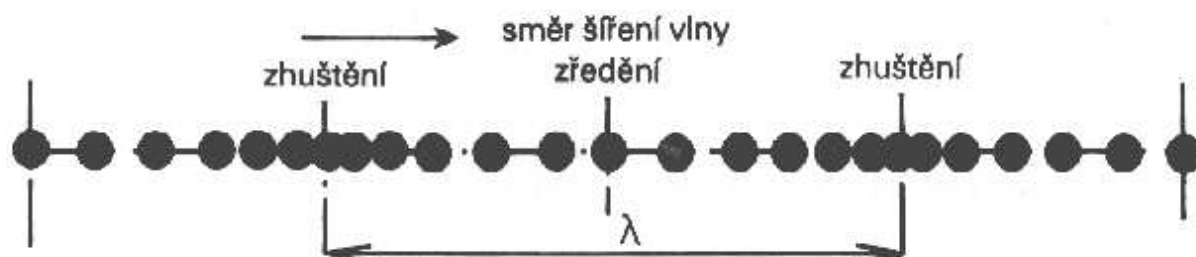


Fyzikální podstata

Zvuk je mechanické vlnění v pružném prostředí vnímatelné lidským sluchem. Šíří se v pevném, kapalném i plynném prostředí. V pevném podélně (ve směru šíření) i příčně (kolmo na směr šíření), v kapalném a plynném pouze podélně.

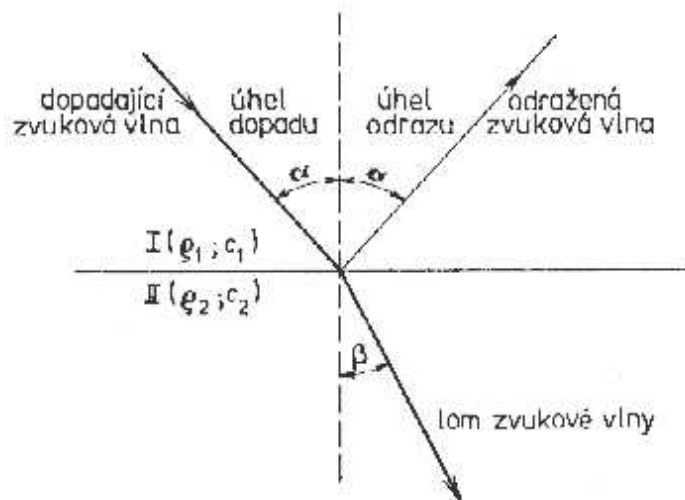


obr.1: Mechanismus podélného vlnění

Nejčastěji přicházíme do styku se zvuky ve vzduchu. Obecný matematický popis šíření zvuku je dosti složitý (diferenciální vlnová rovnice), a tak se pro naše účely spokojíme s konstatováním, že ve vzduchu rychlost zvuku stoupá s teplotou i s tlakem. Pro normální tlak ($1,0133 \cdot 10^5$ Pa) v nulové nadmořské výšce při teplotě 15°C je **rychlost zvuku 340,5 m/s** (1 mach). Rychlosti zvuku v různých materiálech se značně liší:

<i>materiál</i>	<i>rychlost zvuku v m/s při teplotě 20°C</i>
vzduch	343,6
vodík	1305
kysličník uhličitý	266
voda	1440
ocel	5500
olovo	1410
beton	3100
dřevo	1500 až 5000
papír	2000
korek	500
tvrdá pryž	60
skelná vata	40

Při přechodu zvuku z jednoho prostředí do druhého (s odlišnou hustotou) dochází k **odrazu a lomu** zvukové vlny. Přitom se část energie ztrácí vlivem tření.



