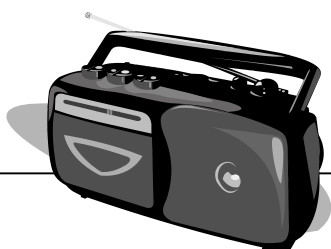


ELEKTROAKUSTICKÁ ZAŘÍZENÍ



výběr z učebních textů



1.0 ELEKTROAKUSTICKÁ ZAŘÍZENÍ

Akustika se zabývá vznikem, šířením a vnímáním zvuku [12]. Dochází-li při zpracování zvukového signálu (při snímání, zesilování, přenosu, reprodukci nebo záznamu) k jeho přeměně na elektrický signál, používáme název elektroakustika.

1.1 Základní pojmy z akustiky

Při šíření mechanického kmitání pružným prostředím (plynným, kapalným nebo tuhým) vzniká *mechanické vlnění* - postupné zhušťování a zředování částic prostředí se ve slyšitelném frekvenčním pásmu projevuje jako *zvuk*.

Zvuk se šíří zvukovou vlnou od zdroje zvuku všemi směry. Zvuková vlna v plynech a kapalinách je postupné *podélné vlnění*. Částice prostředí kmitají kolem své rovnovážné polohy ve směru šíření vlny tzv. akustickou rychlostí v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Okamžitá výchylka pozorované částice se nazývá *akustická výchylka* y (m).

Akustický tlak

Akustický tlak p (Pa) je zvýšení nebo snížení tlaku oproti klidovému barometrickému tlaku, působené postupným zhušťováním a zředováním částic prostředí. V tuhých látkách může vznikat také *příčné vlnění*, které může být i výraznější než vlnění podélné.

Rychlost šíření zvuku

Rychlost, s jakou se přenáší kmitání částic prostředí od zdroje zvuku do okolí, je *rychlost šíření zvuku* c ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

V plynech je rychlost c přímo úměrná barometrickému tlaku p_0 a teplotě ϑ a nepřímo úměrná hustotě plynu ρ . Prakticky ale tato rychlost závisí jen na teplotě, protože při zvyšování tlaku se zvětšuje i hustota plynu a poměr p_0 / ρ zůstává v širokém rozmezí tlaků konstantní.

Pro rychlost šíření zvuku ve vzduchu s teplotou ϑ ($^{\circ}\text{C}$) se používá empirický vztah :

$$c = 331,8 + 0,607 \vartheta$$

Při teplotě 20°C je rychlost šíření zvuku ve vzduchu asi $344 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ve vodě asi $1480 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v oceli asi $5000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Vlnoplocha a délka vlny

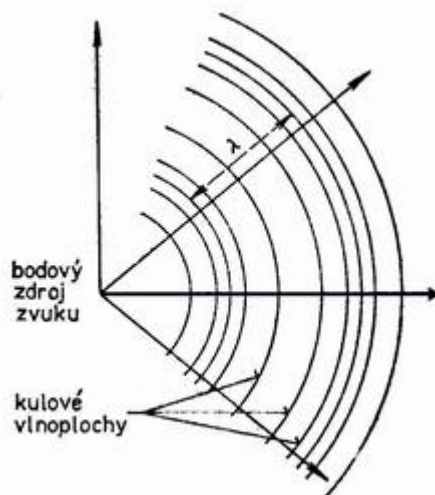
Zvuková vlna vytváří *akustické pole*. Body pole, v nichž mají částice stejnou fázi akustické výchylky, leží na vlnoploše.

Směr šíření zvuku je v každém místě kolmý na vlnoplochu.

Při *frekvenci zvuku* f (Hz) platí :

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]}$$

V *homogenním prostředí* se kolem bodového nebo kulového zdroje zvuku tvoří *kulové vlnoplochy*. Ve velké vzdálenosti od zdroje (větší než vlnová délka) lze v určitém omezeném prostoru (vzhledem k rozměrům ucha, mikrofону apod.) považovat tyto vlnoplochy již za *rovinné*. Akustické pole tedy rozlišujeme kulové (blízké) a rovinné. Velmi důležité je difúzní akustické pole (rozptýlené), u něhož nejsou ani vlnoplochy, ani směr šíření geometricky definovány. Difúzní akustické pole vzniká např. mnohonásobnými odrazy v uzavřených prostorech.



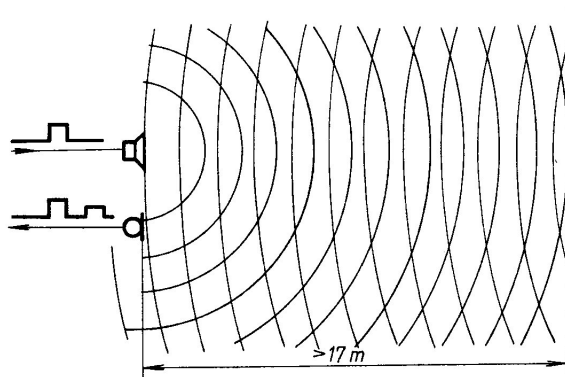
Obr.1 : Kulové vlnoplochy v homogenním prostředí v blízkosti bodového zdroje zvuku [12]

Dopadne-li zvuková vlna na rovnou plochu, jejíž rozměry jsou větší nežli vlnová délka, odrazí se část energie zpět. Vznikne *odražená zvuková vlna*. Přitom platí, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu.

Množství energie pohlcené plochou (nebo prošle plochou) závisí na povrchu plochy (v případě desky nebo steny i na materiálu, z něhož je deska nebo stěna vytvořena). Pórovité materiály (plst', vata, atd.) mají velikou zvukovou pohltivost (absorpci), materiály tvrdé (sklo, kov, atd.) mají zvukovou pohltivost malou.

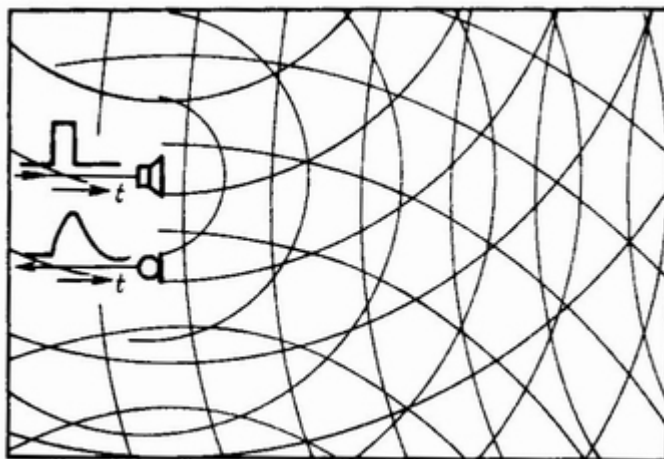
Na základě odrazu zvuku vznikají při šíření zvuku tyto další jevy :

Ozvěna - vzniká odrazem zvuku od ploch s rozměry značně většími než vlnová délka (aby odražená energie byla dostatečně veliká). Vzdálenost místa poslechu od této plochy musí být nejméně 17 m, neboť ucho je schopno rozlišit dva zvuky po sobě následující, je-li mezi nimi časový rozdíl nejméně 0,1 s.



Obr.2a : Vznik ozvěny [11]

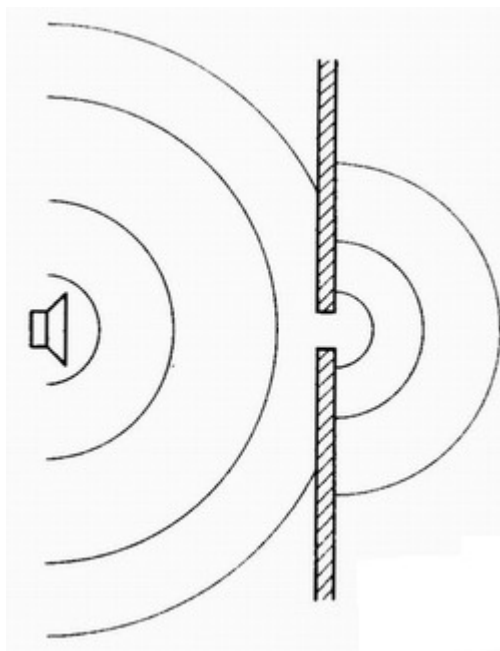
Dozvuk - vzniká na základě vícenásobných odrazů zvuků, a tím po skončení působení zdroje zvuku zůstává zvuková energie v daném prostoru a prodlužuje původní zvuk o určitý čas. Doba dozvuku je čas, který uplyne od skončení působení zdroje zvuku do doby, kdy hladina akustického tlaku poklesne o 60 dB.



Obr.2b : Vznik dozvuku odrazy zvukových vln [11]

Lom zvukových vln - nastává při přechodu zvuku z jednoho prostředí do druhého, tak jako lom světelných paprsků. Například vrstvy teplejšího vzduchu oproti vrstvám studeného vzduchu jsou také různá prostředí a při šíření zvuku nastanou lomy zvukových vln.

Ohyb zvukových vln - nastává při dopadu zvuku na překážky, jejichž rozměr je stejný nebo menší než délka zvukové vlny. Za otvory, jejichž rozměry jsou podstatně menší nežli délka zvukové vlny, se zvuk šíří všemi směry ve formě kulové vlny - otvor se stává novým zdrojem zvuku.



Obr.3 : Šíření zvuku otvorem [11]

Intenzita zvuku

Intenzita zvuku I (W.m^{-2}) je akustický výkon procházející jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření zvukové vlny.

Vztah :

$$I = p_{ef} v_{ef} = \frac{p_{ef}^2}{z} = z v_{ef}^2 \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

kde p – akustický tlak, v – akustická rychlost, z – akustický vlnový odpor. Vztah platí pro rovinnou vlnu.

Hladina akustického tlaku - hladinu zvuku [11]

Pro velký rozsah hodnot akustických tlaků a intenzit zvuku je výhodné používat *logaritmické jednotky* a definovat pojem *hladina akustického tlaku* neboli *hladinu zvuku* L [dB] vztahem :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{\frac{p^2}{z}}{\frac{p_0^2}{z}} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

kde p - velikost akustického tlaku, p_0 - referenční akustický tlak, I - intenzita zvuku, I_0 - prahová citlivost sluchu při kmitočtu 1 kHz

Je to fyzikální veličina, nezávislá na vlastnostech lidského sluchu. Referenční (vztažné) hodnoty akustického tlaku $p_0 = 2,0 \cdot 10^{-5}$ [Pa] a intenzity zvuku $I_0 = 10^{-12}$ [W/m^2] přibližně odpovídají *prahové citlivosti* lidského sluchu při frekvenci zvuku 1 kHz.

Tabulka 1 : Hladiny akustického tlaku některých hudebních nástrojů a lidského hlasu [11]

Zdroj signálu	Hladina hluku (akustického tlaku) ve vzdálenosti 1m L [dB]
Řeč	70
Trubka	90
Buben	106
Smyčcový kvartet	90

Z hlediska decibelové stupnice hladiny akustického tlaku je vhodné si pamatovat, že zvýšení hladiny akustického tlaku o 6 dB znamená zvýšení akustického tlaku na dvojnásobek a snížení hladiny akustického tlaku o 6 dB znamená snížení akustického tlaku na polovinu.

Zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB znamená zvýšení akustického tlaku na desetinásobek, naopak snížení hladiny akustického tlaku o 20 dB znamená snížení akustického tlaku na desetinu.

Zvýšení hladiny akustického tlaku o 40 dB znamená zvýšení akustického tlaku stokrát a zvýšení hladiny akustického tlaku o 60 dB znamená zvýšení akustického tlaku tisíckrát.

Z tabulky 1 např. vyplývá, že řeč průměrné hlasitosti vyvolá akustický tlak desetkrát menší než např. tón trubky!

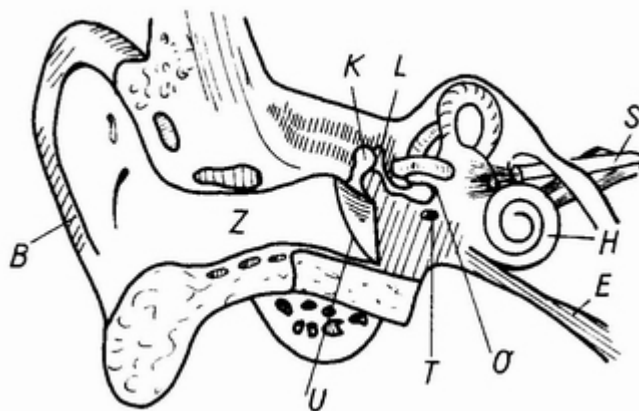
Otázky k předchozí kapitole :

1. Definuj základní pojmy z elektroakustiky jako je akustický tlak, rychlost šíření zvuku, pojem vlnoplocha, intenzita zvuku, hladina akustického tlaku
2. Vysvětli, kdy vzniká ozvěna a co je to dozvuk
3. Jaká je rychlost šíření zvuku ve vzduchu a v různých prostředích

1.2 Vlastnosti lidského sluchu

Sluchový orgán člověka je velmi složitá soustava. Reaguje na akustický tlak, vnímá zvuky s frekvencí přibližně v rozsahu od 16 Hz do 16 kHz. Rozsah je individuální, v dětství je horní hranice rozsahu kolem 20 kHz, ve stáří klesá k 10 kHz.

Mechanické vlnění s frekvencí nižší než 16 Hz se nazývá *infrazvuk*, mechanické vlnění s frekvencí vyšší než 16 kHz se nazývá *ultrazvuk*.



Obr.4 : Sluchový orgán [11]

B – boltec, Z – zvukovod, U – bubínek, K – kladívko, L – kovádlíka, S – sluchový nerv, H – hlemýžď, O – Eustachova trubice, O – oválné okénko, T – kulaté okénko

1.2.1 Stavba lidského ucha

Lidský sluchový orgán (obr.4) se skládá ze tří částí: *zevní ucho*, *střední ucho* a *vnitřní ucho*.

Přijímané akustické kmity se postupně mění na mechanické a ty potom na nervové impulzy.

Zevní ucho se skládá z boltce a zvukovodu. Boltec má nepravidelný tvar. Slouží k soustředění zvukových vln do zvukovodu, tvořeného kanálkem nepravidelného oválného průřezu, průměru asi 8 až 9 mm. Natačením hlavy se vytvářejí časové změny akustického signálu v obou zvukovodech. Kromě toho při větších úhlech natočení mimo směr přicházejícího zvuku tvoří hlava překážku zvukovým vlnám vždy pro jedno ucho. Tyto změny je člověk schopen velmi citlivě rozlišit, a určit tak směr, odkud zvuk přichází.

Střední ucho je tvořeno bubínkem a sluchovými kůstky.

Ze středního ucha jde kanálek (*Eustachova trubice*) do nosohltanu. Tento kanálek vyrovnává tlak v prostoru středního ucha za bubínkem s atmosférickým tlakem před bubínkem

Vnitřní ucho je umístěno v pevné kosti skalní. Hlavní části ucha jsou: polokruhové chodbičky, hlemýžď a předsíň. Tyto tři útvary nazýváme labiryntem. Ve vnitřním uchu dochází k prvotní *kmitočtové analýze zvuku*. Přesná analýza probíhá pak až v nervovém a vyhodnocovacím systému mozku.

Čistý tón a hluk

Mění-li se akustická rychlost částic prostředí sinusově, zní *čistý tón*. Je-li časový průběh akustické rychlosti periodický, avšak nesinusový, obsahuje tón vyšší harmonické složky, jejichž kmitočet a amplituda určují barvu tónu [10].

