

Historie a současnost záznamu filmového zvuku

David Bednařík

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací
Ústav produktového designu
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David BEDNAŘÍK**

Studijní program: **B 8206 Výtvarná umění**

Studijní obor: **Multimedia a design**

Téma práce: **Historie a současnost záznamu filmového zvuku**

Zásady pro vypracování:

1. Historie záznamu zvuku
2. Rozdělení podle způsobu záznamu zvuku
3. Analogový záznam (mg pás, mg perforovaný záznam)
4. Digitální záznam -- páskový, diskový
5. Synchronizace zvukového záznamu s obrazem
6. Celkový rozsah bakalářské práce je minimálně 25 normostran textu (ve formátu PDF na 1 ks CD nosiči, 1 ks pevná vazba v tištěné podobě) a film na DV a DVD - 1 ks

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Film a filmová technika: O. Levinský, Dr.A.Stránský, SNTL 1974

Záznamová technika: Sborník přednášek Tesla Pardubice, 1966

Praktická elektroakustika: C. Smetana a kol., SNTL 1981

Zpracování a záznam signálu: doc. Bašta, Skripta, Praha: ČVUT 1999

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Ján Grečnár, ArtD.

Ústav animace a audiovize

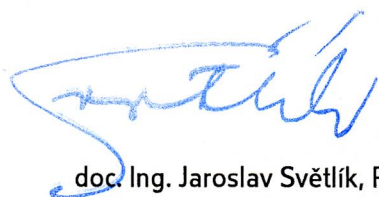
Datum zadání bakalářské práce:

7. ledna 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

9. května 2008

Ve Zlíně dne 1. dubna 2008



doc. Ing. Jaroslav Světlík, Ph.D.
děkan



ak. mal. Šárka Šišková
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Způsoby záznamu zvuku u filmu z hlediska technického a technologického, přehled nejpo-
užívanějších zařízení, standardů a norem pro zpracování, jak kontaktního, tak postpro-
dukčního zvuku.

Klíčová slova:

Historie záznamu zvuku, analogový signál, mechanický záznam, optický záznam, magne-
tický pás, digitální signál, vzorkovací frekvence, bitová šířka, Nyquist-Shannon-
Kotělnikovův teorém, CD, kniha formátů, magnetické nosiče, optické nosiče, synchronizace
zvuku a obrazu, časový kód.

ABSTRACT

Methods of the film sound engineering. Overview of equipments and standards for audio
processing.

Keywords:

History of the film sound recording, analog signal, mechanical recording, optical sound
track recording, magnetic tape, digital signal, sampling frequency, bith depth, Nyquist-
Shannon-Kotelnikov Theory, CD, format book, magnetic data medium, optical data medi-
um, video and sound synchronization, time code.

Děkuji všem, kteří byli ochotni věnovat svůj čas a pomohli mi zorientovat se v problematice mé bakalářské práce. Jmenovitě jsou to:

pan Novotný - pedagog - historie zvuku ve filmu

pan Křemének - programátor - analogový a digitální signál

pan Javořík - mistr zvuku - praxe záznamu zvuku

pan Bobek - mistr zvuku - praxe záznamu zvuku

OBSAH

ÚVOD	8
1 HISTORIE ZÁZNAMU FILMOVÉHO ZVUKU	9
2 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU ZÁZNAMU ZVUKU	14
3 ANALOGOVÝ ZÁZNAM	14
3.1 MECHANICKÝ – GRAMOFONOVÝ ZÁZNAM.....	14
3.2 OPTICKÝ ZÁZNAM.....	16
3.2.1 Historie.....	16
3.2.2 Nevýhody a výhody optického záznamu a reprodukce.....	18
3.3 MAGNETICKÝ ZÁZNAM.....	20
3.3.1 Historie.....	20
3.3.2 Magnetický pásek.....	21
3.3.3 Magnetická aktivní vrstva.....	22
3.3.4 Magnetická hlava.....	22
3.3.5 Záznam sinusového signálu.....	22
3.3.6 Rozdělení nosičů, šíře pásů, rychlost záznamu.....	23
3.4 VÝHODY MAGNETICKÉHO ZÁZNAMU.....	23
3.5 NEVÝHODY ANALOGOVÉHO ZÁZNAMU.....	24
4 DIGITÁLNÍ (ČÍSLICOVÝ) ZÁZNAM	25
4.1 PRINCIP.....	25
4.2 HISTORIE.....	25
4.3 VZORKOVÁNÍ SIGNÁLU.....	26
4.3.1 Aliasing.....	27
4.3.2 Bitová šířka.....	27
4.3.3 Kvantizační chyba.....	28
4.3.4 Výhody digitálního signálu.....	29
4.4 UCHOVÁNÍ DIGITÁLNÍHO SIGNÁLU.....	29
4.5 CD-ROM – KNIHY FORMÁTŮ.....	29
4.5.1 CD-DA.....	30
4.5.2 CD-ROM.....	30
4.5.3 CD-I.....	31
4.5.4 CD-R.....	31
4.6 PODSTATA ZÁPISU DAT.....	32
4.6.1 CD-RW magnetooptický disk.....	33
4.6.2 minidisc MD.....	34
4.6.3 R-DAT.....	34
4.6.4 S-DAT.....	35
4.6.5 DASH.....	35

4.7	HARD DISC	36
4.8	FLASH PAMĚŤ, FLASH DISC.....	36
4.9	BLUE RAY	36
5	SYNCHRONIZACE OBRAZU A ZVUKU	36
5.1	HISTORIE	36
5.2	ČASOVÝ KÓD SMPTE-EBU	38
	ZÁVĚR.....	39
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	40

ÚVOD

Kinematografie je už ze své podstaty syntetické a interdisciplinární umění, tvůrčím způsobem využívající především svou schopnost pojímat a nově transformovat okolní mediální formy. David Bordwell to nazývá „principem funkční ekvivalence“. V dějinách filmu podle něj „plní jednotlivá technická zlepšení a nové stylistické prostředky funkce, které v něm byly naplňovány již dříve jinými prostředky, aniž by se měnila podstata systému jako takového.“ [1]

Prakticky již přes sto let je pouto mezi divákem a filmem neměnné, ačkoliv se radikálně vyvíjí přístupy a prostředky, jimiž je tento vztah upevňován. Přesto muselo filmové řemeslo o své příznivce několikrát tvrdě bojovat. Vždyť o „konci filmu“ se apokalypticky mluvilo sv době nástupu zvuku, v prvních letech rozmachu televize i později videa. Snahou filmových producentů je neustálá snaha dosáhnout různými progresivními technologickými prostředky toho, aby filmová projekce byla skutečným zážitkem na hranici fikce a skutečnosti. Fakt, že lidé chodí rádi do kina je nejlepším důkazem..

V mé bakalářské práci se zaměřuji na způsoby záznamu zvuku u filmu z hlediska technického a technologického od konce 19. století do dnešní doby. Předkládám letmý přehled nejpoužívanějších zařízení, standardů a norem pro zpracování, jak kontaktního, tak postprodukčního zvuku.

1. HISTORIE ZÁZNAMU FILMOVÉHO ZVUKU

Už od počátků kinematografie, v éře němého filmu, bylo snahou filmových producentů dát oživajícím fotografiím řeč a ostatní akustické projevy skutečného světa. To se původně uskutečňovalo těmito způsoby:

- **mluvené slovo** - tedy přítomnost „vypravěče“, živého člověka, který film doprovázel slovním projevem (u nás známý Ponrepo - vlastním jménem Dismas Šlambor);
- **živé hudební představení** - tedy přítomnost hrajících hudebníků, v počtu od jednoho pianisty, přes komorní seskupení, až k celým orchestrům;
- **zvukové efekty** - k výrobě zvukových efektů sloužily různé nástroje a přístroje, které se mohly podobat například těm používaným v divadle;
- **představení živých herců** - herec zde mohl být jeden, nebo jich mohlo být několik (například jeden pro každou postavu filmu), mohli být za plátnem, nebo také před ním. Ve Spojených státech například existovaly profesionální společnosti herců, které cestovaly s jedním nebo více filmy;

[2]

Daleko významnější pro budoucnost filmu byla práce vynálezce na problému zachycení zvuku, jeho uchování a synchronní reprodukce s obrazem.

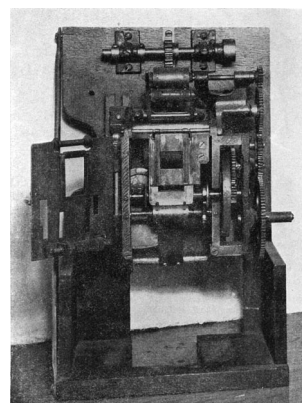
1877 - vynálezce T. A. Edison

▪ **fonograf** - přístroj určený k mechanickému záznamu a reprodukci zvuku. V tomto přístroji rozehvívaly zvukové vlny membránu spojenou a s rycí jehlou a tou se vtiskávaly drobné vrypy do cínové desky. Toto zařízení bylo velmi málo citlivé.

▪ **kinetofon** byl výsledkem jeho dalších prací - přístroj, který zachycoval a reprodukoval nejen pohybové dění odehrávající se před objektivem přijímací kamery, nýbrž i příslušný doprovod zvukový.



Edisonův fonograf
Zdroj: Wikipedia.org



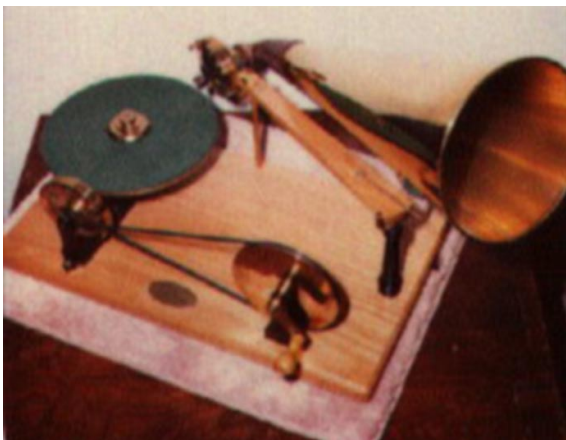
Mechanismus Edisonova kinetofonu - 1897
(sbírka Technického muzea v Praze)
Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž

1887 - Emil Berliner zaměnil váleček za plochou desku a navrhl také, jak se má jmenovat nový reprodukční přístroj:

- **gramofon** - deska umožňovala hromadnou výrobu a hrací doba byla 4 minuty.

V roce 1900 se už ve světě prodalo dva a půl miliónu desek, roku 1901 čtyři milióny a roku 1927 již 160 miliónů desek. Původní gramofonové desky se vyráběly pro 78 otáček za minutu; první série desek o 33 1/3 a 45 otáčkách za minutu přichází na trh teprve roku 1948 a o rok později i třírychlostní gramofon. Tehdy se užívají názvy LP deska a SP deska, používané dodnes.

[3]



Původní Berlinerův gramofon.

Zdroj: Wikipedia.org

Konec 19. století - francouz **Léon Gaumont** spojil pomocí dlouhé hřídele se setrvačником Edisonův fonograf s přijímací kamerou a dosáhl tak synchronního chodu obou přístrojů.

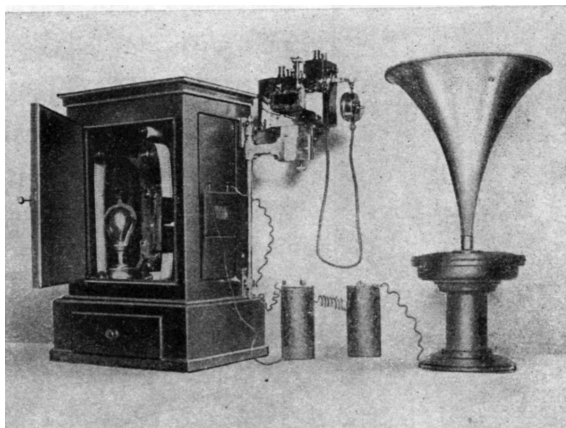
1903 - Němec **Oscar Messter** se rozhodl pro použití gramofonových namísto fonografických válečků. Roku 1903 patentoval synchronizační zařízení pomocí dvou elektromotorů. Zvuk nebyl neustále dostatečně silný, synchronizace však byla prakticky dokonalá. Svůj přístroj nazval **biofon**. O. Messter také zvýšil tempo natáčení i projekce ze vžitých 16 obrázků na 20 za vteřinu.

27. prosince 1910 - **Léon Gaumont** představil v Akademii věd v Paříži svůj přístroj nazvaný **chronofon**. Synchronizaci obrazových a zvukových přístrojů zajistil pomocí elektrického proudu a nahradil mechanický způsob zápisu zvuku elektrickým, který byl mnohem dokonalejší.

