



ÚPRAVY ZVUKU

Popis mechanického vlnění

Fyzikální vlastnosti zvuku

Time

0:00.000

Zoom

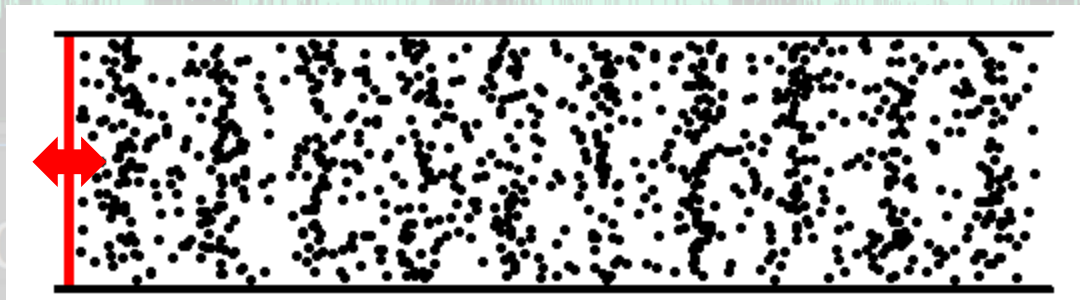


Selection/View

	Start	End	Duration
Selection	0:00.000	0:00.000	0:00.000
View	0:00.000	5:00.852	5:00.852

Definice

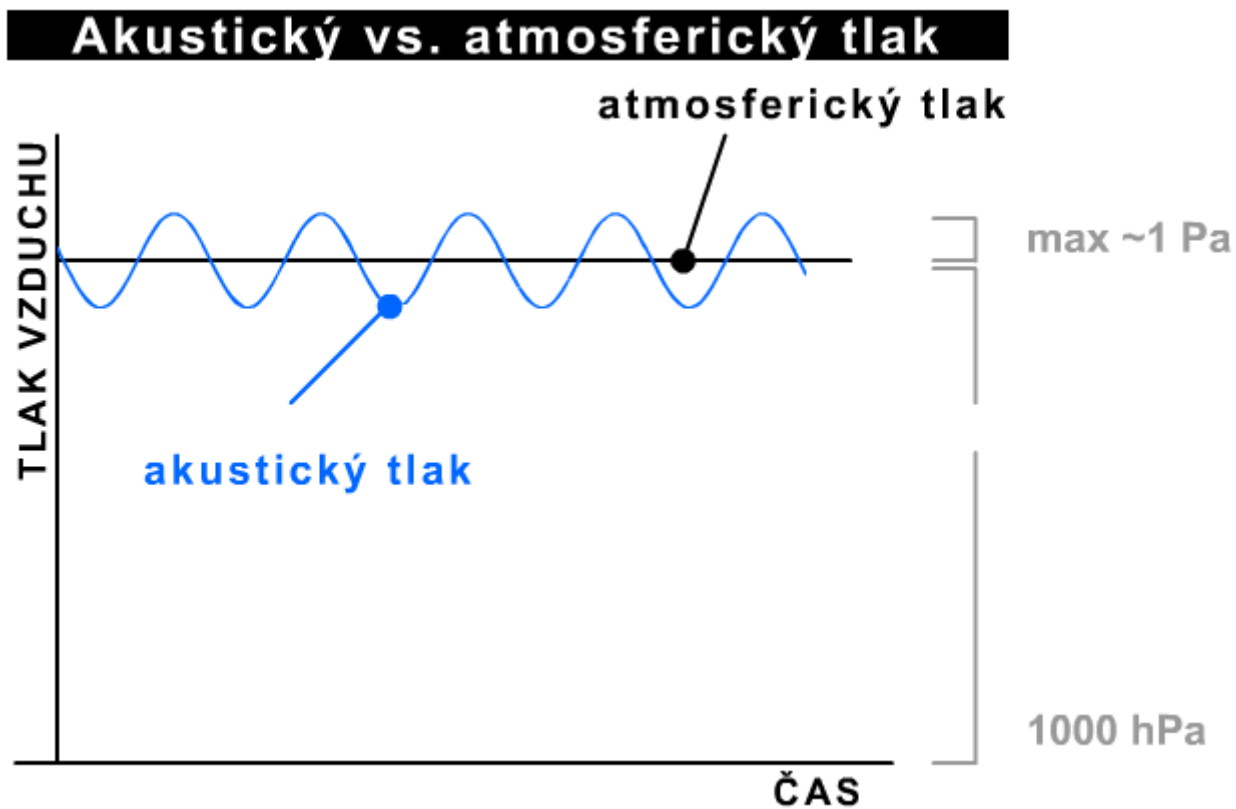
- Zvuk je mechanické vlnění, které se šíří pomocí pružného média. Nešíří se ve vakuu.
- podmínkou vzniku zvuku je nějaký pohyb
- nejde o pohyb molekul, ale o změny tlaku
- když se částice přiblíží, vzniká lokální zvýšení tlaku
- vzduch je systém hustšího a řidšího tlaku



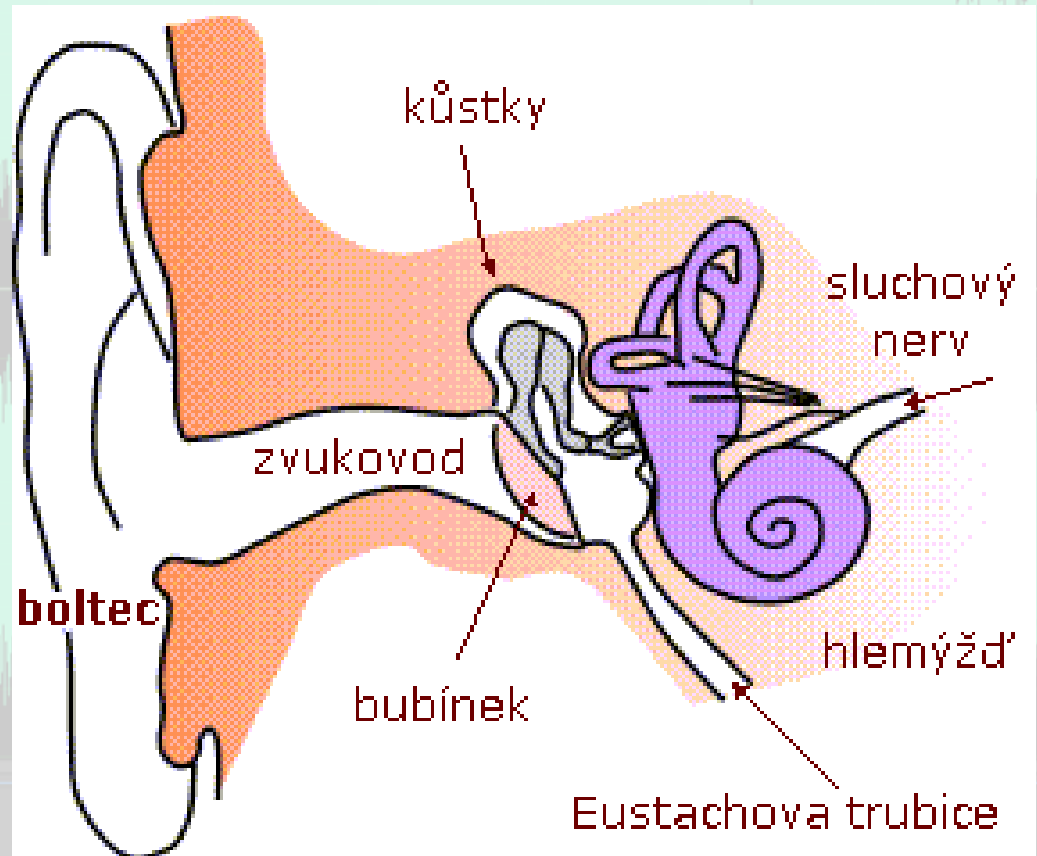
ZVUK

- Sluchový orgán je třeba dráždit periodickými změnami, jednorázová změna tlaku nestačí
- Jsou-li změny příliš pomalé nebo naopak velmi rychlé, tak je neregistrujeme
- Rozsah ucha je cca 16 Hz–20 kHz
- Nejcitlivější je ucho na frekvence 2–4 kHz (řeč)
- Frekvence nad 20 kHz nazýváme *ultrazvuk*
- Velmi nízké frekvence nazýváme *infrazvuk*

