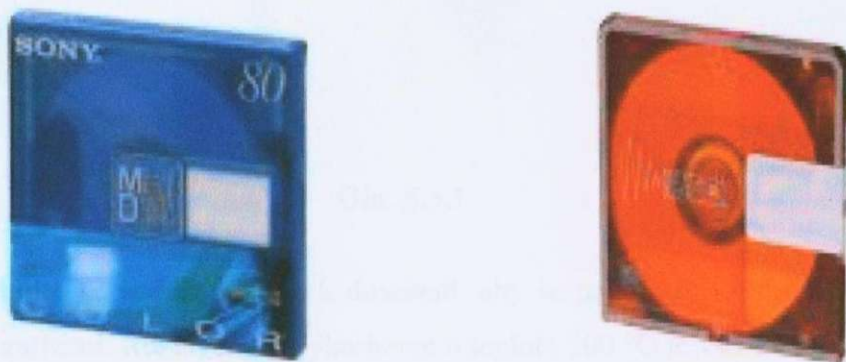
Obr. 5.4.2 Princip optického čtení digitálních elektroakustických dat z minidisku

Odražený paprsek, polarizačně modulovaný podle různě orientované magnetizace zapsané stopy na povrchu minidisku, prochází nejprve **analyzátozem polarizace** (děličem). Používá se tzv. **Wollastonův dvojlomný hranol**, což je kombinace dvou krystalů (většinou vápence CaCO_3) opticky stmelených pod úhlem 45° . V tomto hranolu se z původního směru paprsky s různou polarizací od sebe oddělují a vycházejí pod různými úhly. Fotodiody A a B, na které takto úhlově rozmítané paprsky dopadají, pak dávají různě silný signál v závislosti na úhlu polarizace. Odečtením těchto signálů dostáváme po úpravě již digitální signál reprodukcující původně zapsanou bitovou kombinaci při magneto - optickém záznamu podle obr. 5.4.2. Další dvojice fotodiód slouží ke sledování stopy.

Pozn.: Optická čtecí hlavice minidisku obsahuje ještě další čtveřici fotodiód detekujících odražené paprsky v případě použití nahraných (nepřepisovatelných) minidisků, kde je tvar záznamu podobný jako u CD - hliníková reflexní vrstva se signálem uloženým pomocí jamek.

Tento systém při **nízkém příkonu** (několik mW) optické i magnetické záznamové hlavičky umožňuje: **vysokou hustotu záznamu**, možnost přímého lokálního přepisu přesně definované oblasti na disku, vysoký počet přepisových cyklů (prakticky neomezený, uvádí se min. 1 milion), velmi nízkou chybovost zápisu a čtení, malou citlivost na mechanickou kolmost záznamové hlavičky.

Při záznamu a reprodukci je navíc použita velká **polovodičová vyrovnávací paměť**, která zajišťuje kontinuální přehrávání bez výpadků i v případě, že hlavičky dočasně ztratí stopu (vlivem lokálně poškozeného místa na disku či mechanického nárazu nebo vibrace). Při této poruše se data přehrávají z paměti a řídicí systém mezitím najde místo kde došlo ke ztrátě signálu, začne opět číst z povrchu minidisku a vyrovnávací paměť se naplní novými správnými zvukovými daty.



Obr. 5.4.3 Dnešní podoba minidisku

5.5 Výroba CD-R

Technologický proces začíná u granulí průhledného polykarbonátu (obrázek 5.5.1). Kdo by řekl, že obyčejné pytle v sobě skrývají budoucí CD?



Obr. 5.5.1

Sacím potrubím se vedou nejprve k dosušení, aby se pak dalším potrubím vydaly k tavicímu zařízení. Roztavený polykarbonát o teplotě 300 °C je vstříknut do formy. Tím se vytvoří zároveň výlisek a předlisovaná drážka. Ta slouží pro přesné vedení laseru vypalovací mechaniky, ale také již obsahuje některé informace, jako třeba ATIP - informace o výrobci, barvivu a nominální délce. Výlisek se pak ochlazuje na 60 °C - 100 °C a posléze se přenese z formy na chladicí pás, kde se ochlazuje na již nezbytných 25 °C což trvá asi 20 minut.

