



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ZÁKLADNÍ AKUSTICKÉ VLASTNOSTI HLASU A ŘEČI

HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU (SOUND PRESSURE LEVEL, SPL)



JAN ŠVEC ¹

¹ Katedra biofyziky, Př.F. UP v Olomouci,



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

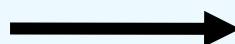


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

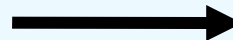
ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ZVUKU

OBJEKTIVNÍ



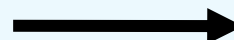
SUBJEKTIVNÍ (vnímané)

Základní frekvence (f_0)



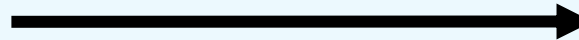
Výška

Intenzita, hladina akust. tlaku



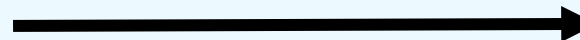
Hlasitost

Spektrum



Barva

Trvání v čase



Trvání v čase



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU (SOUND PRESSURE LEVEL, SPL):

Hladina akustického tlaku SPL se běžně používá pro vyjádření energetické hladiny zvuku při měření mikrofonom.

Měří se v decibelech [dB]

*Subjektivně je hladina akustického tlaku vnímána jako **hlasitost**.*

*Hlasitost a hladina akustického tlaku jsou však jiné veličiny:
pro měření hlasitosti a jejího vztahu k hladině akustického tlaku
je potřeba vzít v úvahu vlastnosti sluchového orgánu (viz
kapitoly o slyšení a psychoakustice).*



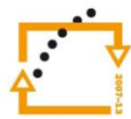
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU (SOUND PRESSURE LEVEL, SPL):

Hladina akustického tlaku SPL souvisí s akustickou

INTENZITOU.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku L_p (SPL, sound pressure level) je definována na základě Fechner-Weberova zákona jako

$$L_p = 10 \log (p^2/p_0^2) = 20 \log (p/p_0) \text{ [dB]}$$

kde $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa je nejmenší efektivní hodnota akustického tlaku jakou je člověk schopen slyšet. Tato hodnota odpovídá 0 dB.

SPL je pro praktické účely měření hlasu a řeči stejná s

Hladinou akustické intenzity L_I (SIL, sound intensity level):

$$L_I = 10 \log (I / I_0) \text{ [dB]}$$

kde $I_0 = 10^{-12}$ W/m² je nejnižší efektivní hodnota akustické intenzity jakou je člověk schopen slyšet a také odpovídá 0 dB.

Obě tyto veličiny (SIL a SPL) odpovídají stejné energetické hladině a jsou používány záměnně. To je možné neboť $I \sim p^2$ (viz dále).

I. R. Titze. Principles of voice production (second printing), Iowa City, IA: National Center for Voice and Speech, 2000.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

AKUSTICKÝ TLAK p a AKUSTICKÁ INTENZITA I :

Akustickou intenzitu I lze spočítat jako :

$$I = p \cdot v$$

kde p je akustický tlak a v je rychlost kmitání vzduchových částic.

Abychom mohli měřit akustickou intenzitu potřebujeme přístroj, který měří jak tlak tak rychlost vzduchových částic – tyto přístroje se nazývají „Intenzitní sondy“.

Běžněji se měří pouze akustický tlak pomocí mikrofону. Rychlost se odhadne pomocí akustické impedance Z_0 která je definována jako:

$$Z_0 = p / v$$

Pro vzduch, akustickou impedanci lze vyjádřit jako:

$$Z_0 = \rho c / A$$

kde ρ je hustota vzduchu, c je rychlost zvuku a A plocha na které se měří, kolmá k šíření zvuku .

Tedy platí

$$I = p \cdot v = p^2 / Z_0 = p^2 A / \rho c$$

Vzhledem k tomu, že Z_0 je za běžných podmínek konstantní, tak platí:

$$I \sim p^2$$



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

JAK SOUVISÍ INTENZITA ZVUKU S ENERGIÍ ZVUKU?

Celková ENERGIE vyzařovaná z úst se měří v joulech [J].

Energie vyzářená za jednotku času se nazývá VÝKON.

VÝKON se měří ve wattech, což jsou jouly za sekundu

$$[W = J/s = Js^{-1}]$$

Akustický (zvukový) výkon hlasu ale není jednoduché měřit. Běžně měříme pouze část výkonu na malé ploše (plocha mikrofonu či intenzitní sondy).

VÝKON na PLOCHU se nazývá INTENZITA.

INTENZITA se měří ve wattech na metr čtverečný [Wm^{-2}]

INTENZITA HLASU A VZDÁLENOST:

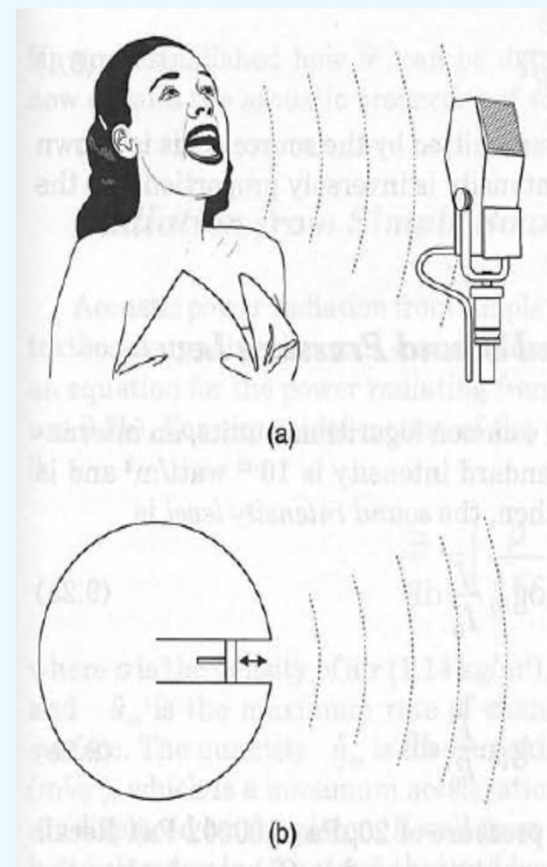
Akustická vlna se šíří od úst do všech směrů a její tvar je přibližně kulový.

Čím dále se zvuk šíří, tím větší je poloměr této kulové vlny.

Celkový výkon této vlny se tedy rozkládá přes stále větší plochu.

Proto se celkový výkon na jednotku plochy (tedy výsledná INTENZITA) snižuje.

Zvuk se tedy stává slabším čím dále se šíří od úst!



Titze (2000)

INTENZITA HLASU A VZDÁLENOST:

Intenzita hlasu I je definována jako:

$$I = \text{Výkon} / \text{Plocha} = P / A$$

$$\text{Plocha koule je : } A = 4 \pi r^2$$

kde r je poloměr koule, tedy vzdálenost od úst.

Proto platí:

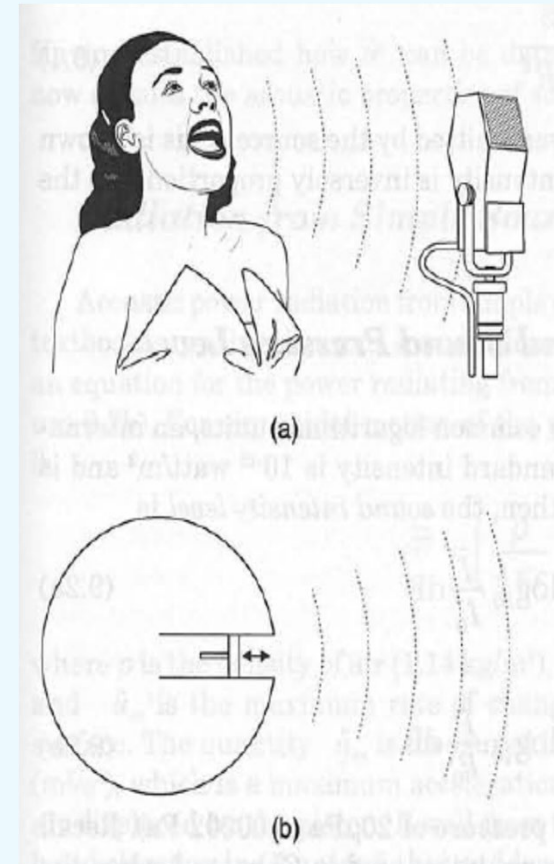
$$I = P / (4 \pi r^2)$$

Jaký je poměr intenzit I_1, I_2 ve dvou různých
vzdálenostech r_1 a r_2 ?

$$I_2 / I_1 = [P / (4 \pi r_2^2)] / [P / (4 \pi r_1^2)]$$

Tedy platí

$$I_2 / I_1 = r_1^2 / r_2^2$$



Titze (2000)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

SPL VERSUS VZDÁLENOST:

Protože $I_2 / I_1 = p_2^2 / p_1^2 = r_1^2 / r_2^2$ tak platí:

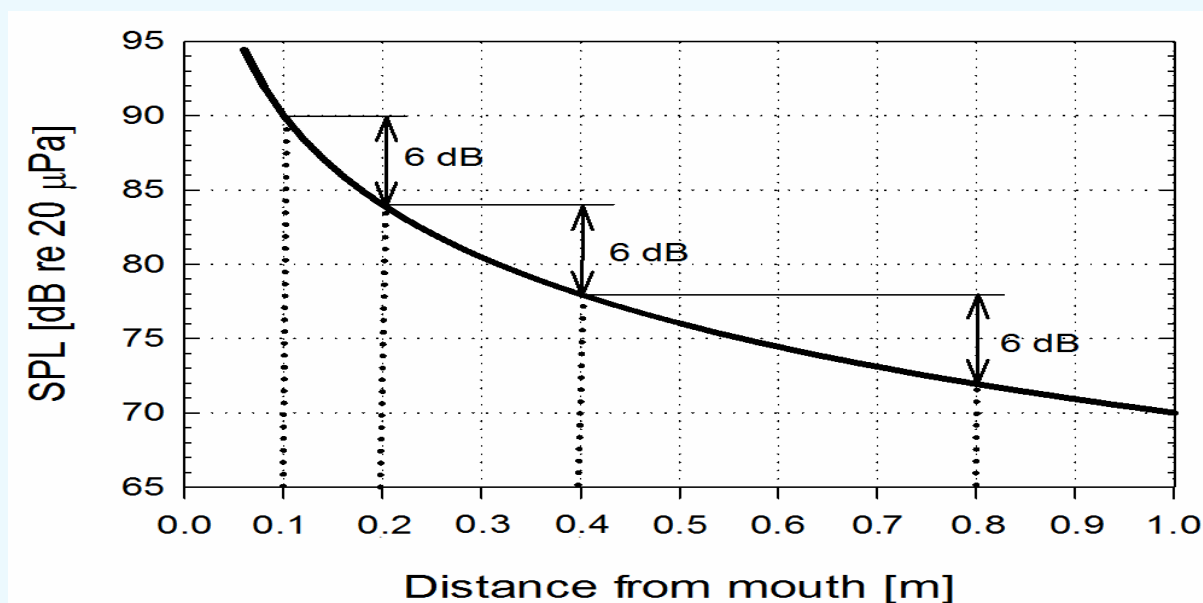
$$10 \log (p_2^2 / p_1^2) = 10 \log (r_1^2 / r_2^2)$$