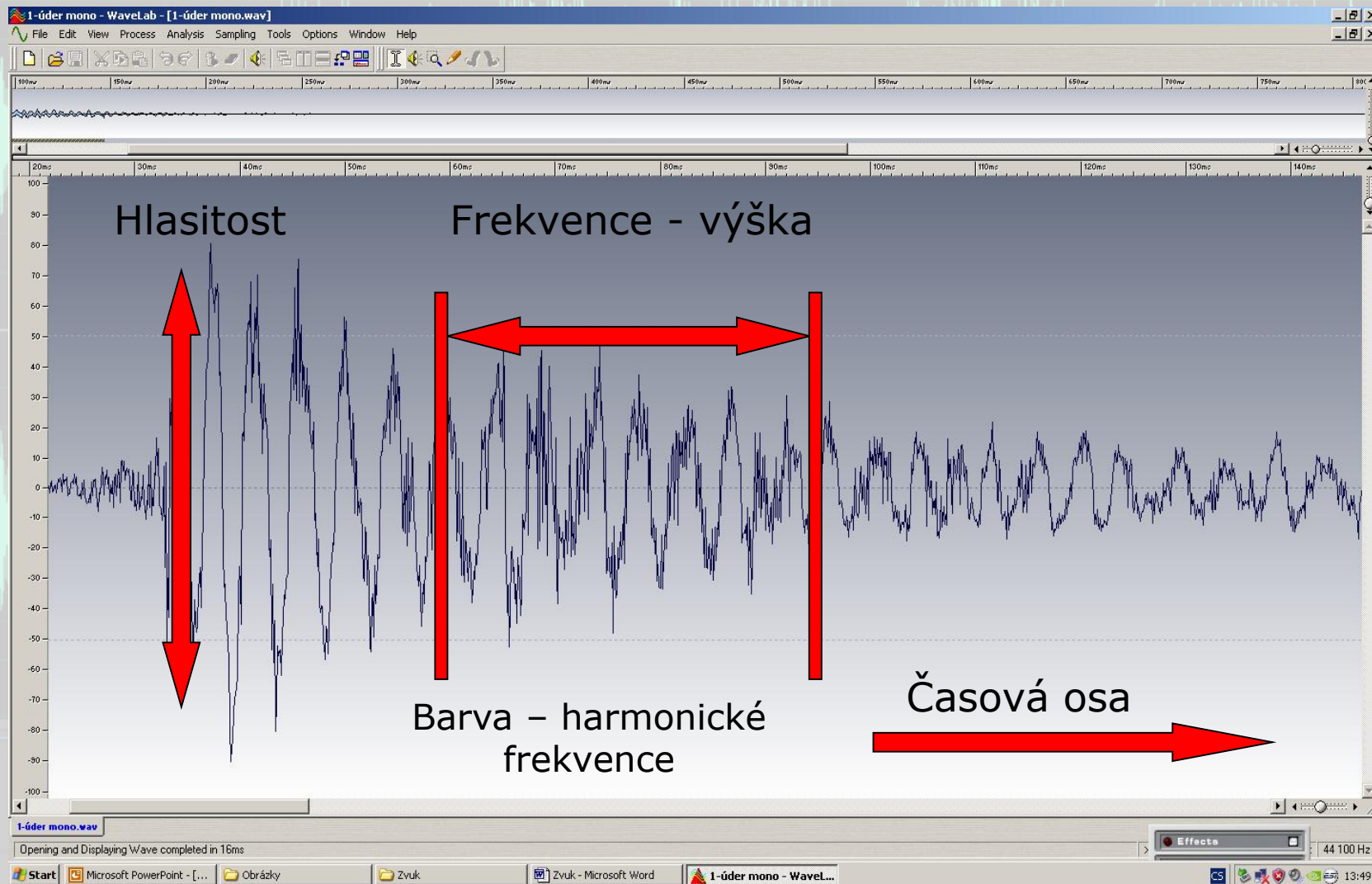
ZVUK



LIDSKÉ UCHO

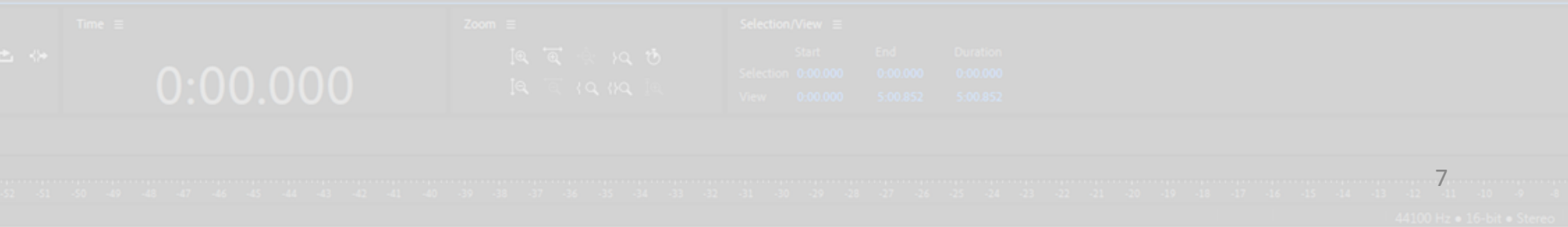


Grafické znázornění zvuku



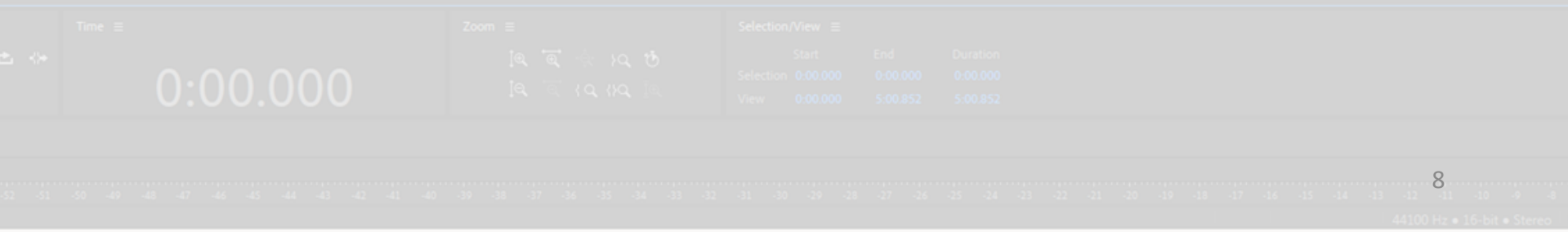
Vlastnosti zvuku

- Perioda/Frekvence (výška)
- Barva (podíl harmonických frekvencí)
- Intenzita (hlasitost)



Vlastnosti zvuku

- **perioda** – trvání jednoho cyklu vlny
 - značka: T
 - jednotka: sekunda



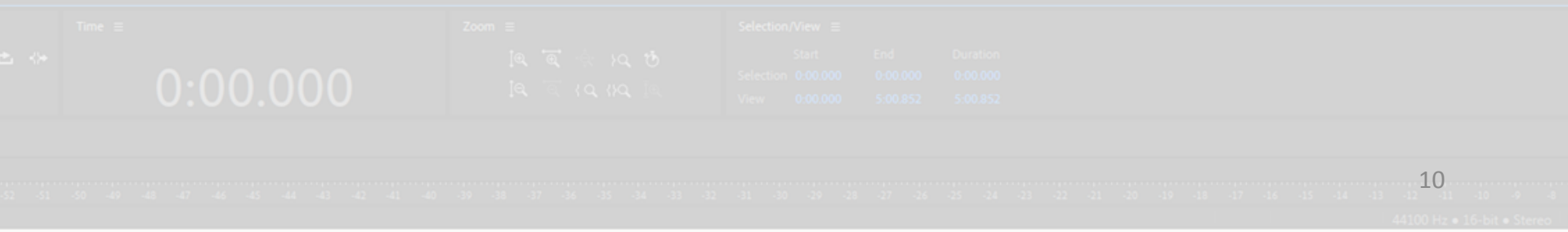
Vlastnosti zvuku

- **frekvence** – převrácená hodnota periody
- říká, kolik period se vejde do 1 s
 - značka: f
 - jednotka: Hertz
 - $f = 1/T$