A nyní se již dostáváme k nejdůležitějšímu a nejsložitějšímu místu celé technologie. Tím je nanesení světlocitlivé vrstvy. Nejčastěji se používá cyanin (modrý) a phthalocyanin (zelený). Ale tato barviva mohou nabývat i jiných odstínů, mohou být dokonce i průhledná. K nanášení barviva (cyanin nebo phthalocyanin) dochází nástřikem na speciálním pracovišti za sklem.

Dále uvnitř "hrnce" obrázek 5.5.2 je umístěn polykarbonátový výlisek, nad který se pak skloní pero (nebo dutá jehla, chcete-li) a vylije na něj barvivo. Máte - li představivost, tak to je onen hranolek sklánějící se nad "hrnec". Z něho je pak vidět pero, které právě vylévá phthalocyanin. Odstředivou silou pak dojde k rovnoměrnému rozlití po celé ploše CD. Přebytké barvivo pak odstříkne do krajů.



Obr. 5.5.2

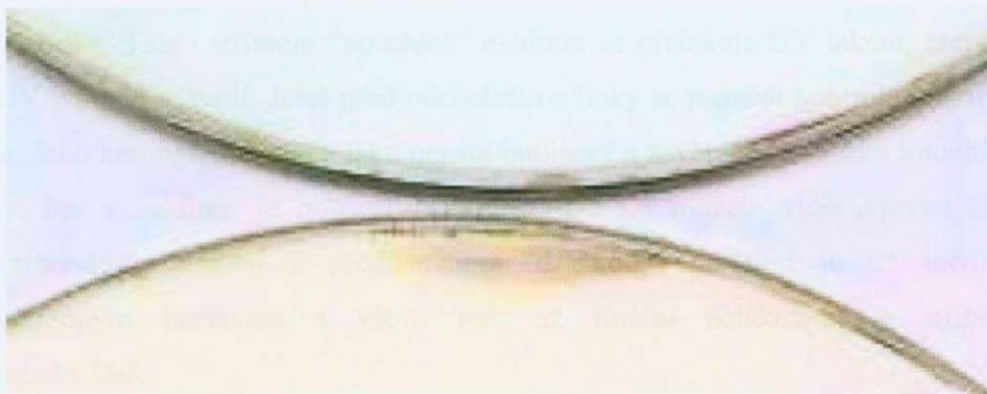
Zdá se to být velmi jednoduché, ale při výrobě je nutné víceméně empiricky nastavit spoustu hodnot. Tak předně otáčky CD se dají měnit až v šedesáti krocích s rozpětím 0 až 10000 otáček za sekundu. Tolik kroků se samozřejmě v praxi nepoužívá, většinou se výrobci vejdou do deseti. Další hodnotou je množství vstříknutého barviva. A aby to nebylo tak jednoduché, podstatnou veličinou je také doba, kdy se médium otáčí a samozřejmě jak rychle se brzdí. Když zvládnete toto, máte již skoro vyhráno a můžete se pustit do výroby! Věřte, že když nekoupíte kompletní technologii na klíč (a ta je neuvěřitelně drahá) bude vám trvat až několik let, než vyrobíte první, použitelné médium. Ve vedlejším "hrnci" obrázek 5.5.3 se provádí oplachování okrajů. Není to proto, aby se ušetřilo barvivo, ale důvod je velmi prostý. Tím je naprostá izolace barviva od okolního, agresivního prostředí.

Před časem měly s tímto velké problémy některá média Verbatim. Údajně takto ve výrobě šetří i někteří výrobci z JV Asie.



Obr. 5.5.3

Médium jemuž zasahuje světlocitlivá vrstva až na samotný kraj, začne po čase jakoby od krajů "hnít". Velmi tomu pomáhá i pot z prstů, do kterých se CD bere, což je patrné na obrázku 5.5.4.