$SPL_2 - SPL_1 = 20 \log (r_1 / r_2) \rightarrow$ Základní obecný vztah (ZÁKON VZDÁLENOSTI).

Pro zdvojnásobení vzdálenosti ($r_2 = 2 r_1$) platí:

$$SPL_2 = SPL_1 + 20 \log (1 / 2) = SPL_1 - 20 \log (2) = SPL_1 - 6 \text{ [dB]}$$

PRO ZAPAMATOVÁNÍ: Se zdvojnásobením vzdálenosti se SPL sníží o 6 dB!!!



Svec & Granqvist, JSLHR, 2017

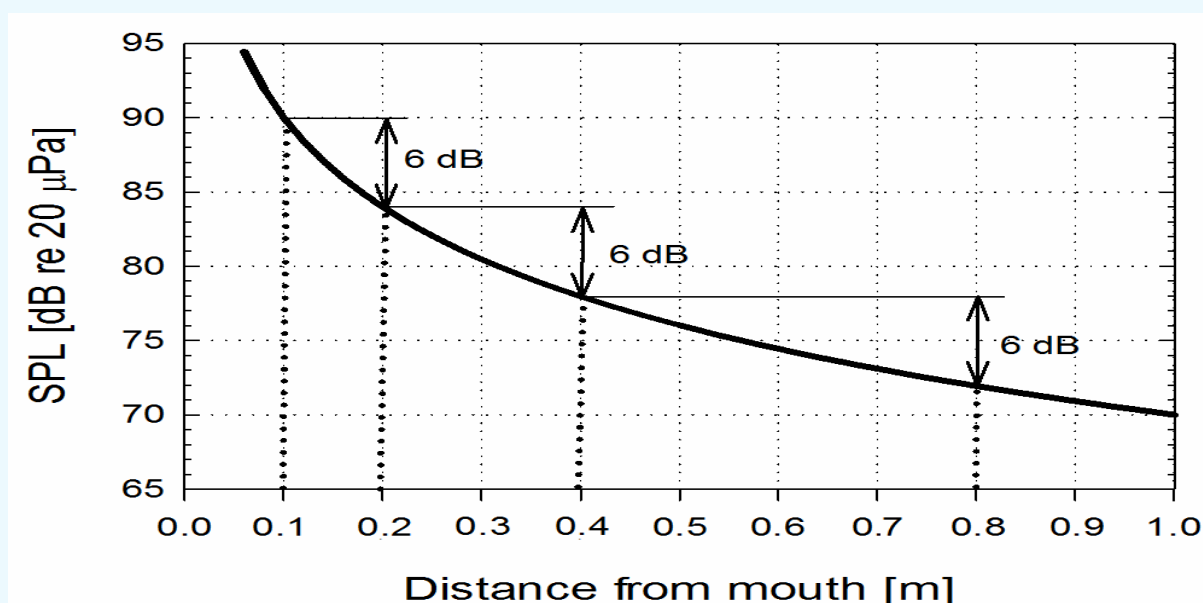
SPL VERSUS VZDÁLENOST:

PRO ZAPAMATOVÁNÍ:

Když udáváme SPL, tyto hodnoty mohou být vztaženy k vyzařované energii hlasu jenom pokud uvedeme také vzdálenost od úst.

U měření hlasu a řeči tedy musíme vždy uvádět vzdálenost zároveň s hodnotou SPL!

Příklad: SPL@30 cm = 80 dB



CHYBY MĚŘENÍ SPL VLIVEM ZMĚN VZDÁLENOSTI:

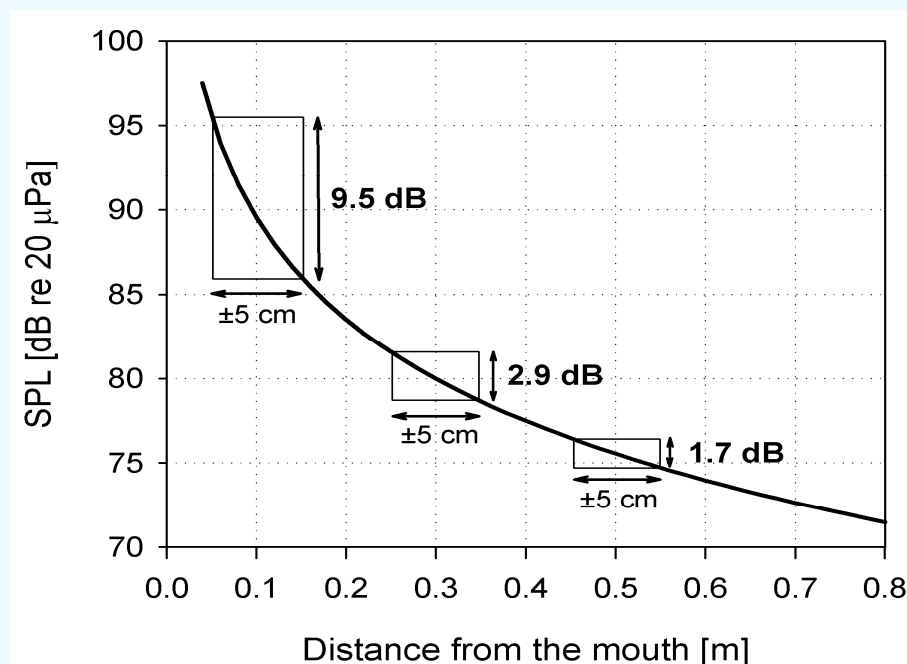
Důsledkem zákona vzdálenosti je, že v blízkých vzdálenostech od úst malá změna vzdálenosti způsobí velké změny SPL.

Můžeme odhadnout tyto chyby když dáme mikrofon na stojan a člověk se kýve dopředu-dozadu asi o 5 cm – viz obr.

Nepřesnosti 2 dB jsou většinou tolerovány.

Lidé se vždy hýbou během měření, proto:

Při vzdálenostech menších než 30 cm, by měl být mikrofon připevněn k hlavě, aby nevznikaly chyby důsledkem pohybu!





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

V JAKÉ VZDÁLENOSTI BY SE HLAS A ŘEČ MĚLY MĚŘIT?

Při klasických akustických měřeních se většinou používá vzdálenost nejméně 1 m od zdroje zvuku, aby zvuková vlnoplocha byla rovinná spíše než kulová (lepší přesnost).

Ale v místnostech se zvuk odráží a tak „znečišťuje“ přímý zvuk.

Proto lze vzdálenost 1 m prakticky použít pouze ve speciálních bezdozvukových místnostech nebo ve volných prostranstvích.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

NEJPŘESNĚJŠÍ MĚŘENÍ:

BEZDOZVUKOVÁ KOMORA

MIKROFON NEJMÉNĚ 1 M DALEKO

ALE:

- Nepříjemné pro měření živých subjektů
- Drahé vybavení, často není k dispozici



Flanagan 1972

Vliv místnosti na měření hlasu a řeči: Poloměr dozvuku

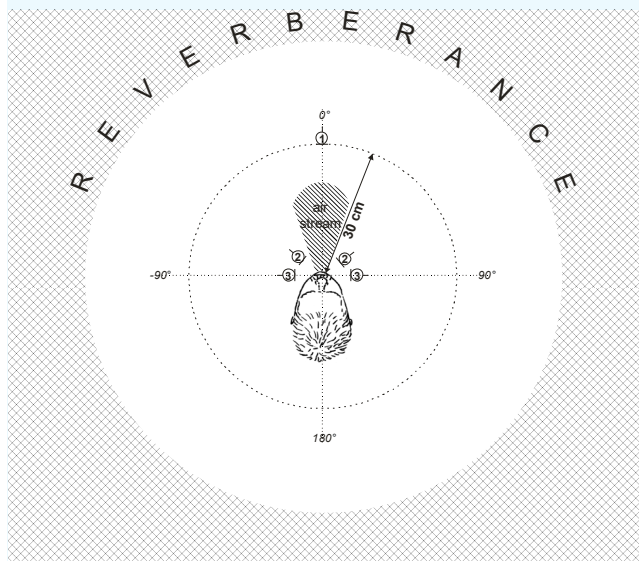
Granqvist & Švec, v přípravě

Chceme zaznamenat přímý zvuk z úst, ne odražený zvuk z místnosti !

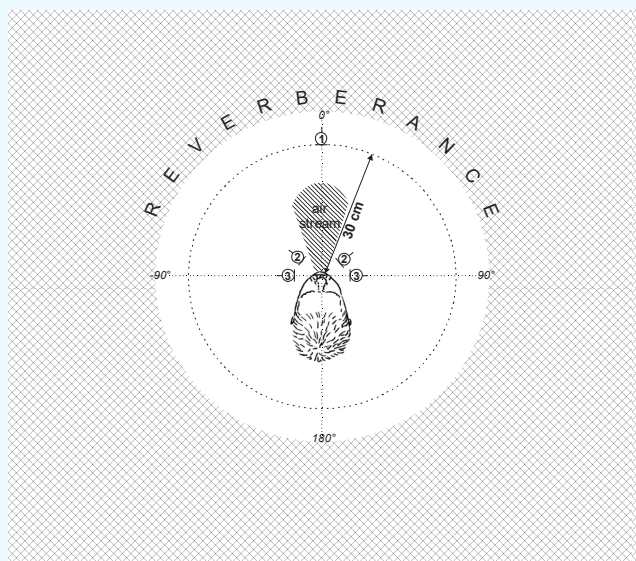
Poloměr dozvuku: vzdálenost od zdroje, kde přímý zvuk má stejnou hlasitost jako odražený zvuk z místnosti

Šedá plocha – zvuk odražený od stěn je silnější než přímý zvuk
Čím méně je místnost tlumená (více rezonuje), tím kratší je poloměr dozvuku. (Problém přesného měření např. v koupelně).

