



Prenosové cesty

Miloš Orgoň

Prenosové cesty

- ◆ **Prenosová cesta (prenosový kanál)** slúži na **prenos signálu** z vysielача do prijímača. Pri kompletnom prenose musí byť pre príjemcu na konci celého reťazca získaný signál, ktorý je zhodný so signálom prvotného zdroja.
- ◆ Samotný prenos preto nesmie skresliť signál natoľko, aby nebylo možné na konci príjmu rekonštruovať signál (napr. zvuk alebo obraz) z pôvodného tvaru alebo ako signál s prípustnými odchýlkami.

Prenosové cesty

Na prenos signálu sú používané tieto prenosové cesty:

Oznamovacie káble:

- ◆ symetrická dvojlinka, napr. krútená dvojlinka (*Twisted Pair*),
- ◆ koaxiálny kábel,
- ◆ optický kábel, mnohovidový alebo jednovidový.

Bezdrôtové spoje:

- ◆ smerové spoje s parabolickými anténami,
- ◆ rádiové spoje so všesmerovými vysielacími anténami pre rozhlas a televíziu,
- ◆ satelitné vysielanie rozhlasu a televízie,
- ◆ rádiová sieť pre mobilné telefóny.

Prenosové cesty - Druhy signálu

Na prenosové cesty sú kladené veľmi rozdielne požiadavky, a to v závislosti na druhu prenášaných správ (telefónne hovory, TV signál, apod.) a na druhu prenosového signálu (analógového alebo číslicového), hlavne na požadovanom **frekvenčnom pásme** (tab. 1).

Zatiaľčo je v niektorých oblastiach požadovaný verný prenos signálu, tzv. HiFi (*High Fidelity* = vysoká vernosť), stačí napr. pri prenose telefonných hovorov zachovať zrozumiteľnosť reči a pri dátovom prenose stačí preniesť správne znaky.

Prenosové cesty - Druhy signálu

Druh správ	Druh služby	Hlavná požiadavka	Kmitočtový rozsah prenosu
reč hudba	telefonovanie rozhlás	zrozumiteľnosť verný prenos	0,3 až 3,4 kHz 0,03 až 18 kHz
text MMS video	telefax e-mail televízia	správny text, požadované rozlíšenie a zrozumiteľnosť všetkých častí správy, plynulosť pohybu, vernosť farieb a zvuku	64 kbit/s 64 kbit/s 0 až 5,5 MHz
dáta	Internet	malá početnosť chýb	$n \cdot 64$ kbit/s

Požiadavky na rôzne druhy prenosu

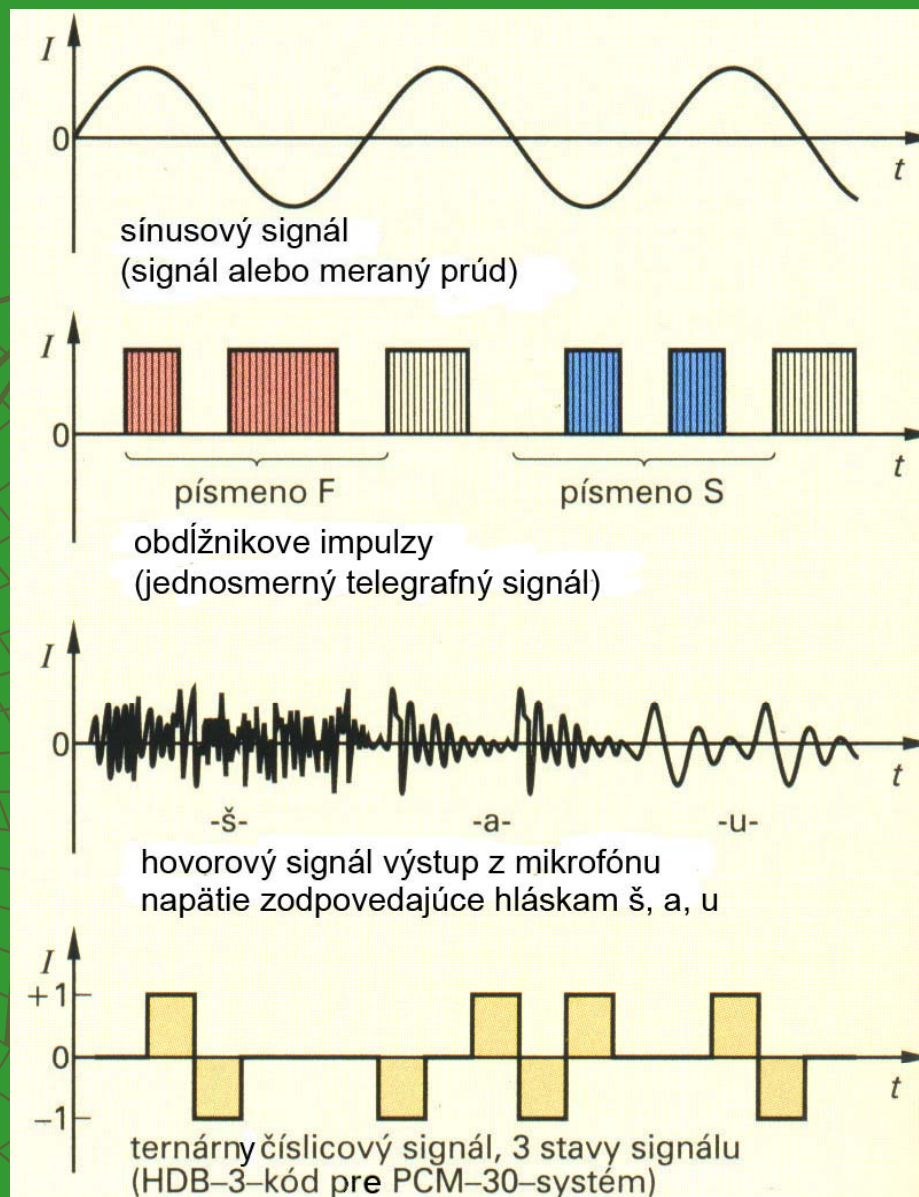
Prenosové cesty - Druhy signálu

Pri použití kábla sa prenos uskutočňuje formou elektrických alebo optických signálov.