Vlastnosti zvuku

- **oktáva** má 12 půltónů (= ST / semitone) = 2f
(to znamená, že tón o oktávu výše má 2× vyšší frekvenci)

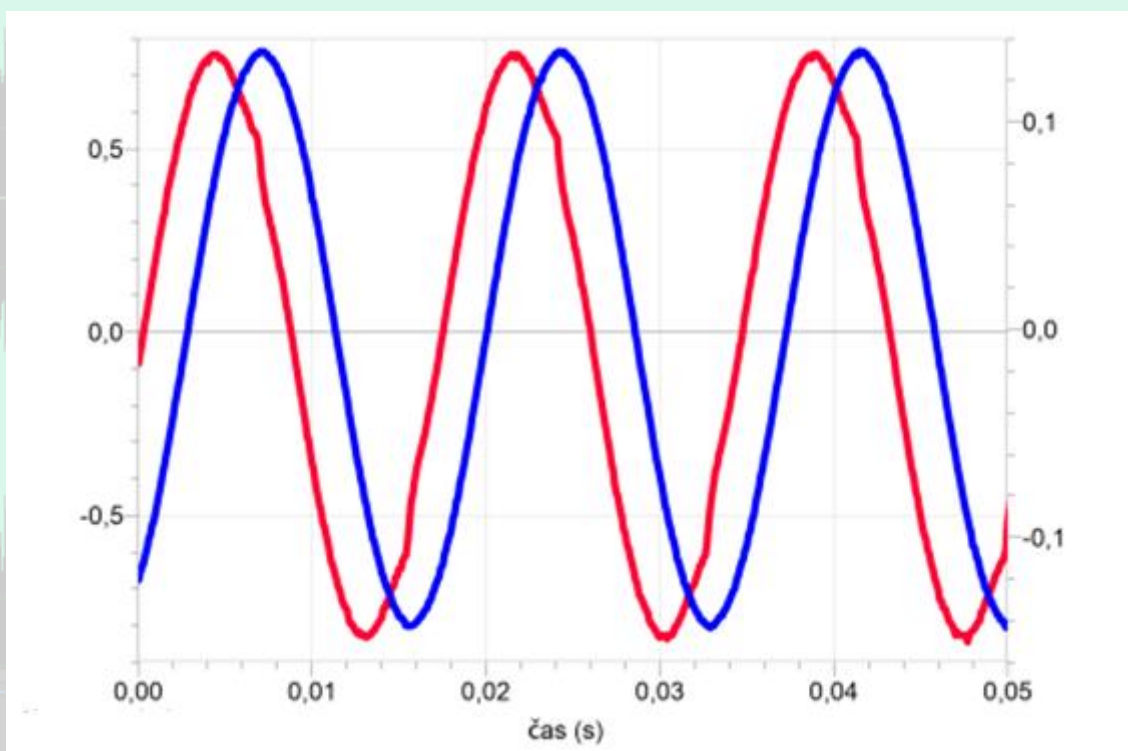


Vlastnosti zvuku

- **amplituda** – vyjadřuje sílu zvuku (jak moc se zdroj vychyluje z rovnovážné polohy)
 - maximální amplituda
 - rozkmit („peak-to-peak“)
 - amplituda neříká nic o tom, jak se zvuk vnímá (max. amplituda může být stejná, ale časem se zmenšuje × zůstává stejná)
 - efektivní amplituda (angl. rms = „root mean square“) – zprůměrovaná síla → lepší popis

Vlastnosti zvuku

- fáze, fázový posun – nevnímají se



*obě křivky jsou fázově posunuty, ale mají shodnou periodu/frekvenci,
sluchem je nerozlišíme*

Vlastnosti zvuku

- **rychlost zvuku (c)**

- je vlastností média
- základní hodnota pro vzduch $c = 330 \text{ m/s}$ v 0°C v 0 m n. m. (přibližně milionkrát pomalejší než světlo)
- v normálním prostředí asi 340 m/s
- ve vokálním traktu asi 350 m/s (v héliu ještě rychleji)
- v kapalných látkách rychleji
- v pevných látkách nejrychleji

Time

0:00.000

Zoom



Selection/View

	Start	End	Duration
Selection	0:00.000	0:00.000	0:00.000
View	0:00.000	5:00.852	5:00.852

Vlastnosti zvuku

- **vlnová délka** – říká, jak dlouhá je perioda
 - $\lambda = c * T$
 - frekvence udává, kolik vln se v sekundě nachází na délce 340 m
 - např. struna na houslích odpovídá polovině vlnové délky ($1/2 \lambda$), stejně se pohybují hlasivky

Time

0:00.000

Zoom



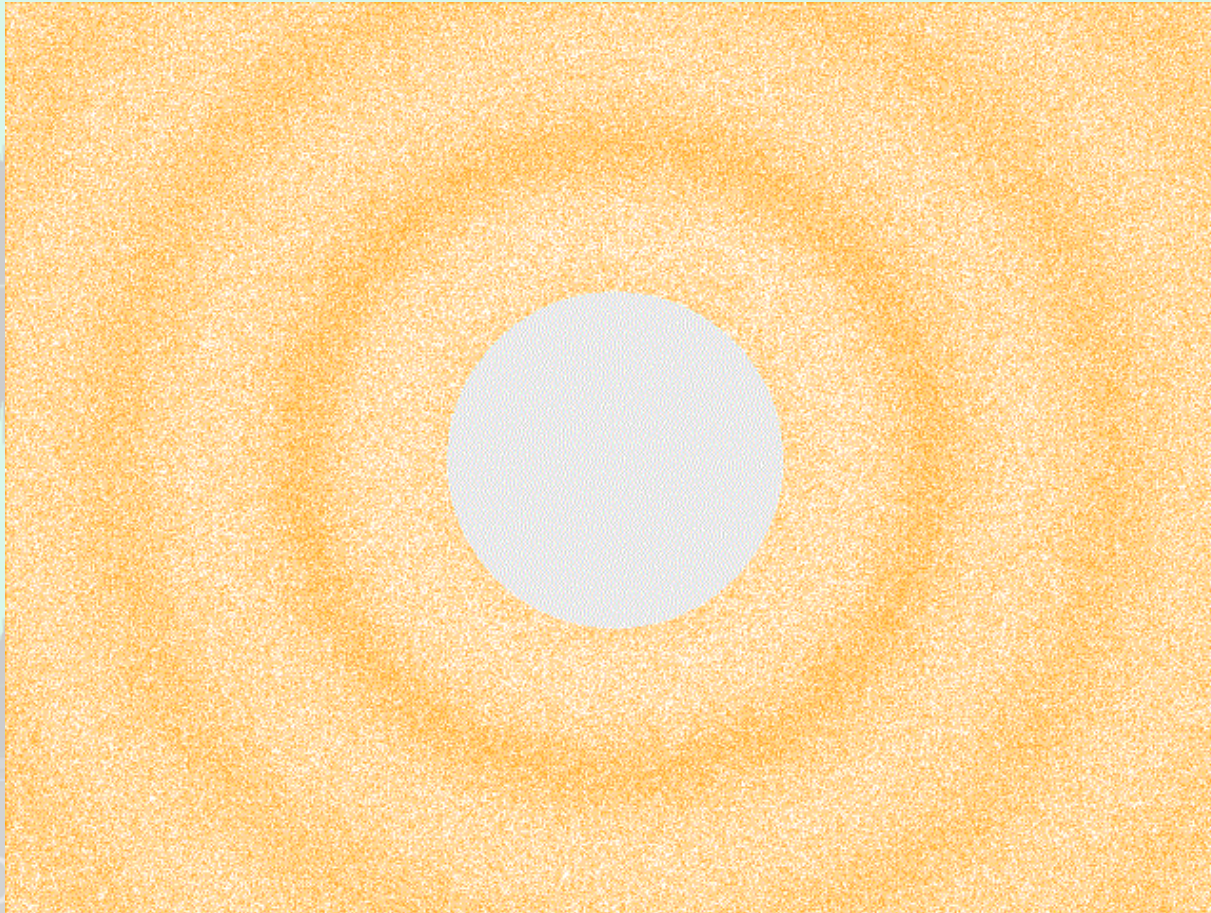
Selection/View

	Start	End	Duration
Selection	0:00.000	0:00.000	0:00.000
View	0:00.000	5:00.852	5:00.852