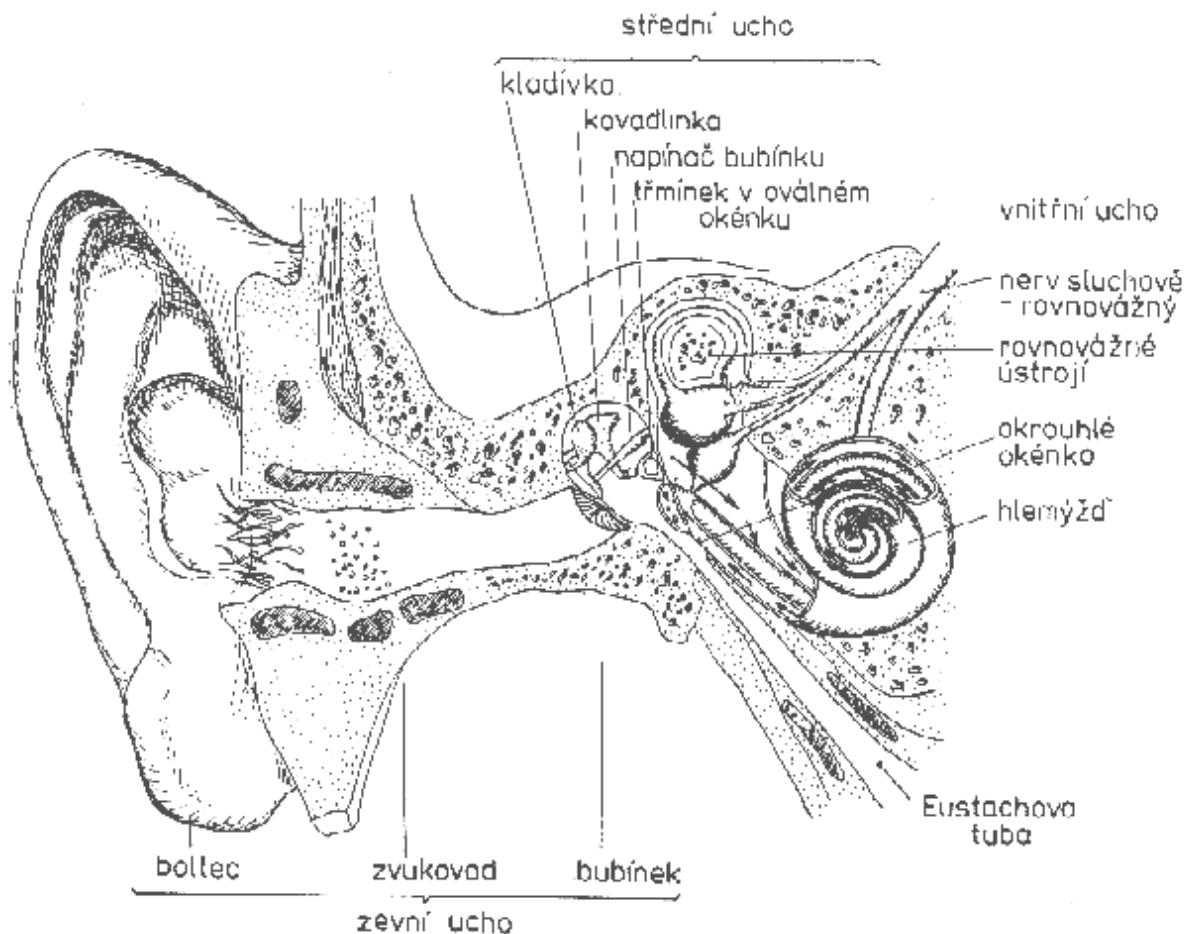
obr.2: Odraz a lom zvukové vlny na rozhraní dvou prostředí