Při neperiodickém kmitání částic vzniká *hluk*.

Absolutní a relativní výška tónu.

Subjektivní vlastnost sluchového vjemu, charakterizovaná termínem výška tónu, je určována především základním kmitočtem zvukového vlnění. Tomuto kmitočtu se číselně rovná *absolutní výška tónu*.

Pro porovnání výšky tónů s různými kmitočty se užívá pojmu *relativní výška tónu*. Jednotkou je oktáva, která odpovídá kmitočtovému poměru 2:1.

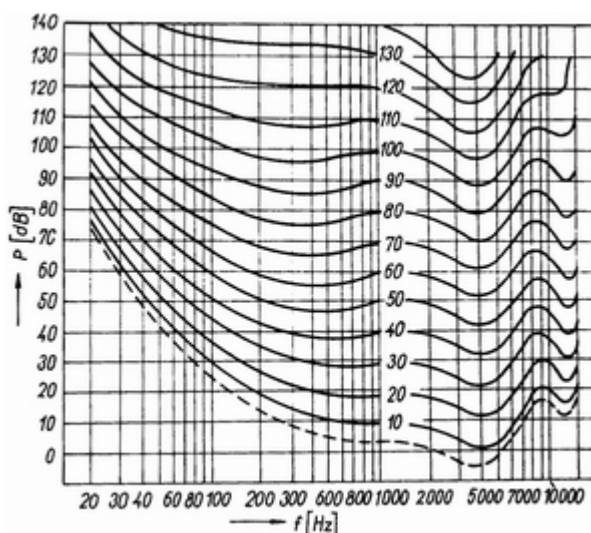
Dynamický rozsah lidského sluchu

Minimální intenzita zvuku, která ještě stačí k tomu, aby vznikl ve sluchovém orgánu sluchový vjem, se nazývá *práh slyšitelnosti*.

Je to veličina individuální a značně kmitočtově závislá. Při kmitočtu 1 kHz odpovídá přibližně intenzitě $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ nebo akustickému tlaku $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.

Intenzita zvuku, jejíž slyšení je doprovázeno bolestivým vjemem, se nazývá *práh bolesti*.

Je to opět kmitočtově závislá hodnota odpovídající při kmitočtu 1 kHz hladině zvuku asi 120dB (tj. intenzitě zvuku asi 1 W/m^2 nebo tlaku 20 Pa). Při překročení této intenzity může dojít k poškození sluchového ústrojí a ke ztrátě sluchu!



Obr.5 : Hladiny stejné hlasitosti, P je hladina zvuku [11]

Podle obr.č.5 má sluch pro jinou hlasitost jinou frekvenční závislost. Optimální hladina hlasitosti pro kvalitní poslech i pro zodpovědné posouzení jakosti hudební nahrávky je 80 až 90 Ph (jednotkou je fón). Křivka je nejvyrovnanější.

Změníme-li hlasitost, změníme i křivku hladiny stejné hlasitosti odpovídající poslechu. Proto byly navrženy *fyziologické regulátory hlasitosti*, které při změně hlasitosti mění také frek-

venční charakteristiku přenosové cesty tak, aby odpovídala křivce hladiny stejné hlasitosti pro tuto změněnou hlasitost poslechu.

Maskování zvuku

Pojem maskování zvuku má obrovský význam z hlediska moderních kompresních algoritmů zaměřených na zmenšení objemu dat zvukových hudebních souborů – princip převodu MP3. Blíže o principech samotné komprese dat budeme hovořit v části věnované záznamu dat na moderní datové nosiče. O co se tedy jedná?

Znějí-li dva nebo několik tónů současně, nastane případ, že při určitých rozdílech hlasitosti jeden nebo několik tónů s menší hlasitostí není slyšet [11]. Měřením se však lze přesvědčit, že tón s menší hlasitostí nepřestal existovat, ve sluchovém orgánu však došlo k tzv. *maskování zvuku*.

Tento jev je velmi závislý na kmitočtu a na rozdílu hlasitostí. Maskování je tím větší, čím menší jsou rozdíly mezi kmitočty maskovaného a maskujícího tónu a čím je hlasitost maskujícího tónu větší. Maskování má však i velmi nepříjemné důsledky při nerovnoměrných kmitočtových charakteristikách, neboť zdůrazněná pásma kmitočtů mohou maskovat ostatní přenášené kmitočty.

Člověk je schopen svým sluchovým orgánem velmi přesně určit směr přicházejícího zvuku. Tato schopnost sluchu není dána od narození, ale je vytvářena zkušenostmi, které jsou uloženy v paměti. Velikost chyby v určování směru je kmitočtově závislá.

Otázky k předchozí kapitole :

1. Popiš základní vlastnosti lidského ucha jako receptoru pro snímání zvuku
2. Popiš stručně stavbu ucha
3. Co je to čistý tón a hluk
4. Jaký je dynamický rozsah lidského sluchu – práh slyšitelnosti a bolesti
5. Vysvětli pojem maskování zvuku a jeho využití při datové kompresi zvuku (mp3)

1.3 Elektroakustické měniče

Elektroakustický měnič přeměňuje elektrický signál v akustický nebo naopak. Přeměna se většinou děje prostřednictvím mechanických prvků. Při změně akustického signálu v elektrický se hovoří o přijímači (mikrofony), při změně elektrického signálu v akustický o vysílači (reproduktory, sluchátka).

Elektromechanický měnič, měnící elektrický signál na mechanický pohyb, nebo mechanický pohyb na elektrický signál, využívá některého z principů přeměny elektrické energie v mechanickou energii nebo naopak.

Jsou dva základní principy měničů - *rychlostní měniče a výchylkové měniče*.

- **rychlostní měniče**
 - elektrodynamický
 - elektromagnetický
 - magnetostrikční
 - magnetodynamický
- **výchylkové měniče**
 - elektrostatický
 - piezoelektrický

1.3.1 Rychlostní měniče

Elektrodynamický měnič

Činnost elektrodynamického měniče je založena na vzájemném silovém působení magnetického pole trvalého (permanentního) magnetu a magnetického pole vznikajícího průchodem proudu vodičem.

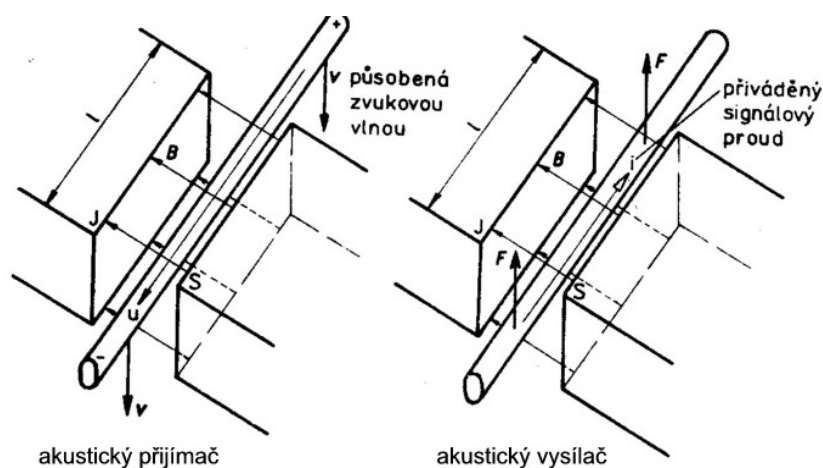
Pracuje-li tento měnič jako *akustický přijímač*, převádí se nejprve energie zvukové vlny na pohyb vodiče umístěného v magnetickém poli.

Ve funkci *akustického vysílače* se využívá síly vznikající ve vodiči, kterým prochází proud, je-li umístěn v magnetickém poli.

Silou F je rozkmitávána membrána, která je vlastním zdrojem zvukové vlny. Platí :

$$F = B \cdot i \cdot l \quad [\text{N}]$$

kde F – je síla, B - magnetické indukce, i - proud, l - délka



Obr.6 : Elektrodynamický rychlostní měnič

Elektromagnetický měnič

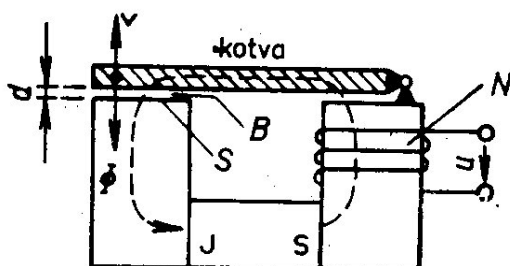
se využívá v rozmezí 300 až 3 400 Hz v telefonním *sluchátku* s jednou cívkou, které může pracovat i jako *mikrofon*. Pro malé rozměry a malou hmotnost se také používá v akustických protézách apod.

Elektromagnetický měnič využívá při činnosti jako přijímač změn magnetického toku, způsobených pohybem feromagnetické kotvy vlivem zvukových vln. Má-li pole v mezeře šířky d mezi kotvou a pólovým nástavcem magnetu průřezu S indukci B , má napětí u indukované v cívkě s N závitů při rychlosti pohybu kotvy v podobu :

$$u = N \frac{BS}{d} v \quad [\text{V}]$$

Při použití jako vysílač se využívá síly F , která vzniká v kotvě při průchodu proudu i závitů budicí cívky. Při stejném významu symbolů platí (viz obr. č.7) :

$$F = N \frac{BS}{d} i \quad [\text{N}]$$



Obr.7 : Elektromagnetický měnič

Ve funkci *vysílače* využívá deformace feromagnetické látky v závislosti na procházejícím magnetickém toku. Deformující síla je úměrná proudu, kterým se budí magnetické pole ($F \sim i$). Ve funkci *přijímače* vyvolávají mechanické deformace změnu magnetického toku. Výstupní napětí indukované v cívkě je úměrné rychlosti změn rozměrů magnetického materiálu jádra cívky ($u \sim v$).

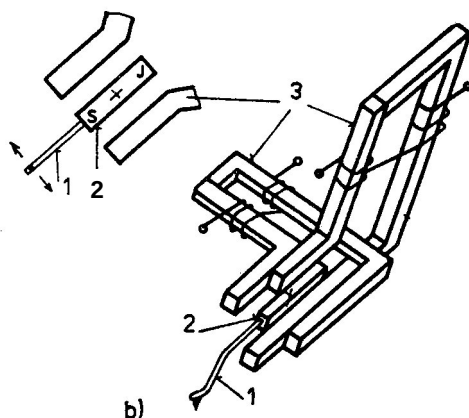
V elektroakustice se pro malou účinnost příliš nevyužívá, používá se častěji v oboru *ultrazvuku*, v magnetostrikčních zpožďovacích linkách, v elektromechanických filtrech apod.

Magnetodynamický měnič

Nejběžnější je magnetodynamický měnič ve funkci přenosky.

Lehký feritový magnet 2 ve tvaru hranolku, který se chvějkou 1 natáčí podle pohybu snímacího hrotu v drážce. Natočení magnetu odpovídají směry i velikost magnetických toků a jím pak odpovídají napětí indukovaná v cívkách jednotlivých kanálů.

Popsané měniče jsou tzv. *rychlostní měniče*. Dále existují tzv. *výchylkové měniče*.

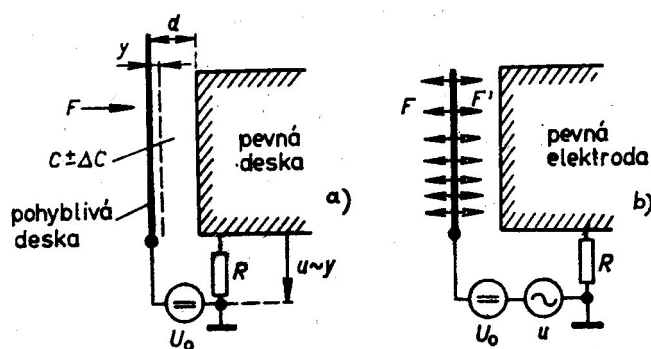


Obr.8 : Magnetodynamická přenoska gramofonu (stereo)

1.3.2 Výchylkové měniče

Elektrostatický měnič

Elektrostatický měnič využívá ve funkci přijímače změn napětí na kondenzátoru při změnách jeho kapacity a konstantním náboji. Posune-li se pohyblivá deska deskového kondenzátoru působením síly F při dopadu zvukové vlny o výchylku y , změní se kapacita kondenzátoru o malou hodnotu ΔC . Za předpokladu, že časová konstanta obvodu RC je mnohem větší než perioda zvukové vlny, nestačí se náboj na kondenzátoru v rytmu zvukových vln měnit a musí se proto měnit mezi jeho elektrodami napětí.



Obr.9 : Elektrostatický měnič ve funkci akustického přijímače a vysílače

Piezelektrický měnič

Piezelektrický měnič využívá ke své činnosti piezelektrických vlastností krystalů některých látek. Nejčastěji je používána Seignettova sůl nebo silným elektrickým polem polarizovaná piezokeramika (titanát barya - BaTiO_3).

Mechanickou deformací destičky, vyříznuté vhodným směrem ze základního krystalu, vzniká na jejích stěnách elektrický náboj úměrný působící síle a tudíž při pružné deformaci i výchylce y .

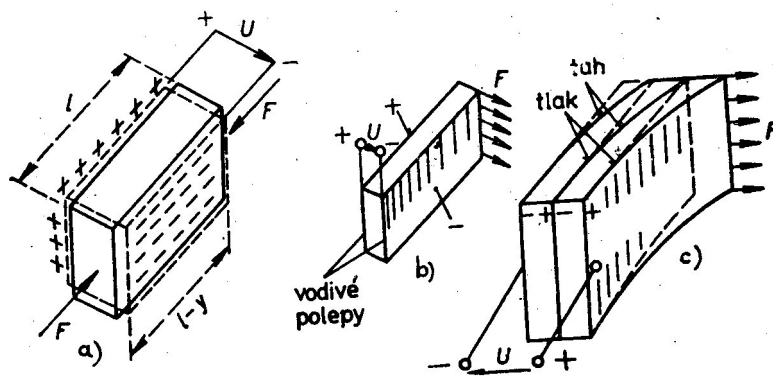
Výstupní napětí odebírané z vodivých polepů vytvořených na stěnách, na kterých vzniká náboj, je roven :

$$u = k \cdot y \quad [\text{V}]$$

kde u – výstupní napětí, k - konstanta závislá na materiálu a rozměrech destičky, y – výchylka při deformaci.

Má stejnou velikost i pro obrácený jev, kdy působením elektrického pole dochází k deformaci krystalu. Vznikající síla F je úměrná napětí u přivedenému na polepy

$$F = k \cdot u \quad [\text{N}]$$



Obr.10 : Piezoelektrický měnič; a) ve funkci akustického přijímače, b) ve funkci akustického vysílače c) krystalové dvojče

Pro zvětšení výstupního napětí nebo výchylky při obráceném použití se konstruuje dvojice destiček – dvojčata, jejichž výstupní napětí nebo výchylky se sčítají (viz obr.10c).

Otázky k předchozí kapitole :

1. Popište základní princip a použití elektroakustického měniče
2. Vyjmenujte základní typy měničů rychlostních a výchylkových
3. Popište funkci každého typu probraného měniče samostatně podle obrázků
4. Jaké je praktické použití jednotlivých typů akustických měničů

1.4 Mikrofony

Skládají se z jednoho nebo více elektroakustických měničů vhodného typu a konstrukce ve funkci přijímače zvuku.