Časové priebehy týchto signálov môžu byť veľmi rozmanité (obr.).

Pre prenos je dôležitá frekvencia v prípade **sínusového signálu** alebo frekvencia impulzov a obsah **vyšších harmonických signálov** u nesínusových signálov.

Na obr. sú zobrazené časové priebehy rôznych signálov, ktoré je možné v tejto podobe zobrazit' pomocou osciloskopu.



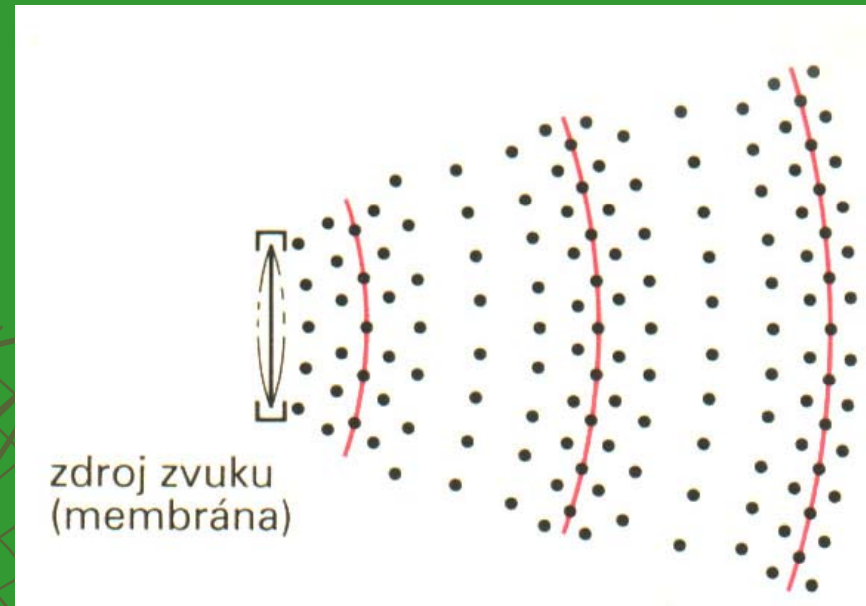
Prenosové cesty - Elektroakustika

Snímanie, prenos a reprodukcia zvuku pomocou elektrotechnických prvkov (súčiastok) je zaradovaná do oblasti nazývanej **elektroakustika**.

Akustika je oblasťou fyziky, zaoberajúcej sa **zvukom**, t.j. **mechanickým vlnením**. Vlnenie je charakterizované tým, že šíri a prenáša energiu.

Prenosové cesty - Elektroakustika

Obr. Membrána ako zdroj zvuku



Zvuk počuteľný napr. zo slúchadla sa šíri od kmitajúcej membrány v **guľových vlnoplochách** zriedeného a zhusteného vzduchu (obr.). Kmitanie membrány (alebo hlasiviek) sa teda prenáša na kmitanie molekúl vzduchu. Zvuk sa šíri v plynoch, v kapalinách i v pevných látkach. Vo vákuu sa zvuk nešíri.

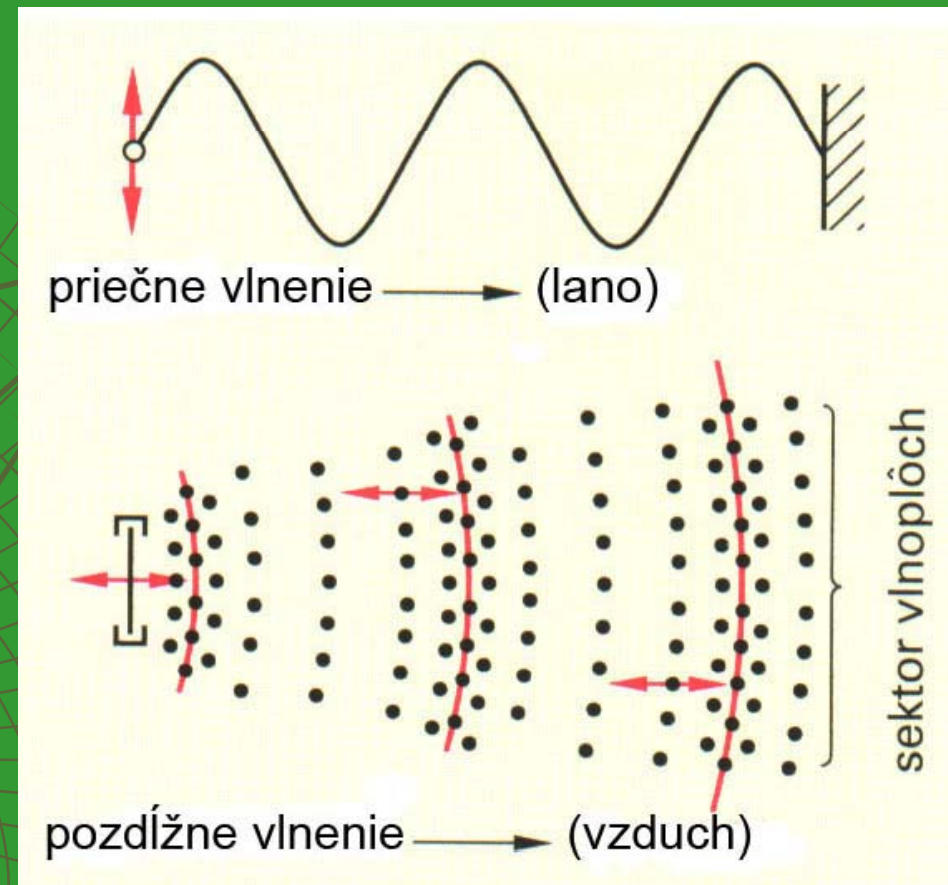
Rozdiely tlaku, t.j. pretlak a podtlak voči atmosférickému tlaku sa nazývajú **akustický tlak**.