1908 - se pokusil o zápis zvuku nikoliv přímým způsobem, ale uměle pomocí vytvoření měděné matrice pro následné kopie.

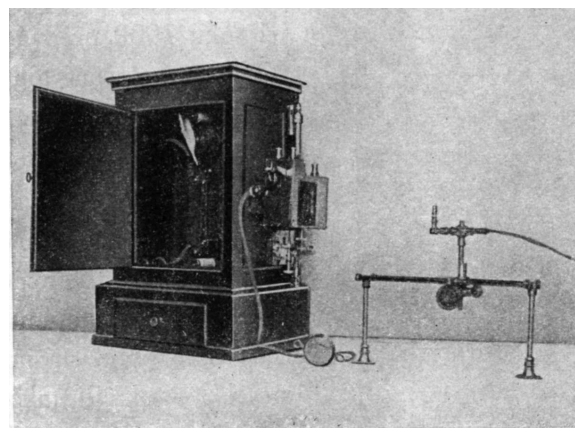
10. srpna 1907 - udělen patent na přístroj, který řeší záznam zvuku systémem fotografického zápisu akustických vln. Jeho otcem je Eugéne-Augustin Lauste, Edisonův spolupracovník. Princip byl v celku jednoduchý. K trubici hořáčku vydávající tenký, ostrý plamínek připojil další trubici zakončenou membránou. Dopadajícím zvukem se tato membrána rozkmitala a proměnlivý tlak zvuku rozkmital podle rytmu zvuku i plamínek. Zvuk se exponoval na filmovém páse jako vlnovka podle zmenšujícího nebo zvětšující se intenzity plamínku.

K reprodukci zvuku docházelo opačnou cestou. Světlo žárovky procházelo štěrbinou na fotografický záznam zvuku a odtud dopadalo na selénovou buňku. Podle toho, jak byl výběžek vlnovky vysoký, měnila se intenzita světla dopadající na buňku, ve které dochází k modulaci intenzity elektrického proudu. Elektrickým obvodem se změny proudu měnily v reproduktoru (amplionu) opět na zvuk.



Lausteův reprodukční přístroj. Selénová buňka byla prosvětlována elektrickou žárovkou. Vedle skříně se žárovkou a běžícím filmovým pásem jsou baterie a reproduktor.

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž



První model E. A. Lausteova přijímacího stroje na fotografický zápis zvuku z roku 1906. Zvuk zapisoval ostrý rozkmitaný plynový plamínek.

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž

1910 - Lauste konstruoval nový přístroj na principu z magnetovaného ocelového drátku rozkmitaného mikrofonním proudem mezi póly silného magnetu.

První přístroje pro přehrávání zvuku měly několik nedostatků:

- nebylo možné upravit jednou zaznamenaný zvuk
- čas nahrávek byl omezený na 2 až 3 minuty
- synchronizace s filmem byla náročná – používalo se mechanických hřídelí
- byly málo citlivé pro záznam
- neumožňovaly dostatečné zesílení

I. světová válka zásadně zpomalila další vývoj zvukofilmové techniky.

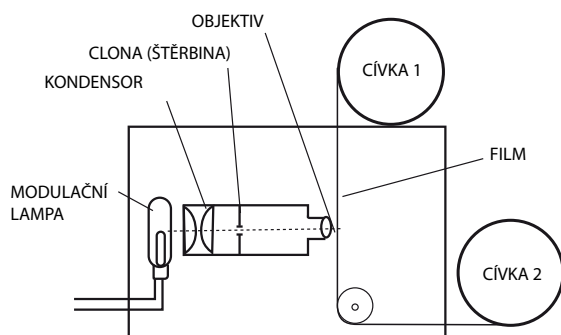
Rychlý rozvoj radiofonní techniky po válce, zdokonalování systémů záznamu a reprodukce, kdy byl zvuk (tedy změny tlaku vzduchu) převáděn na změny ve vlastnostech elektrické energie, a teprve tehdy zaznamenáván, vedl k nástupu synchronního zvuku.

V roce 1926 pak byly k dispozici čtyři vyhovující systémy:

- **Systém Gaumont - Petersen - Poulsen:** na zápis zvuku bylo využito celé šířky pásu mezi perforačními otvory. Natáčelo se tedy na dva synchronní pásy. Teprve později bylo docíleno světové dohody o rozměrech a umístění zvukového pásu. Pro zvukový záznam bylo vyčleněno 2,5 mm po levé straně obrazových políček.
- **Movietone - Američan W. Case:** fotografický zápis založený na proměnlivé intenzitě skleněné trubičky naplněné neonem, nebo jiným silně zářícím plynem. Zvuk je zapsán pomocí vodorovných hustších či řidších čárek, dle intenzity zvuku převedeného mikrofonním obvodem na proměnlivou světelnou intenzitu světelného paprsku neonové trubičky přes speciální objektiv na filmový pás.
- **Metoda Triergonfilm (Masolle, Vogt, Engel) - 1919:** Použili film o standardních rozměrech, po levé straně byl však zvětšený o sedm milimetrů, kde je umístěn zvukový záznam.
- **systém Vitafon - Warner Brother - New York:** užívají k zápisu zvuku gramofonových desek o průměru 40 cm a rychlosti 33, 1/3 otáček za minutu a zápisová spirála s rozvíjuje od středu desky k okraji. Reprodukce zvuku se děje elektrickými přenoskami. Slabý signál se upravoval lampovými zesilovači. Původní záznam zvuku se prováděl vždy fotograficky a pak se přepisoval elektricky do desek.

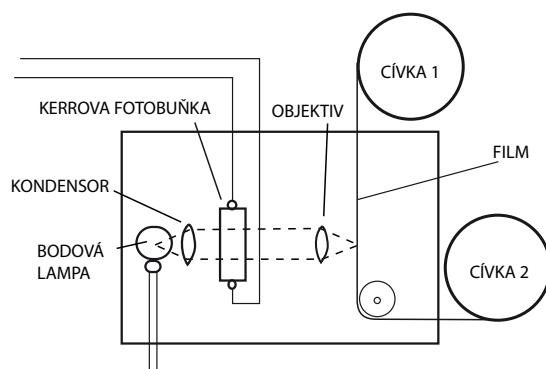
7. 8. 1926 předvedli Warner Brother v New Yourku svůj první celovečerní zvukový film Jazzový zpěvák. Toto datum znamená počátek zániku němého filmu.

[4] [5]



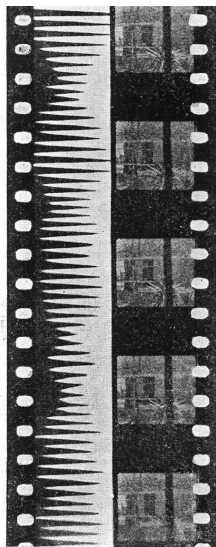
Zvuková kamera soustavy FOX MOVIE TONE

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž



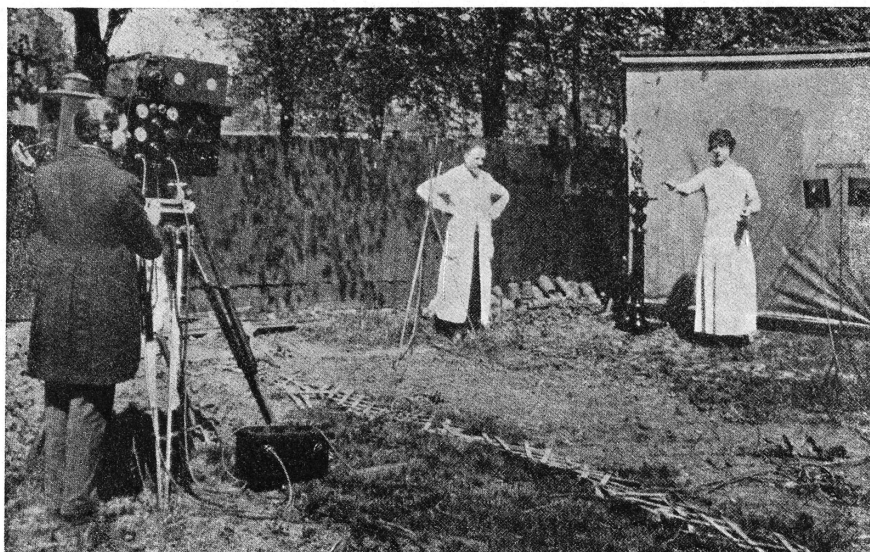
Zvuková kamera soustavy TOBIS - KLANGFILM

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž



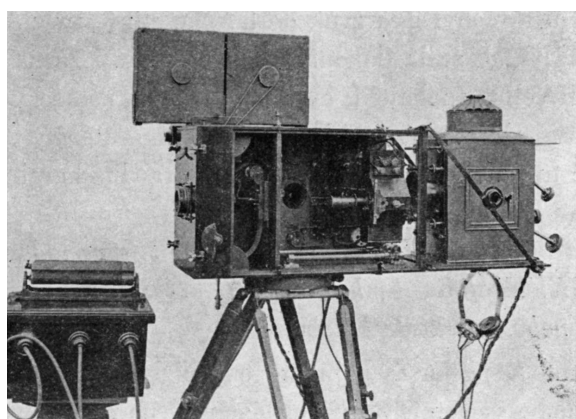
Jeden z prvních zvukových snímků z roku 1906 natočený systémem E. A. Laustea

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž



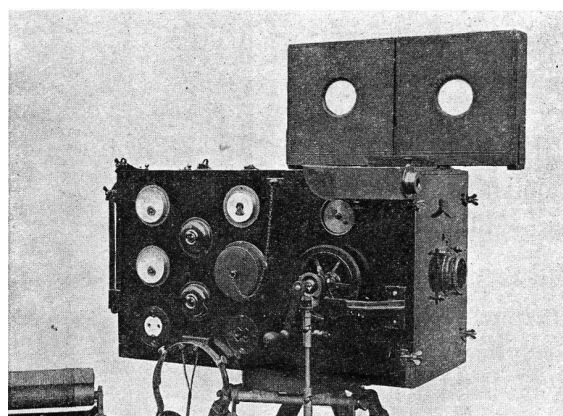
Natáčení zvukového snímku v roce 1910 systémem zapisujícím zvuk na film. E. A. Lauste je v pozadí v bílém plášti. Za kamerou je jeho syn. Mikrofony jsou zavěšeny napravo od zpěvačky

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž



Zdokonalený Lausteův zvukový přijímač (1910 - 1912)

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž

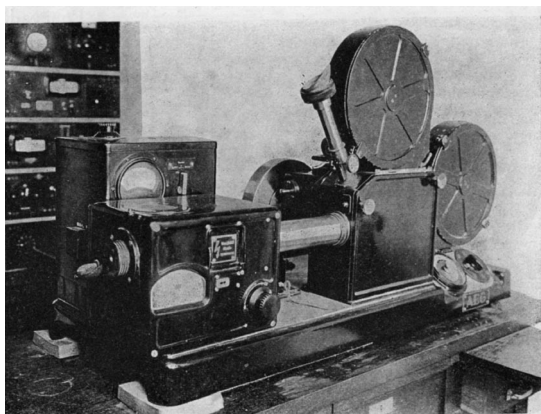


Boční stěna přístroje s měřicími a regulačními přístroji a kontrolními sluchátky.

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž

Přijímací aparatura systému Tobis-Klangfilm. Kasety pojmu 300 m citlivého filmu. Zvětšující okulár umožňuje pozorovat exponovaný zvuk

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž



Skříň zesilovačů s kontrolními, měřicími a regulačními přístroji zvukové aparatury Tobis-Klangfilm

Zdroj: Dějiny filmu K. Smrž

2. ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU ZÁZNAMU ZVUKU

Obecně je **záznam zvuku** definován jako uchování rychlých změn tlaku vzduchu v čase, kolem rovnovážného stavu (ticha), vyvolaných chvějícím se (znějícím) tělesem. Takové těleso je zdrojem zvuku, což je vlastně kontinuálně se měnící tlaková vlna. Tyto změny je nejprve nutné převést měničem na mechanické, častěji zpravidla na elektrické hodnoty signálu. Takto získaný signál jsme již schopni v čase zaznamenat a pak následně zpětně reprodukovat.

Signál můžeme zpracovávat:

- **analogově**
- **digitálně**

3. ANALOGOVÝ ZÁZNAM

Analogovým záznamem rozumíme uchování signálu ve spojitě formě, který má v daném časovém intervalu nekonečně mnoho hodnot.

Podle způsobu záznamu jej dělíme na:

- **MECHANICKÝ**
- **OPTICKÝ**
- **MAGNETICKÝ**

Záznam zvuku byl zpočátku pouze analogový mechanický a optický. Následujícím krokem bylo využití magnetických vlastností a zavedení páskových nosičů signálu.

