



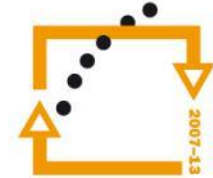
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

FYZIKA PRO II. ROČNÍK GYMNÁZIA

10. ZVUKOVÉ VLNĚNÍ

Mgr. Monika Bouchalová

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem

„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

1. zdroje zvuku
2. šíření zvuku
3. vlastnosti zvuku
4. hlasitost a intenzita zvuku
5. ultrazvuk a infrazvuk
6. Dopplerův jev

ZVUKOVÉ VLNĚNÍ

AKUSTIKA – se zabývá fyzikálními ději, které jsou spojeny se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem.

Zvuk – mechanické vlnění, které vnímáme sluchem.

Rozlišujeme:

- | | |
|--------------|--------------------------------------|
| 1. infrazvuk | $16 \text{ Hz} > f$ |
| 2. zvuk | $16 \text{ Hz} < f < 16 \text{ kHz}$ |
| 3. ultrazvuk | $f > 16 \text{ kHz}$ |

Přenosová soustava

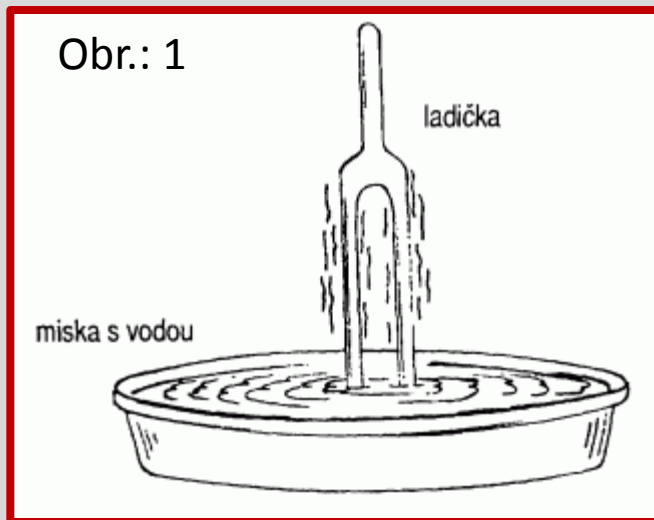
1. zdroj
2. prostředí, kterým se zvuk šíří
3. přijímač zvuku (lidské ucho, mikrofon, ...)

3. 1. ZDROJE ZVUKU

Zdrojem zvuku je chvění pružných těles, které se přenáší do okolního prostředí a vzbuzuje v něm zvukové vlnění.

Ladička – rezonanční skříňka zesílí zvuk ladičky (kmitá harmonicky s konstantní frekvencí).

Ladička vydávající zvuk se chvěje.



[Videopokusy](#)



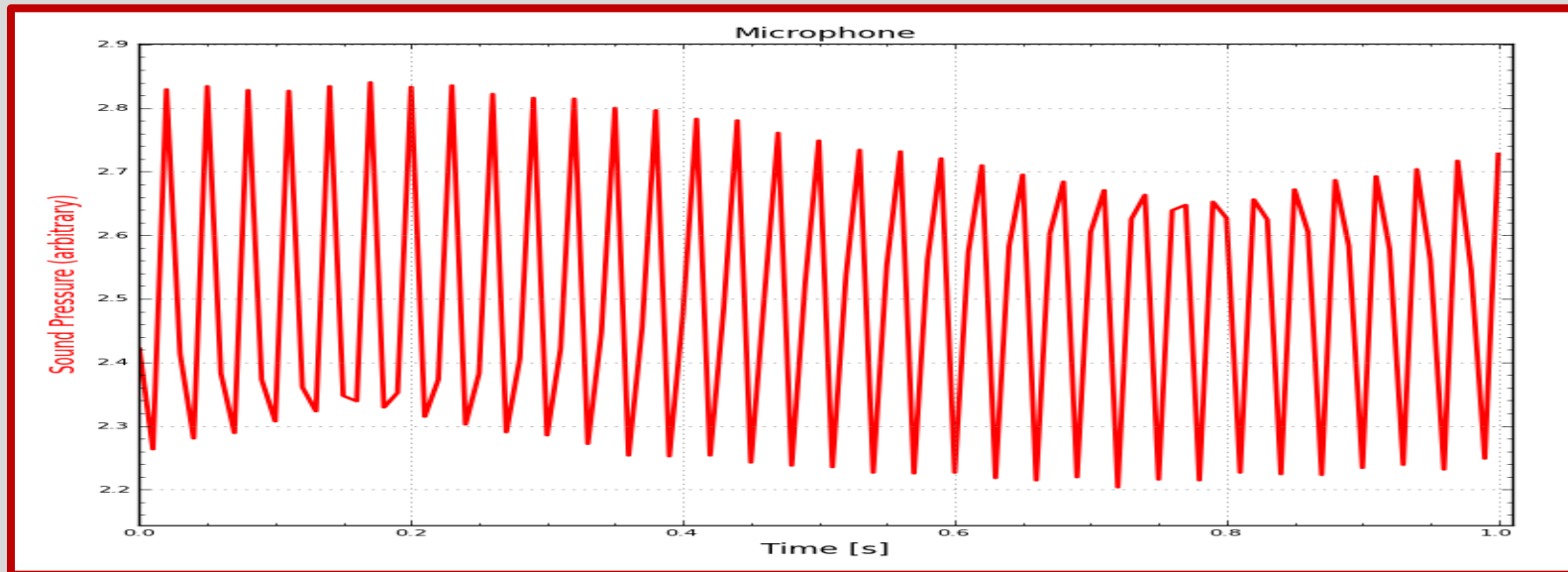
3. 1. ZDROJE ZVUKU

Základní dělení zvuků

1. **tóny** (hudební zvuky) – grafem závislosti intenzity (hlasitosti) zvuku na čase je periodická funkce

Dále se dělí na:

a) **tóny jednoduché** - mají harmonický průběh, tj. grafem závislosti intenzity (hlasitosti) zvuku na čase je funkce sinus



EdLab
ladička

3. 1. ZDROJE ZVUKU

Základní dělení zvuků

1. tóny (hudební zvuky) – grafem závislosti intenzity (hlasitosti) zvuku na čase je periodická funkce

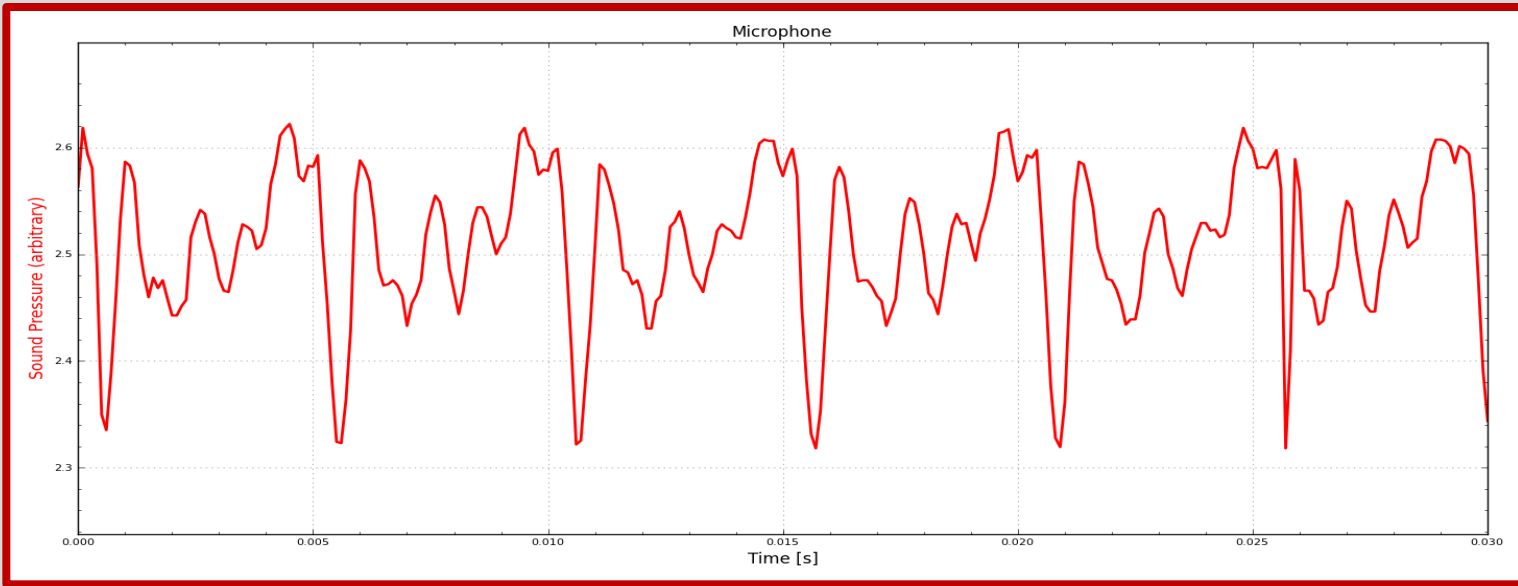
Dále se dělí na:

b) tóny složené - jejich průběh je periodický, ale už se nejedná o sinusoidu.