Šíření zvuku v prostoru

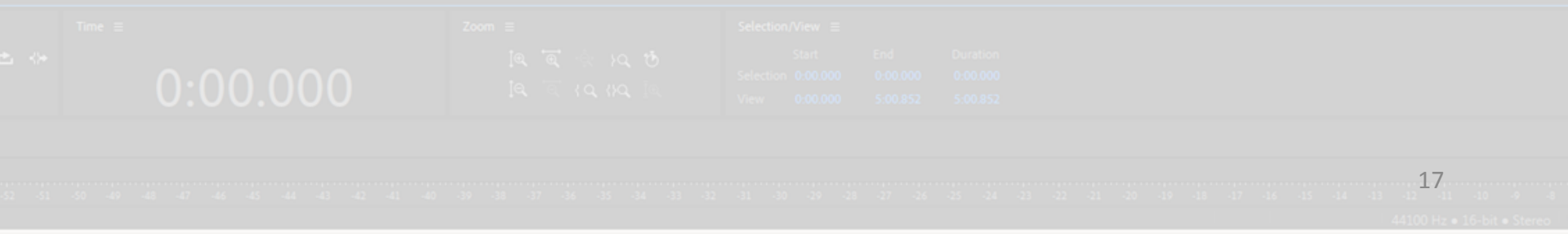
- Ve volném vzduchu se zvuk šíří od zdroje volně všemi směry dle Huygensova principu
- Je-li zdroj zvuku malý, mají vlnoplochy tvar koule
- Je-li zdroj zvuku například rozměrná deska, jsou vlnoplochy rovinné
 - za rovinné plochy považujeme i plochy od zdroje vzdálené, kdy je poloměr „koule“ tak velký, že její výseč můžeme pokládat za rovinnou plochu
- **vlnoplocha** – plocha, kam dorazí zvuková vlna
 - body na jejím povrchu kmitají se shodnou fází

Šíření zvuku v prostoru

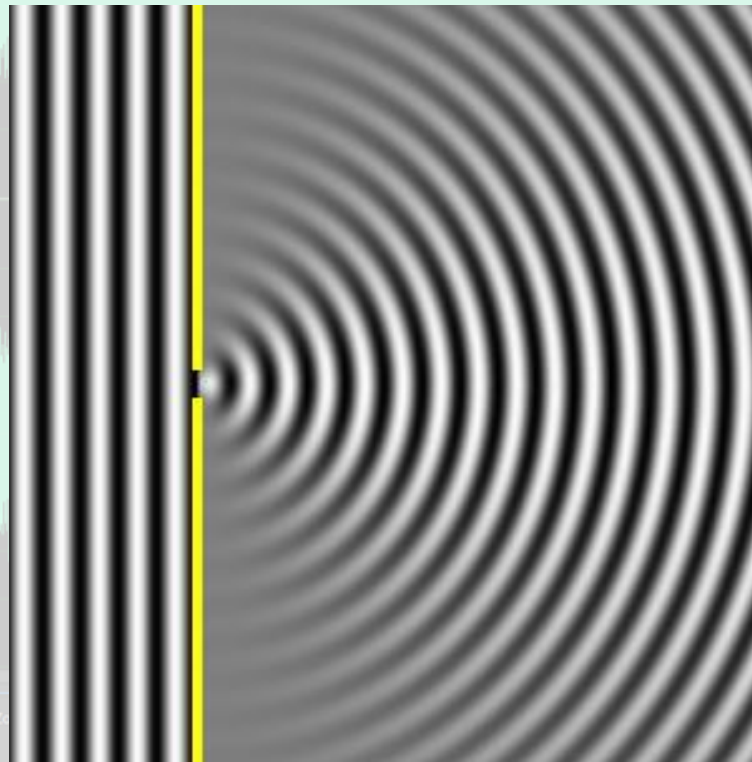


Huygensův princip

- zvuk se od zdroje šíří všemi směry stejně rychle
- každý bod vlnoplochy je zdrojem elementárního vlnění
- všechny body se vyruší a vzniká nová vlnoplocha
- modeluje zvuk přes překážky a kolem nich
 - protihlukové zábrany: vysoká frekvence se šíří jen nahoru (dole je stín), nízká i dolů za překážku
- **zvukový stín** – kam za překážkou nepronikne zvuk



Huygensův princip



Dopplerův jev

- je změna vlnové délky způsobená pohybem zdroje zvuku
- síla zvuku závisí na poloze zdroje a pozorovatele
- když stojí dva posluchači na různých stranách zdroje, slyší stejně
- když dva posluchači stojí a zdroj mezi nimi se pohybuje směrem k jednomu z nich, ten slyší silněji a vyšší tóny