Prakticky se s odrazem a lomem zvuku setkáváme všude kolem nás. Vadí nám hluk od sousedů nebo z ulice. Auto posuzujeme podle toho, jak mají odhlučněný motor. Hygienik měří hlučnost strojů na pracovišti a doporučuje použití ochranných pomůcek. Velmi nás zajímají **akustické vlastnosti** prostorů, v nichž posloucháme hudbu. Jiné akustické vlastnosti má kostel, kde každý zvuk ve velkém prostoru s hladkými stěnami dlouho zůstává díky odrazům s malým třením (dlouhá doba dozvuku), a jiné vlastnosti má váš obývací pokoj, kde dochází k odrazu mnohem častěji (malá místnost) a navíc je tam mnohem více pohltivých materiálů jako třeba koberec nebo záclony (krátká doba dozvuku). Doba dozvuku je různá pro různé frekvence zvuku. Obecně bývají vyšší frekvence pohlcovány více nežli nižší. Pomocí vhodných pohltivých materiálů se běžně v praxi akustické vlastnosti těchto prostor, kde je to potřeba, ovlivňují. Jsou to třeba koncertní sály, zvuková studia (tělocvična?) apod.

Venkovní prostředí má nulovou dobu dozvuku. Zde k odrazům vůbec nedochází, pokud není nedaleko nějaká překážka (tribuna na stadionu, les). Víte-li, že člověk je schopen dva zvuky rozlišit, je-li mezi nimi časový rozdíl větší než 0,1 s, snadno můžete z rychlosti zvuku vypočítat minimální vzdálenost překážky pro vznik ozvěny (17 m).