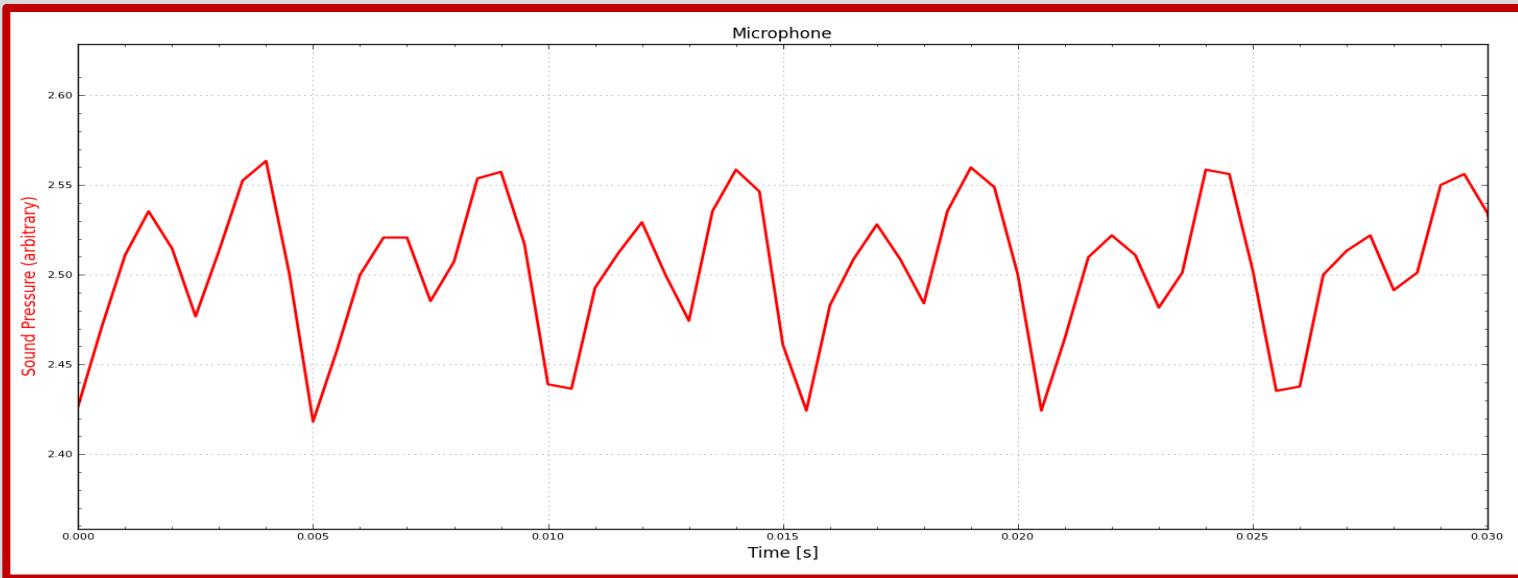
Zvuky obsahují kromě základní frekvence ještě i tzv. vyšší harmonické, na základě nichž dokážeme jednotlivé zdroje zvuku odlišit.

Samohlásky lidské řeči, zvuky hudebních nástrojů, ...