Obr. 5.5.4

Dalším krokem je kontrola, kterou médium na své pouti výrobní linkou potká. Spektrofotometrem se tady kontroluje vyrovnanost vrstvy barviva, jeho dostatečnost, zda se na médiu nenachází mapy, či jiné optické nedostatky. Zároveň se také měří kompatibilita s vlnovou délkou, kterou se z něho bude číst nebo zapisovat. Zde se média vydávají na další cestu k poslednímu výrobnímu procesu, (viz obrázek 5.5.5).



Obr. 5.5.5

Během tohoto putování, které jim trvá asi půl hodiny, jsou zahřáté na 90 °C, čímž se náležitě vysuší nanesené barvivo (dojde k odpaření všech rozpouštědel, jeden z hlavních vlivů na životnost a trvanlivost). Médiu tedy ještě chybí odrazivá vrstva. Ta se nanáší v tzv. metalyzéru. Provádí se naprášením. Je to zajímavá metoda. Na stříbrném targetu (tak se tomu říká, ale je to v podstatě stříbrný monolit), ze kterého se argonem "odstřelí" drobné částičky stříbra, které se takto napráší na barvivo. Obdobně se dá použít i zlato, ale vzhledem k ceně, se již dnes používá velmi zřídka. Takto stříbrem "potažené" médium se přelakuje UV lakem, který se pod UV lampou vytvrdí. Ještě před odebráním z linky se provádí kontrola pokovení a laku. Jeho homogenita, zda v laku nejsou bublinky a závěrečná kontrola fotocitlivé vrstvy. No a médium je hotové! Na obrázku 5.5.6 můžete vidět vpravo čistý polykarbonátový základ s předlisovanou drážkou, uprostřed je už médium s vytvrzeným barvivem a vlevo pak už finální nalakované a stříbrem pokovené CD-R.



Obr. 5.5.6

5.6 CD-RW

Přepisovatelné disky CD-RW jsou dalším pokračováním kompaktních disků. Stejně jako u jiných kompaktních disků je jako nosné médium použit drážkovaný polykarbonátový substrát, na kterém je nanесeno několik vrstev, z nichž ta nejdůležitější je slitina Ag-In-Sb-Te. Protože princip jejich čtení je shodný s jinými typy CD, i zde se musí využívat různé odrazivosti materiálu. Slitina při běžné teplotě může setrvávat ve dvou stavech - amorfním a krystalickém. Při čtení míst s krystalickou fází laser prostoupí až k reflexní vrstvě a odrazí se, zatímco v místech s amorfni fází se rozptýlí.

Zápis na CD-RW se provádí laserovým paprskem s vlnovou délkou 780 nm nebo 650 nm, který ohřeje slitinu aktivní vrstvy na teplotu 500 °C – 700 °C. Slitina se tak velmi rychle začne tavit a při následném ochlazení dojde k fázové přeměně do amorfního stavu.

Mazání média se provádí zahříváním slitiny pod teplotu tání avšak nad krystalizační teplotu (200 °C) po dostatečně dlouhou dobu. Po ochlazení se fáze slitiny navrátí zpět z amorfni do základní krystalické, a médium se chová jako prázdné. Tato technologie opakovaných teplem vyvolaných změn fáze slitiny Ag-In-Sb-Te se nazývá „Phase Change“.

Disky CD-RW se výborně hodí na dlouhodobé zálohování, neboť garantovaná doba životnosti bývá uváděna nad 30 let. Bohužel však v tomto případě vychází cena uloženého megabajtu dat dost vysoko, a proto je pro dlouhodobé zálohy lepší použít levnější, avšak stejně odolná média CD-R. Na krátkodobé zálohy, případně zálohy, které se musí často nahrazovat novými verzemi, zvláště s důrazem na možnost čtení v moderních CD-ROM mechanikách, jsou CD-RW disky tím nejlepším řešením.