3.1 Mechanický - gramofonový záznam

Gramofonový záznam uchovává zvukový signál jako mechanické změny ve tvaru drážky na nosiči, který nazýváme gramofonová deska. Jedná se tedy o tzv. **mechanický záznam**.

Předchůdcem gramofonového záznamu byl přímý mechanický záznam zvuku na voskový, později cínový válec.

Původní monofonní desky měly zvuk zaznamenaný ve svislém směru. Zvuk byl přenášen přímo z jehly rozkmitávané membránou, na kterou působily tlakové změny šířících se zvukových vln. Tyto gramofonové záznamy byly špatně srozumitelné – přehrávání se uskutečňovalo z přenosky na ozvučnici. Další nevýhodou byl slabý výkon.

*Nedostatkem tehdejšího zvukového systému bylo, že zvuk ozývající se z desek byl příliš slabý. Aby tento nedostatek odstranil, zavedl **Messter** systém pěti zároveň hrajících desek, zatímco **Gaumont** zesiloval zvuk gramofonu pomocí stlačeného vzduchu. Ale žádná z těchto metod nepřinesla výsledky opravdu uspokojivé. [6]*

Přesto je filmové společnosti používaly k ozvučení filmů. K tomu bylo nutné vyvinout různé způsoby synchronizace. Později E. Berliner, proti Edisonovu vynálezu, navrhl použít namísto hloubkového záznamu záznam stranový.

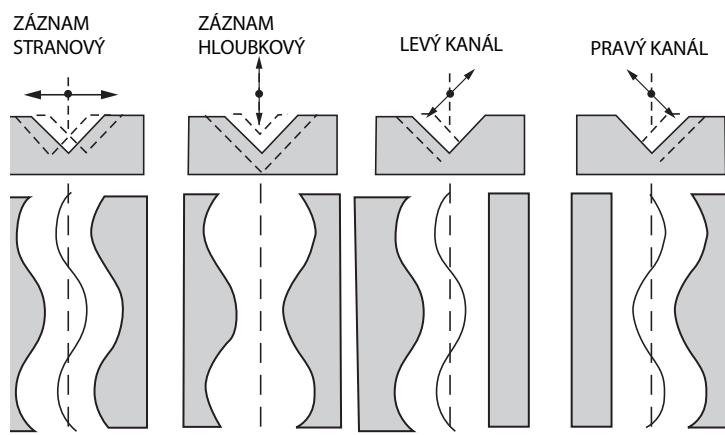
Další rozvoj radiotechniky vylepšil možnosti přenosových cest – snímací systém (přenoska + raménko). Původní kovové jehly známé z nejstarších gramofonů byly později nahrazeny **krystalovými vložkami** starších gramofonů. Nejnovější typy moderních gramofonů jsou dnes vybaveny **magnetodynamickými přenoskami**, které jsou velmi citlivé na každý byt i ten sebenepatrnější záchvěv gramofonové jehly resp. **gramofonové chvějky**.

Rozeznáváme přenosky

- **výchylové** (piezoelektrické či elektrostatické)
- **rychlostní** (elektromagnetické, elektrodynamické, magnetodynamické).
 - **monofonní přenosky** - stranový záznam
 - **stereo** - v podstatě stranový i hloubkový záznam pootočený o 45 stupňů – rozklad vektorů zjišťuje kompatibilitu s mono nahrávkou [7]

Velkou **nevýhodou je opotřebení drážky při opětovném přehrávání**, což se projevuje snižováním kvality záznamu.

V poslední době jsou gramodesky pro svůj charakteristický analogový zvuk opět předmětem zvýšeného zájmu.



Princip gramofonového záznamu

3.2 Optický záznam

Optický záznam se objevil v kinematografii v souvislosti se zaváděním zvukového filmu. Původní němé filmy byly doprovázeny živou hudební produkcí (malý orchestr nebo jen klavír), která operativně reagovala na dění na filmovém plátně. Dialogy a další komentáře obstaral přímo film formou titulků. Později se objevila snaha využít pro zvukový doprovod filmu gramofonu. Výsledky však nebyly pro nesynchronnost a špatnou kvalitu reprodukce dobré a tento způsob se příliš neuplatnil.

Podstatou optického záznamu je zápis zvuku fotograficky světlem přímo do citlivé emulze filmu.

3.2.1 Historie

1873 - Willoughby-Smith: objev a využití citlivosti selénu vůči světlu, který je základem této kategorie záznamu a reprodukce zvuku. Pokud dopadne na tento prvek světlo, stává se vodivým, a to tím silněji, čím intenzivněji je osvětlen.

1878 - Charles Blake: upevnil na membránu telefonního sluchátka zrcátko, na něž dopadal úzký svazek světla. Pokud se membrána rozkmitala, odražené paprsky od zrcátka vykreslovaly do citlivé vrstvy křivku, která svým charakterem odpovídala příslušnému zvuku.

1900 - 1904 - Eugène-Augustin Lauste: používal k záznamu zvuku proměnlivou intenzitu světla.

- pomocí **ostrého kmitajícího plamínku**, který rozkmitávala trubice s gumovou membránou, na niž dopadal proměnlivý tlak vzduchu v rytmu zvuku.

- Později **plamínek nahradil zrcátkem**, které rozkmitával elektrický proud z mikrofonu. Chvění kamery však velmi zkreslovalo zvuk, proto tuto metodu brzy opustil.

Po roce 1918 - Američan W. Case: vynalezl další systém optického zápisu zvuku. Svítící tělísko tvořené trubicí se silně zářícím plynem umístěné před úzkou štěrbinou s objektivem vytváří podle intenzity zvuku, potažmo intenzity světla v trubici, spoustu vodorovných čárek, hustších, řidších, temnějších nebo světlejších, které odpovídají zachycenému zvuku. Svůj vynález nazval **Movietone**.

1919 - Masolle, Vogt a Engel - Triergonfilm: užili podobný princip jako Case.

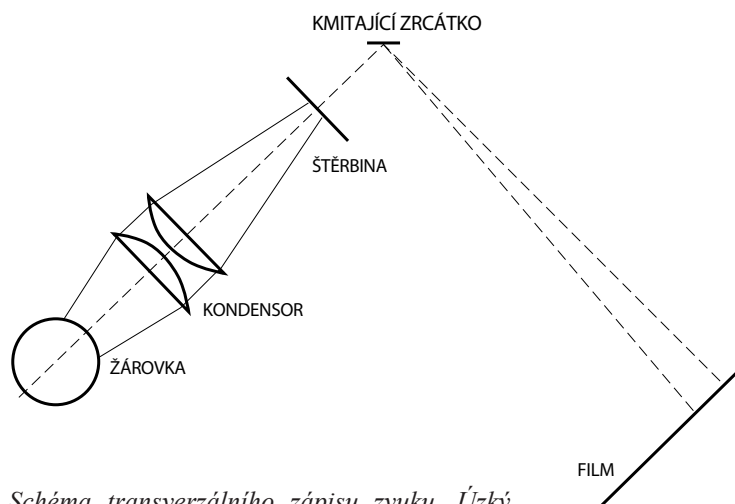
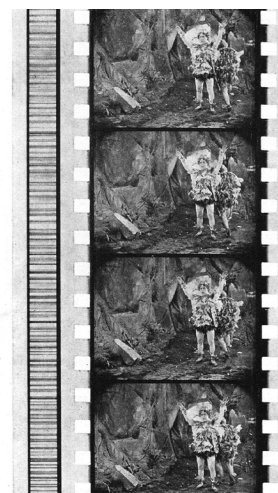


Schéma transverzálního zápisu zvuku. Úzký svazek světelných paprsků se odráží od zrcátka rozkmitaného mikrofonním proudem a kreslí zvuk do citlivé emulze filmu jako černobílou vlnovku.



Zvukový film systému Triergonfilm. Film je po levé straně širší o 7 mm, kde je umístěná zvuková hustotní stopa.

Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž

Optický záznam se postupně ustálil na transverzální metodě, která poskytovala kvalitnější zvukový obraz po vyvolání filmu pro postprodukční zpracování a následném pořízení finální kopie, než tomu bylo u intenzitní metody.

Osvit plošky zvukové stopy způsobuje světelná stopa vytvořená optickým systémem ve tvaru úzkého obdélníku.

- **Hustotní záznam** - jestliže se podle zaznamenávaného zvukového signálu mění celkové osvětlení ve světelné stopě. Tzn., že hustota zčernání (denzita) vyvolané emulze byla přímo úměrná okamžité hodnotě zvukového signálu. Praktické problémy, které se vyskytly v souvislosti s nestandardní gradací pozitivní kopie, způsobovaly značné zkreslení při reprodukci takového záznamu.
- **Kvazihustotní záznam** (nazývaný běžné hustotní) přinesl vylepšení - propustnost zvukové stopy je závislá na hustotě příčných kontrastních čárek ve zvukové stopě. Hustota čárek je pak závislá na okamžité hodnotě zvukového signálu, stejně jako tomu bylo u původního hustotního záznamu.
- **Plochový záznam** - část plochy stopy je bílá a část černá. Propustnost pak závisí na poměru těchto dvou ploch. V rytmu zvukového signálu se zakrývá část světelné stopy. V obou uvedených případech je propustnost stopy úměrná okamžité hodnotě zvukového signálu a základem je velmi kontrastní zvukový negativ, který zajistí kontrastní zvukovou stopu i na pozitivu. Tento má řadu variant, z nichž hlavní jsou **jednostranný, dvoustranný a víceřádkový**. [8]

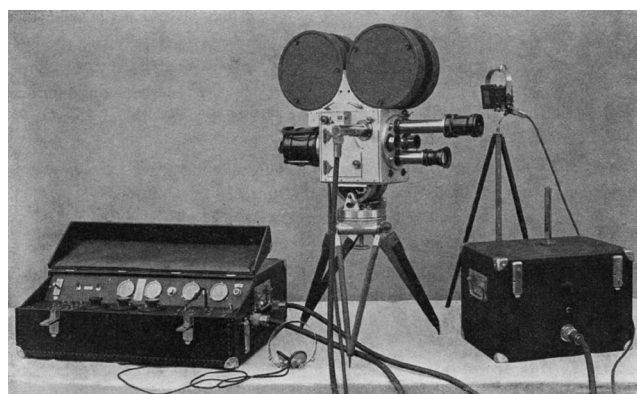
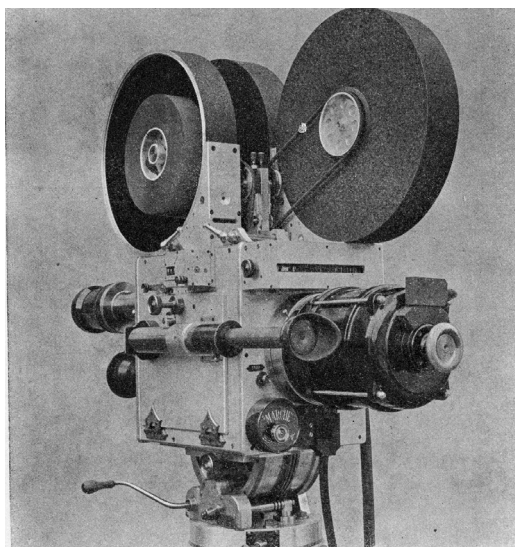


Schéma hustotního a transversálního jednostranného, dvoustranného víceřádkového optického analogového zápisu zvuku.

3.2.2 Nevýhody a výhody optického záznamu a reprodukce

Veškeré zvuky, ruchy, atmosféry, hudba a archivní pásy byly nahrána optickým systémem, včetně postsynchronů. To kladlo vysoké nároky na přípravu a dokonalé odzkoušení všech scén a hudebních nahrávek. Pak se natáčela jen jedna nebo dvě ostré, protože materiál a celkové zpracování bylo velmi drahé. Veškerý zkažený materiál se vyhazoval a musel být použitý nový.

Složité a nepohodlné způsoby natáčení vedly k dalším vylepšením. Jedním z nich bylo natáčení zvuku a obrazu ve dvou samostatných kamerách nebo pásech (oproti dřívějšímu záznamu v jediné kameře na jeden pás, tzv. „single-system“) a následná synchronizace pomocí klapky. Byla vyvinuta speciální filmová surovina vhodná pro záznam zvuku. A postupně začala převládat transversální metoda, která se zdála být mnohem výhodnější, než metoda intenzitní. Selénové buňky byly postupně nahrazeny fotoelektrickými články.



↑ Zvuková kamera přenosná s oddělenými kazetami.

← Přijímací přístroj Caméreclair s oddělenými filmy pro zvuk a obraz.