Pomer akustického tlaku k atmosférickému tlaku 1:1 000 postačuje na dobrú počuteľnosť. Zvuk šíriaci sa postupnými tlakovými vlnami môže byť vnímaný ušom alebo pomocou mikrofónu.

Prenosové cesty - Elektroakustika

Zvukové vlnenie vo vzduchu je tzv. **pozdĺžne vlnenie**, pretože molekuly prostredia kmitajú v smere šírenia zvuku, na rozdiel od stojatého vlnenia napr. lana (obr.), pri ktorom časti prostredia kmitajú v smeroch kolmých na smer šírenia.

Priečne vlnenie je charakteristické aj pre struny huslí alebo vodnú hladinu. Priečne kmitajúce častice odovzdávajú kmitavý pohyb ďalej, aj keď ony samé majú len malú amplitúdu kmitania.



Obr. Priečne a pozdĺžne vlnenie

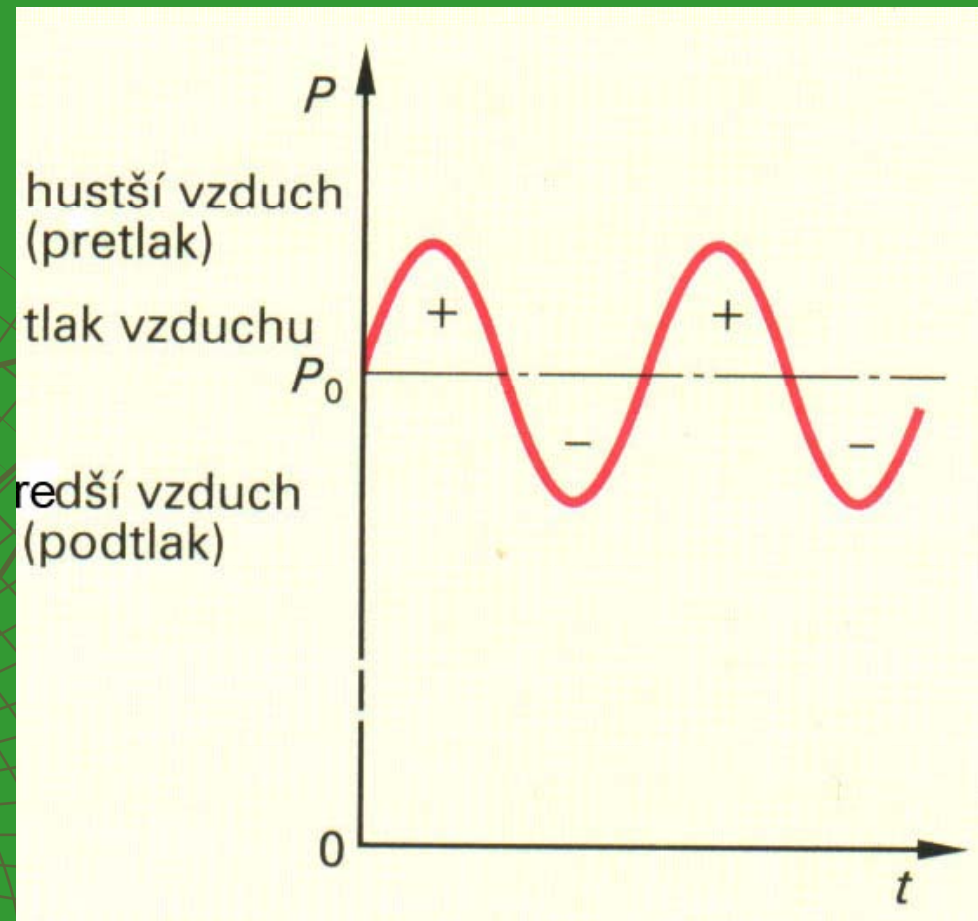
Prenosové cesty - Elektroakustika

Pozdĺžne vlnenie sa dá ťažko priamo graficky názorne zobrazit', preto sa zobrazuje časový priebeh **akustického tlaku** alebo **akustickej rýchlosti** (molekúl) v určitom mieste (obr.).

Pri znázornení tlaku predstavuje hodnota **atmosférického tlaku** referenčnú priamku, okolo ktorej tlak kmitá.

Rýchlosť zvuku c je obecné rýchlosť šírenia mechanického vlnenia v látkach a je závislá na vlastnostiach látky, v ktorej sa šíri.

Dôležitou vlastnosťou pre šírenie zvuku je **elasticita (pružnosť)** umožňujúca odovzdávanie energie bez degradácie a tlmenia a **tuhosť** i **hustota** látky ovplyvňujúca rýchlosť šírenia (nasled. tab.).



Obr.: Sínusový priebeh tlaku

Prenosové cesty - Elektroakustika

Látka	c (m/s)
Vzduch (20°C)	343
Voda (20°C)	1444
Ľad (20°C)	3230
Tvrdé drevo	4100
ocel'	5000
hliník	5200
sklo	5500

Kmitočet zvuku f , alebo tiež frekvencia mechanického kmitania sa nazýva (v oblasti počuteľnosti) **výška tónu** (u čistého sínusového kmitania. Ak je λ (vzdialenosť susedných vlnoplôch s rovnakým tlakom), potom platí:

$$c = \dots\dots\dots$$

kde f je v [Hz], λ - v [m] a c -
..... v [m/s]