Time

0:00.000

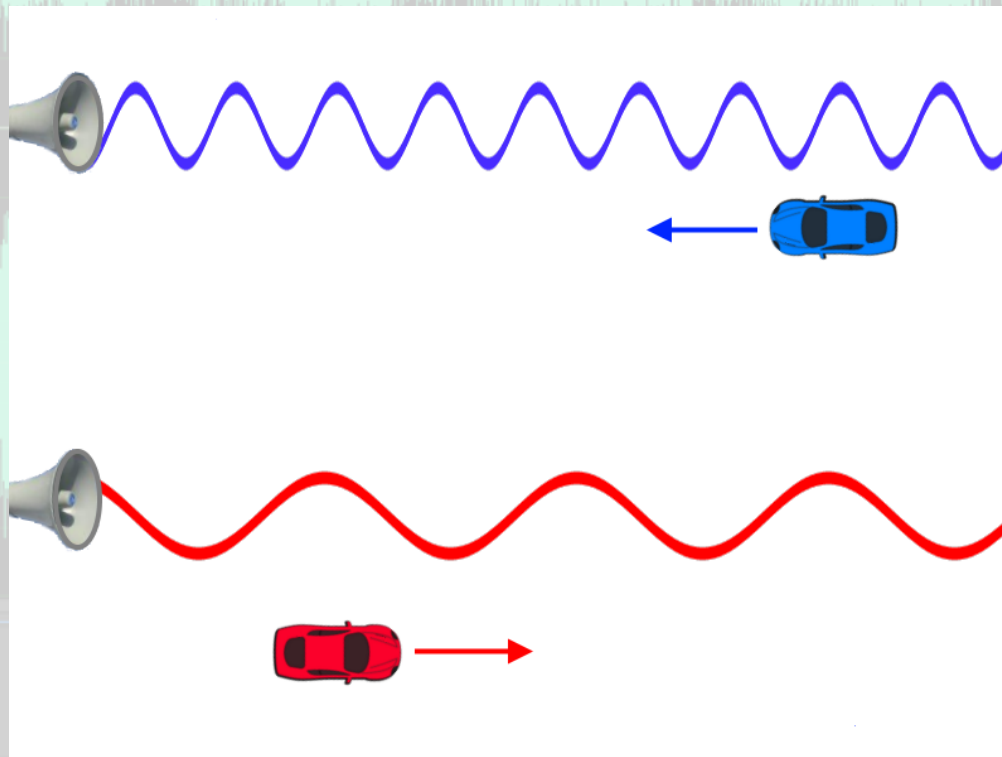
Zoom



Selection/View

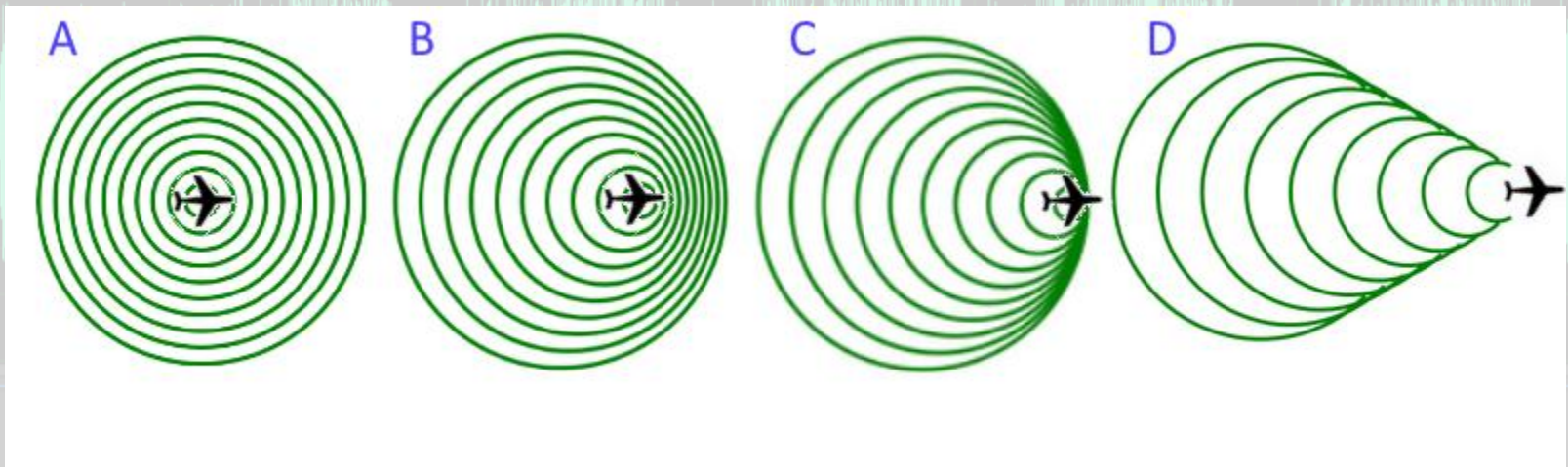
	Start	End	Duration
Selection	0:00.000	0:00.000	0:00.000
View	0:00.000	5:00.852	5:00.852

Dopplerův jev



Dopplerův jev

- pokud rychlost zdroje (letadlo, pistole, bič) překročí rychlost zvuku, šíří se vlny až za ním → „obaly“ vln se sečtou a až dorazí k posluchači, ten slyší akustický třesk (projde jím Machova linie)



Druhy vlnění

- **Postupné vlnění**

- **podélné** – např. zvukové vlnění
- **příčné** – např. kámen hozený do vody

- **Stojaté vlnění**

- **podélné** – dechové nástroje, vokální trakt
- **příčné** – strunné nástroje
- **kmitny** – místa, která kmitají s maximální amplitudou
- **uzly** – místa, která se zdánlivě nehýbou

Základní formy zvuku

- **kvaziperiodický zvuk**
 - sonory a vokály
 - není zcela periodický
- **frikce**
 - šumové hlásky vznikající přiblížením artikulačních orgánů a následnou turbulencí
 - náhodné kmitání
 - např. exploze
- **němá forma**
 - často obsahuje jisté nezřetelné složky
 - v závěrových fázích exploziv (na závěr pak frikce)
- **superpozice dvou forem** (např. kvaziperiodická a frikce)

Periodické vlny

- **Fourierův teorém**

- vznik v napoleonské době
- zabývá se rozkladem vlny na jednodušší
- „všechny periodické vlny můžeme rozložit na nekonečný počet složek, všechny jsou SIN a COS vlny o různé frekvenci a fázi“
- složky jsou v harmonickém vztahu – představují celočíselné násobky té nejnižší

Periodické vlny

- **Fourierův teorém**

- nejnižší složka = základní frekvence ($f_0 = H_1$)
 - ucho je schopné doplnit si základní frekvenci, i když ve zvuku z nějakého důvodu chybí
- ostatní = vyšší harmonické složky (= alikvóty = H_2, H_3, \dots)
- základní frekvence je zároveň i frekvencí opakování celé vlny, vyšší odpovídají členění a tvaru vlny
- *Příklad: $f_0 = 240 \text{ Hz} \rightarrow H_2 = 480 \text{ Hz}, H_3 = 720 \text{ Hz}$*

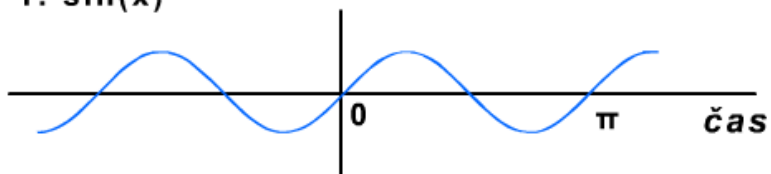
Periodické vlny

- **skládání vln** = prostý součet jejich amplitud
- **složený tón** vzniká pouze tehdy, když se skládají vlny různých frekvencí
 - když se skládají vlny stejné frekvence, má výsledná vlna stejnou frekvenci, i když třeba posunutou
- podle toho, kolik má perioda vrcholů, tolikátou má vyšší frekvenci ($f_0 + H_2 \rightarrow 2$ vrcholky, $f_0 + H_5 \rightarrow 5$ vrcholů) \rightarrow lze určit jen v případě dvou složek

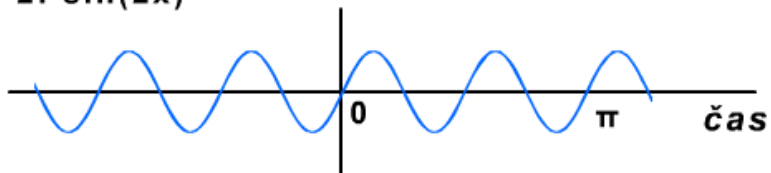
Skládání vln

časová oblast

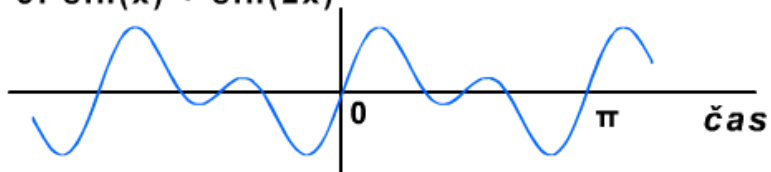
1: $\sin(x)$



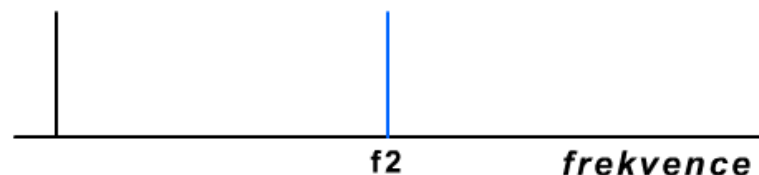
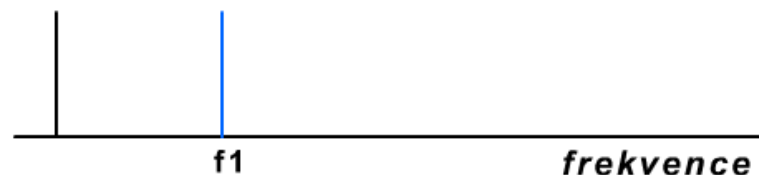
2: $\sin(2x)$