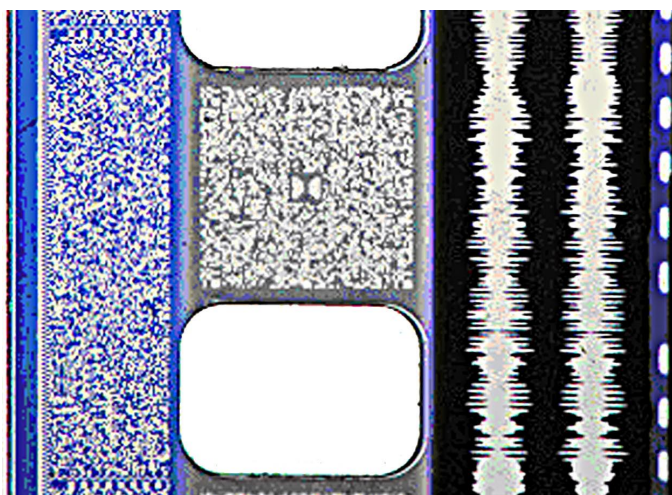
Zdroj: Dějiny filmu - K. Smrž

K záznamu zvuku se pro jeho nesporné výhody začalo užívat výhradně magnetických páسů.

Na rozdíl od záznamu se optický systém dodnes uplatňuje pro reprodukci na filmových kopiích distribuovaných do kin. Magnetické stopy, zavedené v roce 1953 u 35 mm filmu (Cinemascope – 4 stopy) a o dva roky později u 70 mm filmu (6 stop), které zajišťovaly ambiofonní (prostorový) zvuk se neosvědčily. Docházelo k praskání a odlupování magnetického polevu vlivem přehrávání v projektorech, kotouče byly těžké pro manipulaci a magnetický záznam byl často znehodnocován při transportu např. vlivem elektrické vlnkové trakce. Optický zápis se jevil z těchto důvodů jako ideální. Ten je realizován vedle obrazových políček jak v analogové podobě, tak v digitální formě.

Postupně byl také řešen další nepříjemný problém zvukových systému a tím byl **přirozený šum při reprodukci nahrávek**. Fyzikální vlastnosti, několikanásobné přepisy původních nahrávek, navíc špatně seřazené snímáče optické zvukové stopy a používání méně kvalitních předzesilovačů a koncových zesilovačů zapříčinily, že se z reproduktorů ozýval místo srozumitelného dialogu hlasitý šum, brum a praskání. Během 50. a 60. let minulého století docházelo k pozvolnému zlepšení odstupů úrovně hlasitosti vlastní nahrávky od úrovně šumu, tím, jak se vylepšovaly všechny články podílející se na zpracování signálu. Nicméně šum byl neustále přítomen ve velké míře a **rozsah dynamického pásma naopak velmi malý**.

Prvního znatelného vítězství nad šumem dosáhla v roce 1966 společnost **Dolby Laboratories** (založená **Rayem Dolbym** o rok dříve), kdy představila svoji první verzi elektronického filtru pro potlačení šumu s označením **Dolby-A**, tehdy ještě určeného pro profesionální studiové magnetické nahrávky. **Od roku 1970 se společnost začala zajímat i o zdokonalení filmového zvuku**. Dolby A dokázal snížit úroveň šumu od úrovně primární nahrávky až o -55 dB. U nejlepších aparatur bez tohoto filtru se to dařilo maximálně do -45 dB.



Mikroskopický snímek levé části 35 mm filmového políčka se zvukovými stopami.

Na snímku vidíme velmi zvětšené otvory děrování, mezi kterými je vidět jedno zvětšené pitové pole formátu Dolby Digital.

Vlevo je vidět souvislá pitová stopa záznamu SDDS a vpravo pak vidíme stereofonní dvoukanálový analogový záznam.

Vedle něj pak synchronizační stopu pro formát DTS. Za ní bychom už viděli zvětšené obrazové políčko filmu.

Zdroj obrázku: Wikipedia.org

Dolby Laboratories se nespokojily jen s kvalitním monofonním zvukem, ale povedlo se jim umístit do 3 mm širokého prostoru, určeného původně pro mono stopu analogového optického zvuku po straně obrazového pole, nejen stereo stopu, ale i speciálně kódovaný čtyřkanálový ambiofonní zvuk ve dvou stopách. Vznikl tak **Dolby System** a následně všechny jeho vylepšené verze (**Dolby Stereo**, **Dolby SR** - odfiltrování úrovně šumu od hladiny hlasitosti dialogu až o -100 dB, čímž se jako analogová nahrávka dostává na úroveň kvality nahrávky digitální., **Ultra Stereo**, od roku 1992 **Dolby Digital** používající kodek AC-3 se záznamem 5+1 zvukových kanálů). [9]

3.3 Magnetický záznam

Základním principem magnetického záznamu je střídavé magnetování nosiče záznamu - magnetického povrchu - magnetickou hlavou.

3.3.1 Historie:

V roce **1880** použil **Smith magnetické remanence ocelového drátu** jako prostředek pro uchování signálu. V roce 1888 tentýž vynálezce zveřejnil myšlenku nasytit pásek z bavlněných nebo hedvábných vláken malými částicemi železa, které by byly magnetovány. Realizace však vázla na technologických možnostech tehdejší doby.

S první praktickou i komerčně využitelnou metodou pro magnetický záznam zvuku nazvaný **Telegraphon přišel Poulen**. Využil nejprve kovový drát, později kovový pásek. Na dlouhá léta určil i elektroakustické parametry zápisu (kmitočtový rozsah 100 – 4000 Hz, odstup asi 25 dB. Mezi hlavní nevýhody patřila malá kapacita zaznamenaných informací na objemovou jednotku, což znamenalo i značnou váhu kotouče.

1921 - Nasarišvili - myšlenka použití poniklovaného papírového pásku jako nosiče - k praktické realizaci nedošlo.

1928 - Pflumer získal patent na vrstvý nosič, kde na pružnou podložku z papíru, celuloidu nebo podobného materiálu se nanese tenká vrstva magneticky aktivního práškového materiálu s pojidlem.

1933 - Kato a Takei vypracovali vlastní metodu získání magneticky aktivních pásků. Od poloviny 30. let ustupuje v Evropě záznam na ocelový nosič a byl zejména v Německu postupně vytlačován pružným páskem typu Pflumera, zatímco v USA si drát udržel rozhodující místo až do konce II. Světové války.

V 50. letech došlo ke kvalitativnímu skoku ve vývoji pružných pásků. Zvýšila se postupně

koercitivní síla pásků, která s sebou přinesla i změnu dalších parametrů. Zvyšoval se počet informací na objemovou jednotku, které vedlo ke snížení záznamové rychlosti (až na 2,4 cm/s, zúžení šířky nosiče až na 2,1 mm a stop pod 1 mm). Tenčí podložky a tenčí polev (6 mikrometrů a méně) umožnil zvýšení objemové kapacity informací a rapidně se zlepšovaly i ostatní důležité parametry. Byl zaveden orientovaný nosič s polem z jehličkových krystalů. Zmíněné kvalitativní zlepšování rozšiřovalo možnost využití magnetického páskového záznamu i v oblasti ukládání obrazového signálu a nově i jako nosičů informací ve výpočetní technice. Toto všechno způsobilo rychlou expanzi magnetického záznamu signálu do nejrůznějších oborů, jak z oblasti profesionálních technologií, tak do komerční spotřebitelské sféry masového trhu.

3.3.2 Magnetický pásek

je tvořen podložkou z plastické hmoty opatřenou **polem magnetické aktivní vrstvy**. Přebý původní nosiče ve formě ocelového drátu, magnetickou hmotou rozptýlenou v základním materiálu, papírové nosiče s magnetickou vrstvou se vývoj ustálil na podložce nejprve z acetylcelulózy. Ty byly postupně nahrazeny podložkami polyvinylchloridovými a nakonec polyesterovými. (tloušťka 8 – 75 mikrometrů). Ty mají řadu výhod pro použití. Nejsou závislé na vlhkosti a nemění vlastnosti při změnách teploty. Mají také velkou odolnost a pevnost při mechanickém namáhání. Profesionální pásky i filmy byly vyráběny z triacetátu celulozy.

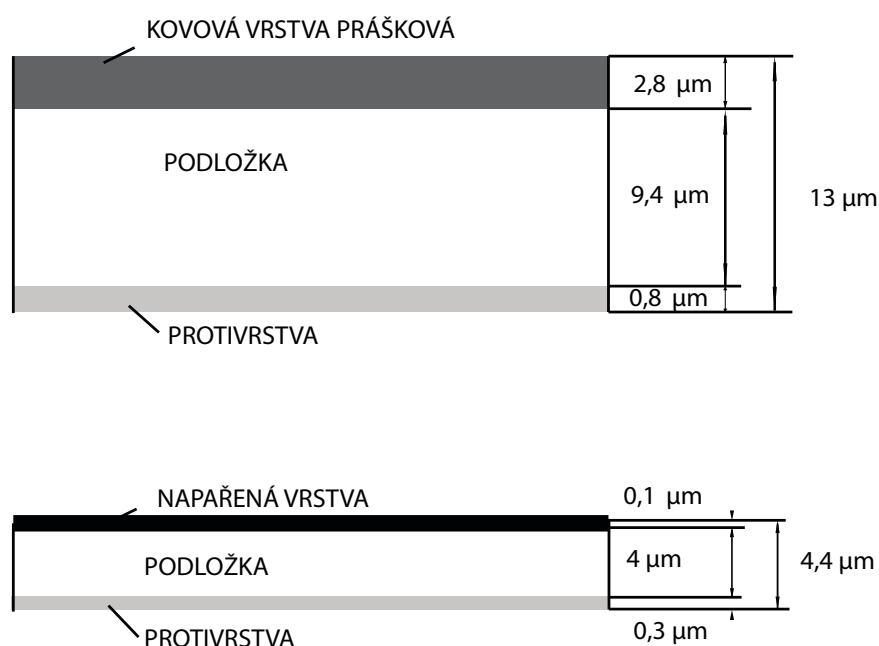


Schéma vrstev magnetického pásu. 1. Prášková vrstva 2. napařovaná vrstva

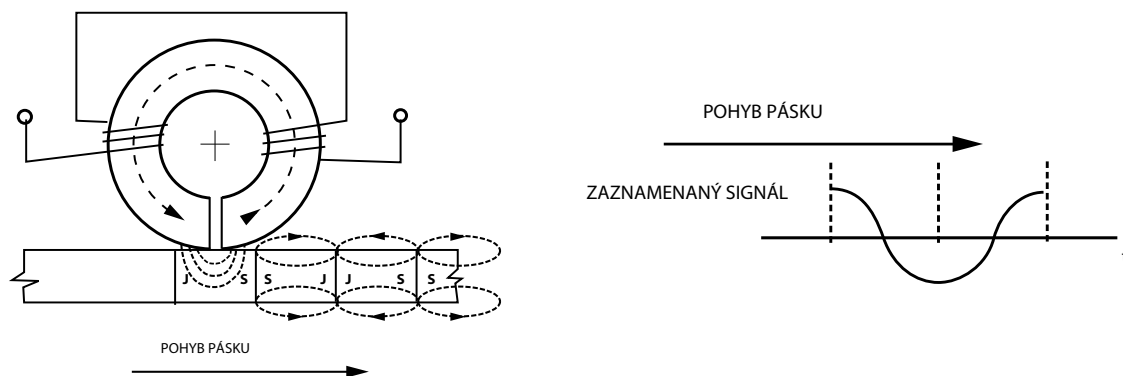
3.3.3 Magnetická aktivní vrstva

Je umístěna na podložce, je tvořena mikroskopickými částicemi magneticky tvrdého materiálu s velkou remanentní indukcí. Je to vrstva oxidu železitého. Pro zlepšení aktivní vrstvy se oxid železitý sytí kobaltem (fa Scotch), kyslíčkem chromičitým (CrO_2) a vícevrstevnou konstrukcí aktivní vrstvy. Vylepšení přispívají ke snížení šumu, zmenšení počtu hluchých míst (tzv. drop-out) a ke snížení opotřebení magnetických hlav.

3.3.4 Magnetická hlava

je v podstatě elektromagnet, tvořený cívkou na prstencovém železném jádru se štěrbinou. Cívkou prochází elektrický proud úměrný okamžité hodnotě zvukového signálu a ve štěrbině mezi konci jádra vzniká proměnné magnetické pole, jehož velikost je přímo úměrná velikosti protékajícího proudu. Magnetický pásek se před štěrbinou hlavy posunuje rovnoměrným pohybem a silové čáry magnetického pole jej magnetují. Zmagnetování aktivní vrstvy je tedy taky proměnné – čím větší je magnetické pole se na štěrbině nahrávací hlavy vytvoří, tím více je pásek zmagnetovaný).