3. 1. ZDROJE ZVUKU

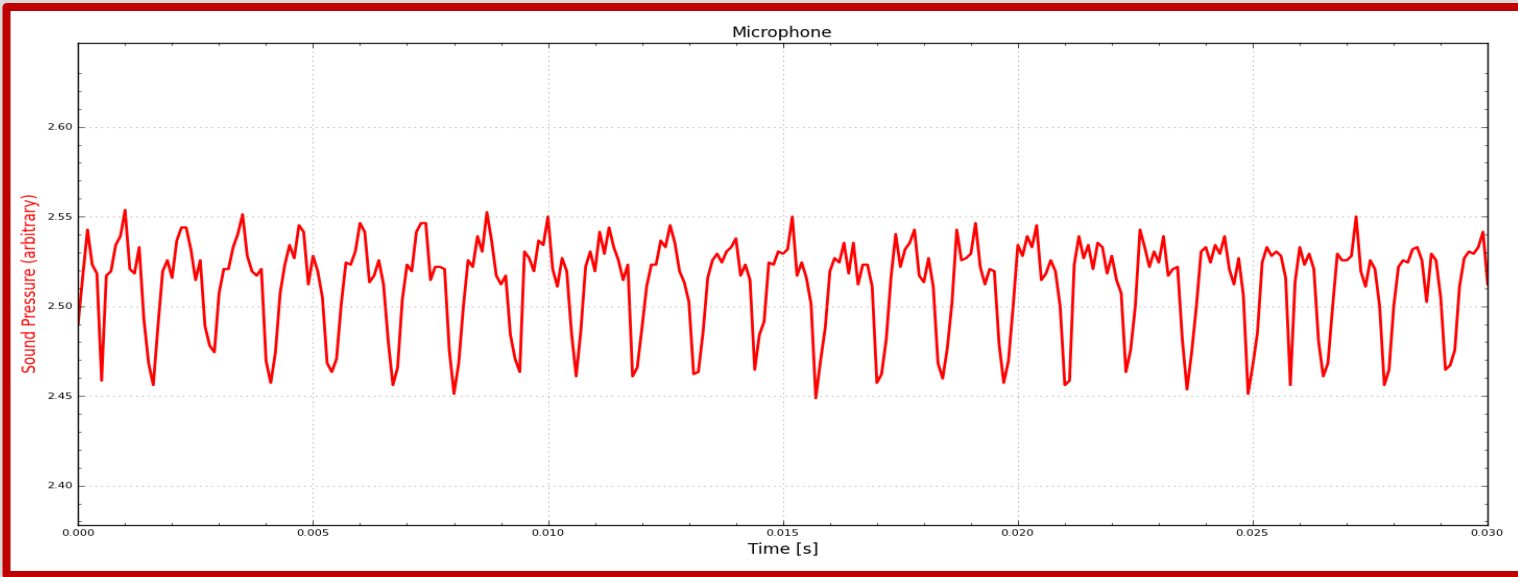


EdLab
„a“

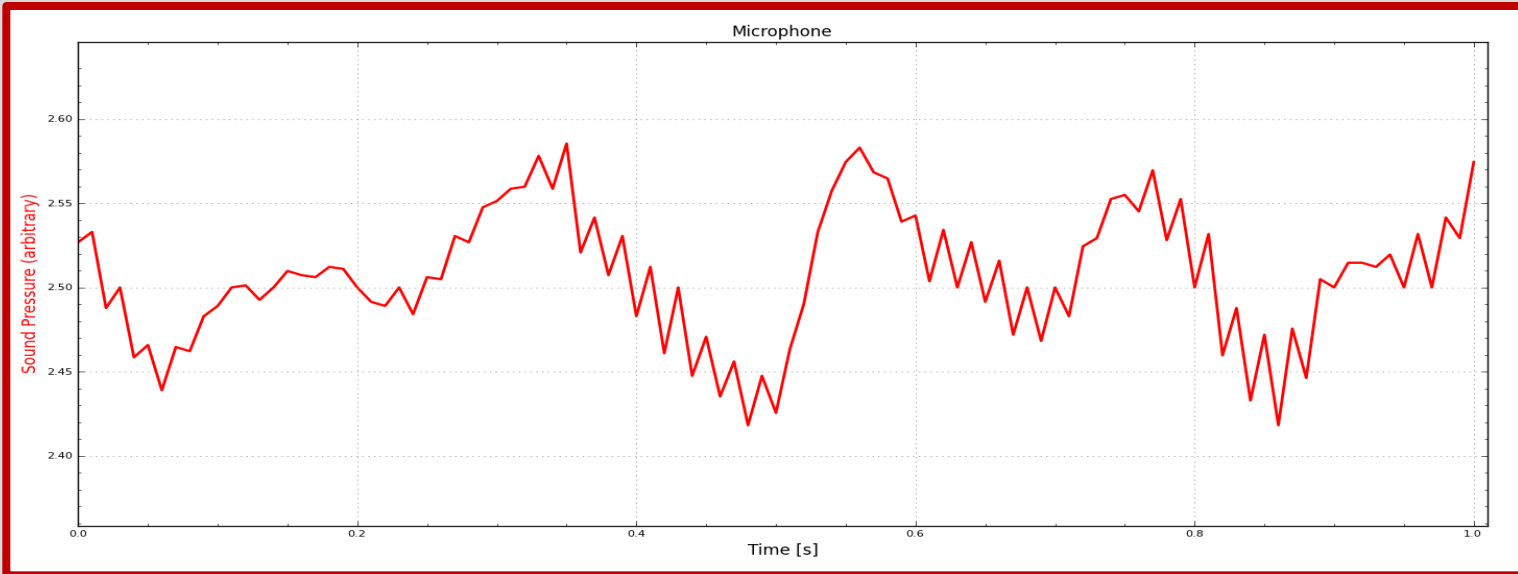


EdLab
„u“

3. 1. ZDROJE ZVUKU



EdLab
flétna



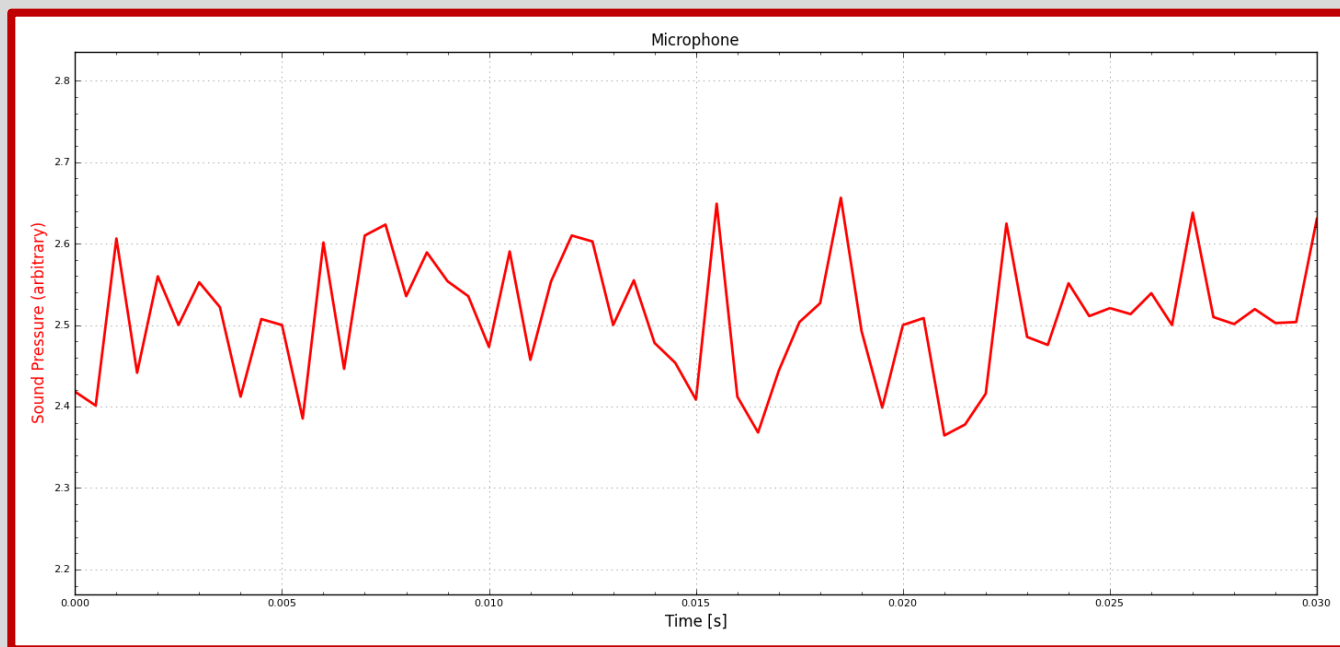
EdLab
klavír

3. 1. ZDROJE ZVUKU

Základní dělení zvuků

2. hluky (šumy, praskání, skřípání, ...)

grafem závislosti intenzity (hlasitosti) na čase není periodická funkce - souhlásky lidské řeči, ...



EdLab

„S“

3. 2. ŠÍŘENÍ ZVUKU

- přenos zvuku je možný jen v pružném látkovém prostředí
 - se snižujícím se tlakem zvuk slábne
 - ve vzduchoprázdnu zaniká
- ve vzduchu se zvuk šíří jako podélné postupné vlnění
- šíří se i v pevných látkách, ve kterých vzniká i příčné vlnění (beton, ocel, sklo,...)
- plst', polystyrén – snižují úroveň hluku

3. 2. ŠÍŘENÍ ZVUKU

rychlost zvuku

- ve vzduchu závisí na nečistotách, vlhkosti a teplotě (ne na tlaku)
- pro výpočty $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$ při teplotě 0°C a hustotě suchého vzduchu $1,293 \text{ kg.m}^{-3}$

$$v_t = (331,82 + 0,61\{t\})\text{ms}^{-1}$$

- rychlost je stejná pro všechny frekvence
- v kapalinách a pevných látkách je rychlost zvuku větší
- nepřímé měření rychlosti zvuku: f známe, λ se určí a v se vypočítá
- MFCHT (str. 159)

$$v = \lambda f$$

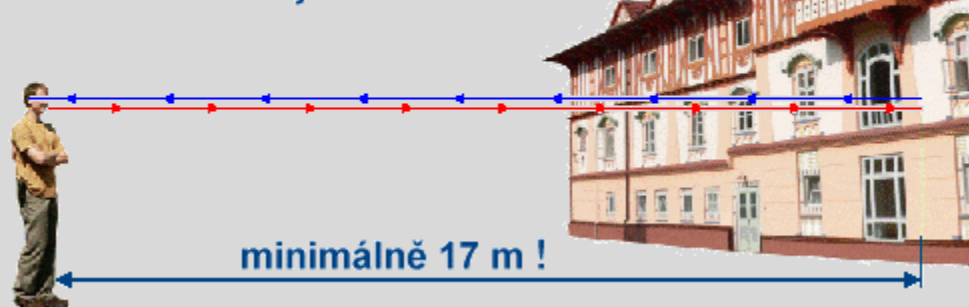
LÁTKA	v / ms^{-1}
Voda (25°C)	1500
Led	3200
Beton	1700
Ocel	5000
Sklo	5200

3. 2. ŠÍŘENÍ ZVUKU

ozvěna

- odraz zvuku od rozlehlé překážky (stěna, skála,...)
- sluch rozliší dva po sobě jdoucí zvuky, pokud mezi nimi uplyne alespoň 0,1 s – vyslovení 1 slabiky, za tu dobu zvuk urazí 34m (17m → 17m ←)
- při vzdálenosti 17 m vzniká jednoslabičná ozvěna
- při větší vzdálenosti víceslabičná
- při menší než 17 m se zvuky překrývají a splývají s původním vzniká dozvuk

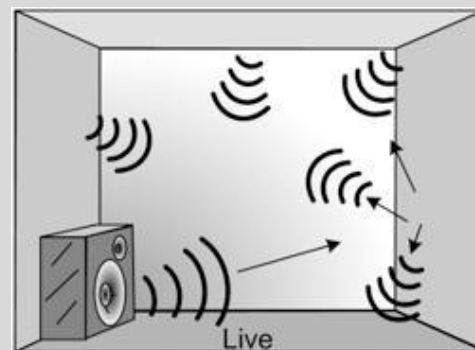
$$\text{doba návratu} = \frac{2 \times \text{vzdál. překážky}}{\text{rychlost zvuku}}$$



3. 2. ŠÍŘENÍ ZVUKU

dozvuk

- prodloužená doba trvání zvuku
- pozor při projektování sálů, síní...



Obr.: 4

Doba, po kterou vnímáme dozvuk, závisí na parametrech:

1. prostoru - na povrchu v místnosti
2. zdroje - na hladině intenzity zvuku
3. fyziologických - citlivost posluchačova ucha

- standardní doba dozvuku se stala hlavním měřítkem pro posouzení akustické kvality sálu
- **Standardní doba dozvuku** je taková doba, za kterou klesne hladina intenzity zvuku v daném prostoru o 60 db, tedy intenzita zvuku klesne 10^6 krát.

3. 3. VLASTNOSTI ZVUKU

Tóny charakterizuje **výška** a **barva**.

Výška tónu je určena jeho frekvencí.

- **základní tón** – je tón s nejnižší frekvencí
- **vyšší harmonické tóny** – násobky frekvence základního tónu
- **relativní výška tónu** – je poměr frekvence daného tónu a frekvence vhodně zvoleného srovnávacího tzv. referenčního tónu
 - v hudební akustice 440 Hz (komorní a)
 - v technické praxi 1000 HZ
- **hudební interval** – poměr frekvencí dvou tónů (oktáva 2 : 1, kvarta 4 : 3 hóří)
- **barva tónu** – je určena vyššími harmonickými tóny, jejich frekvencí a amplitudami. Sluchem podle barvy zvuku rozeznáváme hudební nástroje a hlasy lidí.

3. 4. HLASITOST A INTENZITA

Hlasitost zvuku je subjektivní a závisí na citlivosti sluchu.
Ucho je nejcitlivější na zvuky v intervalu 700 Hz – 6000 Hz.