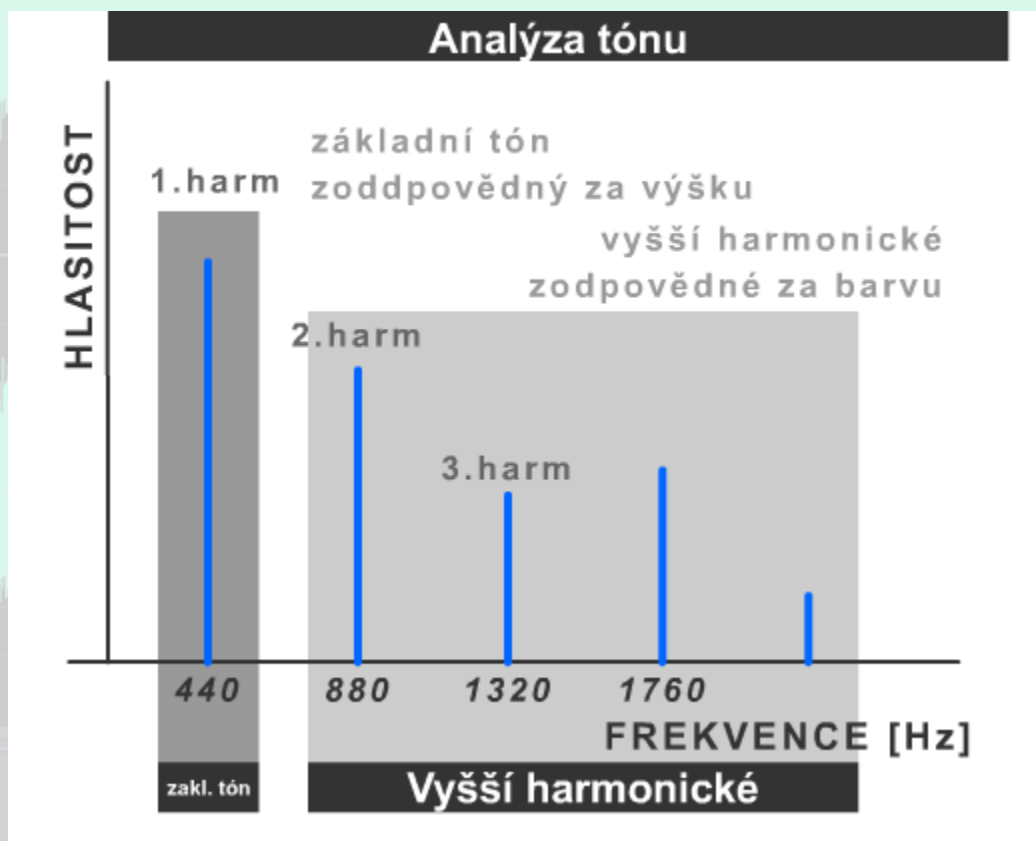
3: $\sin(x) + \sin(2x)$



frekvenční oblast

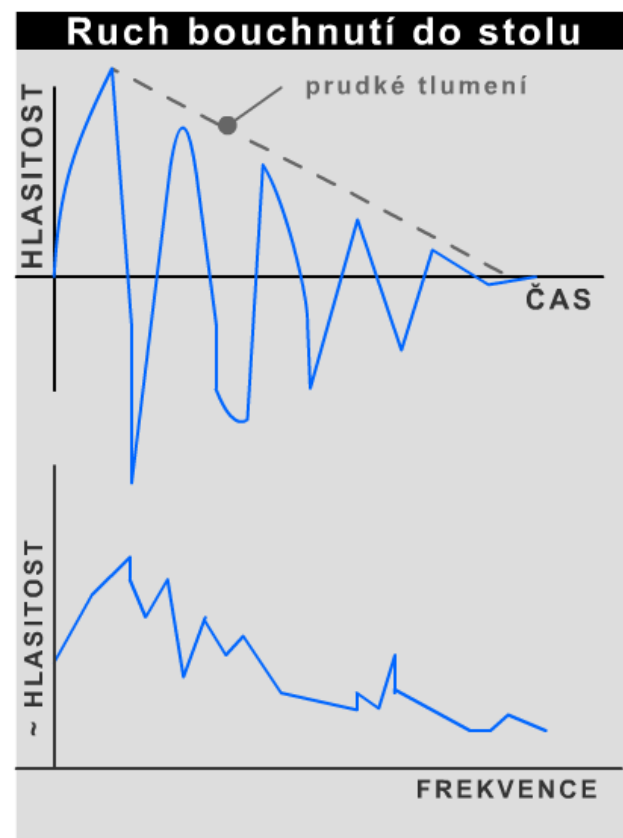
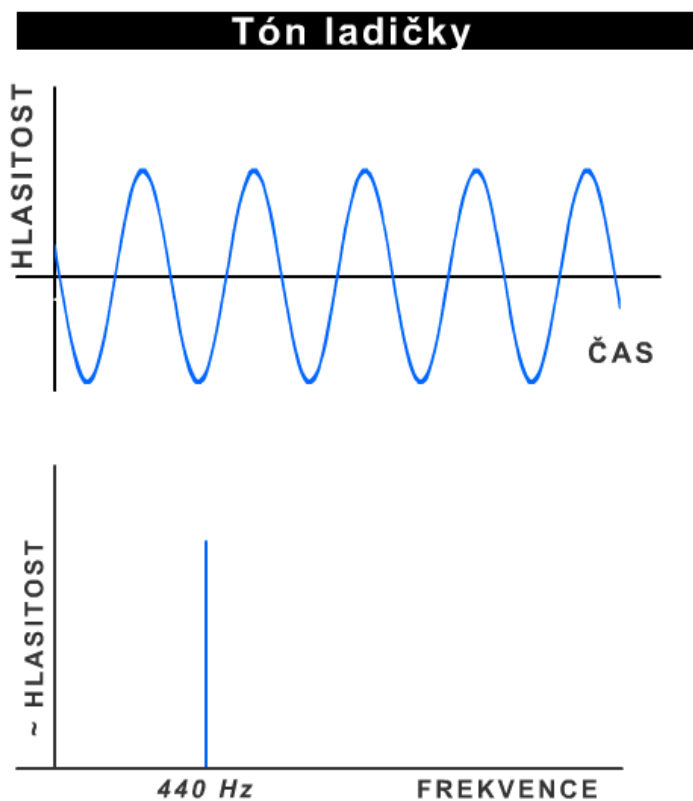


Analýza tónu



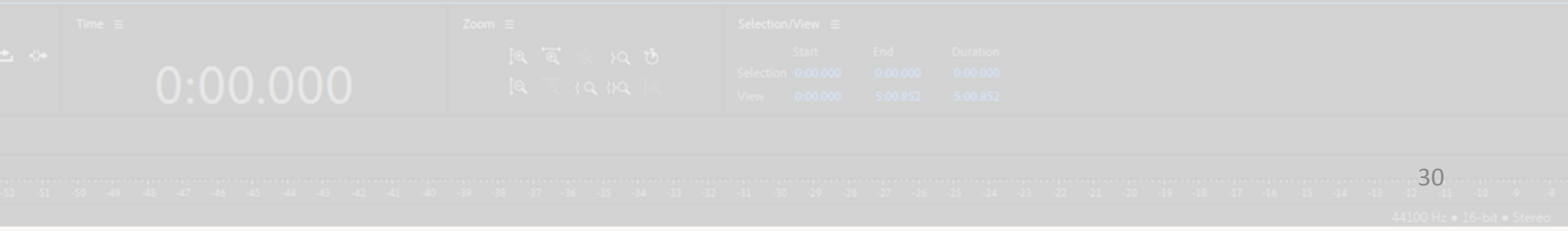
komorní „a“ (440 Hz) u piana

Průběh zvuku v čase



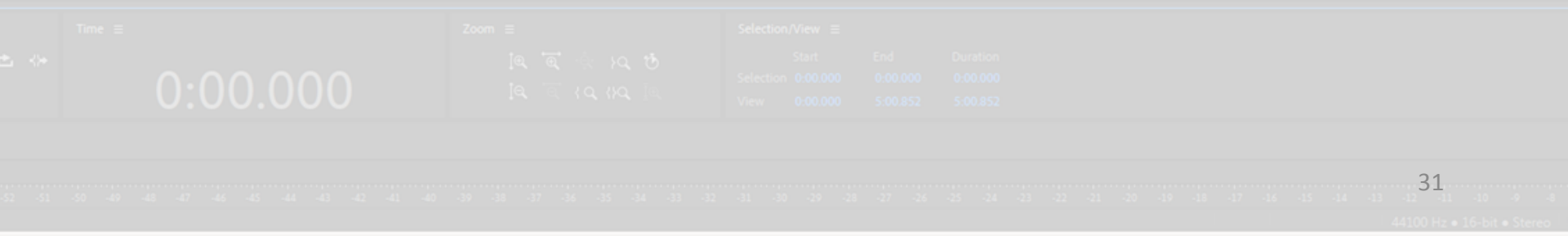
Druhy vln

- **sinusová vlna**
- **obdélníková vlna**
 - obsahuje jen liché harmonické
 - $f_0 = 1$, $H_3 = 1/3$, $H_5 = 1/5$ atd.
 - spektrální sklon: -6 dB na oktávu
- **trojúhelníková vlna**
 - jen liché harmonické
 - $f_0 = 1$, $H_3 = 1/9$, $H_5 = 1/25$ atd.
 - spektrální sklon: -12 dB na oktávu