Při snímání magnetického záznamu probíhá opačný děj. Zmagnetovaný magnetický pásek se pohybuje pod štěrbinou snímací hlavy, která je v podstatě shodná se s záznamovou hlavou. Silové čáry z magnetického pásu vyvolávají na snímací hlavě na principu indukce v jejím vynutí střídavé napětí. Po zesílení a úpravě ve snímacím zesilovači magnetofonu se tento elektrický signál přivádí do reproduktoru, který mění elektrické kmity na zvukové vlny a vytvoří tak obraz původního zaznamenaného signálu.



3.3.5 Záznam sinusového signálu

Záznam sinusového signálu se podobá řetězu tyčových magnetů se severním a jižním pólem, umístěných souhlasnými póly u sebe. Magnetizace nosiče při záznamu sinusového signálu probíhá tak, že elementární částice aktivní vrstvy jsou magnetovány od nuly (elementární částice jsou chaoticky uspořádané) po maximum (částice jsou orientovány stejným směrem), zpět přes nulu a maximum orientace ve stejném, ale opačném směru. Vznikající mag-

netické pole vystupuje v oblasti pracovní štěrbině vyplněné fólií z bronzu z prostoru hlavy a zmagnetovává aktivní vrstvu pásku, ve které zbývá remanentní indukce úměrná směru a intenzitě magnetického pole nad štěrbinou. Aby se předešlo silnému nelineárnímu zkreslení výsledného záznamu využívá se předmagnetizace. [9]

3.3.6 Rozdělení nosičů, šíře pásů, rozmístění stop, rychlost záznamu

Nosiče perforované (o šíři 35 a 16 mm)

Nosiče neperforované o šíři 6,25 mm se dělí na nosiče pro profesionální účely (pro rychlost 38,1 cm/s) a nosiče pro pomalé rychlosti (základní rychlost je 9,52 cm/s).

U profesionálních nosičů rozeznáváme nosiče standardní a nosiče s nízkým zkreslením.

Obecně platí, že čím vyšší je rychlost zápisu pásku, tím lepší je kvalita tohoto zápisu.

Pomalejší zápis je vhodný, pokud je třeba šetřit pásku z ekonomických důvodů a kde kvalita zápisu není rozhodujícím faktorem.

Profesionální použití rychlosti posuvu pásku:

- **30 ips (76.2 cm/s)** - používáno tam, kde je vyžadovaná nejlepší kvalita nahrávky a co největší frekvenční spektrum, používáno například u nahrávání koncertu klasické hudby.
- **15 ips (38.1 cm/s)** - profi hudební nahrávání a rozhlasové programy
- **7 1/2 ips (19.05 cm/s)** - nejrychlejší amatérská rychlost zápisu, také nejpomalejší profi rychlost. Používáno u některých rozhlasových stanic

Poloprofesionální použití rychlosti posuvu pásku:

- **3 3/4 ips (9.52 cm/s)** - často používaná rychlost pro amatérský záznam, používáno na většinu jednorychlostních domácích audio rekordéru. Dostatečná kvalita pro řeč a nenáročnou hudbu

Další zvýšení rychlosti než ad1) vede k problémům se záznamem nízkých frekvencí, kdy dochází k jejich zkreslení a je tudíž nepoužitelné.

3.4 Výhody magnetického záznamu

V první fázi (do zavedení magnetických nosičů) se při filmovém natáčení vše zaznamenávalo na optiku. Veškeré zvuky, ruchy, atmosféry, hudba a archivní pásy byly nahrána optickým systémem, včetně postsynchronů. To kladlo vysoké nároky na přípravu a dokonalé odzkoušení všech scén a hudebních nahrávek. Pak se natáčela jen jedna nebo dvě ostré, protože materiál a celkové zpracování bylo velmi drahé. Veškerý zkažený materiál se vyhazoval a musel být použitý nový.

Záznam na magnetický pás vedl k převratným možnostem ve filmovém průmyslu. Zvuk mohl být nahráván na přenosná zařízení k tomu určená a kromě pomocného zvuku se mohl pořizovat, po vyřešení synchronizace s kamerou, i kontaktní zvuk. Do té doby byl pořizován jen nesynchronní pomocný zvuk. Kontakt se v následné postprodukční fázi přehrál na 35 mm perforované magnetické pásy. Ty zaručovaly přesný synchronní chod zvuku a obrazu v postprodukci. Vznikaly tak pásy dialogové, ruchové, atmosférové a hudební, které se navzájem na mixpultech míchaly do vzájemných požadovaných poměrů. Každý z pásů přehrával samostatný magnetofon a výsledný mix se zaznamenával do jedné stopy na záznamový přístroj. Magnetické pásy umožnily dokonalejší střih, prolínání, vyhledávání sekvencí a při neúspěšném předmixu nebo závěrečném mixu opět na též pás nahrát opravenou sekvenci. Mixážní pult sestával až z dvanácti jednotlivých pásů, které představovaly jednotlivé stopy. Každý z jednotlivých pásů (dialogové, hudební, ruchové) mohly být zdvojené i ztrojené pro provádění prolínaček.

3.5 Nevýhody analogového záznamu

Analogové nahrávání na magnetický pás má své nedostatky. Jednak je tu hranice velikosti magnetického pole, které lze vyvolat, a tedy i síly zvuku, která může být na pásku uložena. Tento zkreslující efekt, zvaný **satrace** (nasycení) nastává tehdy, když se všechny částice na určitém úseku pásku seřadí tímž směrem. Nadto musí být nejtišší pasáže hudby, kterou je třeba nahrát, podstatně silnější než **šum pozadí**. Ten poznáme syčením, které vzniká náhodným uspořádáním magnetických částic na prázdném pásku. I s použitím postupů pro minimalizaci tohoto šumu to znamená, že **dynamický rozsah** analogového záznamu, tedy rozdíl mezi nejsilnějším a nejtišším místem záznamu, je **omezený**. Další problémy, s kterými se tu setkáváme, jsou **kolísání výšky tónu** (tzv. wow) a **chvění** (tzv. flutter), což všechno dohromady způsobuje nežádoucí vibrato. Nemalý problém způsobuje magnetické pole. Ke zničení záznamu může dojít při manipulaci v blízkosti permanentních magnetů. Proto jsou části magnetofonu jako je motor, reproduktory apod. odstíněny nebo jinak konstrukčně řešeny. Je vhodné nepoužívané magnetické pásy čas od času převíjet. Zamezuje se tím prokopírování navinutých vrstev. Nezanedbatelný je z dlouhodobého hlediska i vliv magnetického pole země (archivace záznamů). Další obrovskou nevýhodou je **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 vyhledávat.

Postupně byl tento problém řešen pomocí **algoritmů pro efektivní vyhledávání na magnetických páskách**. 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.

- **Hysterezní smyčka** - závislost magnetické indukce nebo magnetizace / polarizace na intenzitě magnetického pole.
- **Koercitivita** - také se nazývá koercitivní síla. Je to schopnost permanentního magnetu odolávat demagnetizaci externím magnetickým polem a také vlastním demagnetizačním polem.
- **Permeabilita** - poměr magnetické indukce a intenzity magnetického pole. Dá se říci, že je to schopnost materiálu „vést“ magnetický tok (magnetická vodivost).
- **Remanence** - zbytková magnetizace po odstranění magnetizujícího pole. [10]

4. DIGITÁLNÍ (ČÍSLICOVÝ) ZÁZNAM

4.1 Princip

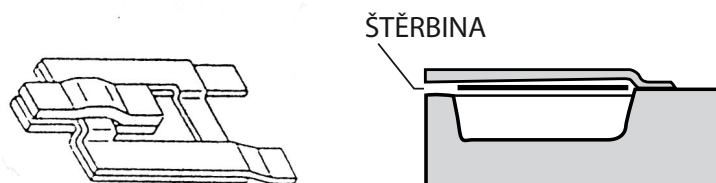
Princip digitálního signálu spočívá ve změně okamžitých hodnot analogového (spojitého) signálu pomocí analogově-digitálního (AD) převodníku na určitou hodnotu, která se převede do binární soustavy. Takto dostáváme diskrétní (nespojité) signál, který má v čase, na rozdíl od analogového, konečné množství hodnot.

4.2 Historie

Počátky číslicového zpracování a záznamu signálu spadají do šedesátých let, kdy byly vyvinuty první digitální laboratorní magnetofony. Nesporné výhody digitálního záznamu přispěly k rychlému rozvoji počítačových technologií.

Jako technologicky nejschůdnější cestou pro uchování digitálních dat byl nadále magnetický pás magnetovaný pomocí magnetofonové hlavy a to hlavně proto, že tato technologie řešila s přehledem velký datový tok. Digitální záznam představuje v podstatě jen dvě hodnoty impulzů, což znamená pouze dva druhy magnetického seřazení na pásku. Záznamové hlavy postupně doznaly konstrukčních změn, než hlavy známé z analogových přístrojů. Hlavy nemají zadní štěrbinu a velikost přední štěrbiny je menší než 1 mikrometr. Hlavy jsou vyrobeny z tenkého filmu a vnutí je tvořeno několika závity, kterými teče značný proud. Nejpoužívanější kovy jsou pro jádra hlav jsou magnetické slitiny (např. nikl a železo) v podobě filmu a laminátu. Pro svoji nevýhodu, kterou je špatná reprodukce nízkých kmitočtů, byly tenkovrstvé hlavy nahrazeny **kruhovými rotačními hlavami**. U diskových pamětí se nejčastěji používá **magnetorezistních hlav**. Změny magnetizace ovlivňují rozložení volných elektronů ve snímacím prvku, čímž se mění jeho odpor, a tím i výstupní signálové napětí. Toto napětí může být relativně vysoké a nezávislé na rychlosti medium – hlava. Hlavy umožňují zaznamenat vysoký počet stop i na tenkém pásku (na pásek šíře 3,81 mm lze

umístit až 40 stop. Byla vyvinuta speciální konstrukce zabraňující přeslechu stop. (Přeslech je magnetická vazba mezi hlavami umístěnými v těsné blízkosti na jednom bloku.) [11]



Ukázka speciálních hlav pro záznam digitalizovaného signálu

4.3 Vzorkování signálu

Analogový elektrický signál přicházející z mikrofonu (nebo přímo z hudebního nástroje) se jednou za určitou časovou periodu vzorkuje. Toto měření a převod amplitudové vlny probíhá až několik tisíckrát za vteřinu. Stanovení vzorkovacího kmitočtu nám udává Nyquistův (Shannon-Kotělnikovův) teorém.

Týká převodu analogových signálů do diskrétní podoby a spočívá ve stanovení vzorkovacího kmitočtu, který musí být alespoň dvojnásobkem maximálního kmitočtu vzorkovaného signálu.

„Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného, signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byl vzorkován frekvencí alespoň dvakrát vyšší než je maximální frekvence rekonstruovaného signálu.“

V praxi se tedy vzorkovací frekvence volí dvakrát větší plus ještě nějaká rezerva než je maximální požadovaná přenášená frekvence. V telekomunikacích je to např. 8 kHz neboť je třeba přenášet pouze signály ve standardním telefonním pásmu (od 0,3 do 3,4 kHz zaokrouhleno směrem nahoru 4 kHz). Například u záznamu na CD je to zas 44,1 kHz neboť zdravé lidské ucho slyší maximálně cca do 20 kHz a tudíž vzorkovací frekvence 44,1 kHz byla zvolena s velkou rezervou.

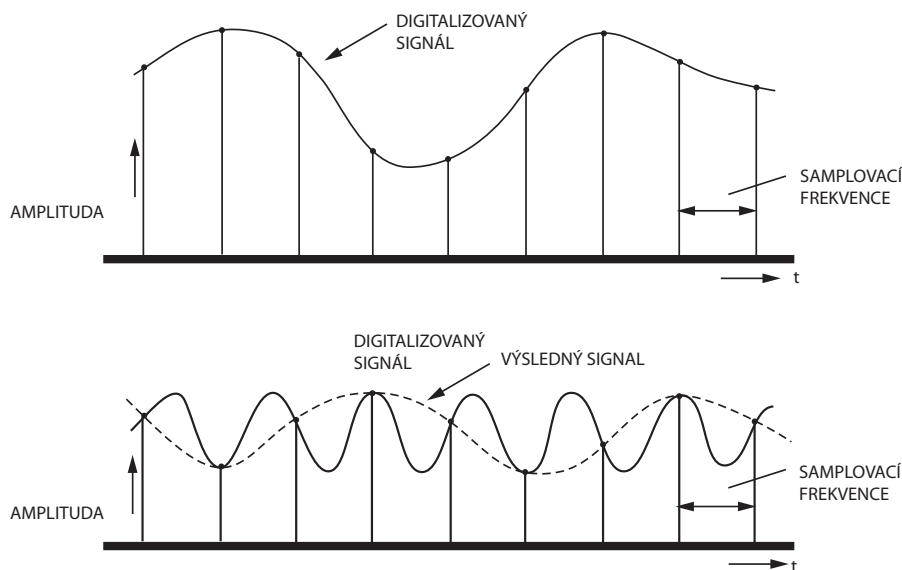
Profesionální studiové přístroje používají i vyšší smplovací frekvence pro velmi kvalitní záznam a následné zpracování zvuku. Jedná se o frekvence: 48 kHz, 88,2 kHz, 96 kHz.