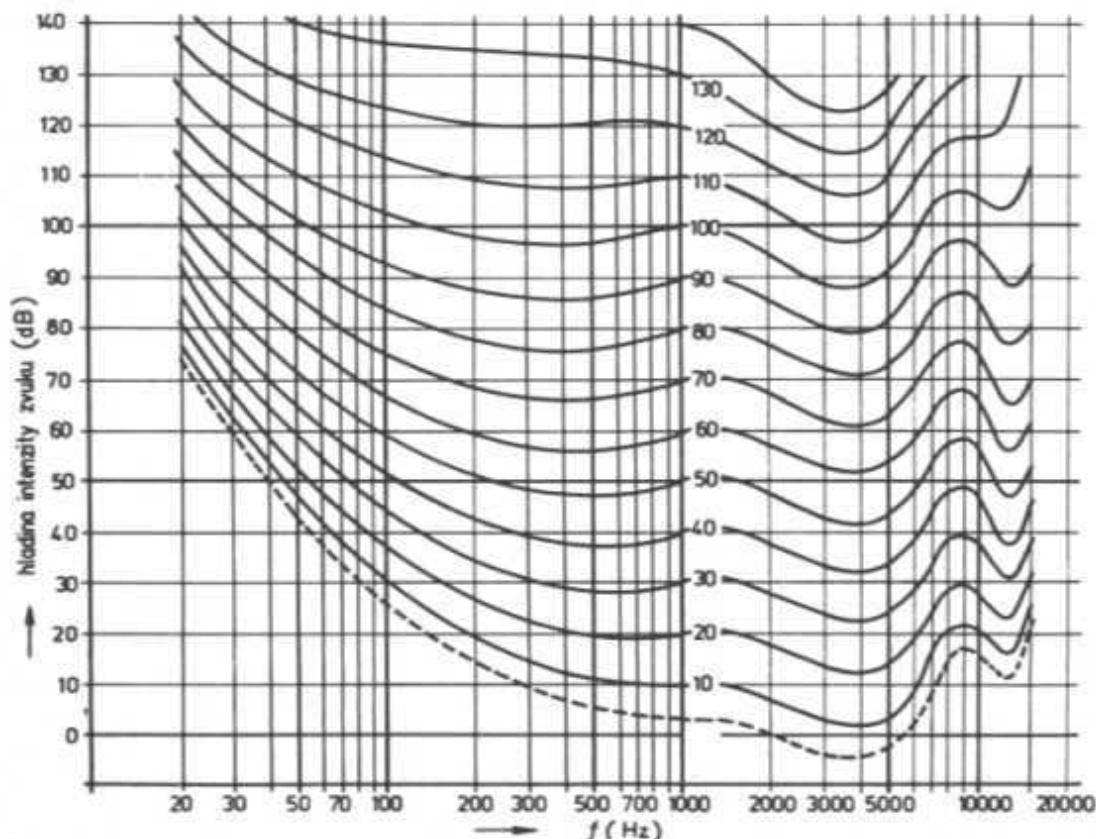
Sluchový orgán

Sluchový orgán se skládá ze tří částí: zevního ucha, středního ucha a vnitřního ucha. Zevní ucho se skládá z ušního boltce a ze zevního zvukovodu, který vede zvuk na bubínek oddělující střední ucho. Ve středoušní dutině jsou uloženy sluchové kůstky (kladívko, třmínek a kovadlinka). Tyto nejmenší kůstky lidského těla přenášejí vibrace bubínku na membránu oválného okénka, umístěnou ve stěně oddělující střední a vnitřní ucho. Střední ucho zachytí a převede signál do tekutého prostředí vnitřního ucha. Zde se nachází hlemýžď, v němž díky citlivým buňkám dochází k přeměně podnětu kmitání na podnět nervový, který je dále zpracováván mozkem.



obr.3: Stavba sluchového ústrojí se zakreslením pohybu tekutiny v hlemýždi při přenosu zvukových kmitů

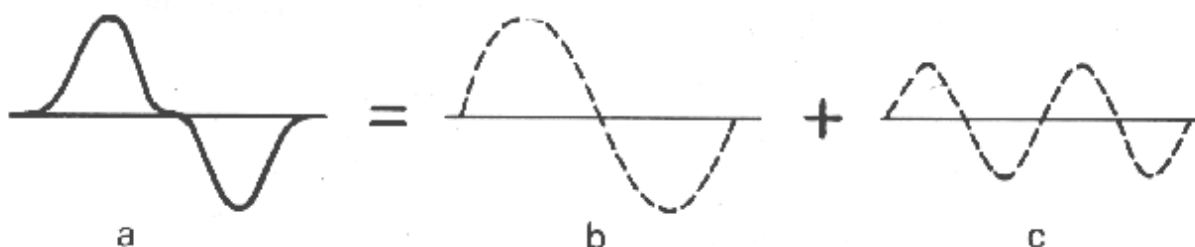
Citlivost sluchového orgánu je mimořádná. Kdyby byla dvojnásobná, slyšeli bychom samovolný pohyb molekul vzduchu kolem nás (Brownův pohyb). Protože je největší snesitelná intenzita zvuku (**práh bolestivosti**) o mnoho řádů vyšší než intenzita nejmenší (**práh slyšitelnosti**), používají se k vyjádření základních akustických veličin jednotky logaritmické – **decibely** (dB). Pro hlasitost zvuku o frekvenci 1 kHz platí vztah $H = 10 \log I/I_0$ [dB, Wm^{-2}], kde $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ je experimentálně zjištěná hodnota intenzity zvuku odpovídající prahu slyšitelnosti. Ovšem hlasitost je hodnota subjektivní a navíc je závislá na frekvenci. Proto byly experimentálně stanoveny hodnoty intenzity zvuku, které mají při různých frekvencích stejný účinek. Říká se jim hladiny stejné hlasitosti.



obr.4: Hladiny stejné hlasitosti (dole práh slyšitelnosti, nahoře práh bolestivosti)

Jak je patrné z těchto průběhů, je sluch také omezen frekvenčně. **Normální člověk slyší zvuky přibližně v rozsahu 16 Hz až 16 kHz.** Frekvence pod tímto pásmem se nazývají **infrazvukem**, nad ním zase **ultrazvukem**. Hranice slyšitelného pásma jsou individuální a s věkem se zužují především v oblasti vysokých kmitočtů. Intenzity zvuku nad prahem bolestivosti mohou sluchový orgán nenapravitelně poškodit. Neblahý vliv má též dlouhodobé působení intenzit k tomuto prahu se blížících (walkman apod.). Z předcházejícího obrázku dále vyplývá též to, že sluch má největší citlivost pro frekvence mezi 3 a 4 kHz. V oblasti nejnižších kmitočtů je citlivost o hodně nižší. Aby byl zvuk vnímán se stejnou hlasitostí, musí být při frekvenci okolo 20 Hz intenzita přibližně o 70 dB (o 7 řádů) vyšší než při frekvenci 3 kHz.