Následné čtení je stejné jako čtení disků CD-ROM nebo CD-R, jen s tím rozdílem, že čtecí mechanika musí být uzpůsobena k práci s médii s nižší odrazivostí. Touto vlastností jsou vybaveny všechny nově prodávané CD-ROM mechaniky.

5.7 DVD

Malá kapacita média byla jedním z hlavních důvodů pádu vlády CD. Z tohoto důvodu výrobci věnovali značné množství energie i finančních prostředků na vývoj technologie, která dokáže zaznamenat informace do dvou vrstev na jednom médiu. Jedním z nejvýznamnějších výsledků vědeckotechnického vývoje na konci dvacátého století je multimediální digitální technologie DVD. Akronym DVD byl původně interpretován jako DIGITAL VIDEO DISC. Světoví výrobci, kteří se dohodli na jednotném a závazném standardu tohoto media, se později rozhodli pro výstižnější výklad zkratky DVD, a to DIGITAL VERSATILE DISC (digitální všestranný disk). To daleko lépe vystihuje všestranné a rozsáhlé možnosti DVD jako universálního media, které nemá v lidské historii obdoby. Dá se totiž použít nejen k záznamu hlasu, obrazu a grafiky, ale také počítačových dat, a to ve špičkové digitální podobě. Toto medium vytvořilo most mezi dosud rozdělenými světy výpočetní techniky a spotřební elektroniky.

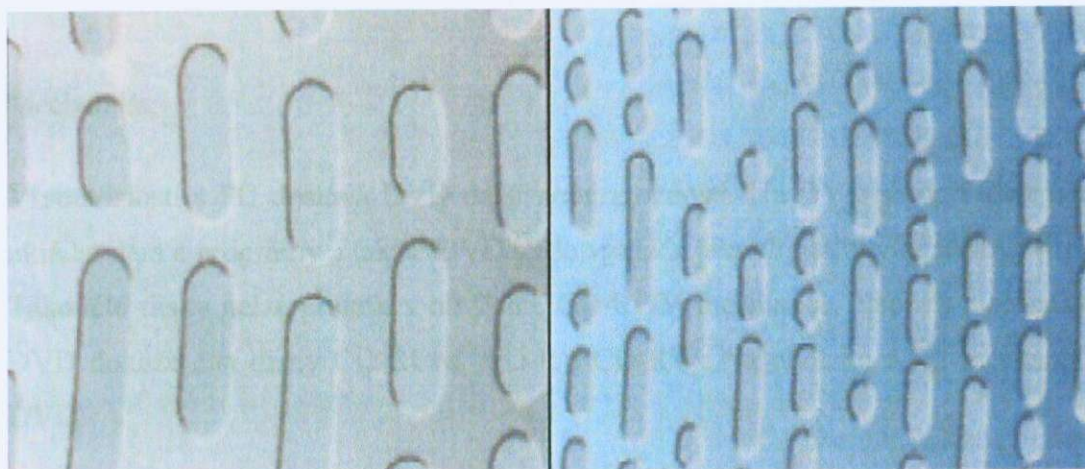
Způsob záznamu je jednoduchý, ale vyrobit médium, které by stoprocentně fungovalo, byl už problém. Data se zaznamenávají do dvou vrstev na jedné straně média. Zápis probíhá nejdříve do spodní vrstvy (L0), princip záznamu je stejný jako u jednovrstvého média. Pak se laser zaostří na horní vrstvu (L1), paprsek musí mít dostatečnou sílu, aby prošel přes první vrstvu.

Vše je obslouženo upraveným firmwarem vypalovací mechaniky. Kapacita média je dvojnásobná (8,5 GB).

Základní údaje:

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 $0,4\text{ }\mu\text{m}$ místo $0,834\text{ }\mu\text{m}$ a jejich vzdálenost je $0,74\text{ }\mu\text{m}$ místo $1,6\text{ }\mu\text{m}$. Díky tomu nám záznamová kapacita mnohonásobně narůstá (až 15,8 GB oproti 650 MB). Kvůli tomu byla zkrácena i vlnová délka paprsků snímacího laseru

ze 760 nm na 650 až 635 nm. Stejně jako CD je i DVD odolné proti magnetickému poli, není se přehráváním a jednoduše se skladuje.