Prenosové cesty - Elektroakustika

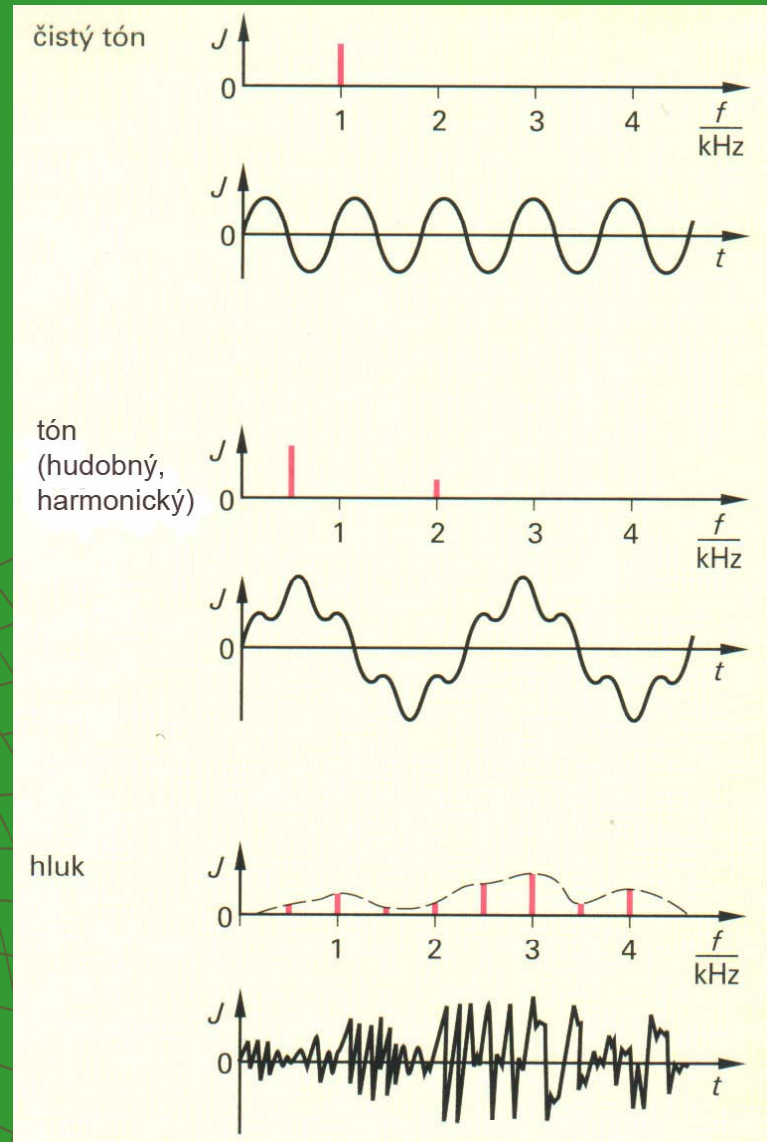
- ◆ **Reč** je najdôležitejší komunikačný prostriedok medzi ľuďmi, preto je zvuk veľmi často zdrojom signálu, ktorý je potrebné prenášať.
- ◆ Pri vysielaní rozhlasu je okrom reči prenášaná aj hudba rovnako ako pri zvukovom doprovode televízneho signálu alebo správ MMS medzi mobilnými telefónmi.
- ◆ Oblasť počuteľnosti tónu ľudským uchom leží medzi kmitočtami 16 Hz a 16 kHz.

Rozsah frekvencií	Názov oblasti
pod 16 Hz →	infrazvuk
16 Hz až 16 kHz →	počuteľný zvuk
nad 16 kHz →	ultrazvuk

Tab.: Frekvenčné rozsahy zvuku

Prenosové cesty - Elektroakustika

- ◆ Oblasť tónu *do* je oblasť **infrazvuku** (kmitočty chvenia stavieb a vibrácií vozidiel, chvenie pri zemetrasení, búrke a pod.).
- ◆ Oblasť tónov *nad* je oblasť **ultrazvuku** (obr.).
- ◆ Na rozdiel od človeka vnímajú niektoré zvieratá (pes, myš) ultrazvuk nad 16 kHz.
- ◆ **Druhy zvuku:** čisté tóny, hudobné tóny a neharmonické zvuky, ako je hluk, šum, brum a pod.



Obr.: Frekvenčné spektrum a časový priebeh čistého tónu, tónu a hluku

Prenosové cesty - Elektroakustika

Čistý tón zodpovedá sínusovému kmitaniu a je možné ho generovať len technicky, napr. sínusovým generátorom (obr. 1).

Tón hudobného nástroja obsahuje okrem základného čistého tónu ešte **vyššie harmonické** (malé násobky základnej frekvencie), ktoré určujú tzv. **farbu tónu**.

Príkladom čistého tónu je **tón**, používaný pri časovom znamení v rozhlasovom vysielaní (päť krátkych a jedno dlhšie pípnutie s časovým odstupom začiatkov 1 sekunda).

Mechanické vlnenie	Akustika
amplitúda (napr. membrány) —>	intenzita zvuku [W/m^2] (merný akustický výkon)
harmonické spektrum ———>	farba tónu
frekvencia ———>	výška tónu

Tab.: Analogické pojmy mechanického vlnení a akustiky

Prirodzené zdroje zvuku neprodukujú čisté sínusové tóny, ale zvuky, ktoré je možné považovať za zmes čistých tónov rôznej intenzity. Ani **hudobné nástroje** nemajú celkom čisté tóny, majú však, na rozdiel od bežných zdrojov zvuku, základné čisté tóny obohatené len o malú prímes čistých najbližších vyšších harmonických tónov (napr. o 2-násobok a 4-násobok základného naladeného tónu), ktoré určujú farbu tónu – charakteristickú pre daný hudob. nástroj (tab.).