Objektivní hodnocení vyjadřuje:

Akustický výkon zvukového vlnění množství energie ΔE přenesené za čas Δt od zdroje k přijímači

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$
$$[P] = W$$

Intenzita zvuku

na plochu ΔS kolmou ke směru šíření zvuku se přenesse akustický výkon ΔP

$$I = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$
$$[I] = Wm^{-2}$$

3. 4. HLASITOST A INTENZITA

Práh slyšení

nejmenší intenzita zvuku, kterou jsme schopni vnímat

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$$

$$P_0 = 10^{-12} \text{ W} = 1\text{pW} = 0 \text{ B}$$

Práh bolesti

největší intenzita zvuku, kterou jsme schopni snést

$$P > 1\text{W} = 12 \text{ B}$$

Poměr největšího a nejmenšího akustického výkonu v logaritmické stupnici se vyjadřuje v jednotkách bel.

3. 4. HLASITOST A INTENZITA

L – hladina akustického výkonu (v logaritmické stupnici)

I – intenzita zvuku

I_0 – je intenzita prahu slyšení
(Nebo poměr P a P_0 .)

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

V praxi se používají decibely – dB.

Intenzita zvuku se s rostoucí vzdáleností zmenšuje. (s r^2)

Graham Bell – vynálezce telefonu

Obr.: 5 - Alexander Graham Bell mluví do telefonu, 1876



3. 4. HLASITOST A INTENZITA

dB	Zvuk	dB	Zvuk
0	hranice slyšitelnosti	70	hluk na silně frekventovaných ulicích velkoměsta, vysavač
10	šelest listí, ticho na venkově	80	hluk v tunelech podzemních železnic, křik, symf. orchestr
20	šum listí, knihovna, tikot hodinek	90	hluk motorových vozidel
30	pouliční hluk v tichém předměstí	100	maximální hluk motorky, pneumatická vrtačka
40	tlumený rozhovor	110	hlasité obráběcí stroje, rocková kapela
50	normální pouliční hluk, ruch v kanceláři	120	startující letadlo (z 1 m)
60	hlasitý (normální) rozhovor, ruch v davu	130	hluk působící bolest

3. 5. INFRAZVUK

- je mechanické vlnění s frekvencí menší než 16 Hz
- lidské ucho ho nevnímá, vnímají ho ryby, medúzy
- dobře se šíří ve vodě
(„hlas moře“ předpovídající několik hodin před vlnobitím jeho příchod)
- při frekvencích blízkých frekvenci tlukotu srdce je pro člověka nebezpečný
- nebezpečné jsou $f = 6 - 7$ Hz, při nichž rezonují tkáně a poškozují se buňky ve svalech a nervovém systému
- infrazvuk s velmi vysokou amplitudou (a tedy vysokou energií) může i zabít (infrazvukové zbraně)

3. 5. ULTRAZVUK

- je mechanické vlnění s frekvencí větší než 16 kHz
- pro lidské ucho neslyšitelný
- slyší ho psi, delfíni při komunikaci, netopýři při orientaci
- $\lambda_{UZ} < \lambda_{ZVUKU}$ – šíření ultrazvuku je méně ovlivněno ohybem
- výrazný je jeho odraz od překážek
- je méně pohlcován v kapalinách a pevných látkách
- zdrojem je elektronický generátor

3. 5. ULTRAZVUK

Použití ultrazvuku

- **lékařství** – signál prochází tělem a od vnitřních orgánů se odráží zpět, detektory je přijat a dále zpracován.
(nahrazuje rentgen)

- sono jater,
- ultrazvuková kontrola plodu budoucí matky

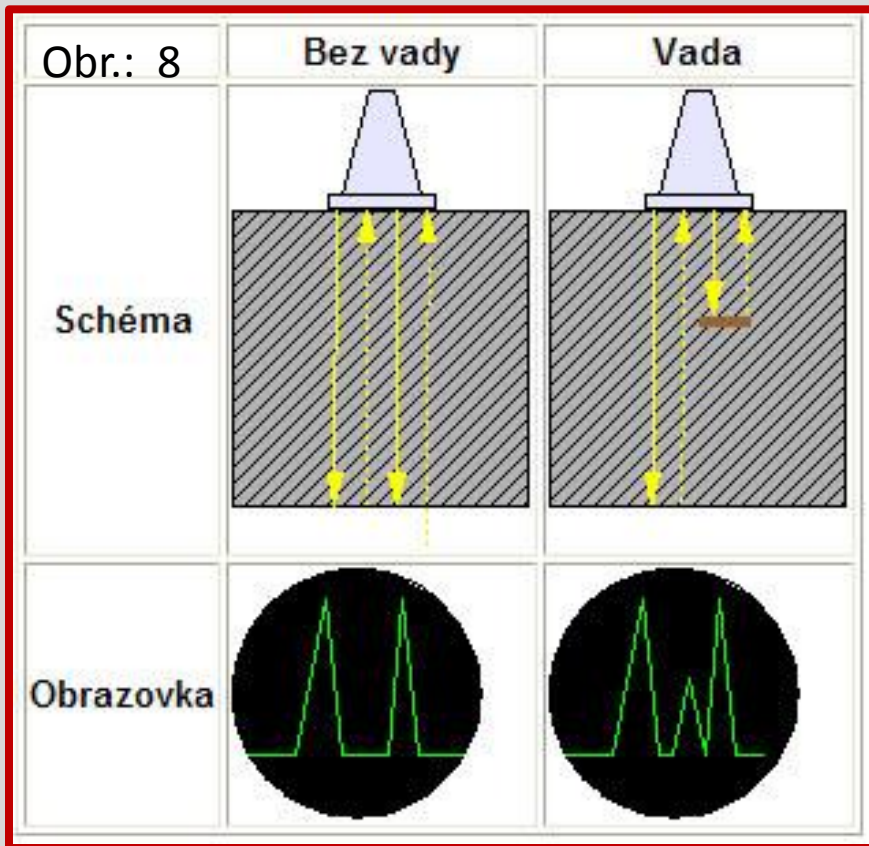


Obr.: 6

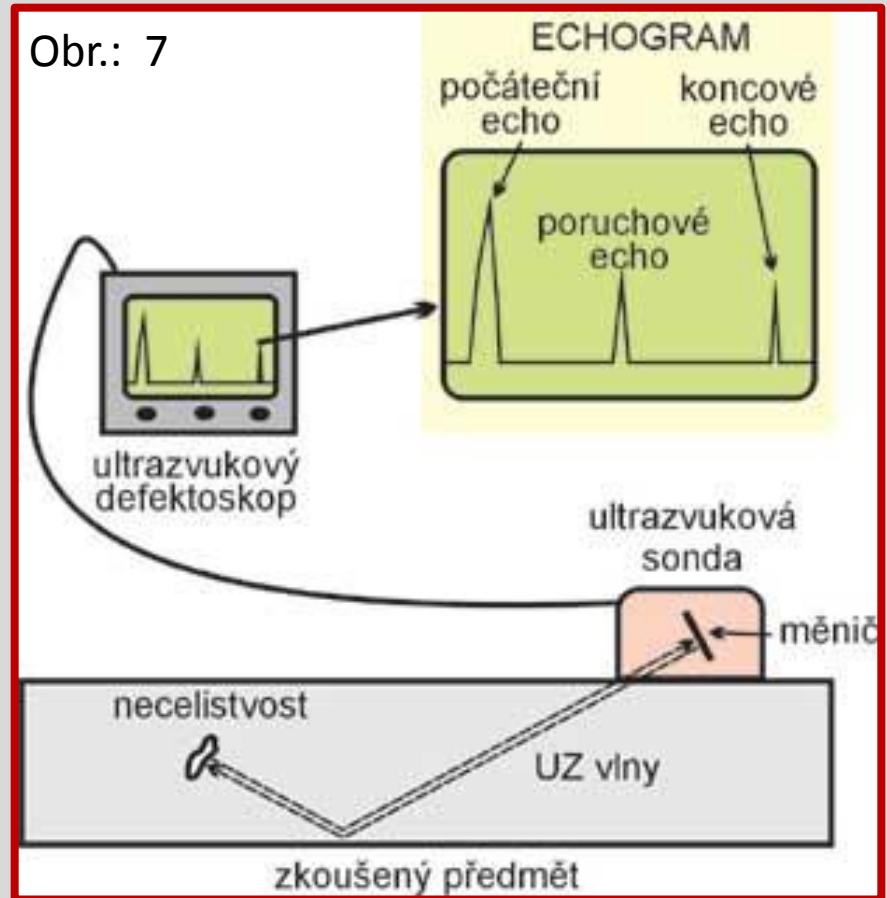
3. 5. ULTRAZVUK

Použití ultrazvuku

- ultrazvuková defektoskopie – funguje na stejném principu: ultrazvuk se odráží od vady výrobku (dutina, příměs, ...), lze zjistit polohu vady