1.4.1 Základní pojmy

Citlivost mikrofону

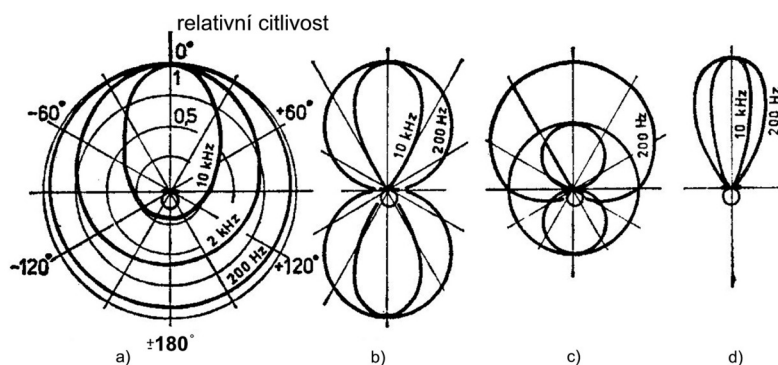
Citlivost mikrofону [$\text{mV} \cdot \text{Pa}^{-1}$] je dána velikostí výstupního napětí naprázdno vyvolaného akustickým tlakem 1 Pa. Udává se při určité frekvenci (obvykle 1 kHz) a při kolmém dopadu zvukové vlny.

Frekvenční charakteristika mikrofonu

Frekvenční charakteristika mikrofonu je závislost citlivosti mikrofonu na frekvenci nebo závislost výstupního napětí mikrofonu při konstantním akustickém tlaku na frekvenci. Zvlnění průběhu výstupního napětí v závislosti na frekvenci by nemělo být větší než ± 5 dB v pásmu požadovaném pro kvalitní přenos (tj. 40 až 15 000 Hz).

Směrová charakteristika mikrofonu

Směrová charakteristika mikrofonu je závislost citlivosti mikrofonu na směru, ze kterého zvuk přichází. Základní typy směrových charakteristik jsou kulová (v rovině kruhová), osmičková, kardioidní a ostře směrovaná (obr. 11).



Obr. 11: Směrová charakteristika mikrofónů – a) kulová, b) osmičková, c) kardioidní, d) ostře směrovaná

Nelineární zkreslení

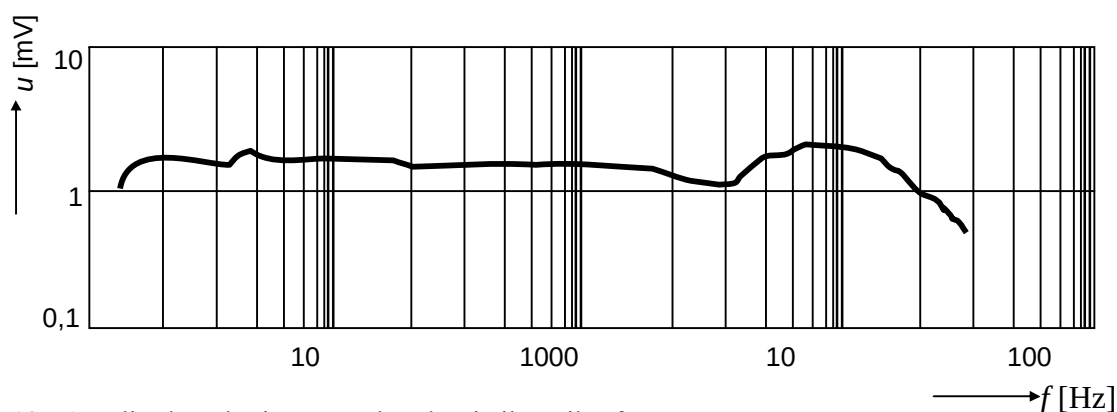
Nelineární zkreslení výstupního napětí mikrofonu ve frekvenčním pásmu 40 až 15 000 Hz nemá překročit 0,8 % pro hudbu a 1 % pro řeč. Tomu odpovídá největší, tzv. *mezní akustický tlak mikrofonu* (přibližně 15 až 25 Pa).

Výstupní impedance mikrofonu

Výstupní impedance mikrofonu je poměr výstupního napětí mikrofonu naprázdno k výstupnímu proudu nakrátko. Je důležitá pro připojení mikrofonu k zesilovači a závisí také na frekvenci.

Amplitudová kmitočtová charakteristika

Amplitudová kmitočtová charakteristika je závislost výstupního napětí mikrofonu při konstantním akustickém tlaku na kmitočtu (obr.12).

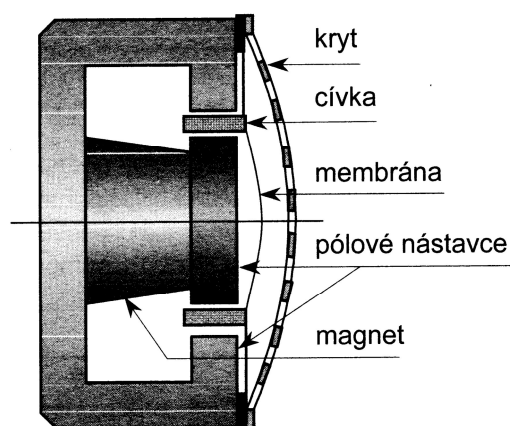


Obr.12 : Amplitudová kmitočtová charakteristika mikrofonu

1.4.2 Konstrukce mikrofonů :

Nejpoužívanější jsou mikrofony elektrodynamické v provedení cívkový nebo páskový. Nejlepší jsou elektrostatische (kondenzátorové) mikrofony.

Elektrodynamický cívkový mikrofon



Obr.13 : Elektrodynamický cívkový mikrofon

Tento mikrofon se skládá z magnetického obvodu trvalého magnetu, v jehož kruhové vzduchové mezeře mezi pólovými nástavci a trnem je umístěna kmitací cívka, spojená s lehkou a

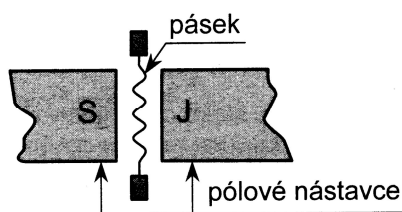
na okrajích zvlněnou membránou. Membrána kmitá při dopadu zvukových vln pístovým pohybem.

Citlivost těchto mikrofonů bývá asi 1 až 2 mV/Pa, výstupní impedance 200 Ω . V běžném provedení má tento mikrofon vlastnosti mikrofonu tlakového. Častá jsou však i provedení se směrovou charakteristikou kardioidní, které se dosáhne vhodně volenými pomocnými akustickými obvody.

Elektrodynamický páskový mikrofon

Funkci membrány a zároveň vodiče, ve kterém se indukuje napětí, zde zastává hliníkový příčně zvlněný pásek tloušťky 1 až 2 mm, dlouhý několik desítek milimetrů a široký kolem 2 mm, který je mírně napjat mezi pólovými nástavci magnetického obvodu mikrofonu.

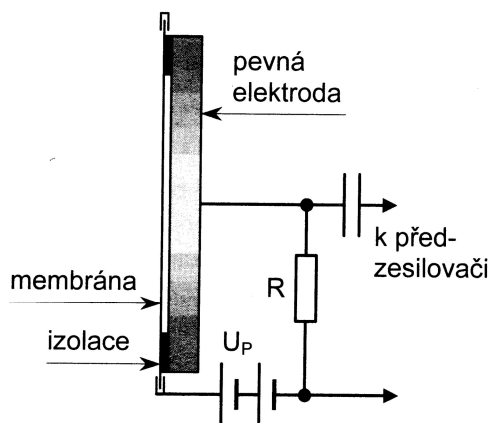
Citlivost je malá. Činí asi 0,5 mV/Pa, avšak kmitočtová charakteristika je velmi vyrovnaná. Vzhledem k velmi malé impedanci pásku je nutné připojovat mikrofon k vnějšímu obvodu přes mikrofonní transformátor (umístěný přímo v tělese mikrofonu), který zvětšuje výstupní impedanci asi na 200 Ω .



Obr.14 : Elektrodynamický páskový mikrofon

Elektrostatické (kondenzátorové) mikrofony

Kondenzátorové mikrofony obsahují jeden, popř. dva vhodně zapojené elektrostatické měniče. Konstruují se jako tlakové nebo rychlostní, zpravidla pro profesionální použití. Vzhledem k tomu, že se dají absolutně cejchovat, užívají se i pro měřicí účely.



Obr.15 : Elektrostatický mikrofon

V základním provedení pracuje mikrofon jako tlakový. Membrána z plastické látky několik mikrometrů tlustá, z vnější strany pozlacená, je napjata v kovovém rámečku. Izolační podložkou je membrána udržována ve vzdálenosti několika desítek mikrometrů od povrchu pevné elektrody, která je opatřena několika velmi jemnými otvory, sloužícími k pozvolnému vyrovnávání tlaku vzduchu v prostoru mezi elektrodami při změně atmosférického tlaku.

Elektrostatický mikrofon je nejkvalitnější studiový mikrofon. Lze u něho dosáhnout frekvenční charakteristiky se zvlněním jen $\pm 0,5$ dB v pásmu 5 až 30 000 Hz. Není vhodný pro práci v exteriéru (rušilo by proudění vzduchu a vítr) a pro reportážní nahrávky.

Elektretový mikrofon

Je elektrostatický mikrofon, který zachovává vynikající parametry předcházejícího mikrofonu, ale nemá potřebnou intenzitu elektrostatického pole vytvářenou klasickým stejnosměrným zdrojem. *Elektrety* jsou keramické materiály po vypálení polarizované uložení do elektrostatického pole při vyšší teplotě. Vnucenou polarizaci si zachovávají po dlouhou dobu (asi 5 let) a lze ji obnovit. Používají se např. do levné spotřební elektroniky.

Otázky k předchozí kapitole :

1. Popište základní pojmy jako je citlivost mikrofonu, frekvenční charakteristika, směrová charakteristika, výstupní impedance, kmitočtová charakteristika, atd.
2. Jaký typ směrové charakteristiky mikrofonu bychom použili pro snímání zvuku hudebníka před bouřlivým davem posluchačů a jaká je použití mikrofonu s ostře směrovou charakteristikou
3. Popište konstrukci elektrodynamického cívkového a páskového mikrofonu
4. Popište konstrukci elektrostatického mikrofonu
5. Co jsou to elektrety a jaký mají význam z hlediska konstrukce elektretového mikrofonu

1.5 Reproduktory

Reproduktory jsou elektroakustické měniče, které přeměňují elektrický signál na signál akustický.

Základem reproduktoru je elektroakustický měnič, dnes téměř výhradně *elektrodynamický*, ve funkci vysílače. Membrána *přímovyzářujícího reproduktoru* vytváří akustický signál ve vzduchu svou aktivní plochou přímo, membrána *nepřímovyzářujícího reproduktoru* je s vnějším prostředím vázána zvukovodem nebo jiným akustickým obvodem.

1.5.1 Základní parametry reproduktorů

Účinnost reproduktoru

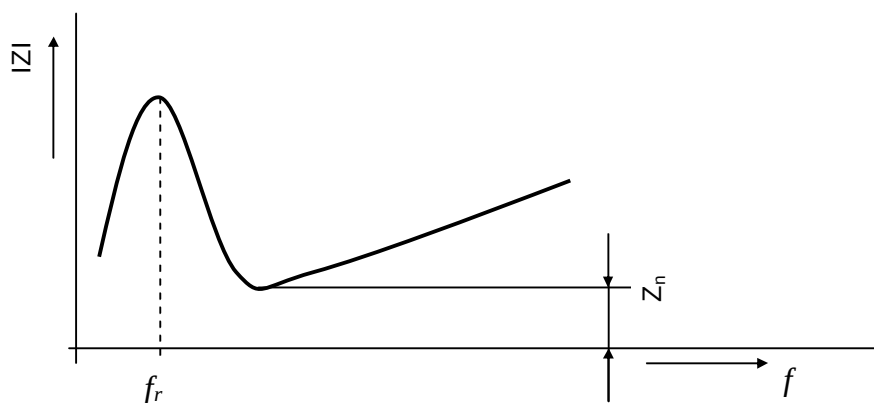
Účinnost reproduktoru je poměr vyzářeného akustického výkonu k elektrickému příkonu. U přímo vyzářujících reproduktorů bývá 3 až 5 %, u nepřímovyzářujících je až desetinásobná. *Charakteristická citlivost reproduktoru* je dána průměrným akustickým tlakem v ose reproduktoru ve vzdálenosti 1 m při příkonu 1 VA. Udává se v decibelech ve vztahu k úrovni $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. U elektrodynamických přímovyzářujících i nepřímovyzářujících reproduktorů je asi 80 až 100 dB.

Frekvenční charakteristika reproduktoru

Frekvenční charakteristika reproduktoru je závislost akustického tlaku v ose reproduktoru na frekvenci při konstantním budicím napětí.

Impedance reproduktoru

Impedance reproduktoru je poměr střídavého napětí na jeho svorkách k procházejícímu střídavému proudu. Je značně frekvenčně závislá (obr. 16).



Obr.16 : Frekvenční závislost absolutní hodnoty impedance přímovytvářejícího elektrodynamického reproduktoru

Ukazuje se, že elektrické a mechanické vlastnosti se vzájemně ovlivňují a doplňují. Zvětšování hodnoty impedance při vyšších frekvencích působí zvětšující se reaktance kmitací cívky, maximum v oblasti nízkých frekvencí je dáno *mechanickou rezonancí* konstrukčního uspořádání.

Jmenovitá impedance Z_n reproduktoru

Jmenovitá impedance Z_n reproduktoru je nejmenší impedance v pracovní oblasti nad mechanickou rezonancí. Obvykle bývá v řadě 2, 4, 8, 15, 25, 50, 100, 400 nebo 800 Ω .

Největší dovolený elektrický příkon

Největší dovolený elektrický příkon reproduktoru [VA] se udává pro jmenovitou impedanci. Jeho překročením se může poškodit kmitací cívka nebo membrána.

1.5.2 Rozdělení a konstrukce reproduktorů

Žádný z reproduktorů sám kvalitně neobsáhne celé slyšitelné pásmo. Pro účinné vyzáření hlubokých tónů totiž musí mít membrána velké rozměry, velkou hmotnost a velkou poddajnost. Pro účinné vyzáření vysokých frekvencí musí mít naopak malé rozměry, malou hmotnost a velkou tuhost.

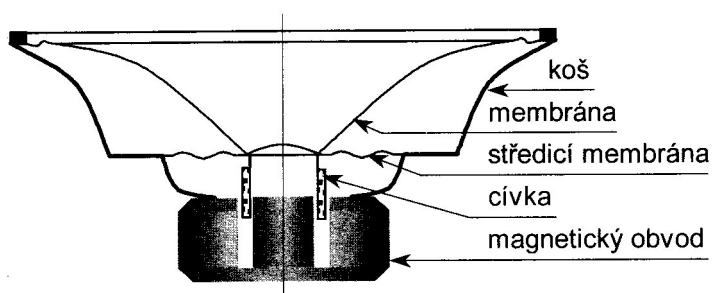
Proto se konstruuje *reproduktory* :

- *hlubokotónové* - pásmo asi 20 až 4 000 Hz
- *středotónové* - 100 až 6 000 Hz

- vysokotónové - 1 až 16 až 20 kHz
- univerzální - 100 Hz až 10 nebo i 15 kHz, nejčastěji s eliptickou membránou

Elektrodynamický přímovyzařující reproduktor

Elektrodynamický přímovyzařující reproduktor (obr.17) má dvouvrstvou kmitací cívku. Magnetické obvody řešené s minimálním rozptylem se u různých reproduktorů liší umístěním permanentního magnetu (ze slitiny AlNi, AlNiCo nebo z magneticky tvrdých feritů). Membrána je ze speciální papíroviny. Musí kmitat jako jeden celek a v místě uchycení musí být velmi poddajná. Povrchovou křivkou je exponenciála. Kolem středu je tlustší a tužší. Pro extrémní zvětšení poddajnosti a zdvihu mají některé hlubokotónové reproduktory vedle obvyklých prolisů uchycení membrány ke koši mezikružím ze speciální pryže. Koš musí být pevný; je vylišován z plechu a u větších hlubokotónových reproduktorů je odlitý.