4.3.1 Aliasing

Nyquistův (Shannon-Kotělnikovův) teorém je zásadní pro zabránění vzniku tzv. aliasingu představujícího poškození signálu.

V případě, kdy je vzorkovací kmitočet nižší než dvojnásobek horního mezního přenášeného kmitočtu, dochází k jevu, který se nazývá „**zcizování**“ (**aliasing**), tento jev způsobí že vyšší kmitočty, které se nacházejí mimo teoretickou vzorkovatelnou oblast se tzv. „překládají“, což znamená, že se ve výsledném rekonstruovaném signále jeví jako kmitočty nižší.

Aliasingu je nutné předcházet, protože pokud k němu dojde, jeho následky se odstraňují jen velmi těžce. Proto se před převodník spojitého signálu na diskrétní ve většině případů zařazuje tzv. **antialiasingový filtr**, který má za úkol odfiltrovat frekvence vyšší než odpovídají Shannonovu teorému. Je to dolní propust realizovaná v případě běžných A/D převodníků jako analogový frekvenční filtr. Dolní propust⁴ v elektronice označuje frekvenční filtr, který nepropouští signál vyšších frekvencí.



Nahoře: signál, který je digitalizován

Dole: spojitý signál (plná čára) je vzorkován nedostatečnou frekvencí.

Výsledný signál je úplně odlišný od původního.

4.3.2 Bitová šířka

Pokud digitalizujeme spojitý signál v čase t , který má ve svislé ose nekonečně mnoho hodnot mezi svými maximy, pak se dostáváme do problému, kdy naměřená hodnota převodníkem je přiřazena a zaokrouhlena nejbližší povolené hodnotě. To, kolika hodnot může signál nabývat nazýváme bitovou hloubkou (Bit Depth). Čím je hodnot více, tím může věrněji popisovat původní analogovou křivku a zvyšovat dynamický rozsah nahrávky. Pro CD kvalitu bylo

zvoleno 16 bitová šířka, což znamená 2 na šestnáctou a to je celkem 56 000 hodnot. V profesionálním zpracování se používá 18, 32, 64 i 128 bitů.

Zvyšování bitové šířky spolu se zvyšováním smplovací frekvence vede k obrovskému nárůstu dat a zatížení počítačové techniky.



Ukázka analogového signálu

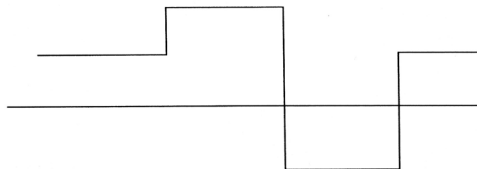
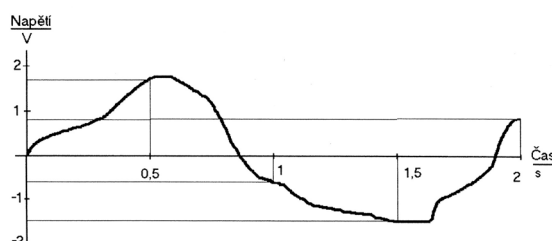
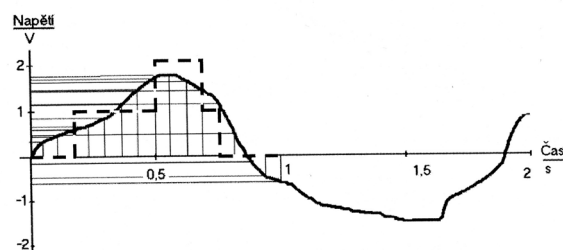
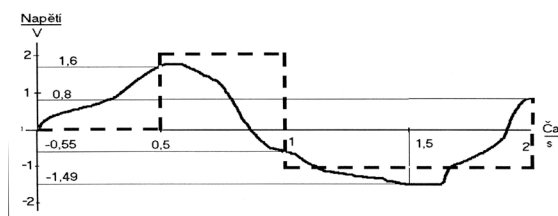


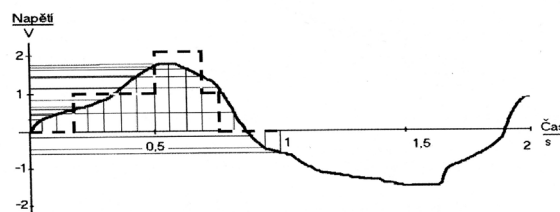
Schéma digitálního signálu při velkém zvětšení. V tomto případě nabývá jen hodnoty 0 a 1.



Ukázka převodu signálu při měření jednou za 0.5 sekundy a rozsahu -2, -1, 0, +1, +2 V



Signál je měřen osmkrát častěji, svislá osa má neustále málo hodnot – několik měření po sobě má vždy stejnou hodnotu



Svislá osa je rozdělena na více hodnot (po 0,1 V) – tvar výsledného signálu se blíží původnímu

4.3.3 Kvantizační chyba

Nežádoucím faktorem při digitálním záznamu je kvantizační chyba. Je to vlastně rozdíl mezi skutečnou (přesnou) a „zaokrouhlenou“ hodnotou po kvantizaci signálu. Více kvantizačních chyb způsobuje vznik tzv. **kvantizačního šumu**, který je vnímaný jako nelineární zkreslení. Kritickým faktorem se stává při nízkourovňových signálech, které se výrazně podílí na detailech hudby.

Systemy používané při záznamu (např. SBM-Super Bit Mapping firmy Sony anebo Apogee UV-22) zpracovávají signál na záznamové straně. Používají různé způsoby modulace pří-

давнього шуму а його przesunu до області високých frekvenci, причеmž využívaji психоакустичкe властности людського слуху, головне pokles citlivosti в області вищих frekvenci. Систем се в області низкých а середних frekvenci чова jako 17- аш 18-bitový а в області високých frekvenci, наopak, jako 13-bitový. [12]

4.3.4 Výhody digitálního signálu

Hlavní výhoda digitalizovaného signálu oproti analogovému spočívá v jeho zpracování bez ztráty původní kvality. Záznam můžeme opakovaně přehrávat, kopírovat bez znehodnocení. Signál můžeme dále digitálně zpracovávat, časově programovat atd. Oproti analogovému záznamu má digitální menší zkreslení a vyšší odstup signálu od šumu (větší než 100 dB).

4.4 Uchování digitálního (číslicového) signálu

Záznam digitálních dat můžeme uskutečnit metodou **analogovou nebo impulsovou**.

- **Analogová metoda** spočívá v záznamu určité frekvence pro určitou logickou hodnotu. Např.: $f = 2400$ Hz znamená log1, $f = 1200$ Hz znamená log0. Na tomto principu pracuje metoda zvaná Kansas City, podobně i KIM-I a další. Každá nahrávka obsahuje značku, identifikátor, data a kontrolní součet. To vše je zdvojené pro eliminaci chyb při reprodukci.
- **Impulsové metody** magnetují medium pomocí záznamového proudu, který zanechává na magnetické vrstvě charakteristický napěťový impuls projevující se skokovou změnou magnetizace. Bezchybná reprodukce je realizována řadou korekčních metod (zdvojování dat, přidávání pomocných dat a další), které eliminují chybné bity, chyby způsobené prachem, otisky prstů, zpřesňují automatické sledování stopy a zaostření optických snímačů CD.

Tato binární impulsová modulace má několik druhů: záznam RB (Return to Bias), RZ (Return to Zero), NRZ (Non Return to Zero), NRZ (Non Return to Zero change at 1), FM, MFM a další. Každý je charakteristický svými výhodami a nevýhodami (využití šíře pásma, odstup signál/šum, synchronizace, hustota záznamu, chování v případě chyby..), proto je vhodný pro ten který účel a médium. [13]

4.5 CD-ROM

CD-ROM (Read Only Memory) je název technologie, která je v současné době nejrozšířenější technologií pro přenos a uchování dat. Je to rozšíření CD na informační paměť. Norma CD-ROM je odvozená z normy CD-DA.

Různé formáty CD byly postupně od roku 1997 specifikovány ve standardech, označovaných anglicky jako „knihy“ různých barev: [14]

4.5.1 Červená kniha - CD-DA (Compact Disc-Digital Audio):

Tento standard je nejrozšířenější, používá se pro klasické hudební CD a je nejstarší. Byl vypracován firmami SONY a PHILIPS v r. 1980 (dva roky předtím než byly první CD disky a přehrávače vyrobeny). Tento standard splňují všechny přehrávače a jednotky CD-ROM na trhu. Z tohoto standardu se vyvinuly všechny ostatní používané standardy. Začátek stopy disku začíná u středu disku tabulkou obsahu disku. V tabulce jsou uloženy počátky záznamů ve formátu minuty:sekundy. Po tabulce následují jednotlivé záznamy a ukončovací oblast. Záznamů může být až 99 v celkové délce až 74min. Tento standard definuje také jednoduchou metodu umístění nepohyblivých obrázků s malým rozlišením. Tento systém se nazývá CD+G a mezi zákazníky se neujal.

4.5.1.1 Charakteristika formátu CD-DA:

Záznam stereofonní (alternativně čtyřkanálový), kmitočtový rozsah 20 Hz až 20 kHz, vzorkovací kmitočet 44,1 kHz, číselný kód binární, odstup signálu od šumu větší než 90 (max. 98) dB, zkreslení menší než 0,01, kolísání nedetekovatelné, doba reprodukce 74 min.(80), přeslech mezi kanály větší než 90dB, záznam zvuku je lineární PCM bez komprese. Záznam je uspořádaný do spirálové stopy od středu ke kraji na jedné straně disku o průměru 120 mm.

4.5.1.2 Technologie výroby CD:

Primární záznam se pořídí osvětlením vrstvy fotorezistu paprskem laseru, v níž se po vyvolání vytvoří jamky různých délek, tzv. Master. Ten se kopíruje do kovového negativu- tzv. otec, potom se vyrobí tzv. matka, což je pozitivní deska. Teprve z ní se získává negativní matrice pro konečné lisování. Výlisek se na závěr opatřuje hliníkovou odraznou vrstvou a ochrannou vrstvou. Digitální desky se vyrábějí lisováním nebo tlakovým vstřikováním z průhledného polykarbonátového substrátu, který není citlivý na vlhkost a mechanické deformace.

4.5.2 Žlutá kniha - CD-ROM:

Standard CD-DA se snažily mnohé průmyslové skupiny rozšířit a zdokonalit. Jednou z nich byla i mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO). Ta také přijala první standard pro ukládání počítačových programů **ISO 10149** a později i současný standard **ISO 9660**. Tento standard používá dělení disků vycházející ze standardu CD-DA. Záznam na disku je rozdělen na minuty a sekundy, každá sekunda ale obsahuje navíc 75 sektorů a každý sektor má

kapacitu 2352B. Tento standard je univerzální a používá jej téměř každý typ počítače a herní konzoly. Vyjímkou jsou počítače Macintosh, které používají vlastní systém označený HFS a HFS+.

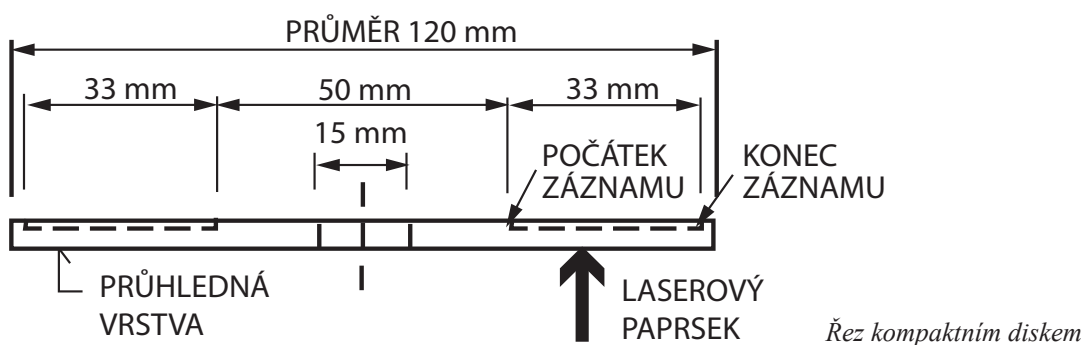
Standard 9660 poskytuje kompatibilitu médií. Tím je myšlena schopnost číst soubory na jakémkoliv disku CD-ROM pomocí téměř libovolné jednotky CD-ROM. Tím je zajištěno, že váš počítač soubor-program přečte. Není však zajištěno, že jej bude schopen použít. Nemůžeme např. spustit programy které byly napsány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

4.5.3 Zelená kniha - CD-I:

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

4.5.4 Oranžová kniha - CD-R (Compact Disk Recordable - nahratelná CD)

Formát CD-R umožňuje pomocí CD-R jednotek na médium obdobné klasickému CD zapsat data u uživatele. Data lze zapsat pouze jednou. Po zapsání těchto dat je možné vložit disk do jakékoliv jednotky CD-ROM, která jej přečte. Pomocí této jednotky lze vytvořit téměř všechny typy CD: zvuková CD, IBM nebo MAC CD-ROM, CD-I a Video CD. Zápis dat CD-R touto metodou může sloužit k vytváření buď multimediálních prezentací nebo záložních kopií důležitých dat.