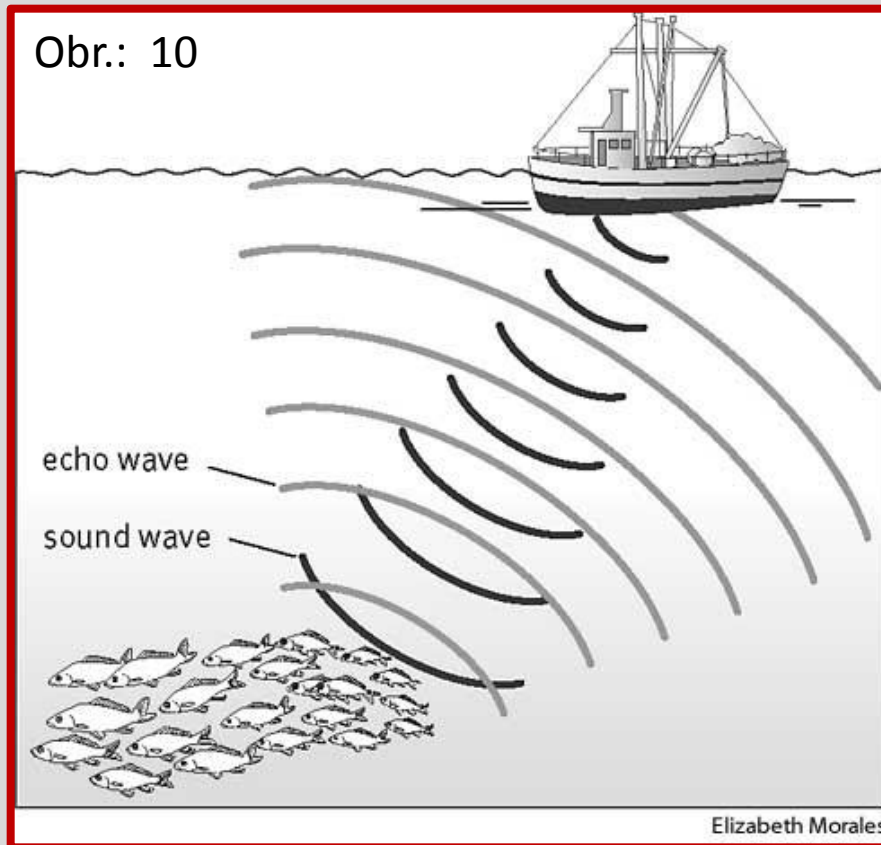
Obr.: 7



3. 5. ULTRAZVUK

Použití ultrazvuku

- **sonar** (SOund Navigation And Ranging)
průzkum mořského dna: ultrazvuk dopadá na mořské dno a odráží se zpět. Lze vykreslit trojrozměrný reliéf dna.

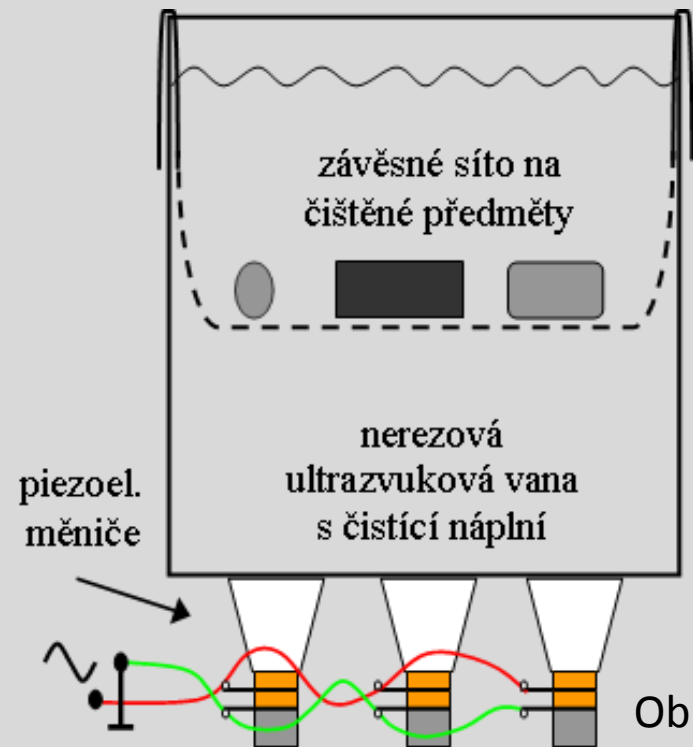


3. 5. ULTRAZVUK

Použití ultrazvuku

- užití jeho vibrací

- vypuzování plynů z kapalin a roztavených kovů, skla, ...;
- vytváření suspenze, emulze (tuk ve vodě, ...);
- čišění součástek (jemné mechanismy, čočky brýlí, ...)
- čišění pleti



3. 5. ULTRAZVUK

Použití ultrazvuku

- liposukce

Obr.: 13



3. 5. ULTRAZVUK

Použití ultrazvuku přináší pro živé organismy také riziko.

Exponované buňky se mohou poškodit:

1. **mechanicky**

buňky při určitých frekvencích rezonují a trhají

2. **termicky**

energie ultrazvuku se při jeho absorbování přemění na teplo

3. **chemicky**

dochází ke změnám ve struktuře a složení chemických látek, vznikají volné radikály, inaktivují se enzymy

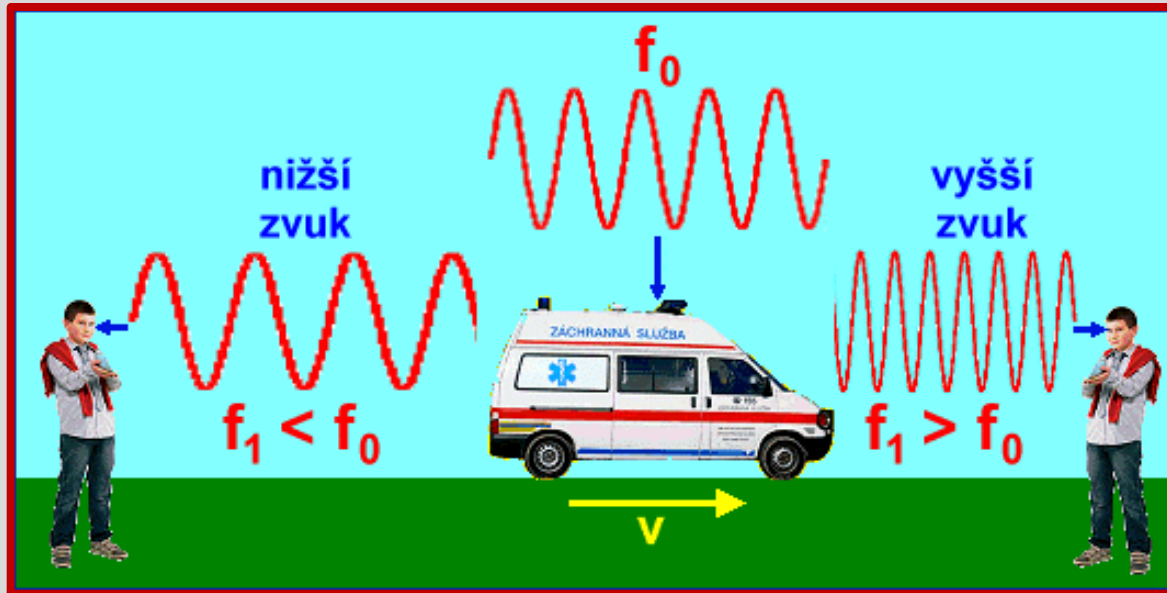
4. **excitačně**

molekuly se energeticky vzbuzují (podobně jako při ionizaci)

Při trvalém působení ultrazvuku může dojít k ochrnutí (smrti).

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Při vzájemném pohybu zdroje zvuku a pozorovatele, vnímá pozorovatel jinou frekvenci, než je frekvence kmitání zdroje.



Obr.: 14

- Přibližuje-li se zdroj,
slyší pozorovatel vyšší frekvenci.
- Vzdaluje-li se zdroj,
slyší pozorovatel nižší frekvenci.

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Christian Johan Doppler (1803 - 1853)
rakouský fyzik a matematik, kterému se v roce 1842 podařilo
tuto „záhadu“ vyřešit.