Kmitočet zvuku odpovídá výšce tónu. Takový zvuk, který by obsahoval pouze jediný kmitočet (**tón**), lze vytvořit jen uměle (generátorem). Běžné zdroje jako jsou hudební nástroje vytvářejí zvuky obsahující kromě základního kmitočtu ještě další složky (harmonické), jejichž kmitočty jsou násobkem základního.



obr.5: Složení zvuku z první a druhé harmonické složky: a – výsledný průběh zvukového signálu, b - první harmonická (základní tón), c – druhá harmonická

Podle toho, kolik jakých harmonických výsledný zvuk obsahuje, jsme schopni rozlišit tentýž tón zahráný různým nástrojem. Kromě zvuků, které obsahují jen určité frekvence (základní + harmonické) a dá se jim tedy přiřadit určitý tón (výška), existují v přírodě (i v zařízeních na zpracování zvuku) signály, které obsahují celé spektrum všech kmitočtů určitého rozsahu.

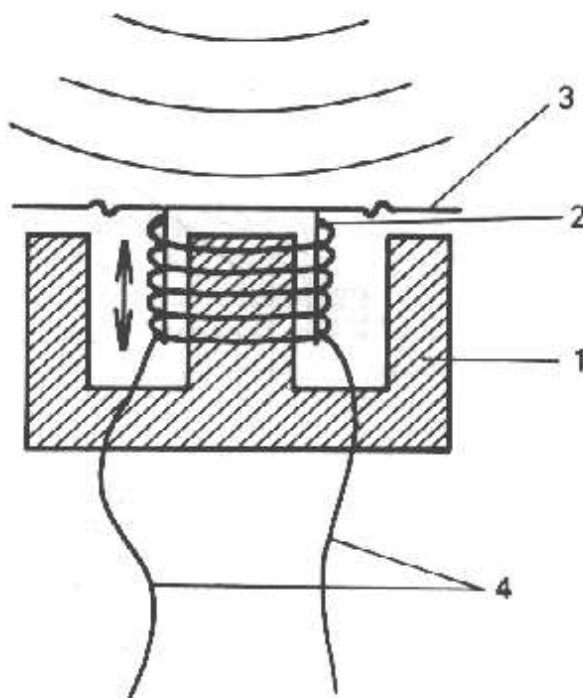
Takovýmto zvukům se říká **šum** nebo **hluk**.

Díky tomu, že má člověk dvě uši, je schopen rozeznávat **směr**, odkud zvuk přichází. Mozek vyhodnocuje fázový i amplitudový rozdíl mezi signálem z levého a pravého ucha. Často pomůže jako doplňkový zdroj informací o směru přicházejícího zvuku mírný pohyb hlavy s vyhodnocením změn ve vjemu u obou uší. Tvarování ušního boltce způsobuje to, že slyšíme lépe zvuky přicházející zepředu.

Elektroakustické měniče a zpracování signálu

První přístroj na mechanický záznam zvuku na váleček (fonograf) objevil **Thomas Alva Edison** v roce 1877. Později ho zdokonalil a tak vznikl gramofon. Přenos zvuku na dálku v reálném čase je však ještě starší. Telefon vynalezl **Alexander Graham Bell** již v roce 1876. Jeho součástí byl mikrofون převádějící zvuk na elektrický signál schopný přenosu po drátech a sluchátko převádějící elektrický signál zpátky na zvuk.

Existuje několik principů převodu zvuku na elektrický signál a naopak. Těmto zařízením se říká **měníče**. Nejčastěji se používá princip založený na pohybu cívky v magnetickém poli. Mikrofony na tomto principu založené bývají označovány jako **dynamické** nebo též cívkové.