Obr. 5.7.1 Velikost a rozteč záznamových prohlubní (pitů) na disku CD (vlevo) a DVD (vpravo)

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 (organizace výrobců hardwaru). 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 mm a 120 mm). Na každé medium lze uložit záznam na dvou stranách ve dvou vrstvách. V případě 120 mm disku se tedy jedná o :

- a) DVD 5 – jednostranný jednovrstvý disk s celkovou kapacitou 4,4 GB
- b) DVD 10 – oboustranný jednovrstvý disk s celkovou kapacitou 8,8 GB
- c) DVD 9 – jednostranný dvouvrstvý disk s celkovou kapacitou 8,1 GB
- d) 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

Mechanika:

V souvislosti s PC dostává DVD další nové možnosti. Na DVD se dají totiž také ukládat data a programy a tak se DVD spíše vykládá jako digitální víceúčelový disk. Takovéto disky nelze přehrát v obyčejné CD-ROM mechanice. Naopak mechanika DVD dokáže číst disky CD-ROM, CD-R i CD-RW. Na obrázku 5.7.2 mechanika DVD.



Obr. 5.7.2

Zabezpečení DVD:

Filmové a distribuční společnosti se rozhodly, že kvůli snížení nelegálních kopií budou jejich disky opatřeny speciálním kódem, který zajistí, že disky určené pro americký trh nebude nikdo nelegálně prodávat v Evropě. Vzniklo tak celkem šest regionů, které dostaly svůj kód. DVD mechanika při vložení disku automaticky detekuje kód země. Jestliže kód disku souhlasí s kódem mechaniky, disk lze přehrát.

Většina mechanik má možnost si tento kód 5 krát změnit. Po vyčerpání počtu změn už zůstává kód natrvalo uložen v mechanice a nelze ho změnit. Existují také DVD mechaniky, které kódy DVD disků ignorují. V následující tabulce 5.7.3 je uveden seznam regionů a příslušných kódů.

Tabulka 5.7.3

kód země	oblast
1	USA, Kanada
2	Evropa, Japonsko, jižní Afrika, Střední východ
3	Tchaj-wan, jihovýchodní Asie
4	Austrálie, Nový Zéland
5	Střední a Jižní Amerika
6	Čína
0	bez kódu země

5.8 DVD-R

Je technologie založena na konceptu CD-R (Compact Disc – Recordable (schopnost zapisovat)). 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 9x základní přenosové rychlosti CD – ROM.

Záznamové médium se skládá z několika vrstev:

- a) čirý substrát
- b) záznamová
- c) odrazová
- d) ochranná
- e) adhezni

Zápis se provádí na záznamovou vrstvu vysoce výkonným laserem. Vrstva na disku má na sobě připraveny značky pro snadné navádění laseru. Dále je tento druh zápisu shodný se zápisem na CD – R (kapitola 5.1).