Obr.: 15

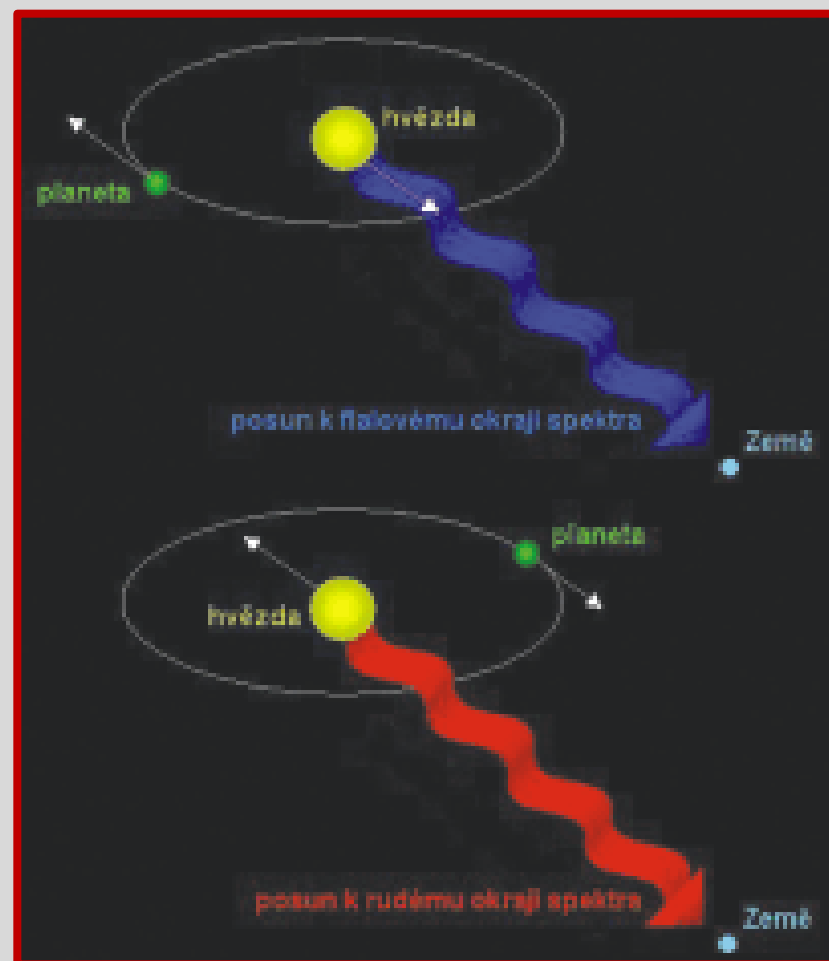
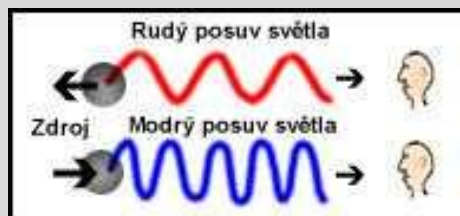
Obr.: 16 - Sheldon jako Dopplerův jev

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Dopplerův efekt se netýká pouze zvuku - setkáváme se s ním i u elektromagnetického vlnění (a tedy i u světla).

Dopplerova jevu elektromagnetického vlnění využívá **astronomie**.

Umožňuje určovat rychlost vesmírných objektů (hvězd) na základě změn vlnových délek záření, které tyto objekty vyzařují.



Obr.: 18

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Radar - Radio Detecting And Ranging)

je elektronický přístroj určený k identifikaci, zaměření a určení vzdálenosti objektů pomocí velmi krátkých elektromagnetických vln.

Vysílá elektromagnetické vlnění k vozidlu a přijímá odražené vlnění s jinou frekvencí.

Složení vyslaného a přijatého vlnění vznikají rázy o slyšitelné frekvenci, která je přímo úměrná rychlosti vozidla.



Obr.: 19

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Jsou-li pozorovatelé P_1 a P_2 v klidu
vnímají stejnou frekvenci

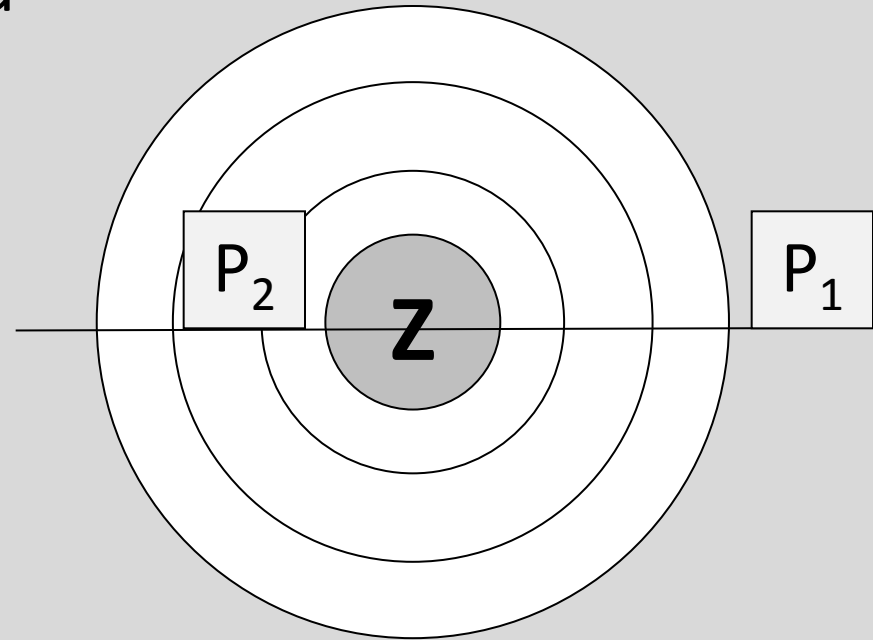
$$f = \frac{v}{\lambda}$$

1. Pohybuje-li se přijímač a zdroj je v klidu

v – rychlost zvuku

u – rychlost přijímače $u < v$

- P_1 se pohybuje ke Zdroji $f_1 > f$



Za jednotku času k P_1 dospěje větší počet vlnoploch.

$$f_1 = \frac{u+v}{\lambda} = \frac{u+v}{v} f = \left(1 + \frac{u}{v}\right) f$$

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Jsou-li pozorovatelé P_1 a P_2 v klidu
vnímají stejnou frekvenci

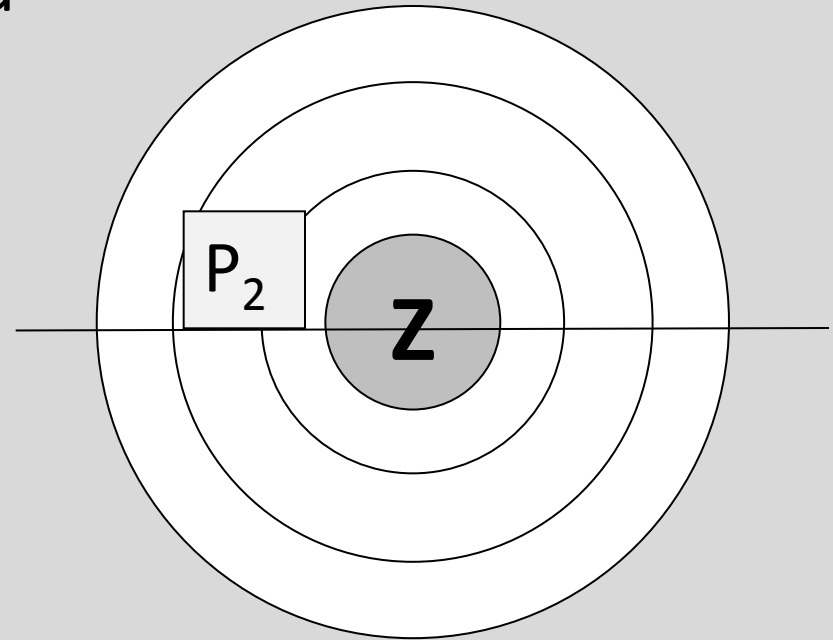
$$f = \frac{v}{\lambda}$$

1. Pohybuje-li se přijímač a zdroj je v klidu

v – rychlost zvuku

u – rychlost přijímače $u < v$

- P_2 se vzdaluje od Zdroje $f_2 < f$



Za jednotku času k P_2 dospěje menší počet vlnoploch.