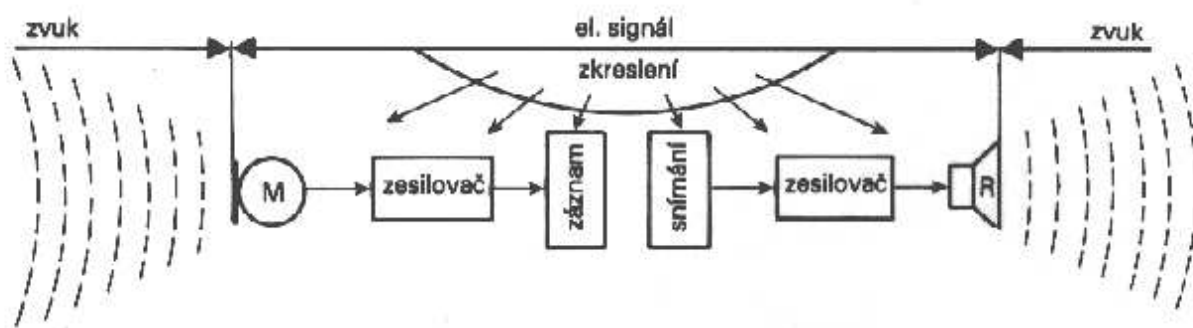
obr.6: Schéma dynamického mikrofону: 1 – permanentní magnet, 2 – vinutí cívky, 3 – membrána, 4 – vodiče

V magnetickém poli, vytvořeném trvalým magnetem, je uložena cívka pevně spojená s membránou. Zvukové vlny dopadající na membránu způsobují její pohyb, to znamená **pohyb cívky v magnetickém poli**. Proto se v závitech cívky indukuje napětí úměrné dopadajícímu zvuku a vzniká elektrický signál, který je možno přenášet telefonem nebo zpracovávat jinak (zesilovat, zaznamenávat, digitalizovat). Vzhledem k tomu, že výsledný elektrický signál je spojitý, tj. mění se plynule přesně podle dopadajícího zvuku, říká se tomuto signálu **analogový**.

Důležitým parametrem každého mikrofону je **kmitočtová charakteristika**, která vyjadřuje schopnost mikrofону převádět zvuk o určité intenzitě v celém slyšitelném kmitočtovém pásmu na elektrický signál pokud možno konstantní velikosti. Jinými slovy můžeme říci, že citlivost mikrofону by měla být v celém frekvenčním rozsahu pokud možno stejná. Další důležitou vlastností mikrofonu je **charakteristika směrová**. Ta udává závislost citlivosti na směru dopadajícího zvuku a je důležitá pro správnou volbu vhodného mikrofonu pro různé účely.

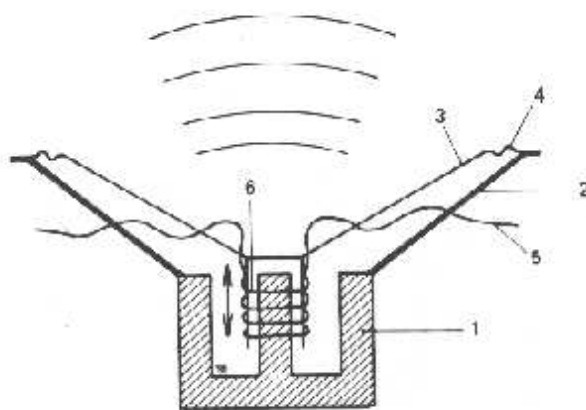
Běžná je směrová charakteristika kulová (citlivost ve všech směrech stejná) nebo kardioidní (ledvinová – nejcitlivější zepředu, méně po stranách a nejmenší zezadu). Pro speciální účely se používají mikrofony gradientní, které snímají zvuky jen z největší blízkosti (reportér na řvoucí tribuně, tankistická přilba) a směrové, které snímají zvuky jen v určitém velmi úzkém směru (určitý pták v lese plném ptáků, špionážní snímání zvuku z místnosti v domě vzdáleném několik stovek metrů).