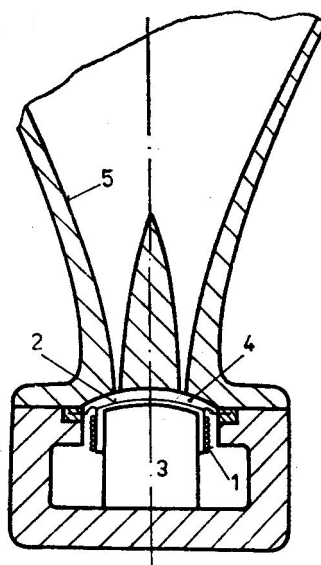


Obr.17 : Elektrodynamický reproduktor

Elektrodynamický nepřímovyzařující (tlakový) reproduktor

Elektrodynamický nepřímovyzařující (tlakový) reproduktor (obr. 18) má malou membránu 2 z duralové fólie, nejčastěji ve tvaru kulového vrchlíku, který přechází do rovinného mezikruží přes několik vlnek. K membráně je pevně přilepena kmitací cívka 1, navinutá z hliníkového nebo měděného pásku nebo drátu.

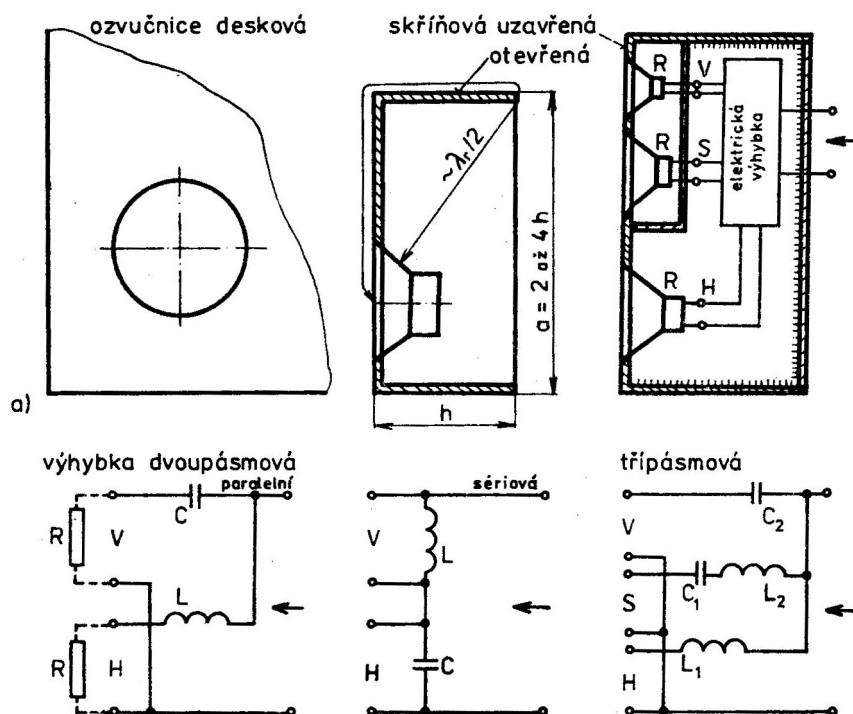
Název reproduktoru je odvozen od *tlakové komůrky* 4 mezi membránou a hrdlem zvukovodu. Vzduch v ní uzavřený tlumí pohyb membrány, takže tlakový reproduktor může mít větší příkon než reproduktor přímovyzařující. Změny tlaku se z komůrky přenášejí jedním otvorem nebo několika otvory do *zvukovodu* 5 a jím se plynule přenášejí do okolního prostoru. Velikost tlakové komůrky ovlivňuje přenos vyšších frekvencí, rozměry zvukovodu určují přenos nízkých frekvencí (pro 100 Hz by měl mít zvukovod u ústí průměr asi 1 m). Popsaný tlakový reproduktor lze použít jako kvalitní vysokotónový reproduktor.



Obr.18 : Elektrodynamický tlakový reproduktor

1.5.3 Ozvučnice a reproduktorové soustavy

Pístovým kmitáním se vytváří akustický tlak na obou stranách membrány reproduktoru, ale s opačnou fází. U samotného přímovyzářujícího reproduktoru by se tlaky před a za membránou vyrovnávaly. Tento *akustický zkrat*, který zhoršuje především vyzařování signálů nejnižších frekvencí ($\sim f_1$), omezujeme *ozvučnicí*.



Obr.19 : Ozvučnice, reproduktorové soustavy, elektrické pasivní výhybky [12].

1.5.4 Funkce elektrické výhybky v reproduktorové soustavě [11]

Nezbytnou součástí každé reproduktorové soustavy, ve které vyzařují jednotlivé specializované reproduktory jen určitou část zvukového spektra, je elektrická výhybka. Jejím úkolem je rozdělení elektrické energie výkonového zesilovače obsahující celé akustické spektrum kmitočtů tak, aby každý z reproduktorů dostal jen tu část akustického pásma, kterou může optimálně vyzářit z hlediska účinnosti a minimálního zkreslení.

Předpokládejme nejčastější případ, kdy na výkonový zesilovač připojíme reproduktorovou soustavu dvoupásmovou, s jedním reproduktorem hlubokotónovým a s jedním reproduktorem vysokotónovým.

Tyto dva reproduktory se stejnou citlivostí a se stejnou impedancí elektricky propojíme např. paralelně, a společně připojíme na výstup zesilovače o výkonu 5 W. Elektrické propojení těchto dvou reproduktorů způsobí, že výkon zesilovače se rozdělí v celém akustickém spektru rovnoměrně do obou reproduktorů. To znamená, že hlubokotónový reproduktor převeze výkon 2,5 W a vysokotónový reproduktor také 2,5 W v celé oblasti akustického spektra.

V tomto případě hlubokotónový reproduktor, který je konstruován pro optimální vyzařování nízkých kmitočtů, není schopen vyzářit vysoké kmitočty a naopak vysokotónový reproduktor není schopen vyzářit nízké kmitočty. Jelikož je celkový výkon zesilovače rozdělen rovnoměrně v celém akustickém spektru mezi oba specializované reproduktory, zmaří se polovina hlubokotónového výkonu ve vysokotónovém reproduktoru a naopak polovina vysokotónového výkonu v hlubokotónovém reproduktoru. Výsledkem tohoto nevhodného zapojení by bylo jen poloviční využití výkonu zesilovače, druhá polovina by se promarnila zbytečným namáháním kmitacíh systémů obou reproduktorů.

Abychom tedy plně využili výkonu zesilovače a dosáhli minimálního zkreslení přenášeného signálu, musíme zapojit reproduktorovou soustavu tak, že do obvodů jednotlivých reproduktorů vložíme elektrické součástky takových vlastností, aby hlubokotónový reproduktor byl napájen jen nízkými kmitočty a vysokotónový reproduktor jen vysokými kmitočty.

Pasivní výhybky

Základními součástkami pro konstrukci pasivních výhybek jsou kondenzátory a tlumivky. Pomocí těchto prvků vytvoříme elektrické výhybky, které propouštějí nebo zadržují určitá pásma kmitočtů. Kondenzátory propouštějí vysoké kmitočty a zadržují nízké. Naopak tlumivky zadržují vysoké kmitočty a propouštějí nízké. Zapojíme-li kondenzátor s tlumivkou do série s reproduktorem, je reproduktor napájen jen středním pásmem akustických kmitočtů. Z těchto základních elektrických závislostí můžeme odvodit většinu používaných elektrických výhybek v reproduktorových soustavách.

Aktivní (elektronické) výhybky

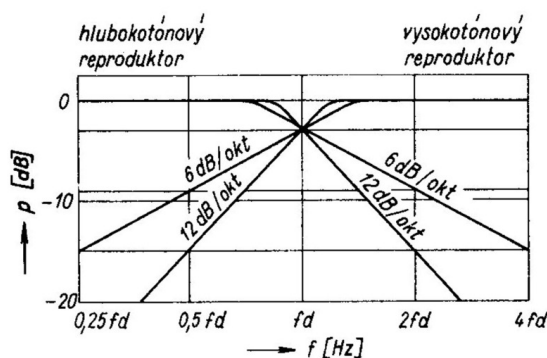
Výhybky je možné konstruovat i jako tzv. *aktivní výhybky* typu horní a dolní propust pomocí moderních elektronických součástek – nejčastěji pomocí moderních nízkošumových integrovaných obvodů. Potom bývá v reproduktorové skříní umístěn napájecí zdroj a všechny potřebné elektronické obvody a ovládací obvody, případně konektory, atd..

Strmost výhybek 6 dB/okt nebo 12 dB/okt

Výhybky na obr.19 mají tu vlastnost, že rozdělují elektrický výkon zesilovače do jednotlivých reproduktorů tak, že v poměrně širokém okolí dělicího kmitočtu hrají oba reproduktory sou-

časně. Každá elektrická výhybka však má strmost. Strmost je útlumová vlastnost výhybky, určující, jak ostře klesá nebo stoupá příkon do reproduktoru od dělicího kmitočtu.

Strmost výhybky vyjadřujeme počtem decibelů (dB), o který se sníží (zvýší) napětí na reproduktoru v jedné oktávě od dělicího kmitočtu. Na obr. 20 je znázorněna útlumová charakteristika výhybek se strmostí 6 dB a 12 dB na oktávu. Dělicí kmitočet určujeme bodem na útlumové charakteristice, ve které poklesne napájecí napětí na reproduktoru o 3 dB



Obr.20: Kmitočtový průběh výhybek se strmostí 6 dB a 12 dB na oktávu [11].

Strmost výhybky je dána počtem a druhem součástí v obvodech jednotlivých reproduktorů v soustavě.

Otázky k předchozí kapitole :

1. Vysvětlete základní pojmy jako je účinnost reproduktoru, charakteristická citlivost, frekvenční charakteristika, impedance a jmenovitá impedance reproduktoru, největší dovolený elektrický příkon reproduktoru
2. Vysvětlete základní konstrukci přímo a nepřímovyzařujícího reproduktoru
3. Jaká je funkce a vlastnosti ozvučnice
4. Vlastnosti konstrukce reproduktorových soustav
5. Vysvětlete funkci pasivních a aktivních výhybek v reproduktorových soustavách
6. Co je to strmost výhybky, pojem oktáva, dekáda, strmost 6 dB/okt

1.6 Záznam zvuku [15]

Záznam zvuku je proces umožňující záznam zvukového signálu na vhodný pohybující se nosič tak, aby byla možnost znovu ze záznamu získat zpět původní zvukový signál.

1.6.1 Druhy záznamu

Analogový záznam zvuku :

- mechanický (záznam na gramofonovou desku)
- magnetický (záznam na magnetofonovou pásku)
- optický záznam na filmový pás

Digitální záznam zvuku:

- záznam na CD (Compact Disc) a DVD (Digital Versatile Disc)
- záznam s využitím osobního počítače a multifunkčních zařízení (MiniDisk, DAT kazety, atd.)

1.6.2 Mechanický záznam zvuku - gramofonová deska

Gramofonová deska představuje nejstarší a velmi rozšířený způsob záznamu zvuku vzhledem k nízké ceně a poměrně dobré kvalitě zvuku. V současné době však zcela ustoupila kvalitnějšímu digitálnímu systému CD.

Záznam se prováděl mechanickým rytím spirálové drážky do povrchu tenké vrstvy speciálního laku, naneseného na rovnou kovovou kotoučovou desku.

Ke *snímání* gramofonového záznamu slouží kuželový hrot ze safíru nebo syntetického diamantu. Systém snímacího zařízení zvaného *přenoska* je piezoelektrický (nejčastější) nebo magnetodynamický.

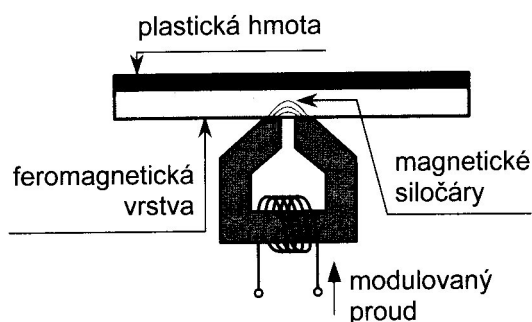
Stereofonní záznam

Na gramofonové desce je možný i *stereofonní záznam zvuku*. Princip tohoto záznamu spočívá v křížovém záznamu obou signálů pravého i levého kanálu vzájemně kolmo pod úhlem 45° vzhledem k rovině gramofonové desky na boky jedné drážky. Stereofonní přenosky obsahují dvojitý snímací systém, ze kterého se získané signály zesilují v dvoukanálovém zesilovači a přeměňují na zvuk pomocí dvou reproduktorových soustav.

1.6.2 Magnetický záznam zvuku [11]

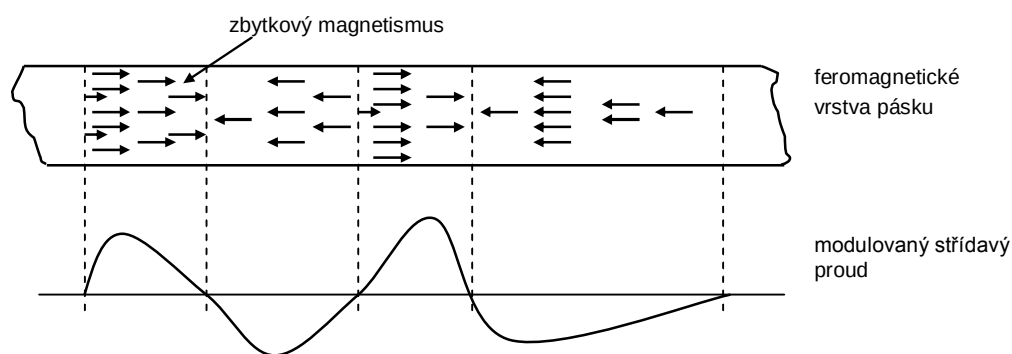
Princip magnetického záznamu je založen na střídavém magnetizování záznamového materiálu (*magnetofonového pásku*) elektromagnetickým polem *magnetofonové hlavy* (obr. 21).

Magnetofonová hlava se skládá z prstencového jádra zhotoveného z magneticky dobře vodivého materiálu, které je přerušeno úzkou štěrbinou vyplněnou diamagnetickým materiálem. Na jádře je navinuta magnetizační cívka. Nad štěrbinou magnetofonové hlavy se posouvá pásek, který se skládá z plastového nosiče, na němž je nanесena feromagnetická vrstva z magneticky tvrdého materiálu.



Obr.č. 21: Magnetofonová hlava (pásek je silně zvětšený) [11].