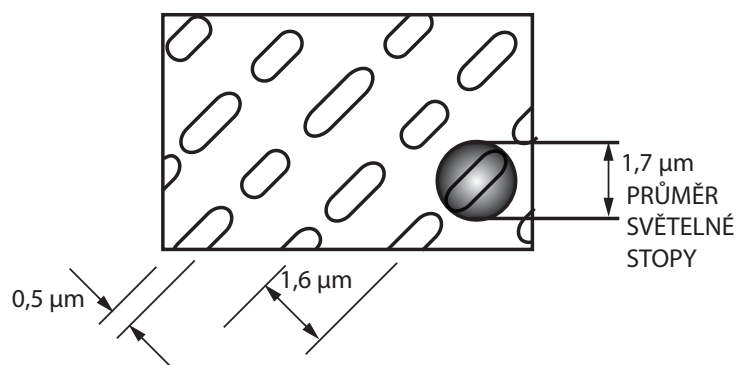


Schéma uspořádání pitů na CD

CD-formát začíná být vytlačován diskem DVD, s jeho klesající cenou a klesající cenou rekordérů. DVD disk je přímým pokračovatelem CD nejen svojí vnější podobou (CD je od DVD laickým pohledem prakticky nerozeznatelné), ale i digitální technologií záznamu dat. Kapacita běžných DVD je oproti klasickému CD zhruba šestinásobná.

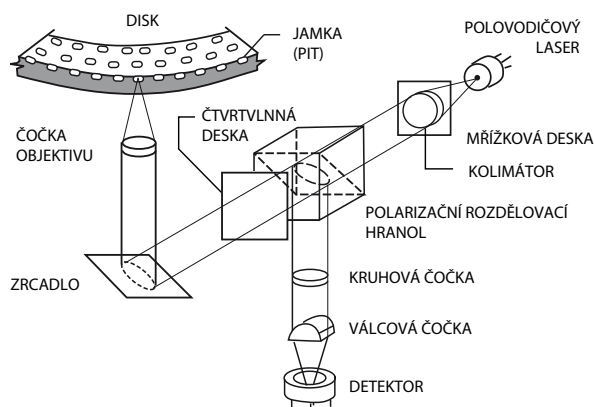
Další formáty:

- **bílá kniha** (white book) - Video CD
- **modrá kniha** (blue book) - Enhanced CD, CD plus a CD-G
- **běžová kniha** (beige book) - PhotoCD
- **šarlatová kniha** (scarlet book) - SACD

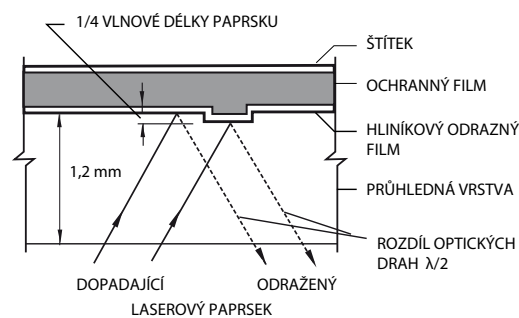
4.6 Podstata zápisu dat:

Podle fyzikální podstaty lze zápis vytvořit:

- **vypalováním citlivé vrstvy laserem**, které má za následek vznik jamek nebo bublin, případně změna textury povrchu
- **záznamem na organické barvivo nebo změnou fáze materiálu** (zahřátím se mění krystalická fáze na amorfni – terbijum, selen, antimon).



Princip snímání signálu z CD



Laserový paprsek dopadající na hliníkový odrazný film s pitý

Laserový paprsek prochází základovou polykarbonátovou vrstvou a propálí organicky pohl-
tivý film až k odrazné vrstvě nad níž je krycí vrstva. Vzniká jamka, zvaná pit, záznamu,
skrze níž při snímání prochází světelný paprsek a odrazí se od odrazné vrstvy zpět. V tomto
případě vyhodnotí snímací systém vyhodnotí jedničku. V opačném případě, pokud se papr-
sek zachytí v pohl-
tivé vrstvě (bez odrazu) systém vyhodnotí nulu. Pity jsou uspořádány do
spirály s šířkou 0,5 um a se stoupáním 0,65 um. Spirála má na disku o průměru 12 cm asi
20.000 závitů. Při jejím rozvinutí by měla délku přes 5 km.

4.6.1 Smazatelný optický záznam - CD-RW a magnetooptický disk

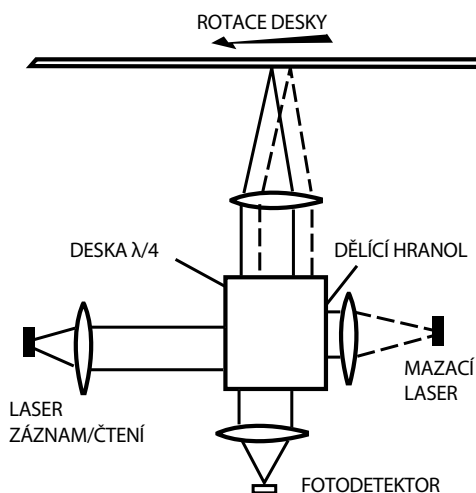
Smazatelný optický záznam se uskutečňuje dvěma způsoby

- pomocí změny krystalické fáze materiálu na amorfní a naopak
- pomocí systému využívajícího magnetooptický princip

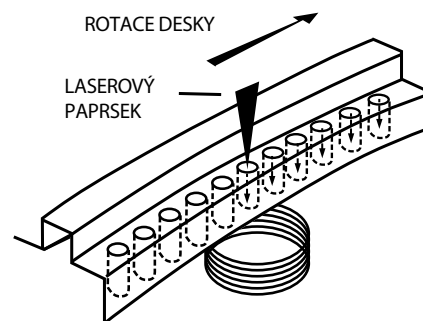
V prvním případě lze změnu struktury ovlivnit u materiálů telur + germanium a indium +
olovo. Pro zápis se používá výkonnější laserový paprsek, který změním zahřátím krystalickou
strukturu materiálu na amorfní. Snímání se provádí slabším paprskem, který při dopadu na
změněný povrch má změněnou odrazivost, což systém vyhodnocuje jako rozdílný bit. Pro
vymazání záznamu se používá zvláštní laser s nejvyšším výkonem, který změním strukturu
materiálu zpět na krystalickou.

Princip magnetooptického disku

Záznam je prováděn tak, že se vrstva rotujícího MOD disku zahřívá bodově laserovým
paprskem o relativně vysokém výkonu, na Curie teplotu (cca 200°C), kdy je tato vrstva
schopna měnit vlivem okolního magnetického pole svou vnitřní strukturu a tuto si po zchladi-
nutí zachovat.



Praktické uspořádání laserů v optické hlavici



Záznam dat v přítomnosti magnetického pole u MOD

Curie teplota - Přejížděná teplota, nad kterou feromagnetické nebo ferimagnetické materiály ztrácejí spontánní magnetizaci a stávají se paramagnetickými.

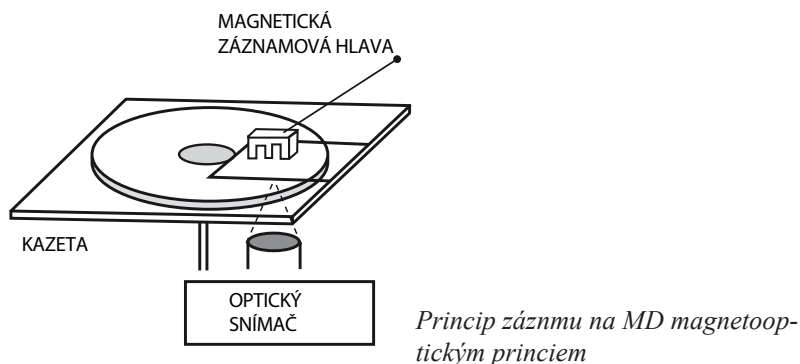
Samotný záznam pak zajišťuje mikro cívka umístěná nad zahříváním bodem, která mění polaritu magnetického pole v závislosti na aktuálně zapisované logické úrovni.

Čtení je zajišťováno laserovým paprskem nižšího výkonu, který se odráží od záznamové vrstvy v závislosti na struktuře materiálu po vychladnutí.

Informace jsou na magnetooptické desce zapsány ve spirálové drážce šíře 0,5 mikrometru a hloubky 70 nm. Magnetooptická vrstva tlustá 10 nm umožňuje více než 10 milionů záznamových cyklů.

4.6.2 MINIDISC MD

Minidisk umožňuje bezkontaktní záznam a reprodukci signálu. Disk má průměr 64 mm a kapacitu záznamu 74 minut. Záznam je kompresní systémem ATRAC se ztrátou dat. Výsledkem je redukce dat na 1/5 oproti hudebnímu CD. Univerzální MD přístroj může přehrávat již zaznamenané vylisované disky i magnetooptické smazatelné disky.



4.6.3 R-DAT (Rotary Head – Digital Audio Tape)

Digitální kazetový magnetofon s rotačními hlavami umožňuje záznam signálu ve srovnatelné kvalitě s CD. Proto je využíván pro profesionální použití v hudebním a filmovém průmyslu. Malá kazeta skrývá pásek šířky 3,81 mm. Při rychlosti 8,15 mm/s je kapacita záznamu 120 minut. Buben s dvěma hlavami o průměru 30 mm rotuje rychlostí 2 000 ot./min. Frekvenční rozsah je 2 Hz až 22 kHz. Přístroj pracuje se vzorkovacím kmitočtem 48 | 44,1 | 32 kHz při 16 bitovém lineárním kvantování a 12 bitové nelineární. Stopy na pásku jsou šikmé pod úhlem 6 stupňů. Přesné vedení hlavy na stopě je zajištěno pilotním tónem o kmitočtu 130 kHz.

4.6.4 S-DAT (Stationary Head – Digital Audio Tape)

Jako R-DAT, ale hlavy jsou stacionární – nerotují. V profesionální praxi se neujal.

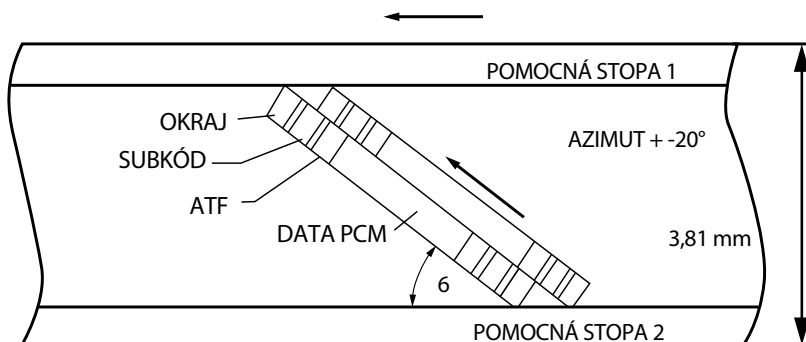


Schéma rozložení stop na pásku

4.6.5 DASH

Systém DASH se zavedl v profesionálním použití. Jedná se o systém s pevnými hlavami a šířkami pásu 12,5 a 6,25 mm. Podle rychlosti posuvu pásu se rozlišují na DASH-F (Fast – 76,2 cm/s), DASH-M (Medium – 38,1 cm/s) a DASH-S (Slow – 19,05 cm/s). Kvantizace je 16 bitová. Toto řešení najdeme např. u rekordéru značky STUDER. [15]

4.7 Hard Disc

Pevný disk (anglicky hard disk drive, HDD) je zařízení, které se používá k trvalému uchování většího množství dat.