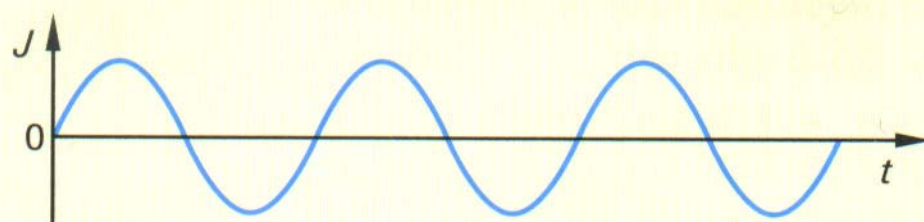
Prenosové cesty - Elektroakustika

- ◆ Neharmonická a premenlivá zmes tónov je označovaná ako **hluk**. Krátky silný huk doprevádzajúci napr. náraz alebo výbuch je označovaný ako **rana** alebo **tresk**.
- ◆ **Slabý huk** je niekedy označovaný ako **šum** alebo **brum** a **veľký huk** ako **rachot**. Špecifickými zvukmi sú napr. **škrípanie**, **drnčanie** či **dunenie**.

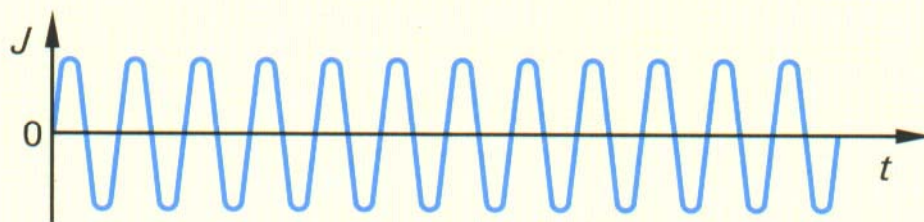
Prenosové cesty - Elektroakustika

Na sínusovom priebehu čistého tónu je možné vysvetliť dva základné pojmy, vzťahujúce sa aj na ostatné zvuky:

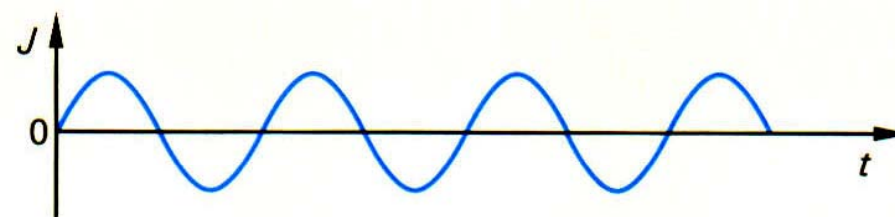
- ♦ **Výška tónu** – zodpovedá frekvencii zvuku f , t.j. počtu kmitov za sekundu (obr. 1).
- ♦ **Intenzita zvuku J** (merný akustický výkon) – je úmerná amplitúde, t.j. rozkmitu (obr. 2).



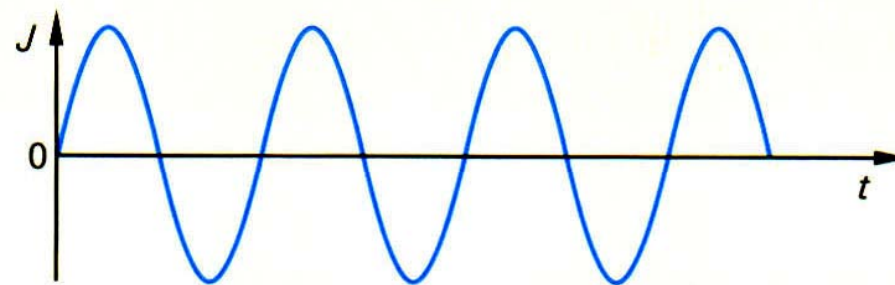
nižší tón



vyšší tón



menej hlasitý tón



hlasitejší tón

Obr. 1 Porovnanie tónov rôznych výšok (frekvencií)

Obr. 2 Porovnanie tónov rôznych intenzít

Prenosové cesty - Elektroakustika

- ◆ **Intenzita zvuku** J sa udáva ako výkon prechádzajúci plochou a jej jednotkou je watt na meter štvorcový (W/m^2). Závisí na akustickom tlaku p , ktorý je silou pôsobiacou na plochu a jeho jednotkou je newton/meter štvorcový (N/m^2). Často sa udáva v mikrobaroch (μbar).
- ◆ **Hladina intenzity** $L_p = \dots\dots\dots$ [dB], kde J_0 je prahová intenzita vnímania. Oficiálnou jednotkou tlaku (v sústave SI) je pascal (Pa).

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad 1 \mu\text{bar} = 0,1 \text{ Pa} = 0,1 \text{ N}/\text{m}^2$$