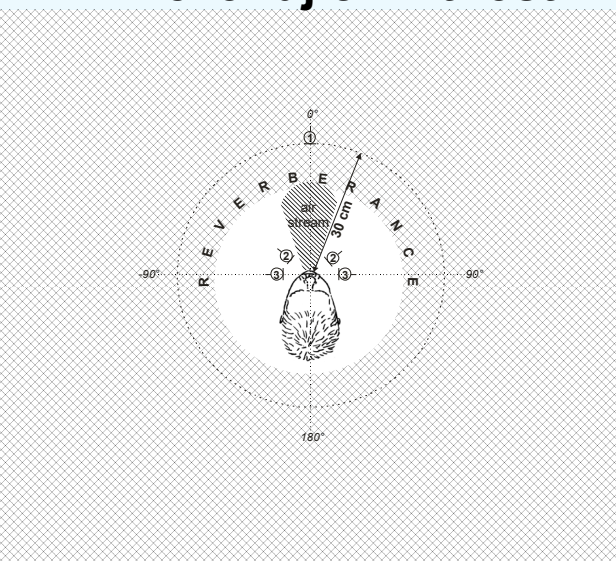
Zatlumená místnost



Běžná místnost



Rezonující místnost





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

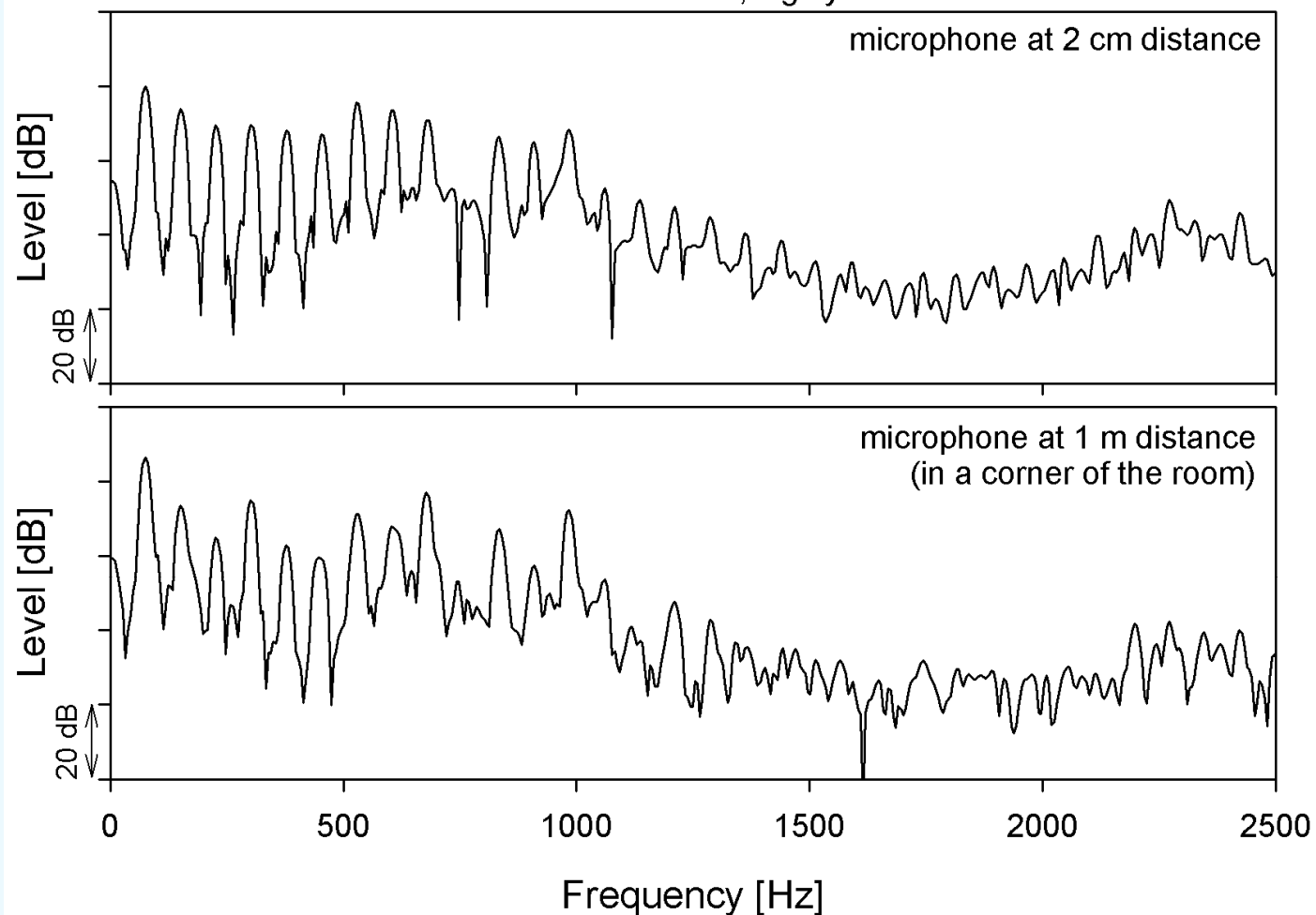


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Vliv místnosti na spektrum hlasu:

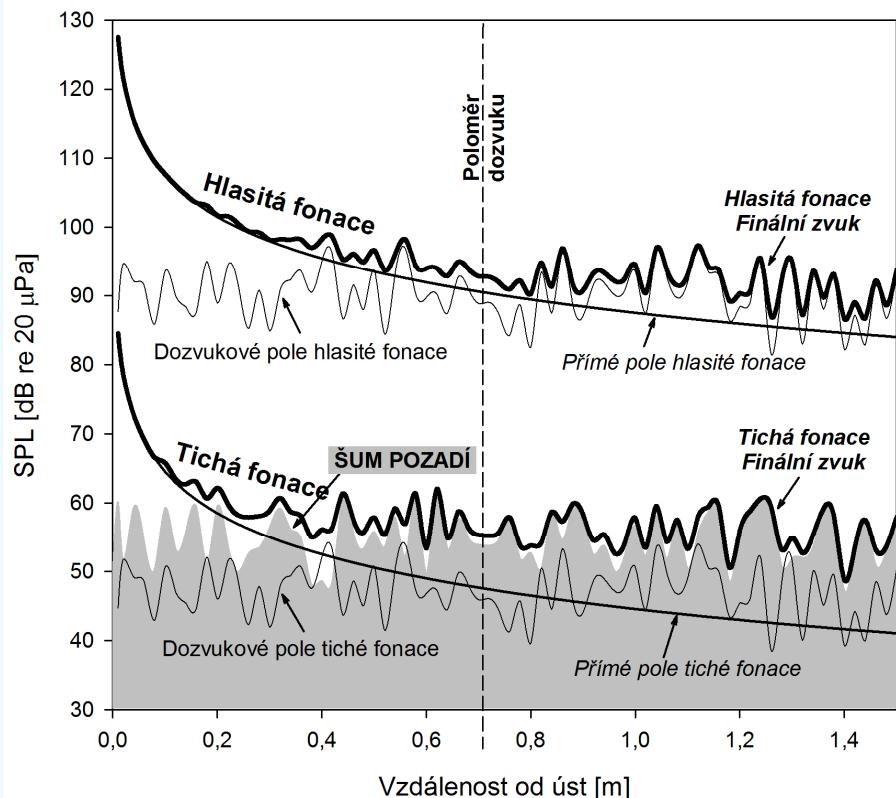
sust. /a/, recorded simultaneously with 2 identical microphones
at different distances in a small, highly resonant room



Granqvist & Svec, in preparation

Vliv místnosti na SPL hlasu

SPL versus VZDÁLENOST:



Granqvist & Svec, in preparation

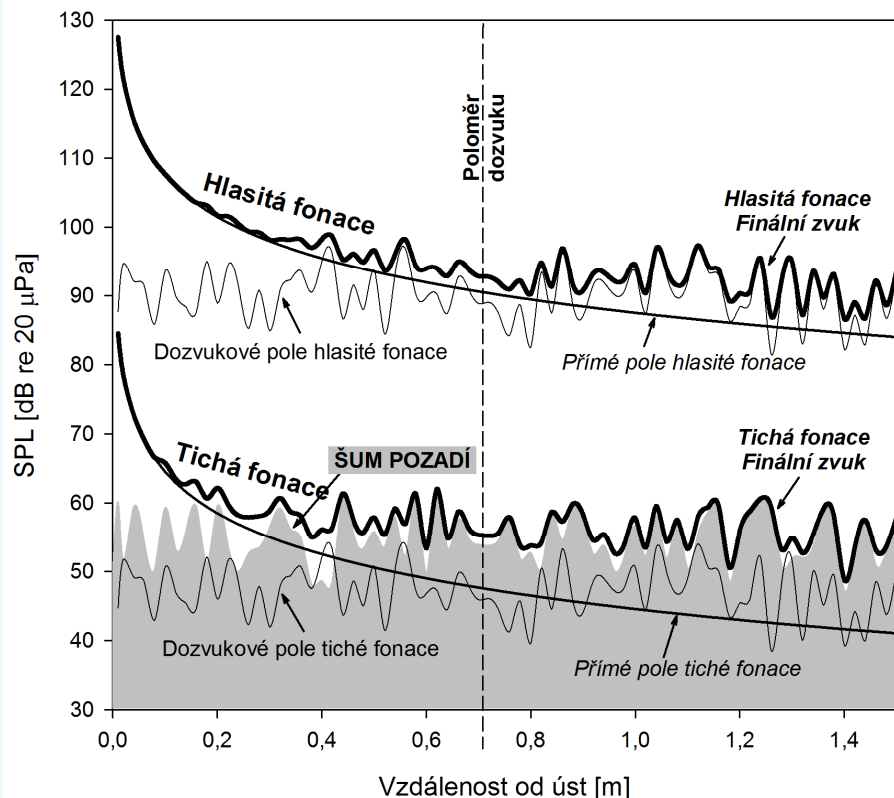
Po překročení vzdálenosti poloměru dozvuku se odražený zvuk (dozvukové pole) stává silnějším než přímý zvuk.

Když naroste intenzita zdroje zvuku tak naroste i intenzita dozvukového pole.

Každá místnost má také určitou hladinu šumu, která je nezávislá na měřeném zdroji zvuku (hlasu).

SPL zdroje nelze změřit, pokud se hladina šumu pozadí blíží nebo překračuje hladinu přímého zvuku.