Druhy vln

- **pilová vlna**
 - jako obdélníková, ale má i sudé harmonické
- **kvaziperiodický zvuk**
 - kreslí se spíš se spektrální obálkou, ne čárovým grafem
- **bílý šum**
 - rovné spektrum, všechny frekvence zastoupeny stejně
- průměrný spektrální sklon lidské řeči je -6 dB na oktávu



Zvukové spektrum

- **čárové spektrum**

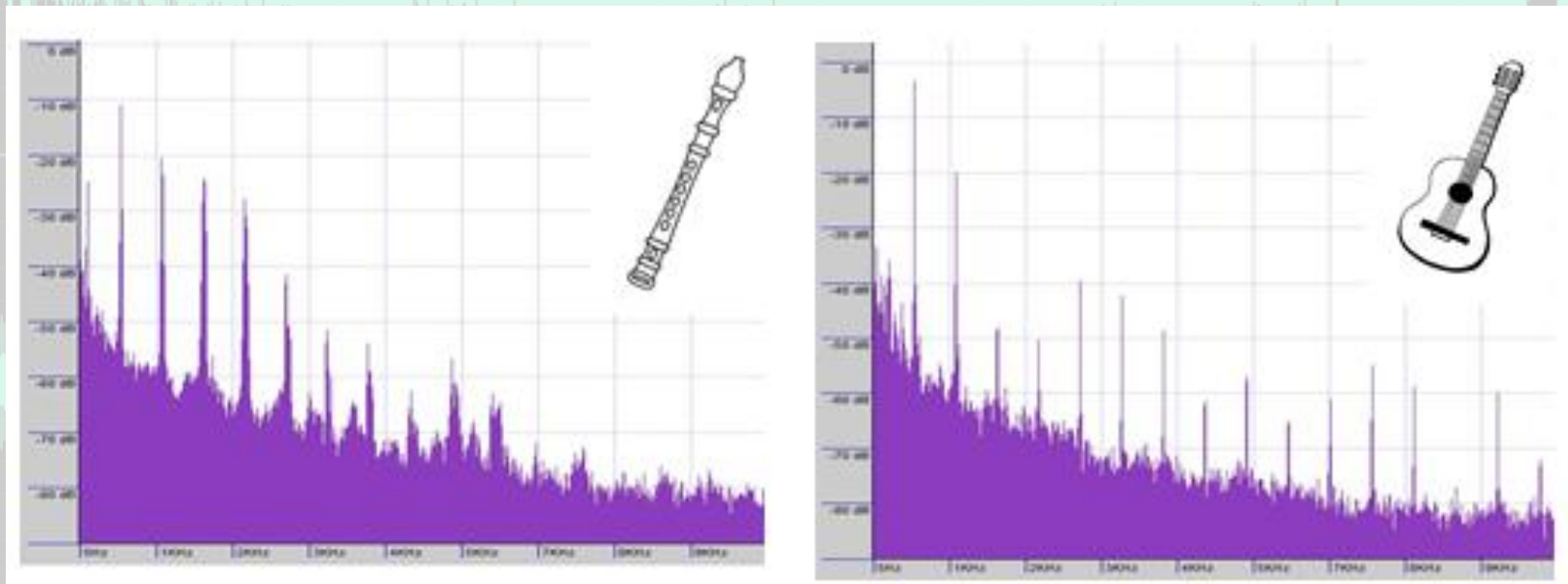
- pro periodické zvuky
- ukazuje, jaké frekvence se ve zvuku vyskytují a jakou mají amplitudu

- **spojité spektrum**

- je ohraničeno „spektrální obálkou“
- např. spektrum **bílého šumu** by byla vodorovná přímka (obsahuje všechny frekvence, všechny mají stejnou amplitudu)
- nezobrazuje fázový posun = výhoda, protože lidské ucho fázový posun nevnímá

Zvukové spektrum

- periodický zvuk



Time

0:00.000

Zoom

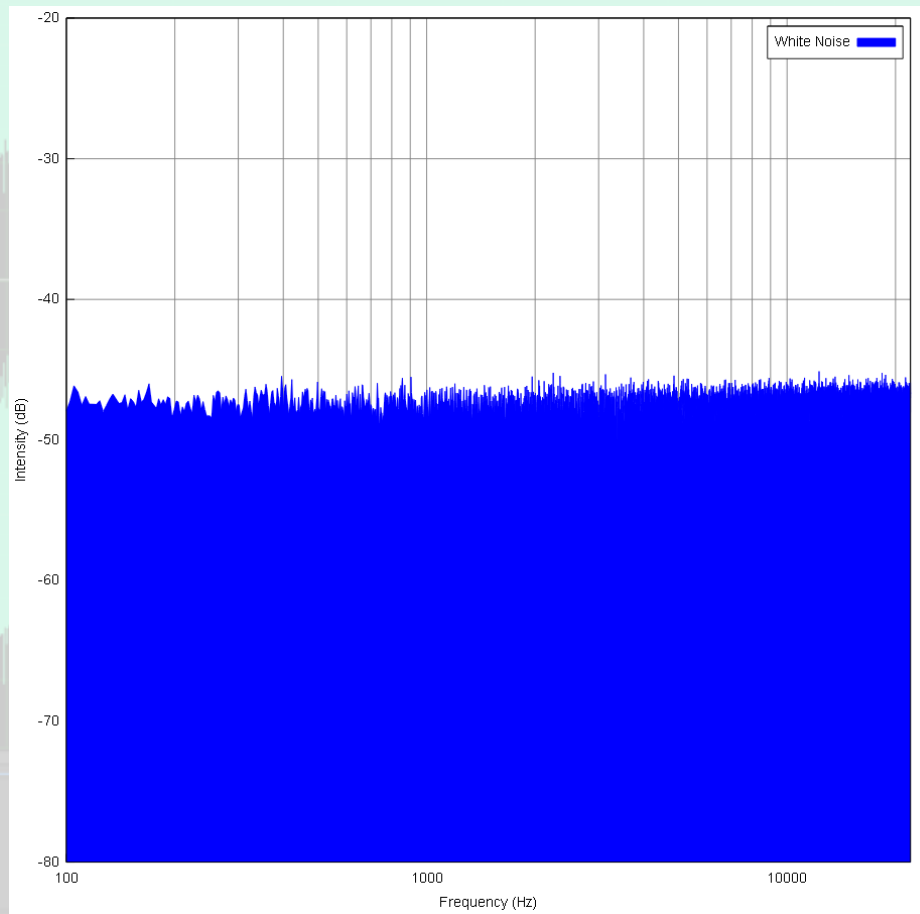
100% 50% 25% 12.5% 6.25% 3.125% 1.5625% 0.78125%

Selection/View

	Start	End	Duration
Selection	0:00.000	0:00.000	0:00.000
View	0:00.000	0:00.852	0:00.852