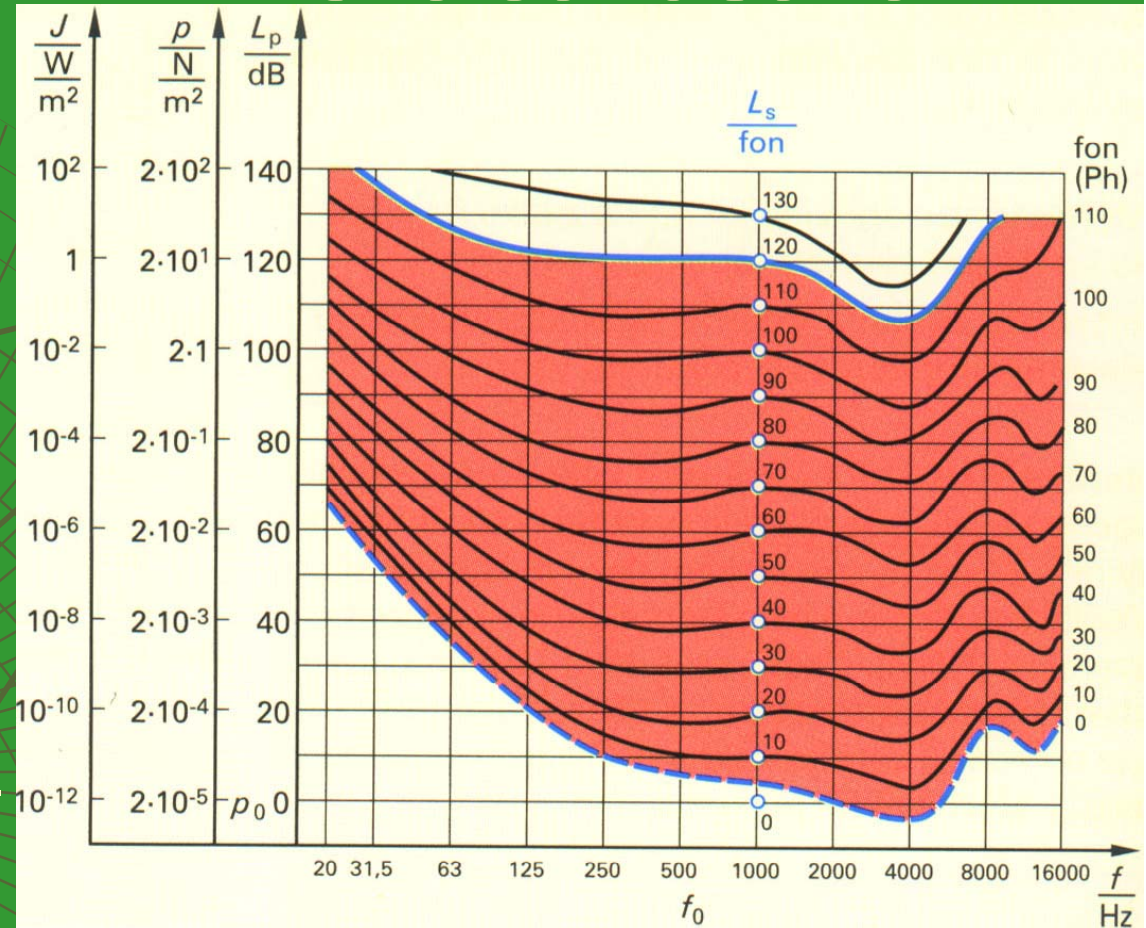
$$\text{Intenzita zvuku} = \text{výkon/plocha } J = P/A \text{ v } \text{W}/\text{m}^2$$

$$\text{Akustický tlak} = \text{sil}/\text{plocha} \quad p = F/A \text{ v } \text{N}/\text{m}^2$$

Prenosové cesty - Elektroakustika

Hladina hlasitosti: Ľudské ucho má odlišnú citlivosť na tóny rôznych výšiek. Výraz hlasitý alebo tichý nie je možné priradiť univerzálne určitej intenzite zvuku, preto bol zavedený pojem hladina hlasitosti (veľičina L_s), vzťahnutý k úrovni subjektívneho vnímania.

Hladina hlasitosti je pre tón kmitočtu 1 kHz rovná číselnej hladine intenzity a je udávaná vo **fonoch (Ph)**. Pre tóny ostatných frekvencií sú hladiny intenzity pre konštantnú hladinu hlasitosti (zodpovedajúce jednej krivke na obr.) stanovené experimentálne podľa subjektívneho vnímania rovnakej hlasitosti.



Obr.: Krivky hladín hlasitosti L_s v sluchovom poli

Prenosové cesty - Elektroakustika

Hodnoty **intenzity zvuku** J zodpovedajúce určitej hladine hlasitosti L_s , sa stanovujú na základe subjektívneho vnemu rovnakej hlasitosti pri rôznych frekvenciách tónov.

Krivky hladín hlasitosti boli po prvý raz vytvorené v roku 1933 a potom boli stanovené medzinárodne platné referenčné veličiny:

- ◆ referenčná frekvencia na porovnávanie hlasitosti ostatných tónov bola stanovená v strednej oblasti počuteľných tónov – na $f_0 = 1$ kHz,
- ◆ prahový akustický tlak (dolná hranica na vnímanie zvuku) bola stanovená na (tab.).

Prenosové cesty - Elektroakustika

Hladina hlasitosti	Druh alebo zdroj zvuku (príklady)
0	prah počuteľnosti (počiatok vnímania)
0 až 20	šepkanie, šušťanie lístia pri slabom vetre
30 až 40	tichý hovor, hluk ulice tlmený oknami
50 až 60	hovor, hluk ulice a vozidiel
70 až 80	hlasité volanie, motorové vozidlo, vlak
90 až 100	budík, siréna, továrenská prevádzka v hale
110 až 120	pneumatické kladivo, výroba kotlov (nitovaných)
130 až 140	prúdový letecký motor
120	hmatový prah (počiatok vnímania hluchých)
140	prah bolesti (počiatok poškodzovania sluchu)

Tab. : Hladiny hlasitosti niektorých zdrojov zvuku

Prenosové cesty - Elektroakustika

- ◆ Zvýšenie hladiny L_p z **10 dB** o **5 dB** sotva spoznáme, avšak zvýšenie z **95 dB** na **100 dB** znamená veľký prírastok hlasitosti (subjektívne i absolútne). Schopnosť rozlíšiť pomer intenzít totiž nie je stála (ako sa skôr predpokladalo), ale závisí na hladine, na ktorej sa meria. Popri závislosti na intenzite je tu aj závislosť na frekvencii. Najvyššia schopnosť rozlíšiť malé zmeny intenzity má ľudský sluch uprostred sluchového poľa. Preto bola definovaná **hlasitosť** S s jednotkou 1 son, ktorú má tón 1 kHz intenzity 40 dB. Empirická stupnica hlasitosti bola určená **subjektívnym hodnotením** a neskôr bola upravená vzorcom:

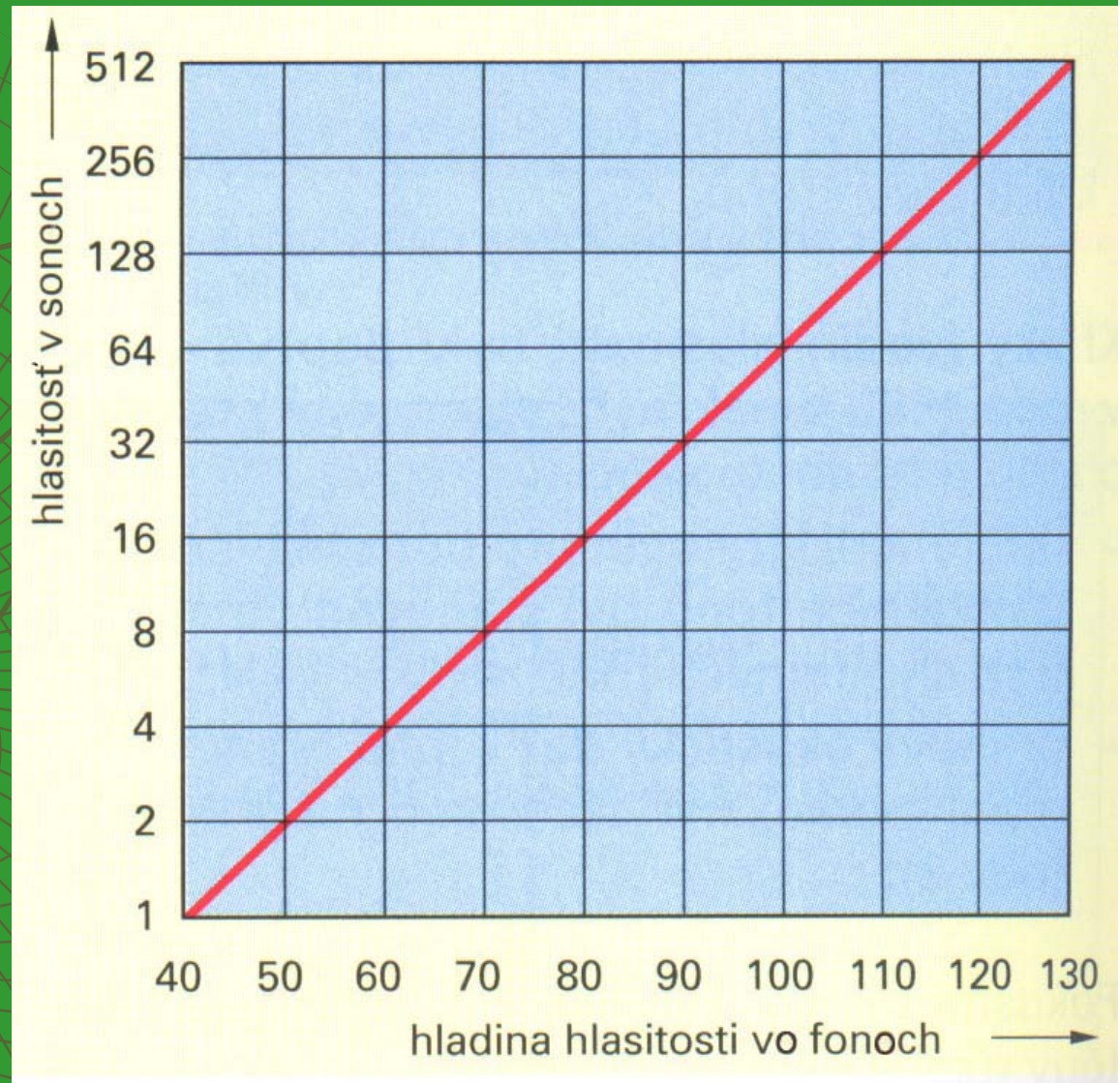
$$S = \frac{L_p - 40}{10},$$

- ◆ kde S je v sónoch a L_s je vo fónoch. Hlasitosť sa zvyšuje na dvojnásobok pri každom zvýšení hladiny hlasitosti o desať fónov.

Prenosové cesty - Elektroakustika

- ♦ Vzťah je pri logaritmickej stupnici pre hlasitosť priamkový (obr.) a platí pre ľubovoľné zvuky, nielen pre čisté tóny.

Obr.: Vzťah medzi hlasitosťou a hladinou hlasitosti



Prenosové cesty - Elektroakustika

Frekvenčný rozsah reči

- ◆ Požiadavky na prenos zvukových informácií vychádzajú z kompromisu medzi požiadavkou vernosti prenosu a požiadavkou samotnej **zrozumiteľnosti reči**.
- ◆ Podanie preneseného zvuku znie verne (prirodzene) len vtedy, ak je zvuk prenášaný neskreslene v celom frekvenčnom rozsahu počuteľných tónov, t.j. v rozsahu 20 Hz až 16 kHz.
- ◆ Pri diaľkovom prenose hovoru sa z ekonomických dôvodov nepožaduje verný prenos zachycujúci osobné zafarbenie hlasu. Požiadavka zrozumiteľnosti je splnená, ak je rozumieť obsahu správy.
- ◆ **Na porozumenie reči postačuje frekvenčné pásmo od 300 Hz do 3 400 Hz.**
- ◆ Na prenos tak úzkeho frekvenčného pásma by bolo možné použiť aj lacnejšie a jednoduchšie prijímacie a vysielačie zariadenia. Na vedenia sú potom taktiež kladené menšie nároky, ako je to pri požiadavke prenosu širšieho frekvenčného pásma.

Prenosové cesty - Elektroakustika

Na overenie prenosových vlastností vedení, týkajúcich sa zrozumiteľnosti, sa používa skúška **slabikovej zrozumiteľnosti**.

Na tento účel sa používa päťdesiat umelo vytvorených slabík bez obsahového významu - nazývaných **logatomy** (tab.).

Tieto logatomy sú na vysielacej strane čítané do mikrofónu a na prijímacej strane sú privádzané do slúchadiel poslucháčov, ktorí ich zapisujú.

Pretože sú logatomy zvolené tak, aby nedávali ani pohromade žiadny zmysel, ktorý by mohol byť pri presluchu logicky doplnený, je doplnenie pri zlom prenose vylúčené. Slabiková zrozumiteľnosť je priemerné percento správne zrozumiteľných slabík.