Vliv místnosti na SPL hlasu SPL versus VZDÁLENOST:



Granqvist & Svec, in preparation

DOPORUČENÍ:

- 1) Mikrofon je třeba umístit do vzdálenosti kratší než poloměr dozvuku (optimálně menší než polovina poloměru dozvuku).
- 2) Hladina šumu pozadí by měla být níže než hladina nejnižších fonací, které chceme měřit (je doporučen odstup signálu od šumu nejméně 10 dB)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

V JAKÉ VZDÁLENOSTI BY SE HLAS A ŘEČ MĚLY MĚŘIT??

Pro praktická měření se doporučuje vzdálenost mikrofonu **30 cm od úst** jako standardní vzdálenost pro laboratorní (tlumené) prostory.

Jsou pro to dva důvody:

- 1) Chyby způsobené spontánními pohyby vůči stojanu mikrofonu jsou většinou menší než 2 dB.
- 2) Přímý zvuk z úst je zde většinou silnější než zvuk odražený od stěn (tento předpoklad je ale třeba ověřit).

Doporučení používání vzdálenosti 30 cm je akceptováno některými autory ale ignorováno jinými autory.

V literatuře proto můžeme nalézt SPL hodnoty hlasu a řeči měřené v různých vzdálenostech.

Abychom mohli tato měření navzájem porovnat, je třeba kompenzovat hladiny SPL pro tyto různé vzdálenosti a přepočítat je na standardní vzdálenost 30 cm pomocí zákona vzdálenosti:

$$\text{SPL}@30 \text{ cm} = \text{SPL}@r \text{ cm} + 20 \log (r / 30)$$



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

JAK ZJISTÍME HLADINU AKUSTICKÉHO TLAKU ZAZNAMENANÉHO ZVUKU (HLASU, ŘEČI) V DECIBELECH?

Signál z mikrofonu je třeba zkalibrovat pomocí zvuku se známou hladinou akustického tlaku SPL.

Abychom dostali zvuk se známou hladinou akustického tlaku SPL, používáme:

1) **Zvukoměr** – přístroj, který je kalibrován a má displej, který zobrazuje hladinu akustického tlaku v dB (re 20 mikropaskalů).



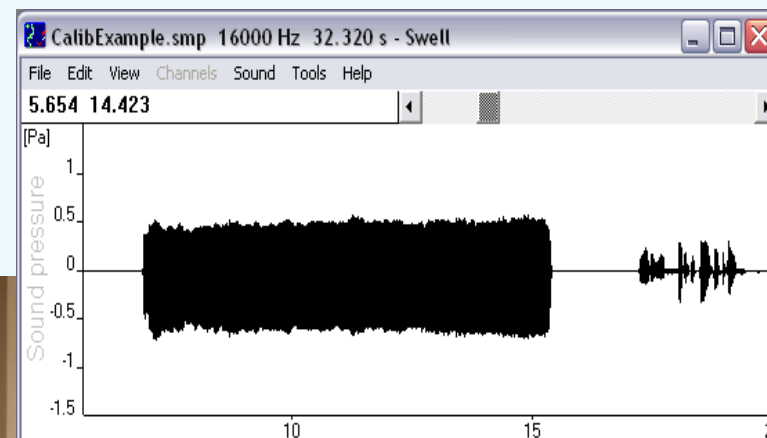
2) **Zvukový kalibrátor** – zařízení, který vydává stabilní zvuk se známou SPL hladinou (většinou 94 dB která odpovídá akustickému tlaku o velikosti 1 Pa)



KALIBRACE HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU:

POMOCÍ HLASU A ZVUKOMĚRU (VE VZDÁLENOSTI 30 cm)

- 1) Spustíme záznam
- 2) Vyslovíme samohlásku [a:] dlouze, s konstantní intenzitou, co nejstabilněji
- 3) Na displeji zvukoměru přečteme nahlas příslušnou hodnotu hladiny akustického tlaku



Granqvist & Švec, v přípravě

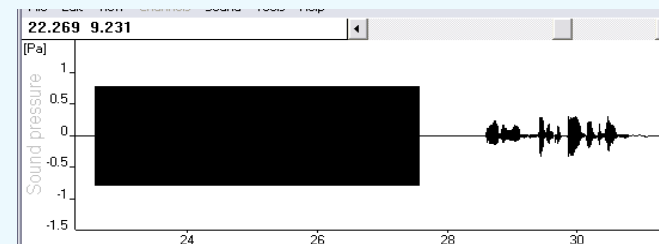
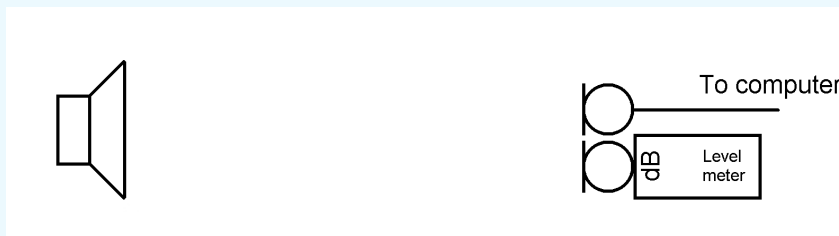
- 4) Pokračujeme v záznamu hlasu a řeči **s nezměněným nastavením.**
- 5) Po ukončení vše uložíme do souboru .