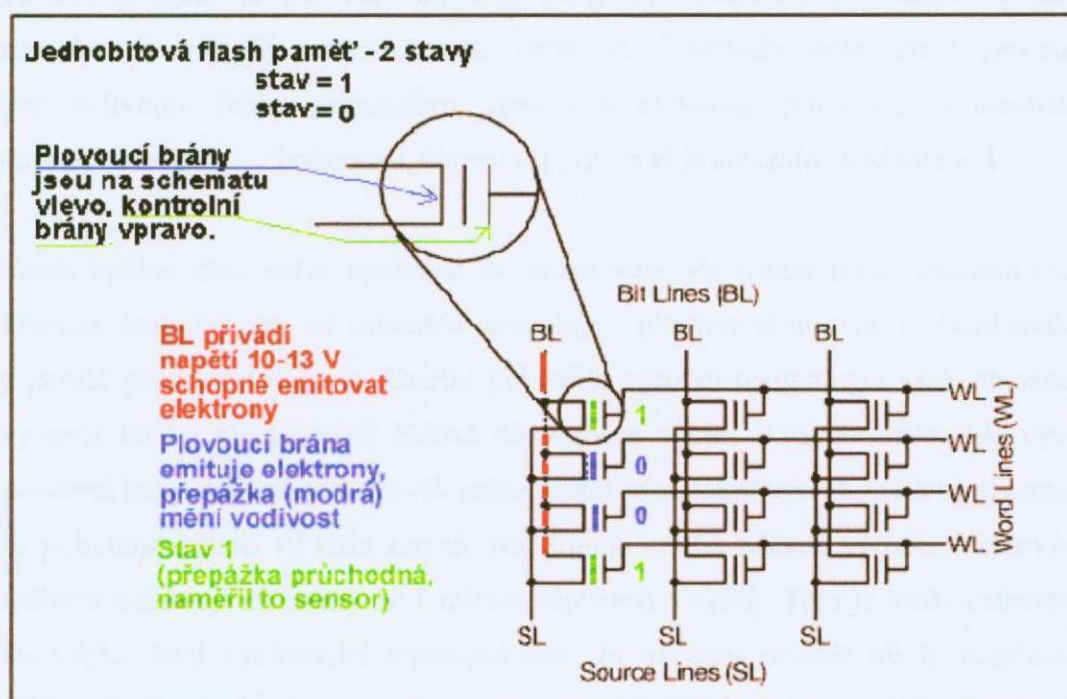
5.9 DVD-RW

Princip zápisu je podobný jako na CD-RW. Na polykarbonátovém disku je nanesena vrstva látky, která může měnit strukturu z krystalické na amorfni a zpět. Jestliže se tento materiál zahřeje na teplotu 600 °C a nechá ochladnout změni strukturu z krystalické na amorfni. Nechá-li se materiál ohřát laserem "jen na 200 °C" a vychladnout, změni se struktura na krystalickou. Místa s amorfni strukturou odráží méně a jsou to tudíž logické 0. Podrobněji v kapitole 5.6.

6. Paměti typu flash (elektronický záznam)

Stav 1 se změní na stav 0 procesem zvaným Fowler-Nordheimovo tunelování. Elektrický náboj o síle 10 V - 13 V se přivádí z **bitové linky** - ta je osou sloupce (bit line) do plovoucí brány. Zde dochází k efektu podobného funkci **laseru** : dochází k **excitaci elektronů**, které jsou emitovány do křemíkové přepážky a dodají jí negativní náboj. Jakmile se to stane, přepážka **vytvoří bariéru** mezi kontrolní a plovoucí bránou, křemíková vrstva **přestane být vodivá**. Speciální **senzor** měří elektrický stav buňky. Jakmile je elektrická propustnost přepážky mezi oběma branami větší než padesát procent náboje, senzor hlásí hodnotu **1**. Jakmile propustnost klesne pod padesát procent, senzor hlásí hodnotu **0**.

Nepopsaná paměť má všechny brány otevřené, všechny mají hodnotu 1. EEPROM paměti zapisují data buňku po buňce, tedy bit po bitu, kdežto flash paměti mají buňky sdružené do bloků. To není jediné specifikum flash paměti. Paměť EEPROM potřebuje být aspoň pod minimálním proudem, aby udržela data (např. předvolby ve vašem autorádiu; jakmile odpojíte baterku, předvolby ztratíte). Flash paměť jak ji známe z karet v digi - fotoaparátu nemusí být pod proudem.