Tab. Logatomy (25 nemecky písaných slabík)

get	gresch	stel	ran	spig
wis	dong	haf	nust	lelf
men	za d	schrun	mol	kig
schlib	jel	suf	frer	prar
bros	klisch	pleb	zwor	dup

Prenosové cesty - Elektroakustika

Výsledky pokusov ukázali, že 80% slabikovej zrozumiteľnosti sekvencií logatomov zodpovedá 96% verná zrozumiteľnosť zmysluplných textov (tab.). Pre uvedenú zrozumiteľnosť by bolo postačujúce frekvenčné pásmo od do Medzinárodne stanovené frekvenčné pásmo 300 Hz až zvyšuje slabikovú zrozumiteľnosť na 90 % a zlepšuje taktiež vernosť prenosu.

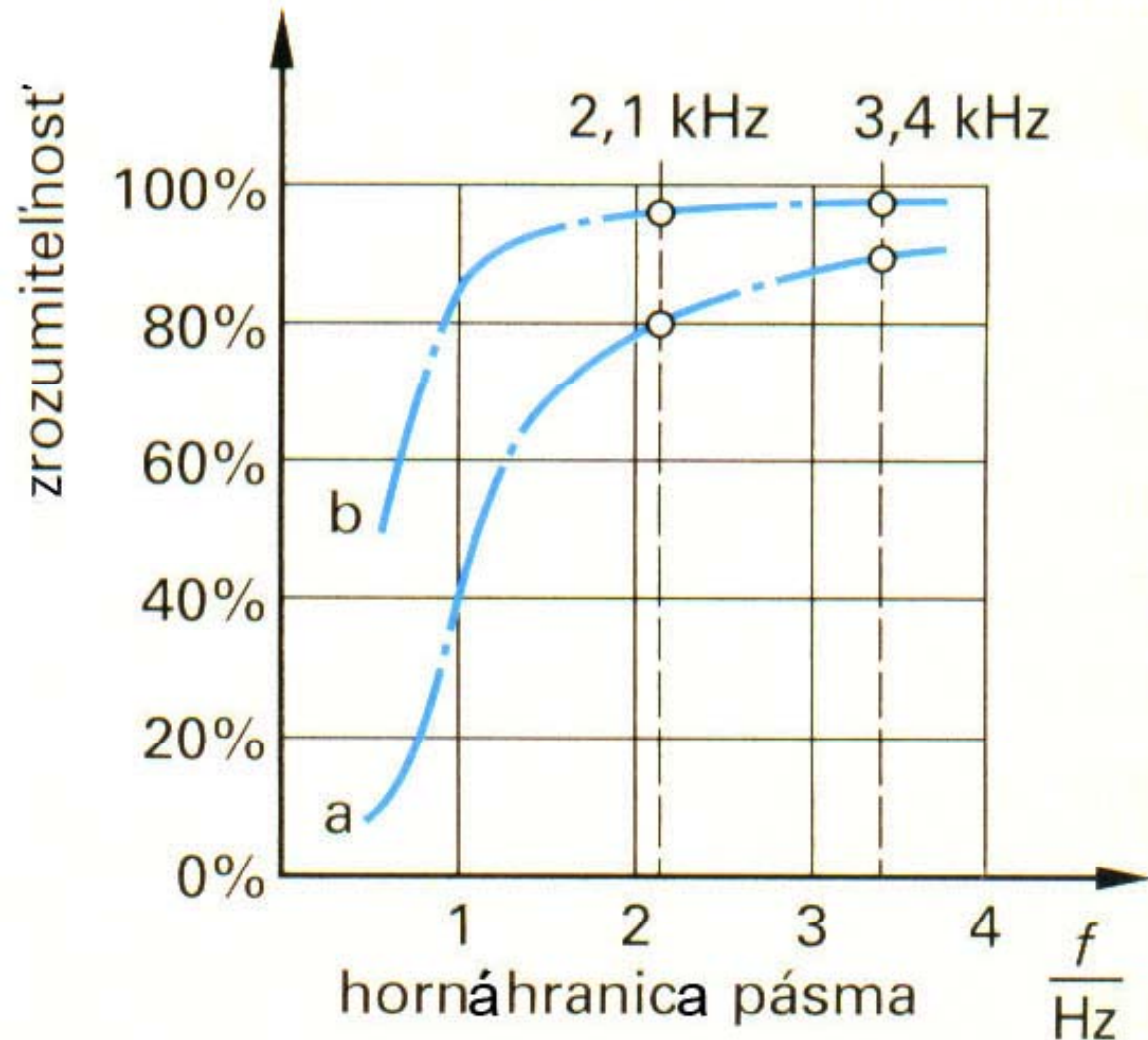
Frekvenčné pásmo [Hz]	Slabiková zrozumiteľnosť	Verná zrozumiteľnosť
300 - 2 100	80%	96%
300 - 3 400	90%	98%

Tab. Frekvenčné pásmo prenosu a zrozumiteľnosť

Verná zrozumiteľnosť 100 % nie je prakticky dosiahnuteľná, pretože chyby posluchu nie je možné celkom vylúčiť a takéto chyby môžu u poslucháča nastať i pri celkovo vernom prenose. Pri obmedzení frekvenčného pásma dochádza k chybám predovšetkým pri prenose spoluhlások (.....), ktoré sa líšia len zložkami v oblasti vyšších frekvencií (ležiacich nad 3 400 Hz). V slabikách so samohláskami (a, e, i, o, u) sú však zrozumiteľné. Pri hláskovaní sú používané určené slová (A ako Antonín, B ako Berta, ...).

Prenosové cesty - Elektroakustika

Obr. Slabiková
zrozumiteľnosť (a),
verná zrozumiteľnosť
(b) v závislosti na
hornej hranici pásma



Prenosové cesty - Elektroakustika