Při záznamu prochází vinutím cívky elektrický proud s časovým průběhem odpovídajícím průběhu zaznamenávané akustické zprávy. Magnetické siločáry v místě štěrby, vybuzené elektrickým proudem, vystupují z jádra hlavy do pásku a magnetizují ho. Po opuštění štěrby zůstává na magnetofonovém pásku zbytkový (remanentní) magnetismus, jehož rozložení podél pásku odpovídá časovému průběhu zvukového signálu.



Obr.22: Magnetický záznam [11].

Předmagnetizace

Zakřivení magnetizační křivky materiálu kolem počátku by způsobovalo zkreslení záznamu. Zkreslení lze odstranit posunem pracovního bodu ze středu souřadnicové soustavy remanentní charakteristiky do její lineární části. Posun pracovního bodu se realizuje předmagnetizací.

U prvních magnetofonů se používala *stejnoseměrná předmagnetizace*, jejíž nevýhodou bylo zvýšení hladiny šumu. Nedostatek odstraňuje *vysokofrekvenční předmagnetizace*, u které se místo stejnosměrného proudu používá střídavý proud s kmitočtem nejméně pětkrát větším, než je horní mezní kmitočet zaznamenávaného signálu. Vysokofrekvenční předmagnetizační proud se přivádí do záznamové hlavy, kde se superponuje se zaznamenávaným nízkofrekvenčním signálem. Pracovní bod se posunuje do lineární části remanentní charakteristiky pásku. V modulačních přestávkách se však pracovní bod pásku při opuštění štěrby přesunuje až do polohy nulové remanentní indukce, protože při vzdalování pásku od štěrby klesá magnetický účinek vysokofrekvenčního proudu až na nulu.

Na tomto principu odmagnetizování je založeno i vymazávání *záznamu*, probíhající automaticky při každém záznamu.

Současné magnetofony využívají signál generátoru vysokofrekvenčního předmagnetizačního proudu nejen na předmagnetizaci, ale i na vymazávání záznamu. Signál je přiváděn do *mazací hlavy* umístěné před záznamovou hlavou, která se vždy při každém záznamu aktivuje.

Správná volba velikosti předmagnetizačního proudu je pro kvalitní magnetický *záznam* velmi důležitá. Je třeba vědět, že pro každý typ magnetofonového pásku doporučuje výrobce i optimální velikost magnetizačního proudu. Každý dobrý magnetofon by měl proto obsahovat přepínač předmagnetizace (přepínač druhu pásku). Není-li přepínač zabudován, nastaví výrobce magnetofon na doporučený typ pásku.

Snímání záznamu

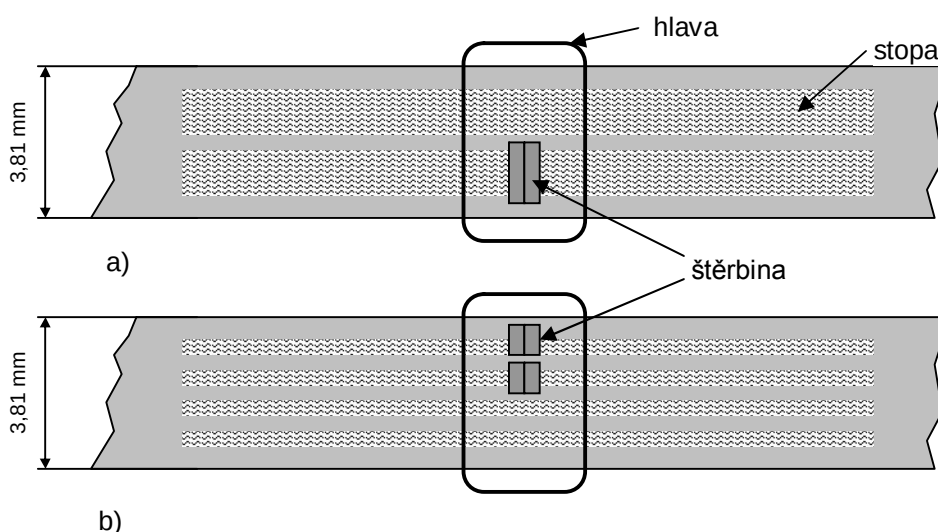
Pásek se posouvá před mezerou magnetofonové hlavy. V rytmu *záznamu* se mění magnetické pole procházející cívku hlavy. Ve vinutí hlavy se indukuje střídavé napětí, které po zesílení a přeměně signálu reproduktorem odpovídá původnímu zvukovému signálu.

Magnetofonové hlavy

Principiálně lze zabezpečit všechny základní funkce magnetofonu, tj. *vymazávání, záznam a snímání* jednou magnetofonovou hlavou. Při tomto řešení však nelze očekávat optimální kvalitu záznamu. Špičkové magnetofony používají pro každou funkci samostatnou hlavu. U běžných komerčních (prodávaných v maloobchodě) magnetofonů střední třídy se používají dvě hlavy - *mazací a univerzální*, která plní funkci *záznamové i snímací hlavy*.

Každá magnetofonová hlava se skládá ze tří základních částí: *z jádra, štěrbin a vinutí magnetizační cívky*. Na komerční magnetofon se nekladou tak přísné požadavky, proto se u nich k prodloužení hrací doby používají hlavy pro dvoustopý a čtyřstopý záznam. Nástupem kasetových magnetofonů se šířkou pásku 3,81 mm se rozměry hlavy zmenšily, přitom se dvoustopý a čtyřstopý způsob záznamu zachoval. Pro stereofonní záznam na obě strany magnetofonového pásu se používá čtyřstopá stereofonní hlava s dvěma štěrbinami (obr. 23).

K zabezpečení *slučitelnosti* (kompatibility) s monofonním systémem snímání musí být obě stopy (levý a pravý kanál) jednoho *stereofonního záznamu* vedle sebe.



Obr.23 : Provedení magnetofonových hlav a uspořádání stop [11]
a) dvoustopá monotónní hlava; b) čtyřstopá stereofonní hlava

Magnetofonový pásek

Magnetofonový pásek se skládá ze dvou základních vrstev: z mechanicky namáhaného nosiče a *podložky*, na které je nanesena magneticky aktivní vrstva. Polyesterové podložky vykazují nejlepší vlastnosti - nejsou citlivé na změny teploty a vlhkosti a vyznačují se velkou odolností vůči mechanickému namáhání.

Magneticky aktivní vrstva je důležitá pro kvalitu záznamu. Musí být *homogenní, odolná proti oděru a změnám teploty* a musí být také *časově stabilní*. Jako materiál se dlouho používal oxid železitý Fe_2O_3 . Jeho nevýhodou byl poměrně velký základní šum a omezená vybuditelnost na vysokých kmitočtech. Pásky s oxidem chromičitým CrO_2 - tzv. chromdioxidové pásky měly menší šum, ale na středních a nízkých kmitočtech menší vybuditelnost. Proto se na trhu objevily ferochromové pásky FeCr . Tyto pásky mají kombinovanou aktivní vrstvu $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_2$ a spojují vlastnosti obou magneticky aktivních materiálů. Další zlepšení přenosu vyšších kmitočtů a odstupu signálu od šumu přinesl pásek typu metal - pásek s aktivní vrstvou z čistého železa.

Konstrukce magnetofonu

Z konstrukčního hlediska se magnetofon skládá ze dvou základních částí: z elektrické části a z mechanické části :

- *Elektrická část* - tvoří ji mazací a záznamová hlava a další elektrické obvody magnetofonu (zesilovače, korekční zesilovač, atd.).
- *Mechanická část* - pohonný systém zabezpečuje konstantní posuv pásku stanovenou rychlostí s minimálními odchylkami a rychlé převíjení pásku vpřed a vzad.

V poslední době se nejvíce používají kazetové magnetofony. Podstatnou výhodou kazet je, že se pásek nemusí zakládat do páskové dráhy a při výměně kazety se pásek nemusí přetáčet najeden z kotoučů. Stačí jednoduché zasunutí a vysunutí.

Kazety obsahují pásek s normalizovanou šířkou 3,81 mm (cívkové magnetofony mají šířku pásku 6,25 mm). Nejčastější rychlost posuvu je 4,75 cm/s. Kazetové magnetofony se rychle zdokonalovaly a dnes úspěšně konkurují cívkovým magnetofonům. Během jejich vývoje se objevily různé systémy pro potlačování šumu a zvětšení dynamiky. Nejznámější z nich jsou systémy Dolby A, B, C, DNL, HIGHCOM, atd.

Nejvíce používaný systém Dolby (nese jméno svého autora) vychází z poznatku, že šumy nejvíce ruší při slabých signálech. V zásadě jde o zesílení slabých signálů při záznamu a jejich ekvivalentní potlačení při reprodukci. Jádrem myšlenky je v tom, že současně s potlačováním slabých signálů při reprodukci se zeslabuje i úroveň rušivých signálů

Trh je dnes zaplaven množstvím kazet s různými magneticky aktivními vrstvami. Jak už víme, každý druh pásku potřebuje jinou hodnotu *předmagnetizačního proudu*. Aby se zjednodušila obsluha a zaručila vždy kvalitní nahrávka, bylo zavedeno kódové označení kazet (systém speciálních otvorů na kazetě). Magnetofon po vložení kazety kód vyhodnotí a automaticky nastaví potřebnou předmagnetizaci. Otvor v kazetě může také zabránit náhodnému vymazání záznamu.

1.6.3 Optický záznam zvuku

Jedná se o mechanický (analogový) záznam zvuku na filmový pás. Dříve se používal pro záznam zvukového doprovodu ozvučených filmů.

Záznam se provádí exponováním světlem úzkého proužku na okraji filmového pásu opticky modulovaným záznamem zvuku přes pohyblivou štěrbinu. Světlo vycházející za štěrbinu je modulováno zvukovým signálem a následně exponováno na citlivý filmový pás.

Reprodukce zvuku se prováděla v opačném principu – světlo z prosvětlovací lampy bylo modulované průchodem přes filmový pás se zvukovým optickým záznamem a dopadalo na světlocitlivý fotoelektrický prvek- např. dříve nejčastěji vakuovou fotoelektronku.

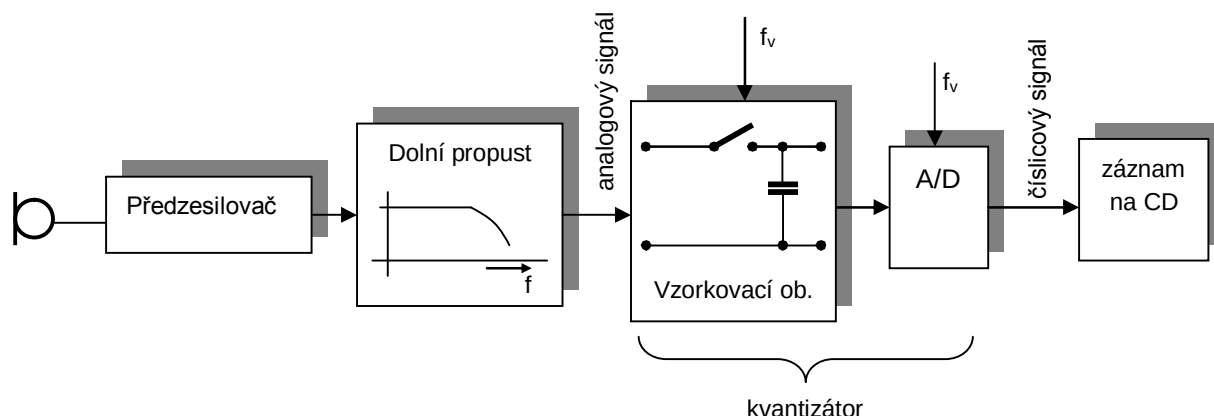
Kvalita zaznamenaného zvuku byla průměrná. Tento způsob záznamu zvuku filmů byl brzy zcela vytlačen záznamem magnetickým do magnetické stopy (stop) na okraji filmového pásu mimo oblast filmového okénka.

1.6.4 Digitální záznam zvuku [12]

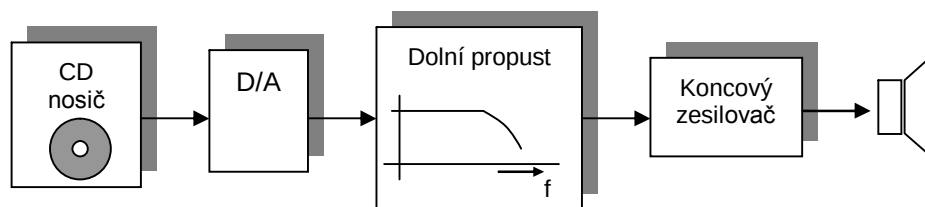
Digitální (číslicové) zpracování hovorových signálů s frekvencí 300 až 3 400 Hz se běžně používá v telekomunikačních systémech s časovým tříděním signálů. Číslicový záznam velmi kvalitních akustických signálů 16 Hz až 16 kHz (20 kHz) je ale mnohem náročnější.

Elektroakustický řetězec

Na obr.24 a obr.25 je elektroakustický řetězec s číslicovým zpracováním signálu.



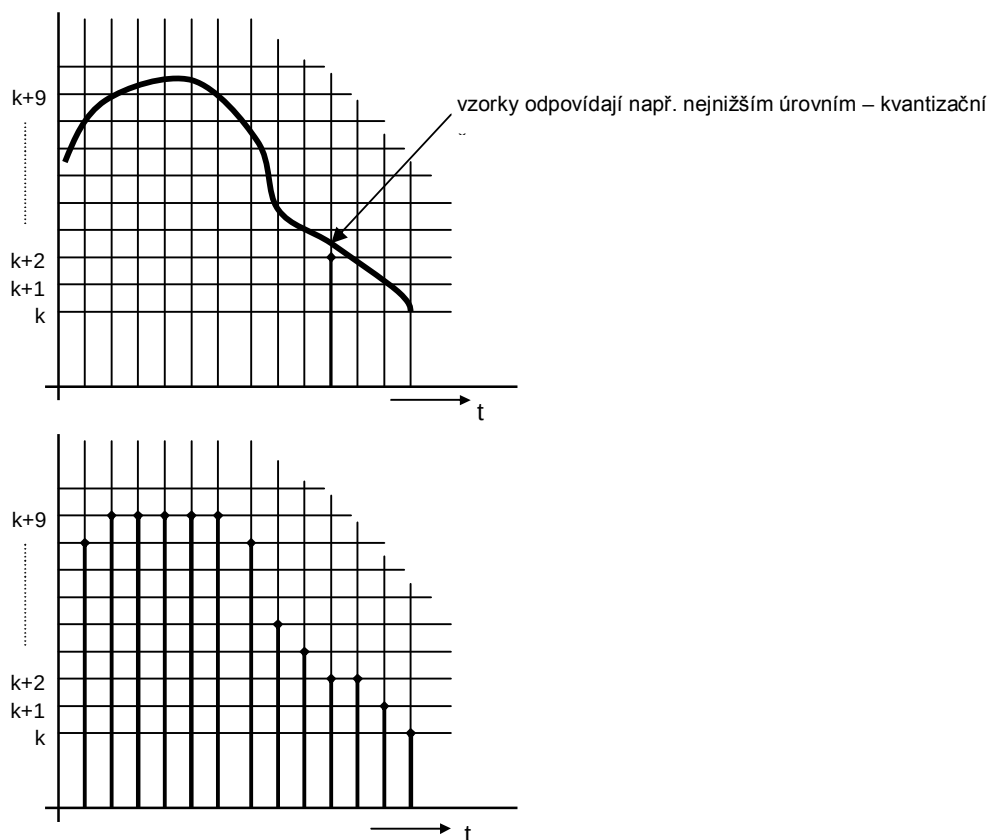
Obr.24 : Elektroakustický řetězec – snímání a záznam zvuku na CD [12]



Obr.25 : Elektroakustický řetězec – reprodukce záznamu zvuku z CD [12]

V počáteční analogové části jsou ze signálu z mikrofону za předzesilovačem *dolní propustí* vyloučeny všechny frekvence vyšší než *nejvyšší frekvence* f_m , která má být přenášena. *Vzorkovací obvod* snímá v taktu *vzorkovací frekvence* f_v okamžitou hodnotu analogového signálu a uchová ji po dobu, než je v *analogově číslicovém převodníku* (A/D převodník) převedena na číslo. Časový sled čísel takto získaných ze vzorků jdoucích za sebou je *číslicový signál*. Může být *zaznamenán* nebo *přenášen* k dalšímu zpracování. Zpětný převod číslicového signálu na analogový se děje v *číslicově analogovém převodníku* (D/A převodník).