Obr. 6.1

Z uvedeného schématu obrázek 6.1 je patrné, že tedy jde o vysoce integrované obvody, nikoli o magnetické médium, které by mohlo být porušeno elektromagnetickým nebo jiným zářením (působením mobilních telefonů, detekčními rámy na letišti a pod.). Jak vidno, k vyvolání paměťového efektu je třeba cíleného náboje o specifické energii, aby křemíková vrstva buňky změnila svůj stav. Nějaké náhodné "smazání" je vyloučeno a flash paměť je v tomto ohledu odolnější, než diskety. K poruchám dochází zejména tehdy, pokud je karta užívána v různých přístrojích (např. ve fotoaparátu a MP3 přehrávači), kde dochází k častému poškození dat.

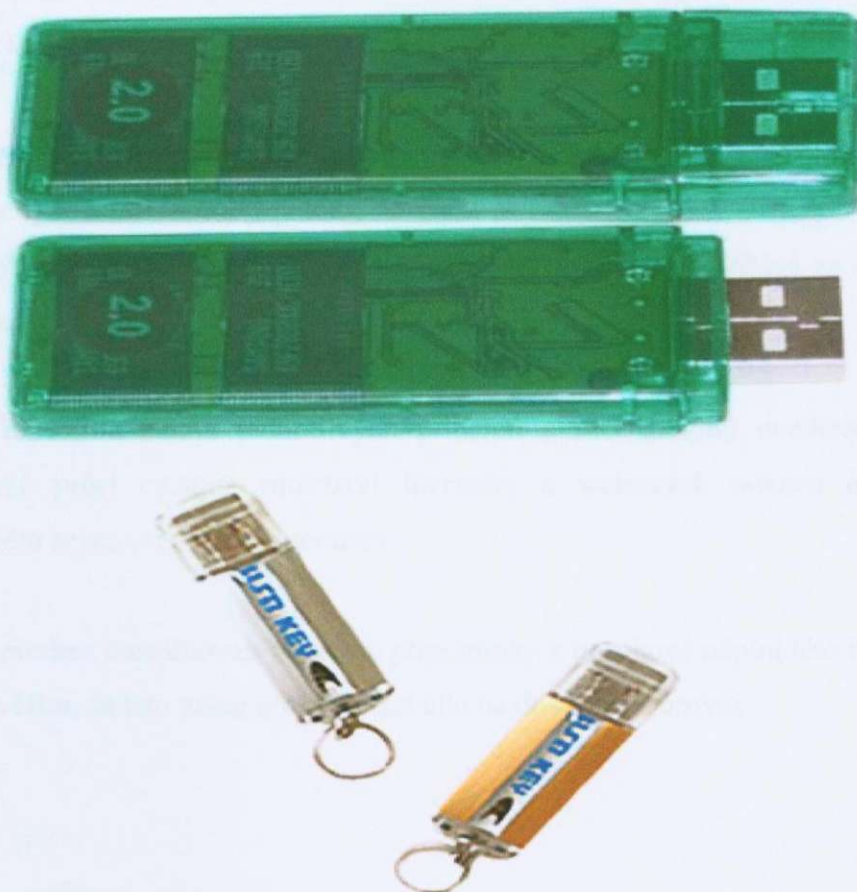
Paměťová buňka:

Paměťová buňka je jeden speciální **MOSFET tranzistor**, který má svoje gate rozdělené na dvě části. Kontrolní, která je spojena s ovládacím vstupem, a plovoucí, která je od kontrolní oddělena izolační vrstvou. Samotná izolační vrstva oddělující plovoucí gate od tranzistoru je ze speciální izolační vrstvy umožňující tunelování elektronu skrz gate i za určitých podmínek.

Paměťový efekt je založený na tom, že pokud elektrony proniknou na gate, nemohou z něj již samy od sebe uniknout. Elektrické pole, které generují, pak ovlivňuje funkci tranzistoru. Jsou - li elektrony přítomné, je tranzistor naprogramovaný - v hodnotě 0, nejsou - li přítomné je smazaný, hodnota je 1.