Disky jsou tvořeny kovovými nebo skleněnými deskami – tzv. **plotny**, které jsou pokryté tenkou magneticky měkkou vrstvou a jsou tvrdé. Odtud asi název pevný disk. Plotny jsou umístěné nad sebou v počtu tři až pěti. Plotny se rychle otáčejí na vřetenu, který pohání elektromotor. Otáčky disku společně s hustotou záznamu a rychlostí rozhraní určují celkový výkon disku.

Čtení a zápis dat na magnetickou vrstvu zajišťuje čtecí a zápisová hlava (vpravo). Dříve se na čtení používaly magnetodynamické hlavy, nyní se používá krystal měnící vodivost podle magnetického pole. Na jednu plotnu jsou dvě hlavy, protože jsou data z obou stran, strana plotny, na které je magnetický záznam, se nazývá povrch. Hlava se při zápisu nebo čtení nedotýká citlivého povrchu, ale plave těsně nad povrchem, ve vzdálenosti řádově mikrometrů.

Hlavním důvodem velkého rozšíření pevných disků je velmi výhodný poměr kapacity

a ceny disku, doprovázený relativně vysokou rychlostí blokového čtení. Data se při odpojení disku od napájení neztrácí a počet přepsání uložených dat jinými je prakticky neomezena.

4.8 Flash paměť, flash disk

V poslední době, hlavně s rozvojem digitální fotografie, mp3 přehrávačů a mobilních technologií., došlo k rozšíření paměťových zařízení typu flash. Tyto umožňují uchování dat i při odpojení napájení.

Data jsou ukládána v poli tranzistorů (plovoucí brány), zvaných „buňky“, každá z nich obvykle uchovává 1 bit informace.

Jejich hlavní předností jsou velmi malé rozměry, rychlá přístupová rychlost a absence rotujících částí, což vede ke snížení jak hmotnosti, tak i napájecího proudu a tím např. k prodloužení životnosti baterií. Postupné zvyšování paměťové kapacity výrobci tyto paměti předurčují k mnohostrannému použití i v profesionální audiovideo technice.

Nevýhody

- vyšší cena za vysokokapacitní disky
- omezený počet opakovaného zápisu v jednotlivé buňce. O rovnoměrné rozmístování dat v celém poli jednotlivých buňek se stará obslužný software.

4.9 Blue Ray

Blue-ray disk patří k třetí generaci optických disků, určených pro ukládání digitálních dat. Pro čtení disků Blu-ray se používá **laserové světlo s vlnovou délkou 405 nm**. Technologii vyvinula japonská firma Sony, podílí se na ní také např. firma Philips. Název disku pochází z anglického Blue ray, tj. modrý paprsek, označení související s barvou světla používaného ke čtení.

Tak jako CD, má i Blue-ray disk průměr 12 cm v menší variantě 8 cm a tloušťku 1,2 mm. **Disky umožňují záznam dat s celkovou kapacitou až 25 GB u jednovrstvého disku, 50 GB u dvouvrstvého disku až po 80 GB u oboustranné dvouvrstvé varianty.** [16]

5. SYNCHRONIZACE OBRAZU A ZVUKU

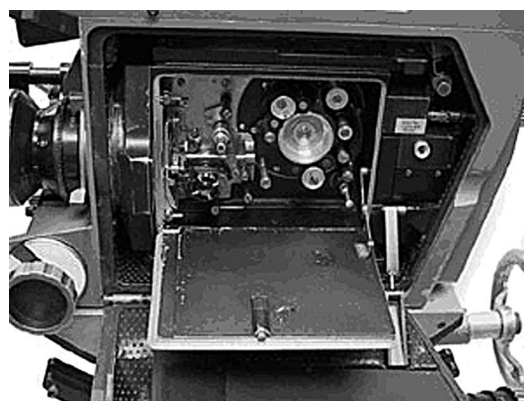
5.1 Historie

- První fáze záznamu zvuku probíhala na tzv. zvukové kamery nesynchronně, později se zvuková kamera začlenila do obrazové kamery pro vyřešení synchronizace. Obrazový

a zvukový pás tak poháněl jeden motor. To však neumožňovalo ozvučit propracované způsoby skládání obrazu, protože zvuk nebyl při střihu kontinuální. Proto se postupně opět přistoupilo k oddělenému nahrávání obrazu a zvuku.

▪ Nástup magnetického záznamu znamenal obrovský posun při možnostech dalšího zpracování zvuku. Při natáčení na place asistent mistra zvuku přijímal nesynchronně tzv. pomocný zvuk. Pokud kamery nebyly boxované, tak jejich hlučný chod dominoval na nahrávce. Z toho důvodu nebylo možné zaznamenat kvalitní kontaktní zvuk, který je pro filmovou produkci mnohem levnější než pracné postprodukční postsynchrony. Pomocný zvuk byl odposloucháván a doslovně přepisován skriptkou, která je zapisovala na dialogové listiny, které tvořily podklady pro herce při postsynchronech..

S postupným technologickým vylepšováním audiovizuální techniky (boxované kamery, kamery s tichým chodem, synchronizace obrazu a zvuku, zavedení klapky) se kontaktní zvuk, pro jeho nesporné výhody, upřednostňuje.



↑ Kamera ve zvukotěsném boxu (tzv. Blimp)

← Kameraman a kamera ve zvukotěsné pojízdné kabině

Dá se říct, že výhradním zařízením pro nahrávání kontaktního zvuku ve studiích nebo v terénu se staly **magnetofony NAGRA**, kterou zkonstruoval ve Švýcarsku Polák **Stéfan Kudelski**. Zde založil v roce 1951 dnes světoznámou firmu. Vyznačovaly se velmi kvalitním zpracováním, jednoduchým ovládáním, vysokou spolehlivostí. To je předurčilo k velké oblibě mezi zvukovými mistry.

NAGRA I (1951) – poháněna mechanickým motorem

NAGRA II (1957) – poháněna elektrickým motorem

NAGRA III (1958) - díky řízení motoru krystalem a propojení kabelem s kamerou zaza-

menávala zvuk stejnou rychlostí jako kamera i při případném kolísání motoru kamery.

(1969) – NAGRA III je variantně doplněna systémem NEOPILOT, což umožňuje i bezdrátovou synchronizaci s kamerou.

NAGRA IV (1968)

NAGRA IV S (1971) – standart pro záznam filmového zvuku na nejbližších 20 let!

Stereo, 2 mikrofonní vstupy, 1 linkový, krystalem řízený motor.

NAGRA D (1992) – 4 kanály, 24 bit, digitální záznam na 1/4“ pásek pomocí rotujících hlav

NAGRA D II (1999) – 24 bit, 96 kHz (pouze při 2 kanálech), redesign na páskový magnetofon

[17]

V dnešní době se k nahrávání zvuku u filmu nejčastěji používá vedle Kudelského Nagry i digitálního rekordéru Aaton Cantar, Fostex, případně některých dalších.



Nagra IV S



Nagra V - s vyměnitelným hardiskem, nahrává lineárně PCM 24-bit data s nosnou frekvencí 44.1 kHz, 48 kHz (s příslušenstvím 88.2 a 96 kHz) s možností nahrát až 90 hodin záznamu na jeden HD disk. Zvukový formát je ukládán ve vysílacím WAV formátu, zjednodušující postprodukční zpracování. Time code je nahrán standardně ve všech framech.

5.2 Časový kód SMPTE/EBU

Časový kód slouží pro přesné označení místa záznamu na pásku za účelem stříhu, automatického vyhledávání nebo pro synchronizaci více strojů.

Společnost SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) s EBU (European Broadcasting Union) navrhla mezinárodně normalizovaný kód, kterým je každá sekce programu identifikovatelná jako **časová hodnota v hodinách, minutách sekundách a snímcích**. [18]

Časový kód používá 24 hodinový systém a číslo snímku. To znamená, že hodnoty časového kódu nabývají hodnot od nuly do 23 hodin 59 minut 59 sekund a 24 příp. 25 snímků. Další hodnotou je opět nula. Pomocí časového kódu můžeme provádět stříh s přesností na 1 snímek obrazového signálu, přenášet materiál mezi různými stříhacími systémy a přesně synchronizovat video a audio data.

ZÁVĚR

Profesionální zvuková technika pro filmové potřeby se vyvíjí téměř současně, nebo je jen trochu mladší, než objevy a vynálezy na poli záznamu a reprodukce obrazu. Proto se v začátcích setkáváme se stejnými jmény jako při vynálezu kinematografu.

Počáteční problémy – ať už to byla citlivost mechanicko-elektrických zařízení, doby záznamu, možnosti zpracování apod., byly vyřešeny během několika desetiletí v souvislosti s rychlým rozvojem elektrotechnického průmyslu. Postupné zdokonalování zasáhlo veškeré články zvukového řetězce. Nejdůležitějšími požadavky na techniku pro záznam zvuku byly možnost volného pohybu po natáčecím místě, to znamená co nejmenší potřebu propojovat jednotlivá zařízení kabely, dlouhá výdrž napájení přes baterie, vysoká odolnost proti mechanickému poškození a povětrnostním podmínkám, délka zaznamenaného materiálu, co nejrychlejší a nejjednodušší možnost dalšího zpracování a v neposlední řadě vysoká kvalita a věrnost záznamu. Tyto parametry se neustále vyvíjí a zlepšují, technika doznává celé řady technologických změn. Pro profesionální použití se však osvědčilo jen několik málo výrobců. Je velkou zajímavostí, že jedině snad mikrofon a reproduktory jsou konstrukčně v zásadě neměnné od doby jejich vzniku a počátku minulého století. Sejně tak optický záznam zvuku na filmovém páse se po slepé uličce s magnetickým polevem neustále používá, avšak kódovaný digitálně. Změnu by mohl ve větší míře přinést systém digitálního kina.

Určitým problémem se stále více jeví kvalitní archivace záznamu, která s narůstající zvukovou kvalitou a HD obrazem znamená obrovské množství digitálních dat, které je potřeba uchovat na několik desítek až stovek let. Kvantitativní záplava nekvalitních magnetických a optických datových nosičů nejsou spolehlivými médii, jako byl dříve třeba magnetický nebo, v případě filmu, celuloidový pás.

Profesionální archivační systém:

Systém LTO4 na jednu pásku se vejde až 1600 GB dat, pásky stojí kolem 2000,- a mechanika od 150.000,- do 300.000,-

Na úplný závěr bych chtěl připomenout jeden z nejdůležitějších článků filmového zvuku a to je mistr zvuku. Na jeho uvážení a rozhodnutí je, pro který systém a technologii se rozhodne, jak využije svého citu a nabytých zkušeností, aby výsledný efekt splňoval představy tvůrců filmového díla a uchvacoval diváky nebo posluchače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] David Bordwell – přední filmový historik a teoretik - The Film History
- [2] [http://filmpub.centrum.cz/temata/skola/Nástup zvuku I.: Jak to bylo předtím](http://filmpub.centrum.cz/temata/skola/Nástup_zvuku_I.:_Jak_to_bylo_předtím)
- [3] http://www.sbor.webzdarma.cz/slovník%20hudby/G_slovník.htm
- [4] Dějiny filmu, Smrž Karel, Družstevní práce v Prace, 1933
- [5] Kniha o filmu, Holan Emil, Synek K., Praha 1938
- [6] <http://www.quido.cz/objevy/film2.htm>
- [7] Zpracování a záznam signálu, Bašta Ivan, ČVUT Praha 1994
- [8] Film a filmová technika, Levinský Otto, SNTL Praha, 1974, L 28-S2-VI-32
- [9] Zpracování a záznam signálu, Bašta Ivan, ČVUT Praha 1994
- [10] <http://magnety.selos.cz/index.php?sekcia=radime&idtext=3&back=%2Findex.php%3Fsekcia%3Dradime>
- [11] Praktická elektroakustika, Smetana Ctirad, 1981
- [12] <http://hdmag.cz/slovník/dolby-digital>
- [13] Zpracování a záznam signálu, Bašta Ivan, ČVUT Praha 1994
- [14] http://technet.idnes.cz/myslíte-si-ze-jsou-vase-data-na-cd-v-bezpečí-2-díl-frs-/hardware.asp?c=A040604_5263048_digital
- [15] Zpracování a záznam signálu, Bašta Ivan, ČVUT Praha 1994
- [16] Wikipedie.cz
- [17] <http://chambinator.free.fr/english/kudelsus.htm>
- [19] P. Baladrán: Časový kód. Tech. Informace Čsl. Rozhlas 1986

Další literatura a zdroje:

Technika PC, Hub P., přednášky, 1996/97

<http://www.umel.feec.vutbr.cz/%7Eadamek/komp/data/25.htm>

Záznamová technika, sborník přednášek semináře, Dům techniky ČSVTS, Tesla Pardubice