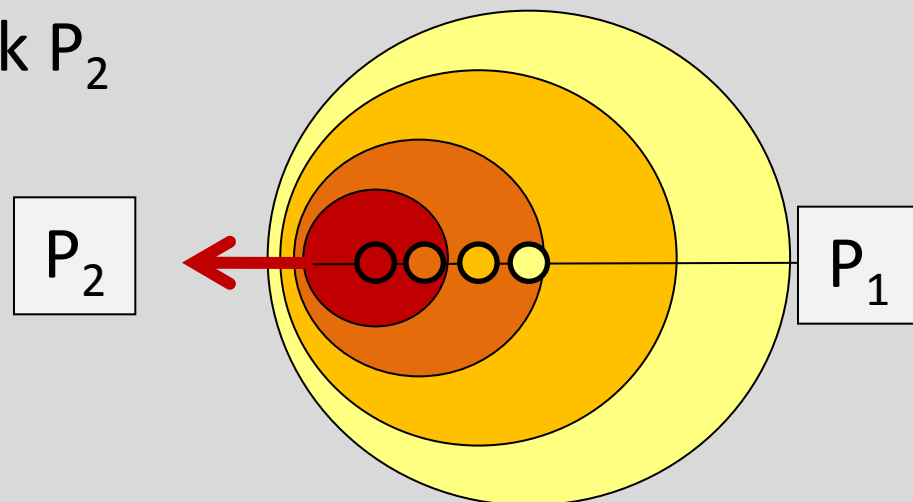
$$f_2 = \frac{u - v}{\lambda} = \frac{u - v}{v} f = \left(1 - \frac{u}{v}\right) f$$

3. 6. DOPPLERŮV JEV

2. Pohybuje-li se zdroj od P_1 k P_2
přijímač je v klidu

v – rychlost zvuku

w – rychlost zdroje $w < v$



Z se od P_1 vzdaluje \rightarrow zvětšuje se λ_1

$$\lambda_1 = \frac{v + w}{f}$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{v + w} f = \left(1 + \frac{w}{v}\right)^{-1} f$$

v P_1 je

$$f_1 < f$$

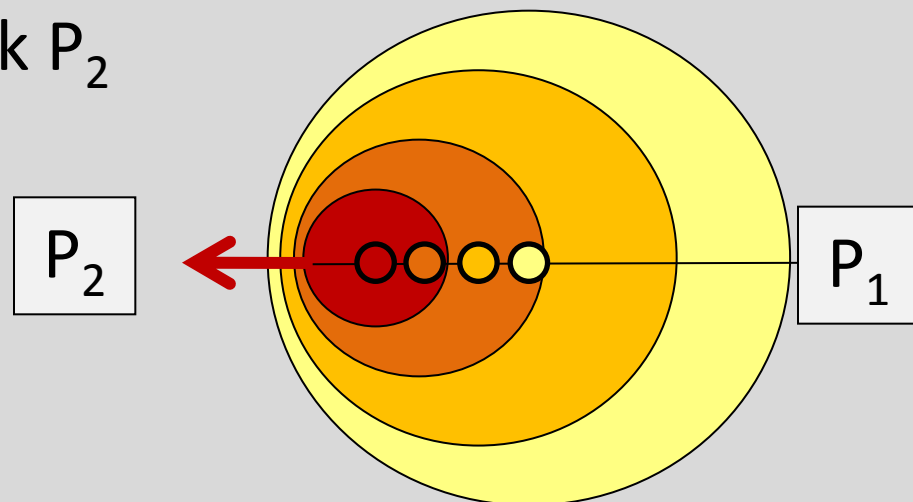
P_1 a Z se oddalují – f se snižuje na f_1 .

3. 6. DOPPLERŮV JEV

2. Pohybuje-li se zdroj od P_1 k P_2
přijímač je v klidu

v – rychlost zvuku

w – rychlost zdroje $w < v$



Z se k P_2 přibližuje \rightarrow zmenšuje se λ_2

$$\lambda_2 = \frac{v - w}{f}$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{v - w} f = \left(1 - \frac{w}{v}\right)^{-1} f$$

v P_2 je

$$f_2 > f$$

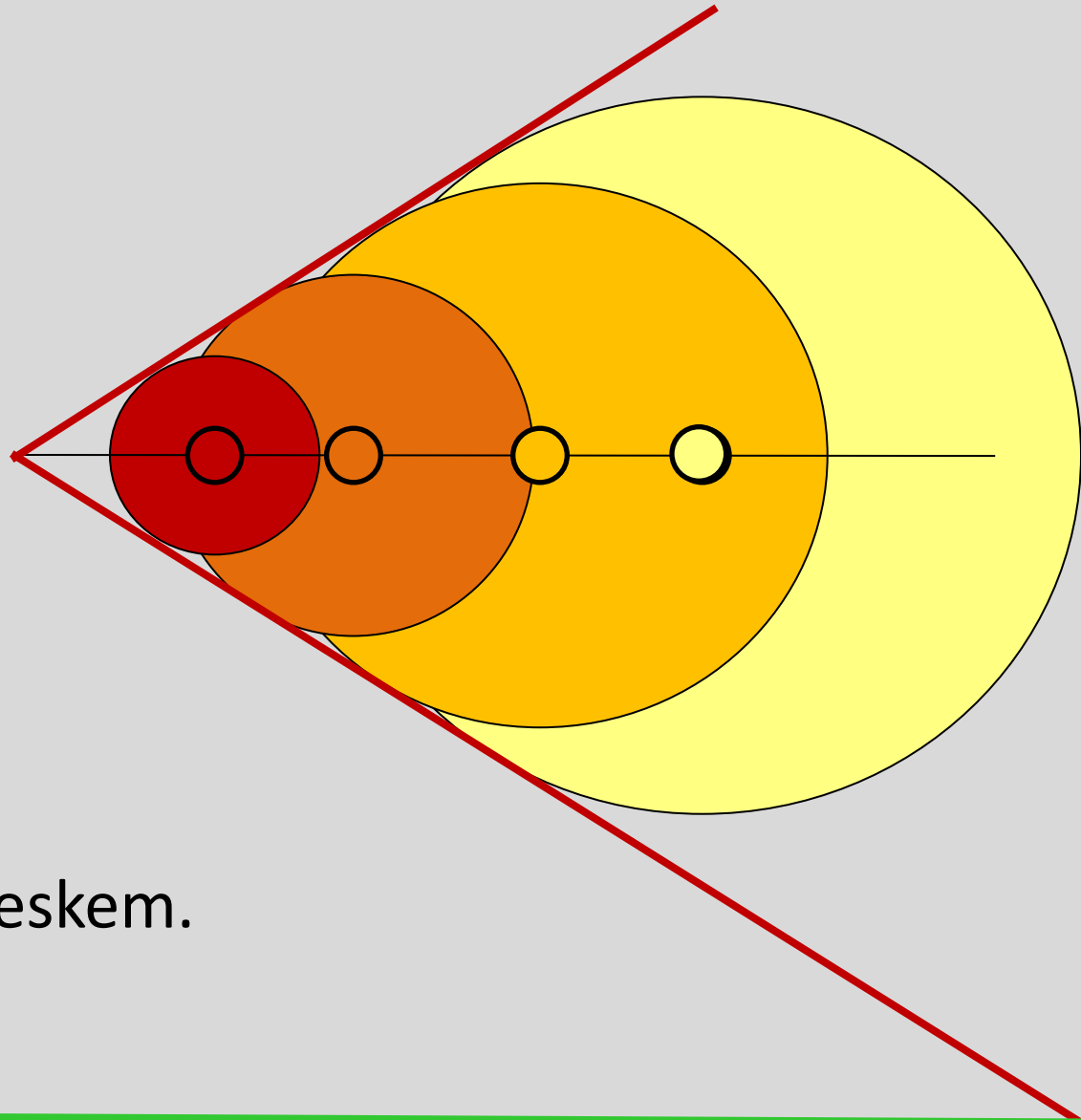
P_2 a Z se přibližují – f se zvětšuje na f_2 .

3. 6. DOPPLERŮV JEV

Jestliže se w (rychlost zdroje) blíží v (rychlosti zvuku) pak

$$\lambda_2 = \frac{v - w}{f} \Rightarrow \lambda_2 = 0$$

Obalová vrstva
vlnoploch vytváří
rázovou vlnu
(dochází ke stlačení
vzduchu),
když dosáhne
zemského povrchu,
projeví se akustickým třeskem.