Tento cyklus však nelze opakovat do nekonečna. Po jistém počtu smazání oxid křemíku izolující gate od substrátu degraduje - přestane plnit svojí izolační funkci a paměť přestane fungovat. Dnešní pokročilé výrobní technologie však umožňují vytvořit buňku která vydrží řádově až statisíce cyklů. V tomto směru jde vývoj poměrně kupředu a stále se člověk může setkat se staršími výrobky jejichž životnost se pohybuje kolem 10 tisíc zápisů. Na druhou stranu někteří výrobci koncových zařízení deklarují životnost až 1 milion zápisových cyklů. Toto je však nadsazený zavádějící údaj vycházející z předpokladu, že uživatel nebude nikdy přepisovat celou paměť.

Jelikož samotný čip je malinký a konektor USB také nepatří mezi největší, je vzniklé zařízení vsutku miniaturní - velikosti přívěsku na klíče (obrázek 6.2) a přitom s kapacitou až velmi slušných 2GB s výhledem na další zvyšování.



Obr. 6.2

Novinka

Intel vyvinul buňku, která si je schopna zapamatovat 4 stavy a díky tomu může efektivně zdvojnásobit hustotu uložených dat na čipu. Základní princip spočívá v tom, že uzavření tranzistoru lze nastavit a kontrolovat přesněji nežli pouze - otevřeno a zavřeno.

7. Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl vysvětlit z širšího hlediska fyzikální principy, kterých se využívalo a nebo se stále využívá k záznamu zvuku, tak aby i čtenář, který je neobeznámen s těmito oblastmi fyziky, mohl poměrně rychle a nenásilně si udělat vlastní názor a představu o těchto principech a jejich následném využití v praktickém životě.

Dále tato bakalářská práce měla přínos i pro mne samého, jakožto studenta oboru: *měřicí a výpočetní techniky* v tom, že jsem si rozšířil vlastní znalosti v pro mne zajímavých oborech fyziky a vytvořil si tak i nový praktický náhled na tuto celou problematiku.

K ještě hlubšímu studiu jednotlivých principů a mechanismů uvedených v této bakalářské práci existuje množství literatury a webových odkazů uvedených v přilehlém seznamu použité literatury.

Děkuji předem čtenářům za případné připomínky k obsahové náplni této bakalářské práce a věřím, že tato práce plní vytčené cíle na dostatečné úrovni.

8. Literatura

- [1] Branislav L.: Současnost a perspektivy optických pamětí,
Dům techniky ČS VTS Brno
- [2] Dušek K.: Záznam a reprodukce zvuku – 1970, ČVUT - Praha
- [3] Dušek K.: Záznam a reprodukce zvuku – 1974, ČVUT- Praha
- [4] Golan P.: Přehrávače a snímače desek jako paměti CD-ROM,
Dům techniky ČS VTS Brno
- [5] Hoff F.: Optické záznamové prostředí, Academia
- [6] Kaduch M.: Záznamová technika hudby XX. století -1982,
Městské kulturní středisko [Ostrava]
- [7] Kučera P.: Integrace optických pamětí do výpočetního systému,
Dům techniky ČS VTS Brno
- [8] Šnorek, M.: Periferní zařízení, skripta ČVUT Praha -1989
- [9] Špička J.: Přehrávače a snímače desek CD jako paměti CD-ROM,
Dům techniky ČS VTS Brno

Webové adresy:

<http://diginet.cz/index.html>

<http://fonoklub.wz.cz/dig.htm>

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Gramofon>

<http://www.volny.cz/mills1/zvuk/mgzazn.htm>

http://vedci.wz.cz/Osobnosti/Edison_T_A.htm

http://sweb.cz/elnika/magnetofony/mag_zazn.html

<http://www.multiweb.cz/playa/ostatni/magnetak.htm>

http://wikipedia.infostar.cz/s/so/sound_recording.html

<http://www.marianskelazne.com/Cz/TechMuz/radio.htm>

<http://www.gvp.cz/local/new/ucebnice/vyptech/hardware/disky.htm>

http://sipvz.spse.cz/www/prace/ondrejova/index/hlasitost_a_intenzita_zvuku.html