Ve výstupní analogové části řetězce musí být signál dolní propustí opět zbaven frekvencí vyšších než f_m , především vzorkovací frekvence f_v . Po zesílení v koncovém zesilovači je signál vyzářen reproduktorem.



Obr.26 : Princip vzorkování [12]

Aby byl číslicový signál věrným obrazem analogového signálu, musí být dostatečně časté vzorkování a musí být dostatečně jemná stupnice číselných hodnot ve svislém směru.

Shannon-Kotělnikovův teorém

Podle Shannonova-Kotělnikovova teorému má být *vzorkovací frekvence alespoň dvojnásobkem nejvyšší přenášené frekvence* ($f_v \geq 2f_m$). Frekvencí f_v tedy můžeme libovolně volit přenášený frekvenční rozsah (f_v bývá u CD 44,1 kHz). Také *dynamiku signálu* (poměr nejsilnějšího a nejslabšího signálu), přibližně danou počtem kvantovacích úrovní, lze libovolně volit počtem n bitů číslicového slova. Pro dynamiku 85 dB potřebujeme teoreticky $10^{85/20} = 17\,782$ úrovní. Nejčastější vyjádření hodnoty vzorku je vyjádření čtrnáctibitovým nebo šestnáctibitovým číslem (tabulka 2).

Tabulka 2:

Počet bitů n	Počet úrovní $N = 2^n$	Dynamika (dB) zdánlivá $D_z = 20 \log 2^n$	Dynamika (dB) teoretická $D_t = 20 \log \sqrt{1,5} 2^{n-1}$
14	16 384	84,29	80,03
16	65 536	96,33	92,07

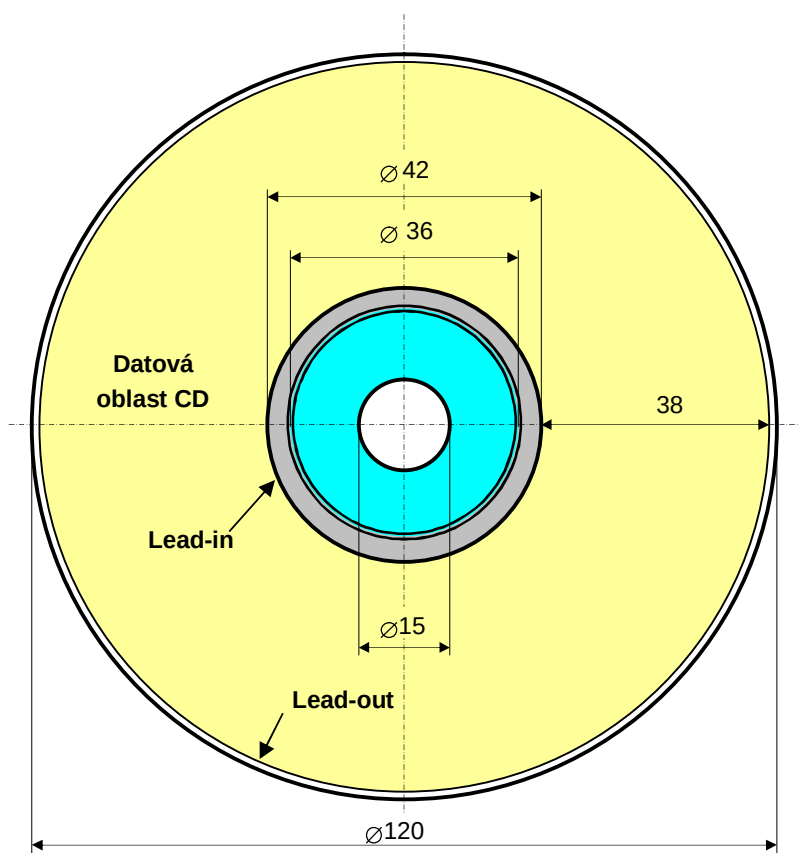
Rušivé vlivy, zkreslení a ošetření číslicového signálu

- a) Velikost vzorku *analogového signálu bez šumu* lze vyjádřit jen hodnotou ze stupnice, tedy s chybou danou rozdílem proti skutečné okamžité úrovni, vzniká tzv. *kvantizační šum*.
- b) Na analogový signál je *vždy superponováno šumové napětí*. Má-li šumové napětí velikost přibližně jednoho kvantizačního stupně, pak se šum jako náhodný proces někdy přičítá a někdy odečítá. Protože jeho okamžitá perioda může být i několikrát větší než vzorkovací interval, spadají tyto harmonické do přenášeného pásma. I když jde o slabé signály, jsou bohužel dobře postřehnutelné.
- c) Vstoupí-li do kvantizačního procesu *rušivá frekvence f_1* , vyšší než polovina vzorkovací frekvence f_v bude ve výstupním převodníku D/A ze sejmutých vzorků reprodukován signál s frekvencí f_2 zcela odlišnou a dojde k tzv. *stroboskopickému zkreslení* (název z podobnosti s jevy u stroboskopu).
- d) K chybě může dojít i při přenosu nebo záznamu. *Chyba v posledním významovém bitu* se projeví nepatrně, jen jako zvětšení kvantizačního šumu. Ale *chyba v nejvyšším významovém bitu* vytvoří ve výstupním analogovém signálu skok napětí rovný polovině dynamického rozsahu. Chybu je nutné před převodníkem D/A odhalit a buď ji ignorovat, nebo ji opravit. K bitům významovým, nesoucím informaci o čísle za převodníkem A/D, se proto přidává *paritní (kontrolní) bit*. Jeho hodnota je určena počtem logických stavů H číslicového slova. Nesouhlasí-li paritní bit před převodníkem D/A, je chyba v jednom bitu nebo v lichém počtu bitů, ale nevíme ve kterém. Sudý počet chyb ani neodhalíme. Proto volíme *více kontrolních bitů*. Přidané bity by byly při bezchybném přenosu *redundantní* (nadbytečné). U komerčních zařízení se používá redundance např. 50 %, u profesionálních až 500 % (umožňuje i opravu chyby).
- e) Při vlastním číslicovém zpracování signálu nedochází k fázovému posuvu. Bylo zjištěno, že pro jakostní reprodukci stačí přenášet pásmo do 16 kHz (dosud bylo požadováno 20 kHz). Potlačení frekvencí vyšších než 16 kHz není při přenosu postřehnutelné. *Změnu tónové kvality působí právě fázový posuv*. Ten je v analogovém zařízení neoddelitelným průvodcem okrajových frekvencí. Příčinou fázového posuvu v řetězci číslicového zpracování signálu jsou nezbytné dolní propusti.

Technické vlastnosti číslicového přenosu a záznamu

Vlastní přenos a záznam číslicového signálu vyžaduje velmi malou dynamiku, neboť na jednoznačné rozlišení logických hodnot H a L stačí asi 15 až 20 dB. Proto při mechanickém i magnetickém číslicovém záznamu lze zúžit záznamovou stopu na méně než 1 μm , a tím dosáhnout *velmi velké informační hustoty záznamu* (2 až 3 Mbity $\cdot\text{mm}^{-2}$).

Při vzorkovací frekvenci 44,1 kHz vychází pro šestnáctibitové číslo *předávací rychlost* $44,1 \times 16 = 706 \text{ kbit}\cdot\text{s}^{-1}$. S kontrolními bity je u komerčních zařízení zapotřebí rychlost asi 1 Mbit $\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 27: Schéma a rozměry CD [17]

Kolik lze na CD uložit dat

CD se jako záznamového média začalo prvně využívat v hudebním průmyslu (1980). Proto se nejčastěji setkáváte s udáváním velikosti v minutách hudebního záznamu, a to i datových CD-ROMů. Na obalech prázdných CD-R nebo CD-RW je vždy uvedena jak velikost v minutách, tak velikost v megabajtech.

Klasické hudební CD má tedy velikost 74 minut, tzn. vejde se na něj celkem 74 minut hudby. Narazíte také na CD s velikostí 80 minut, která používají hustší metodu zápisu dat. Jsou určena zejména pro počítačová data.

Udávání velikosti v megabajtech však tak přímočaré není. MB i kB má totiž v počítačové terminologii několik významů - může jít o klasické tisícnásobky ($1 \text{ kB} = 1\,000 \text{ bajtů}$, $1 \text{ MB} = 1\,000 \text{ kB}$), může jít také o vyjádření určité mocniny čísla 2 (odvozeno z dvojkové soustavy, která má jen jedničky a nuly). Zde je 1 kB (častěji zapisováno 1 KB) vyjádřením mocniny dvou, tedy $2^{10} = 1\,024$ v desítkové soustavě. Podobně 1 MB může být $1\,024 \text{ kB}$.

Takto vyjádřený $1 \text{ MB} = 1\,048\,576 \text{ bajtů}$. Někdy se ale také používá vyjádření 1 kB v soustavě dvojkové, zatímco 1 MB je klasických $1\,000 \text{ kB}$ - tedy $1 \text{ MB} = 1\,024\,000 \text{ bajtů}$.

Většinou se tedy udává, že 74minutové CD má kapacitu 650 MB (na prázdném CD-R/CD-RW bývají uvedena obě čísla). Zde jsou však myšleny MB ve smyslu dvojkové soustavy, tedy $650 \times 1\,024 \times 1\,024$ (převod na bajty). Výslednou velikostí je tedy 681 574 400. Fyzicky je však na médiu jen 681 984 000 bajtů, tedy 650,4 MB.

Formát hudebního CD - Red Book (červená kniha)

Formát audio CD (CD DA -Digital Audio) - byl zaveden firmami Philips a Sony v roce 1980 a byl standardizován v tzv. "Red Book".

Tato kniha definuje fyzikální rozměry CD a kódování audio dat uložených na CD.

Audio data jsou uložena ve stopách (track), které jsou dále děleny na sektory, každý z nich obsahuje 2352 bytů dat. Každý sektor dále obsahuje dvě vrstvy opravných kódů (EDC/ECC) a subcode kanály. Opravné kódy jsou použity v případě, že přehrávač není schopen sektor přečíst a pomocí těchto kódů sektor dopočte. Z praktického hlediska ztráta jednoho sektoru není obvykle příliš slyšitelná.

Subcode kanály P-W obsahují informace zda následující data jsou audio nebo digitální data (P), časové informace relativní i absolutní (Q) a grafické informace (R-W). Grafické informace nejsou obvykle využity, přehrávače CD tyto kanály ignorují. Následně byly k Red Book přidány i specifikace pro CD-G a CD Text.

Red Book obsahuje tedy :

- specifikaci audio dat pro 16bitovou PCM (Pulse Code Modulation)
- optické a fyzikální parametry disku
- modulační systém a opravu chyb
- kontrolní informace v subcode kanálech

Red book člení CD má tři oblasti (obr.27)

- Lead-In
- datová část
- Lead-Out.

Oblast Lead-In obsahuje digitální „ticho“ v hlavním kanálu a v subcode kanálu Q tzv. TOC (Table of contents) a *seznam nahraných stop* až do celkového počtu 99. Tato oblast je také určena pro kalibraci a nastavení čtecího laseru.

Datová oblast je určena pro záznam až 99 stop o celkové délce až 76 minut.

Oblast *Lead-Out* definuje konec datové oblasti a obsahuje digitální „ticho“ nebo nulová data. Podle specifikace *Red book* je nejmenší čtenou (nebo zapisovatelnou) jednotkou tzv. *sektor*. Vzhledem k historickému použití CD nejprve pro *záznam* zvuku, je základem pro definici sektoru jedna sekunda. Každá sekunda záznamu obsahuje 75 sektorů. Každý sektor obsahuje celkem 2 352 bytů pro audio data a dvě vrstvy *opravných kódů* (EDC/ECC - Error Detection Code/Error Correction Code).

2 352 bytů digitální audio data	784 bytů EDC/SCC	98 bytů kontrolních
------------------------------------	------------------	------------------------

Obr.28 : Specifikace sektoru CD – DA podle Red Book [18]

Subcode kanály

Vedle hlavního datového kanálu (obsahujícího audio nebo jiná data) existuje ještě 8 *subcode* kanálů označovaných písmeny P-W, které prokládají hlavní kanál a jsou dostupná CD a CD-ROM přehrávačům. Každý z kanálů může obsahovat až 4MB dat.

Prvotním záměrem *subcode* kanálů byla možnost umístění řídicích dat na disk. Hlavní kanál byl určen pouze pro audio data a ne pro jiná data. Tak jak bylo rozšiřováno použití CD pro jiné formáty dat než pouze pro audio, ztrácí *subcode* kanály na významu a specifikace DVD je již zcela opouští

P-kanál indikuje začátek a konec každé stopy (tracku) a byl původně zamýšlen pro použití s některými audio přehrávači, které plně nevyužívají informací z Q-kanálu.

Subcode kanál Q obsahuje užitečné informace, které se dají přečíst na mnoha vypalovačkách. Jsou to informace o *pozici, číslo katalogu médií a kód ISRC* (International Standard Recording Code -obsahuje zemi původu, vlastníka, rok vydání a sériové číslo stop).

Subcode kanály R až W jsou využity pro text a grafiku v aplikacích, jako jsou CD+G. Posledním výsledkem technologie je CD-Text, který poskytuje možnost vložit data o disku a stopách na normální zvukové CD a zobrazovat tedy například informace o skladbě, text písně apod.

Záznam zvuku na CD + G

Tento formát představuje rozšíření původního formátu CD-DA podle Red book a dovoluje na CD umístit i *grafická a textová data* (kolem 3% kapacity CD) a umožňují zobrazovat texty a grafiku současně s přehráváním hudby.

Tento formát obsahuje ještě dva další standardy typu CD + MIDI (umožňuje přidat MIDI instrukce pro MIDI zařízení) a CD + User (dovoluje tvůrci CD vložit instrukce, které jsou specifické pro danou aplikaci).

Záznam zvuku na CD Text

Tento formát je dalším rozšířením CD-DA specifikace. Umožňuje přidat k audio CD textové informace o celém CD nebo o jednotlivých stopách pomocí *subcode* kanálů R-W. V oblasti Lead-in jsou zahrnuty informace týkající se celého disku a jednotlivých stop.