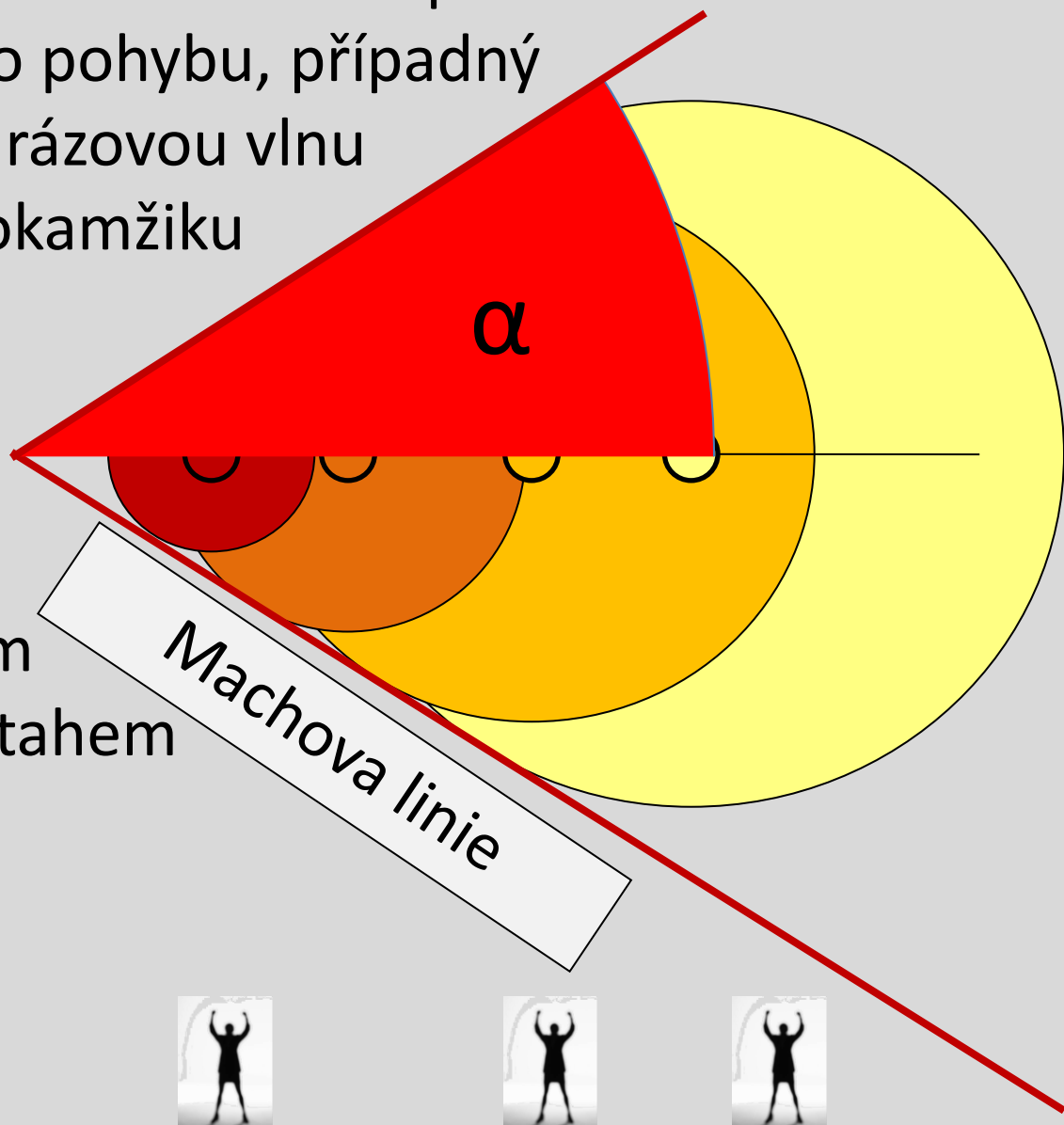


3. 6. DOPPLERŮV JEV

I když je rázová vlna vytvářena tělesem po celou dobu jeho nadzvukového pohybu, případný pozorovatel může slyšet rázovou vlnu pouze jedenkrát, a to v okamžiku průtnutí **Machovy linie** s místem pozorovatele.

Úhel α , který svírá Machova linie se směrem pohybu tělesa, je dán vztahem

$$\sin \alpha = \frac{v}{w}$$



3. 6. DOPPLERŮV JEV

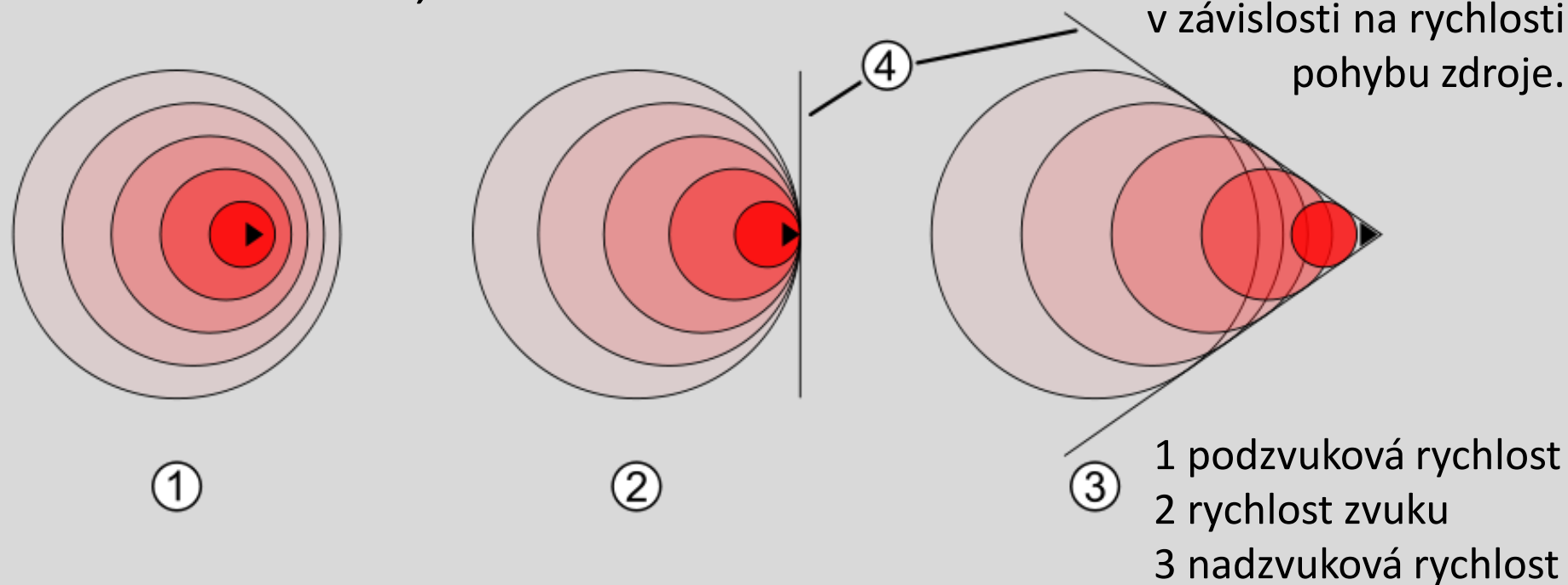
Kromě letícího letadla je možné se s rázovou vlnou setkat např. při výstřelu ze zbraně, explozích, práskání biče, ...

nadzvuková rychlost

Machovo číslo M – násobek rychlosti zvuku

$$M = 1 \rightarrow v = 340 \text{ m.s}^{-1} = 1224 \text{ km.h}^{-1}$$

Concorde $M = 2,1$



Použitá literatura

Literatura

- LEPIL, O. *Mechanické kmitání a vlnění, Fyzika pro gymnázia*. Prometheus, Praha 2004 ISBN
- LEPIL, O. Sbíрка úloh pro střední školy. Fyzika Praha: Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-266-3
- NAHODIL, J. Fyzika v běžném životě. Praha: Prometheus, 2010. ISBN 80-7196-005-5

Obrázky:

- [1] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/img/223072.jpg>
- [2] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.helago-cz.cz/public/content-images/cz/product/19989.jpg>
- [3] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.helago-cz.cz/public/content-images/cz/product/19989.jpg>
- [4] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.soitron.sk/media/articles/2011/05/zvuk1.jpg>
- [5] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Actor_portraying_Alexander_Graham_Bell_in_an_AT%26T_promotional_film_%281926%29.jpg
- [6] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f7/Praenatal.png/673px-Praenatal.png>
- [7] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.testinglab.cz/pics/klasicky-ultrazvuk.jpg>
- [8] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://1.bp.blogspot.com/-wUkcP6mlcnE/TZMmTtAFqcl/AAAAAAAAAxs/FVhXZrvRS7M/s400/Bez-n%25C3%25A1zvu-1.jpg>
- [9] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://visual.merriam-webster.com/images/earth/geography/remote-sensing/sonar.jpg>
- [10] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://images.yourdictionary.com/images/science/ASsonar.jpg>

Použitá literatura

Obrázky:

- [11] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nagyovab/images/%C4%8Disti%C4%8Dka%20ultrazvukov%C3%A1.jpg>
- [12] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.etani.sk/35-110-thickbox/ultrazvukovy-cistic-pleti-ultrazvukovy-peeling-etani-ud-041.jpg>
- [13] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Ultrazvukova-liposukce-slimfox.png>
- [14] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/obr/1-16.gif
- [15] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Cdoppler.jpg>
- [16] [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.hoj.cz/application/upload-files/images/middle/6/1345379098_60208.jpg
- [17] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7d/Sound_barrier_chart.svg/220px-Sound_barrier_chart.svg.png
- [18] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/imagesold/s0303042.gif>
- [19] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://en.police-club.net/graphics/gallery/full/14_policejni-radar-trojnozka.jpg



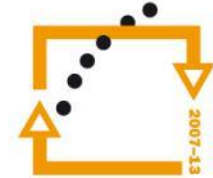
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem

„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIUMU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.