Zvuk v podobě elektrického signálu je dále možno zpracovávat mnoha různými způsoby. V každém případě je třeba ho **zesilovat** a korigovat. K tomu slouží různé elektronické obvody osazené polovodičovými součástkami. Takové obvody jsou součástí všech zvukových zařízení. Signál zesílený na určitou úroveň pak můžeme **zaznamenávat** magnetofonem, **snímat** z gramofonové desky apod. Signál můžeme též zesilovat na úroveň ještě mnohem větší ve **výkonovém zesilovači** a pak reprodukovat pomocí reproduktorových soustav. To znamená, že ho musíme převést zase zpět z podoby elektrické do podoby mechanického vlnění vzduchu čili zvuku, který se co nejvíce blíží zvuku původnímu. Aby tomu tak skutečně bylo, musí se v maximální možné míře potlačit a korigovat **zkreslení**, které v různých částech celého řetězce vzniká. Též je třeba minimalizovat zesilováním vznikající **šum**.



obr.7: Schéma elektroakustického řetězce se záznamovým zařízením

Princip reproduktorů i sluchátek je stejný jako princip dynamického mikrofону. Rozdíl je pouze v tom, že tentokrát se membrána nepohybuje v důsledku dopadajícího zvuku ale proto, že cívku umístěnou v magnetickém poli prochází dynamicky se měnící elektrický proud.



obr.8: Schéma dynamického reproduktoru: 1 – permanentní magnet, 2 – reproduktorový koš, 3 – membrána, 4 – pružné uložení membrány, 5 – vodiče, 6 – vinutí cívky

Další rozdíl mezi mikrofonom a reproduktorem je v tom, že reproduktor není schopen převádět signál v celém slyšitelném kmitočtovém pásmu. Proto se vyrábějí **reproduktory vysokotónové, středotónové a hlubokotónové**. Z nich se pak sestavují reproduktorové soustavy s celkem vyrovnanou kmitočtovou charakteristikou. Kvalitnější jsou soustavy třípásmové se třemi různými reproduktory, často se používají i soustavy dvoupásmové. Dosáhnout vyrovnané frekvenční charakteristiky u sluchátek je mnohem snazší díky tomu, že

jejich potřebný akustický výkon je mnohem nižší. Princip je však i u sluchátek stejný.

Standardem je dnes dvoukanálové zpracování zvuku – **stereo**. Při tomto způsobu záznamu a reprodukce zvuku je možno dosáhnout vjemu, který se blíží dojmu zvuku rozprostřeného v rovině. Díky rozdílům mezi oběma kanály vnímáme zvuk jakoby přicházel z různých míst mezi reproduktory (sluchátky). Svého času se činily pokusy se zavedením více kanálové reprodukce zvuku, u níž je možné dosáhnout skutečně prostorových vjemů. Efekt však není takový, aby ospravedlňoval značný růst ceny a praktické problémy s nutností vhodného rozmístění více reproduktorových soustav v poslechové místnosti. Zdá se, že vývoj tímto směrem nemůžeme očekávat ani v budoucnosti.

Budoucnost zpracování zvuku je ve zvyšování kvality stereofonních zařízení. To umožní v současné době se rozšiřující **digitalizace** všech elektrických podob celého elektroakustického řetězce. To znamená, že v dohledné době bude veškeré zpracování zvuku mezi mikrofonom a reproduktorem prováděno nikoli ve formě analogové, ale ve formě digitální, tj. v podobě signálu převedeného z hodnot plynule se měnících na hodnoty nespojitě, které lze vyjádřit sledem čísel. Takovýto signál je pak možné zpracovávat počítačem a zaznamenávat do jeho vnější paměti nebo na CD. Hlavní výhodou tohoto způsobu zpracování zvuku je nesrovnatelně menší zkreslení a šum ve všech částech celého řetězce.