Další jiné druhy formátů CD :

- *Yellow-book* (žlutá kniha) – specifikace pro CD-ROM (Sony + Philips) jako rozšíření specifikace CD pro ukládání počítačových dat (rozšířena o možnost uložení digitálních dat včetně opravných a korekčních kódů). Tedy jde o CD-ROM mode1, CD-ROM mode2, CD-ROM Mixed mode, CD-ROM XA, Kodak Photo CD.
- *Green-book* (zelená kniha) – pro CD-I (interactive) – záznam hudby s prokládanými počítačovými daty.
- *Orange-book* (oranžová kniha) – obsahuje specifikaci mimo jiné i CD-RW– přepisovatelné disky.
- *White-book* (bílá kniha) - obsahuje specifikaci Video CD- až 70 minut videa ve formátu MPEG1.
- *Blue-book* (modrá kniha) - rozšířená specifikace CD z Red book-CD Extra a CD Plus, tedy multisession disky a audio stopou následovanou datovou stopou. Běžné audio přehrávače datové stopy ignorují (nerozpoznají).

Jak je na CD uložen zvuk

Digitální zvuk je vlastně jen jinak uchovanou formou zvuku analogového, tedy toho, co slyšíme naším sluchem. Analogový zvuk je vyjádřený frekvenční křivkou, která mění v čase frekvenci a amplitudu. Takovou křivku lze zakreslit do grafu - digitální data vlastně jen popisují čísla tvar této křivky.

Rozsah frekvencí zvuku, které lidské ucho slyší, je zhruba od 20 Hz do 20 kHz. Každý člověk má hranice slyšitelnosti jinde - jaké frekvence ještě slyšíte lze určit pokusem (pustíte zvuk určité frekvence a buď ho uslyšíte, nebo ne). Aby byl digitální zvuk kvalitní a čistý, musí být jeho frekvence alespoň dvakrát větší, než je maximální slyšitelná frekvence zvuku - proto byla pro digitální zvuk na CD standardizována hodnota 44,1 kHz. I když to je poměrně vysoká hodnota, odborníci stále tvrdí, že je to málo - proto mají hudební DVD nastavenou frekvenci na více než dvojnásobek; podle odborníků pak zvuk nepůsobí tak „studeně“.

Frekvence 44,1 kHz znamená, že každou sekundu záznamu je vytvořeno 44 tisíc čísel, které v daném okamžiku popisují frekvenční křivku zvuku. Každé toto číslo je 16bitové, tedy 2bajtové - možných kombinací je 65 536. Každá sekunda záznamu tedy vyjde na 88 200 bajtů, při stereo záznamu je to 176 400 bajtů.

Pokud byste snížili frekvenci digitálního záznamu zvuku, bude zvuk znít jakoby „kovově“, a to tím více, čím menší frekvence bude. Pokud snížíte počet bitů pro popis křivky v daném okamžiku (např. na 8 bitů), stane se zvuk méně věrný a bude více šumět (pro popis frekvence je místo 65 536 kombinací možné použít jen 256). Pokud chcete zaznamenávat na CD hudbu nebo jakýkoliv jiný zvuk, musí splňovat výše uvedené parametry.

1.6.4 Záznam zvuku na DVD

Médium DVD je stejně velké jako CD, používá však daleko hustější způsob zápisu. Díky tomu se na něj vejde podstatně více dat, čehož se dnes využívá zejména v herním a filmovém průmyslu.

Prvotním požadavkem nahrávacích filmových společností (Hollywood) bylo vytvořit médium s kapacitou pro 135 minut video dat (filmu), což statisticky postačuje pro cca 94% všech filmů ze světové produkce. Dalším důvodem bylo zvýšení kvality obrazu a zvuku se standardem Dolby Digital. dále dabing v nejméně třech jazycích a titulky alespoň ve čtyřech jazycích.

Kladen byl důraz také na kompatibilitu s CD-R a CD-RW disky, použitelnost jak s PC tak i TV a na spolehlivé uložení a zpřístupnění dat. a v neposlední řadě i požadavek ochrany autorských práv.

Zkratka DVD dříve znamenala *Digital Video Disc*, protože se používalo zejména jako náhrada za klasické videokazety. Dnes se však DVD používá již jako normální datové médium, zkratka se tedy vysvětluje jako *Digital Versatile Disc*. Situace je podobná jako u CD - nejprve jen hudební médium, posléze univerzální médium pro ukládání dat, digitálního videa apod. Dnes na DVD najdete jak filmy a hudbu, tak také počítačová data.

Původní formát DVD5 (4,7 GB) byl rozšířen o dvouvrstvý záznam DVD9, který umožňuje uložit 8,5 GB dat, můžete se také setkat s jednovrstvým oboustranným záznamem DVD10 (9,4 GB) a dvouvrstvým oboustranným DVD18, kam lze uložit až 17 GB dat. Převážně se používají jednostranné zápisy, druhá strana se využívá pro potisk - filmy běžně najdete na dvouvrstvém DVD.

Přehled existujících formátů DVD

1 vrstvý jednostranný zápis DVD 5 - 4,7 GB

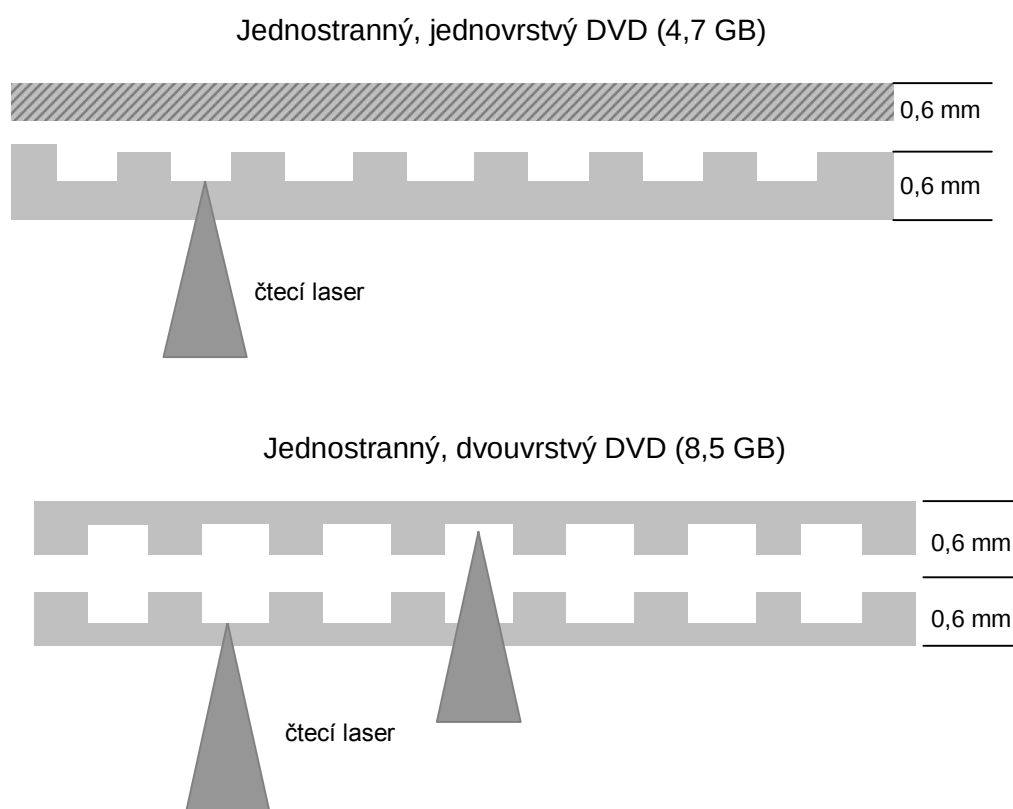
2 vrstvý jednostranný zápis DVD 9 - 8,5 GB

1 vrstvý oboustranný zápis DVD 10 - 9,4 GB

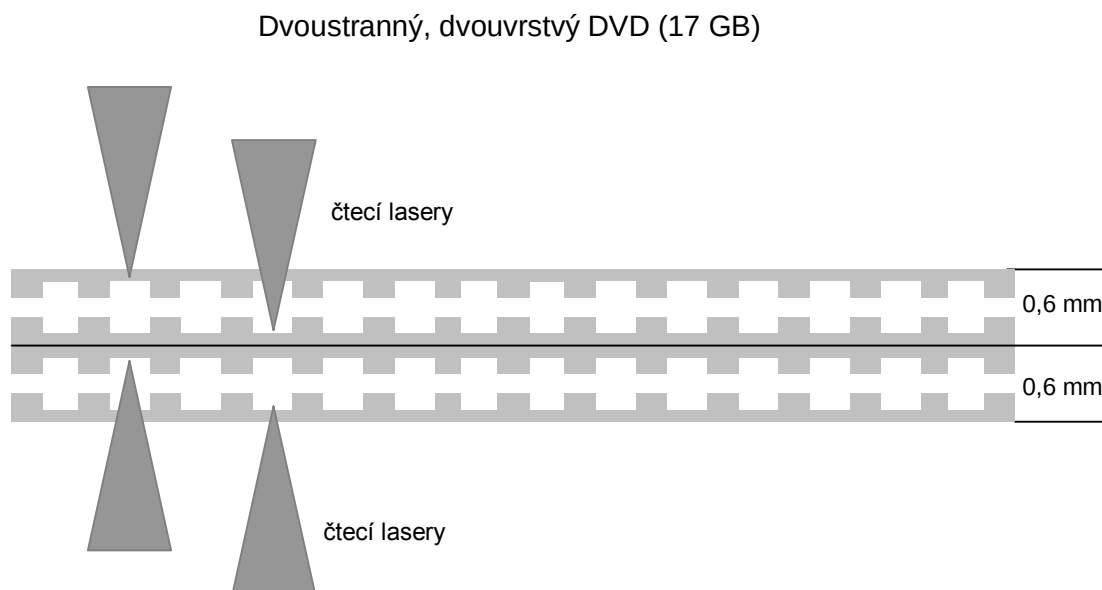
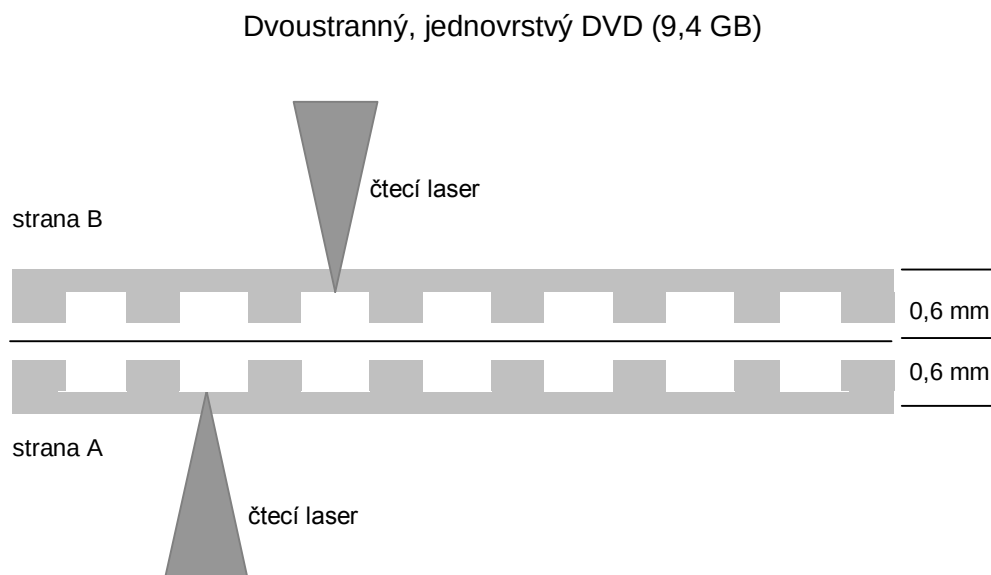
2 vrstvý oboustranný zápis DVD 18 - 17 GB

Disk se stejnou tloušťkou jako má CD, tedy 1,2 mm, není ideální pro bezchybné čtení dat velké hustoty - 1,2 mm je příliš velká tloušťka. Už z výroby nebo vlivem užívání není povrch disku dokonale hladký. Dokonce nepatrná deformace může zhoršit zaostření laseru a vysoká hustota dat znamená vyšší riziko výskytu chyby při čtení

Tenčí disk znamená menší vliv deformace a rozostření laserového paprsku. Ale pokud budeme mít tenčí disk, nebude zachována kompatibilita s CD. Řešení je jednoduché. Jednoduše se *slepí dva disky, každý o tloušťce 0,6 mm*. Také ve srovnání s jednoduchým 1,2 mm silným diskem, je DVD složené ze dvou slepených disků méně náchylné k deformacím způsobeným teplem nebo vlhkostí.



Obr. 29: Konstrukce a čtení dat laserem z jednostranného DVD



Obr. 30 : Konstrukce a čtení dat laserem z dvoustranného DVD

Srovnání DVD versus CD

Jak už bylo řečeno, při návrhu DVD bylo jedním z požadavků zachování kompatibility se současnými CD. Proto disk DVD na první pohled nerozeznáte od běžného CD. Má totiž shodný průměr i tloušťku a užívá stejný bezkontaktní způsob čtení dat laserovým paprskem. Pro přehlednost jsme parametry obou médií uspořádali do následující tabulky 3 :

Tabulka 3 : Srovnání DVD a CD

	DVD	CD
Průměr	120 mm	120mm
Tloušťka	1,2 mm	1,2 mm
Šířka prohlubně	0,4 μm	0,83 μm
Vzdálenost prohlubní (stop)	0,74 μm	1,6 μm
Kontakt laserové optiky s diskem	ne	ne
Struktura	dva spojené pláty tlusté 0,6 mm. Až čtyři záznamové vrstvy	jednotlivý 1,2 mm tlustý disk. Jedna záznamová vrstva
Kapacita	4,7 až 17 GB	650 až 700 MB

Čtecí zařízení DVD

Současné DVD přehrávače a DVD-ROM disky používají pro čtení dat laser, emitující červený světelný paprsek vlnové délky 650 až 635 nm (nanometrů). Pro srovnání, konvenční CD přehrávače používají laser, emitující neviditelný infračervený světelný paprsek vlnové délky 780 nm.

Průchodem skrz soustavu speciálních čoček se získá velmi tenký, ostrý světelný paprsek, který umožní čtení dat o vysoké hustotě. Přestože laserový paprsek prochází složitou optickou soustavou, je obtížné získat přesné zaostření, když povrch disku není přesně v rovině kolmé na laserový paprsek. Tomuto problému se předchází tak, že se použije tenký disk. Jako vyhovující se jeví tloušťka 0,6 mm.

Pro čtení vícevrstvých DVD, je nutné mít dva druhy laserů. Vnitřní datovou vrstvu je nutné číst přeostršeným laserem skrz polopropustnou vnější vrstvu

Aby byla zajištěna kompatibilita s CD, musí být čtecí zařízení schopno číst signály z obou disků s různou šířkou a vzdáleností prohlubní. Tento náročný úkol byl vyřešen dvěma způsoby. První řešení navrhuje soustavu dvou integrovaných čoček, jedné pro CD a jedné pro DVD, a systém přepínání mezi těmito čočkami. Ty jsou přepínány vodorovným otáčením úložné hlavy v závislosti na použitém médiu. Tento systém nalezneme převážně v DVD přehrávačích.

Druhým řešením, které se uplatňuje především v DVD mechanikách, je systém jedné čočky s dvojitým zaostřováním, schopné zaostřit jak na DVD, tak CD.