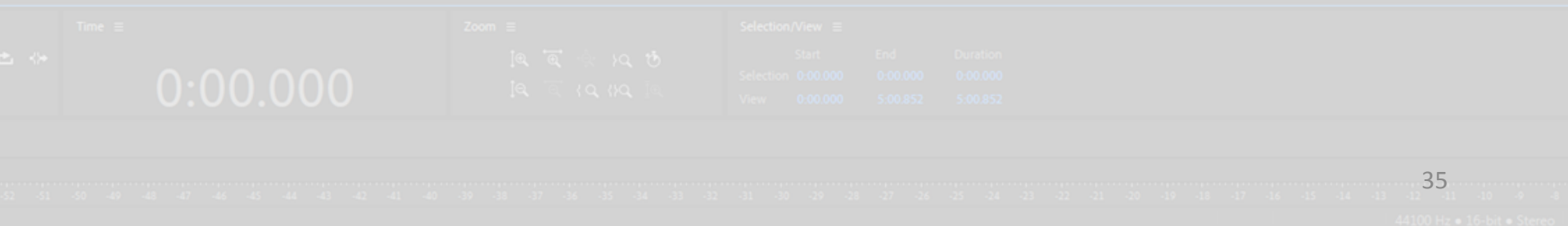
Zvukové spektrum

- bílý šum

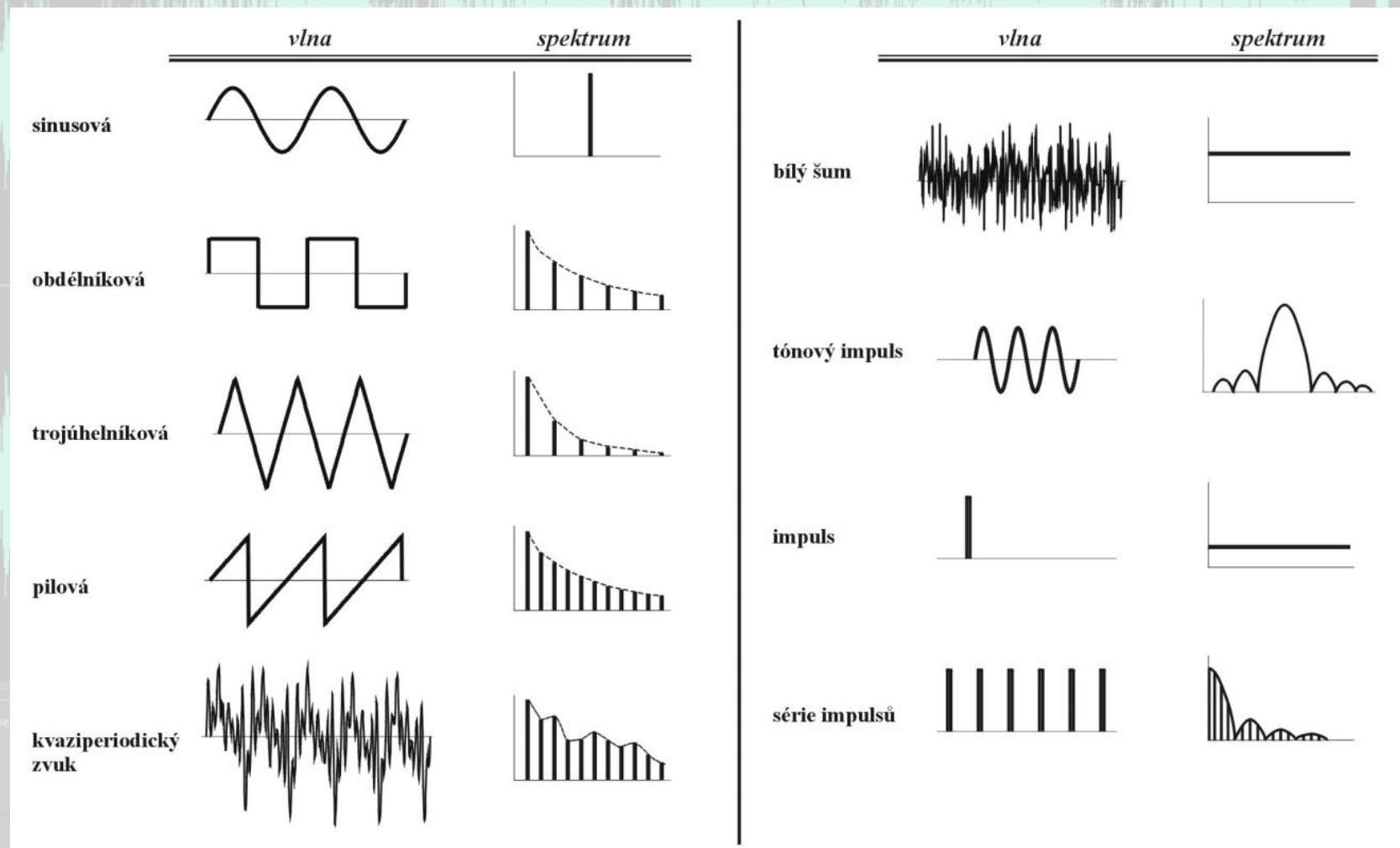


Zvukové spektrum

- náhlá změna ve zvuku znamená přidání okolních frekvencí – delší zvuk má ostré hrany (v grafu má špičku uprostřed), krátký zvuk přibírá i okolní frekvence a je „do obloučku“ (v grafu je uprostřed kulatý kopeček). Spektrum krátkého impulsu vypadá jako vodorovná přímka (zní jako když praskne jiskra ze statické elektřiny)

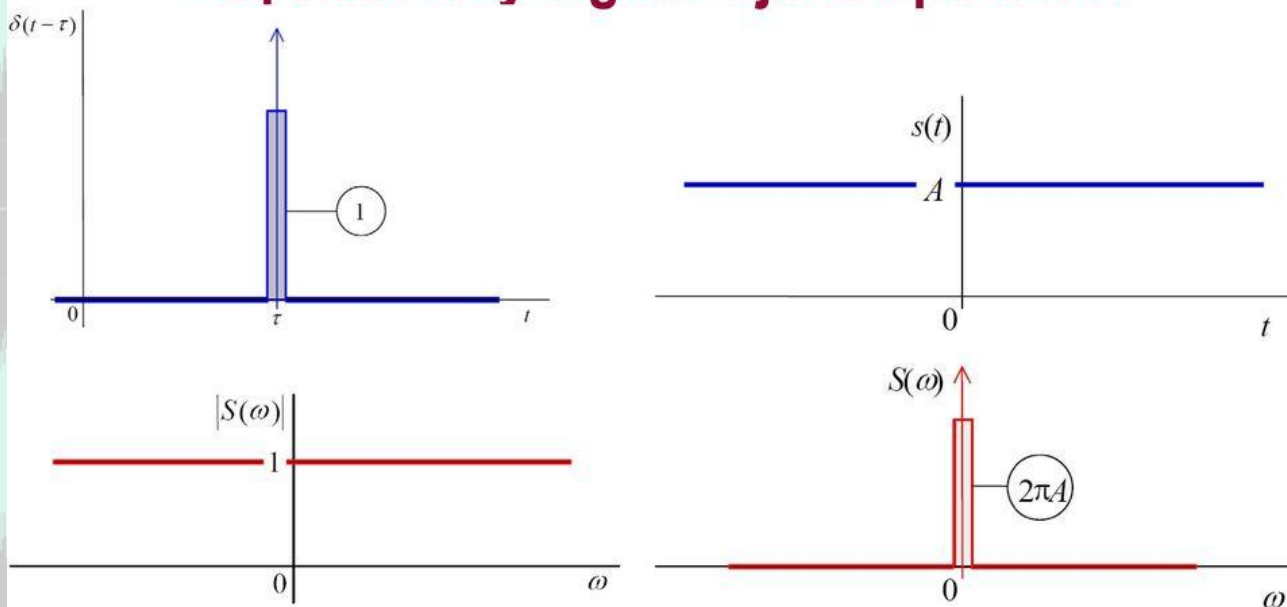


Tvar vlny a zvukové spektrum



Zvukové spektrum

Neperiodický signál a jeho spektrum



Spektrum neperiodického signálu je spojité. Extrémní případy představují jednotkový impuls (nekonečně krátkou dobu trvající pulz s plochou = 1), který má rovnoměrné spojité spektrum, jsou v něm obsaženy všechny frekvence. Stejnosměrný signál má jednotkové spektrum s hodnotou v nule, ss napětí – nulová frekvence.

Zdroje

- ff.cuni.cz
- archiv autora
- wikiskripta.eu
- telotone.cz 2008 a 2011

Time 0:00.000

Zoom

Selection/View

	Start	End	Duration
Selection	0:00.000	0:00.000	0:00.000
View	0:00.000	5:00.852	5:00.852

38

44100 Hz • 16-bit • Stereo