Ochrana autorských práv

Jak již bylo v úvodu kapitoly řečeno, jedním z hlavních požadavků velkých filmových společností bylo zajištění ochrany autorských práv. Proto byl svět rozdělen na šest oblastí (regionů) a DVD standard doplněn o regionální kód příslušného regionu. Proto by DVD přehrávač koupený v určitém regionu neměl přehrávat tituly z jiného regionu. Tím se mělo zabránit, aby film vydaný v Americe se v nejbližší době neprodával v Evropě nebo jinde.

Na všech přehrávačích a na všech DVD titulech je vždy poznámka, pro kterou oblast jsou určeny. Tento kód je jen určitá rozšířená vlastnost a výrobce DVD titulu může toto blokování vynechat

Seznam a číslování vytvořených regionů :

1. Severní Amerika
2. Japonsko, Evropa, Střední východ, Jižní Afrika
3. Jihovýchodní Asie
4. Austrálie, Nový Zéland, Střední a Jižní Amerika
5. Severozápadní Asie
6. Čína

Shrnutí vlastností DVD

Protože se na DVD vejde při klasickém způsobu zápisu až 4,7 GB dat oproti 650 MB u CD, začalo se DVD využívat zejména ve filmovém, poté také v hudebním průmyslu (k hudbě lze nahrát videozáznam z koncertu, přidat klipy apod.). Zatímco na běžné CD-ROM se v ucházející kvalitě vejde okolo 1 hodiny filmu ve formátu MPEG-1 (pokud oželíte stereozvuk a smíříte se s méně kvalitním obrazem, dostanete na jedno CD-ROM až hodinu a půl). Protože filmy jsou vždy delší, bylo nutné pro jeden film použít dva CD-ROMy, která bylo nutno během sledování filmu vyměnit. Na jednu videokazetu se oproti tomu vejdou i 4 hodiny filmu, digitální film na CD tedy nemohl být videu schopným konkurentem.

U DVD je však místa dostatek. Lze použít kvalitnější kompresi videa MPEG-2, která už nemá omezení ve velikosti videa, můžete klidně použít i rozlišení 16 :9 nebo 2,35 : 1 známé z kin, a to v podstatně lepší kvalitě, než jakou může nabídnout záznam VHS nebo S-VHS na videokazetě.

Otázky k předchozí kapitole :

1. Vyjmenujte základní způsoby záznamu zvuku
2. Popište mechanický záznam zvuku na gramofonovou desku, jeho vlastnosti, výhody a nevýhody
3. Popište magnetický záznam zvuku, pojmy jako je předmagnetizace, typy záznamových pásků a konstrukci páskových a kazetových magnetofonů
4. Vysvětlete, k čemu sloužil analogový optický záznam zvuku na filmový pás a stručný princip
5. Záznam digitální – vznik a vlastnosti, podmínky.
6. Popište způsoby záznamu na CD, uložení zvukových informací na CD, způsoby záznamu a čtení.
7. Popište formáty zvukových dat a organizaci záznamu zvukových dat na CD
8. Jaké jiné druhy formátu CD znáte
9. Záznam zvuku na DVD, vlastnosti, typy a specifikace.

1.7 Komprese zvukových dat na CD a DVD

Jelikož se v dnešní době klade důraz na minimalizaci, musí být všechno malé, ale přitom výkonné s velkou kapacitou. Normálním způsobem digitalizovaný zvuk nebo obraz zabírá na paměťovém médiu velké množství místa. Vědci se proto snažili nalézt algoritmus, kterým by tuto nevýhodu odstranili. Tak vznikly kompresní algoritmy, které zmenší soubor na zlomek velikosti původního, nekomprimovaného

Komprese dat je v současné době velmi účinný nástroj, který nám umožňuje pracovat (přenášet, ukládat, upravovat apod.) s velkými „balíky“ digitalizovaných dat i při velmi omezených technických možnostech používané výpočetní techniky.

Pod pojmem komprese tedy rozumíme proces, který se používá pro zredukování fyzické velikosti bloku digitalizovaných dat, přičemž je *komprimovaný obrázek menší nikoliv svými rozměry, ale počtem kB.*

Metody komprese můžeme rozdělit podle mnoha kritérií. Podstatné rozdělení je rozdělení na:

- *ztrátové metody* - při této metodě komprese se vypouští některé méně významné informace a po dekompresi získáme jen aproximaci originálu (tato metoda je přípustná pro multimediální data, ne pro text nebo např. astronomické fotografie – ztráta potřebných detailů)
- *bezeztrátové metody* - u této metody musíme po dekompresi získat znovu originál (tato metoda je použitelná na cokoliv, je však zřejmé, že zde budou možné pouze malé úspory)

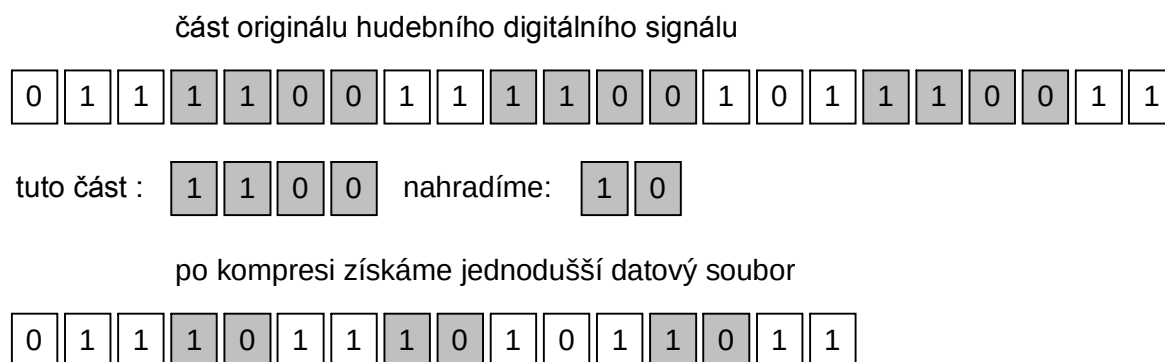
Principy komprese digitálních dat

Obecně si můžeme kompresi představit jako řadu matematických rovnic, která upravují vstupní zvuk podle zadaných parametrů. Tyto rovnice jsou sestaveny tak, aby zmenšily velikost výsledného souboru. Nejlépe si to vysvětlíme na příkladu.

Vezměme si stereofonní reprodukci. Víme, že část „zvuků“ v obou kanálech je stejná. Tuto stejnou část „zvuku“ prostě z jednoho kanálu vypustíme.

Dále můžeme zrušit zvuky, které jsou překryty jinými – výraznějšími (pojem maskování zvuku).

Skladba také obsahuje opakující se části, které nahradíme nějakým zástupním znakem, kterým se pak odkazujeme na původní část – viz obr.31.



Obr. 31: Náhrada části signálu zástupním znakem

Skutečná komprimace je však daleko složitější. Vstupní data jsou pomocí komprimátoru zkomprimována vhodným komprimačním algoritmem (např. DCT, RLE apod.) a poté jsou

uložena na záznamové médium (hard disk počítače, DVD, SD kartu apod.) nebo přenesena telekomunikačním kanálem (internet, družicový spoj a pod). Pro další následné zpracování jsou pak obrazová data „rozbalena“ pomocí komprimátoru.

Pro bezpodmínečné obnovení komprimovaných dat je bezpodmínečně nutné mít přesnou znalost použitého komprimačního algoritmu.

Metody komprese zvukových a obrazových digitálních dat vycházejí z principů transformačního kódování.

Mezi hlavní metody patří :

- použití sub-Nyquistova vzorkování (vzorkování kmitočtem $f_{uz} < 2f_{max}$), který neodpovídá Shannon - Kotělnikovu teorému.
- užití DPCM (diferenční pulzně kódová modulace)
- použití nerovnoměrného (nelineárního) kvantování
- postupný přenos rozdílových signálů (podobně jako v soustavách SECAM nebo MAC)
- použití některé z *metod transformačního kódování*

Tyto nejučinnější metody jsou založeny vypouštění nadbytečných informací.

K nejznámějším transformacím patří :

- Hadamardova transformace (HT)
- Wals-Hadamardova (WHT)
- Haarova (HaT)
- Karhunen-Loeveova (KHT)
- diskrétní Fourierova transformace (DFT)
- transformace S (ST)
- diskrétní kosinové transformace (DCT)

Je potřeba si uvědomit, že se jedná o poměrně složité metody, jejichž pochopení je nad rámec našeho základního kurzu a odkazují na další literaturu [16].

Vraťme se ke komprimaci zvukových dat

Komprese zvukových dat je založena na nedokonalosti lidského ucha. Ze znalostí funkce zpracování zvuku uchem bylo možné sestavit celou řadu principů (algoritmů) pro účinnou ale pro naše uši ještě přijatelnou redukci digitálních zvukových dat.

Formát MP3

Již 15 let uplynulo, co se poprvé objevila myšlenka použití ztrátového kompresního algoritmu pro zakódování hudby. Bylo tomu v Fraunhoferově Institutu v Německu. Základní tezí bylo zakódování hudby pro přenos v budoucích digitálních rádiích a telekomunikacích vůbec. Po čtyřech letech, tedy v roce 1991, byl uveřejněn nejlepší dosažený algoritmus, označený jako Layer III. Ten byl poté, v roce 1992, přičleněn do ISO standardu MPEG (Moving Picture Experts Group) a o dva roky později se stal i součástí nového standardu MPEG-2. Z celého názvu MPEG1 (2) Layer III pak dostaneme oblíbenou koncovku MP3.

MPEG 1 se skládá ze tří vrstev - Layer I, II, III. Právě Layer III je dnešní empetrojka.

MPEG 2, druhý z rozlehlé rodiny MPEG, také podporuje MP3, a to ve své první verzi. V první verzi je totiž MPEG 2 totožný s MPEG 1, pouze je rozšířen o podporu více zvukových kanálů (surround audio nebo 5.1-5 zvukových kanálů + 1 subwoofer). Ve druhé verzi je již s MP3 nekompatibilní. Hlavní pole působnosti nalézá MPEG 2 při přenosu kvalitního videa a zvuku pomocí satelitů.

Formát MP3Pro

Jedná se pravděpodobně o nástupce formátu MP3 a jeho vylepšenou variantu.

Oblíbený formát MP3 je vhodný pro kompresi s vyšším datovým tokem - minimálně 96 Kb/s (vysvětlení, co je to datový tok viz dále). Samozřejmě je možno použít i nižší datový tok, ale poté nastává výrazné *snížení intenzity zvuků vyšších frekvencí*. To je důvod, proč se formát MP3 nehodí pro přenos po internetu. Tento problém řeší pomocí tzv. „spektrální pásmová replikace“ nový nástupce - formát MP3Pro.

Princip je založen na odhadování vyšších frekvencí na základě frekvencí nižších.

K normálnímu souboru MP3 jsou přidány jen některé informace o vyšších frekvencích, které slouží spíše pro kontrolu správnosti odhadu. Tak je možné dosáhnout kvality Audio CD i při 64 Kb/s. Velkou výhodou je zpětná kompatibilita se stávajícím formátem MP3. Přehrávač musí pouze podporovat vzorkovací frekvence 16, 22, 5, 24, 32, 44, 1 a 48 kHz, což splňují snad všechny softwarové přehrávače.

Windows media audio - WMA

WMA je formátem od firmy Microsoft. Tento formát je opravdu dobrý a dokáže zakódovat hudbu 2x lépe než formát MP3 při srovnatelné kvalitě. Kvalit Audio CD by tak měl dosáhnout již při 64 Kb/s. Další velkou výhodou je rychlost, s jakou je hudba kódována. Nový Windows Media Player 8 umožňuje přímo ukládání skladeb z Audio CD na pevný disk ve formátu WMA.

OggVorbis - OGG

Zajímavý projekt, jenž si klade za cíl vytvořit vlastní kompletní multimediální systém. Na celém projektu je nejzajímavější, že by výsledné kodeky a programy měly být naprosto zadarmo jak pro nekomerční, tak pro komerční využití. Z celého projektu je však zatím alespoň částečně hotov pouze kodek pro komprimaci hudby. Formát je taktéž lepší než současné MP3, ale přesto nedosahuje popularity MP3.

Existuje další řada formátů pro komprimaci zvukových digitálních dat.

Kódování v praxi

V předcházejících kapitole jsme se dozvěděli, jak funguje ztrátová komprese zvuku. Nyní si ukážeme, jak tyto soubory vytvořit. Existuje mnoho programů, jež umožňují kódování do MP3, WMA, atd. Těmto programům se říká encodéry. Naopak program, který MP3 přehrává, je decodér.

S pojmem kódování vyvstává potřeba znalosti základních pojmů jako je :

Velikost datového toku - bitrate

Velikost datového toku jinak řečeno znamená, kolik dat bude zapotřebí ke kódování hudby. Bitrate je většinou vztažen na jednu vteřinu záznamu - tedy udává, kolik dat bude třeba na jednu vteřinu. Z toho je vidět, že čím větší bude bitrate, tím větší bude výsledný soubor a zároveň by měla vzrůst i kvalita výsledného záznamu. Udávaným optimem je 128 Kb/s (kilobitů za vteřinu).

Tabulka 4: Srovnání různých velikostí datových toků a kvality MP3

Bitrate	Mód	Kvalita MP3	Kompresní poměr	Max. frekvence
8 Kb/s	mono	telefon	1:192	2,5 kHz
32 Kb/s	mono	AM	1:48	7,5 kHz
64 Kb/s	stereo	FM	1:24	12 kHz
128 Kb/s	stereo	CD	1:12	>16kHz

V tabulce jsou uvedeny datové toky, odpovídající jednotlivým kvalitám hudby známým z běžného života. Kolonka kompresní poměr udává, kolik ušetříte místa - například pro kvalitu FM rádia je kompresní poměr 1 :24, tedy pokud by původní nekomprimovaný zvukový soubor měl 24 MB, bude mít výsledná skladba v MP3 velikost 1 MB.

Proměnný datový tok - VBR

VBR znamená proměnný datový tok. To znamená, že celá skladba není kódována při stálém datovém toku, ale jednotlivé části (rámce -frames) jsou kódovány podle potřeby. Většinou se udává VBR jako průměrná hodnota, které chceme při kódování dosáhnout (někdy se proto také značí ABR - Average Bitrate). Tedy například obvyklých 128 Kb/s. Proměnný datový tok nepodporují ale všechny encodéry a většinou se nepoužívá, protože se nedá s určitostí dopředu říct, jaká bude výsledná délka souboru, a také ne všechny přehrávače dokáží s VBR pracovat.

Vzorkovací frekvence – sample rate

V kapitole o digitalizaci jsme si řekli co je to vzorkovací frekvence, a sample rate je úplně to samé, jen v angličtině. Původní nekomprimovaný zvukový soubor bude vzorkován s frekvencí 44,1 kHz. Některé kodeky vám umožňují tuto vzorkovací frekvenci snížit (zvýšení nemá praktický význam). Bohužel většina encodérů tuto možnost nemá a vzorkovací frekvenci si nastavují samy podle daného datového toku.

Otázky k předchozí kapitole :

1. Vyjmenujte základní způsoby komprese dat na CD a DVD
2. Popište jednotlivé běžné formáty komprese zvuku jako je MP3, WMA, MP3Pro, OGG
3. Popište kódování zvukových dat pro získání komprimovaných souborů
4. Vysvětlete základní pojmy jako je vzorkovací frekvence, datový tok
5. Vysvětlete důvody pro vznik komprimačních algoritmů