KALIBRACE HLADINY AKUSTICKÉHO TAKU:

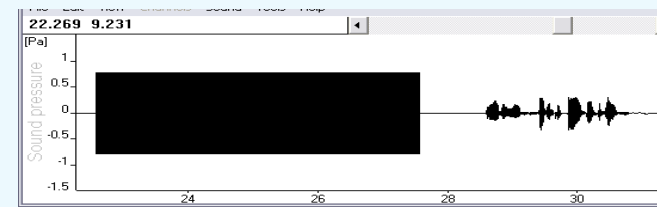
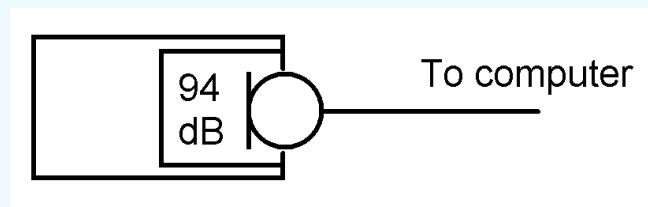
RŮZNÉ METODY KALIBRACE:

Kalibrace s použitím umělého stabilního zvuku (přesná metoda)

Kalibrační tón z reproduktoru – hladina akustického tlaku se zjistí na displeji zvukoměru a poté se nahlas oznámí a soubor se uloží.



Tón z kalibrátoru – hladina akustického tlaku je dána výrobcem (často je to 94 dB, což odpovídá akustickému tlaku 1 Pa) a lze ji zkontrolovat pomocí zvukoměru. Kalibrátor se nasadí na mikrofon a spustí. Opět, příslušná hladina se nahlas oznámí a vše se nahraje.





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

NASTAVENÍ ZVUKOMĚŘU:

Zvukoměry umožňují nastavení parametrů pro různá měření hladin akustického tlaku. Dva nejdůležitější parametry jsou:

- 1) **Frekvenční vážení** (Frequency weighting) – nastavuje frekvenční odezvu zvukoměru
- 2) **Časové vážení** (Time weighting) – nastavuje citlivost na rychlost změn hladin akustického tlaku



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

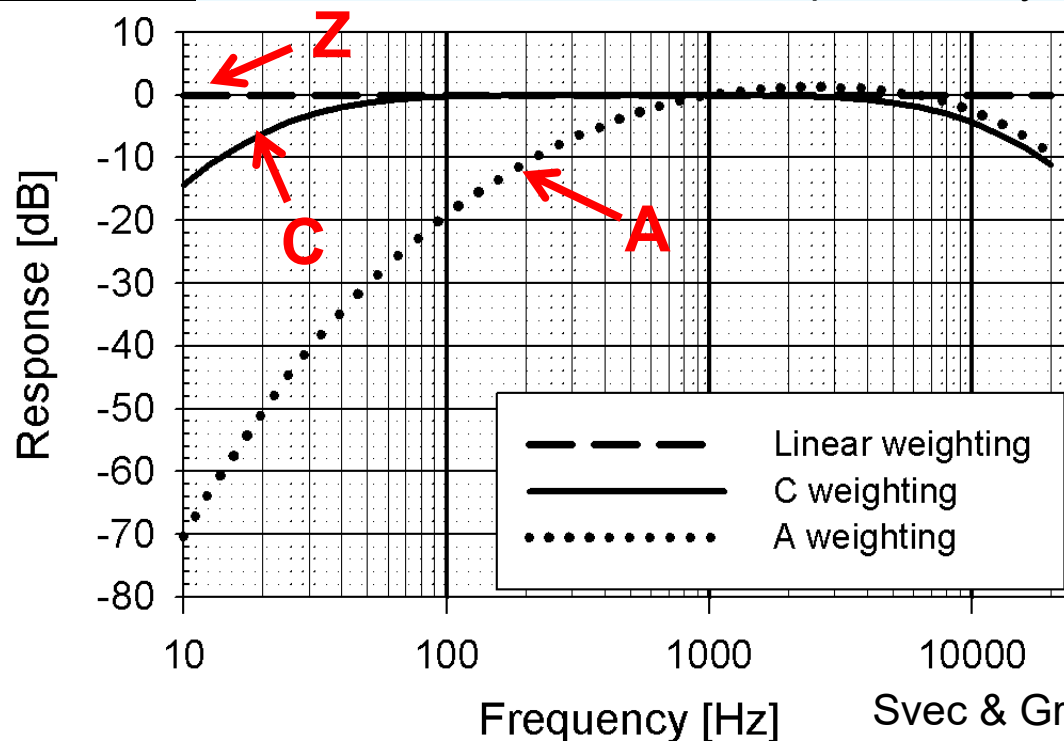
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ZVUKOMĚR: FREKVENČNÍ VÁŽENÍ:

A-vážení: přibližně simuluje citlivost ucha pro tiché zvuky (kolem 40dB), nejcitlivější pro frekvence 1-5 kHz, ostatní frekvence potlačeny. Standardně používáno pro stanovení hladin šumu a hluku. Někdy využíváno i pro měření hlasu.

C-vážení: přibližně rovnoměrné pro frekvence mezi 50 Hz a 5 kHz. Potlačuje nejnižší a nejvyšší slyšitelné frekvence.

Z-vážení: rovná frekvenční charakteristika pro všechny frekvence.



Svec & Granqvist, JSLHR, 2017



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



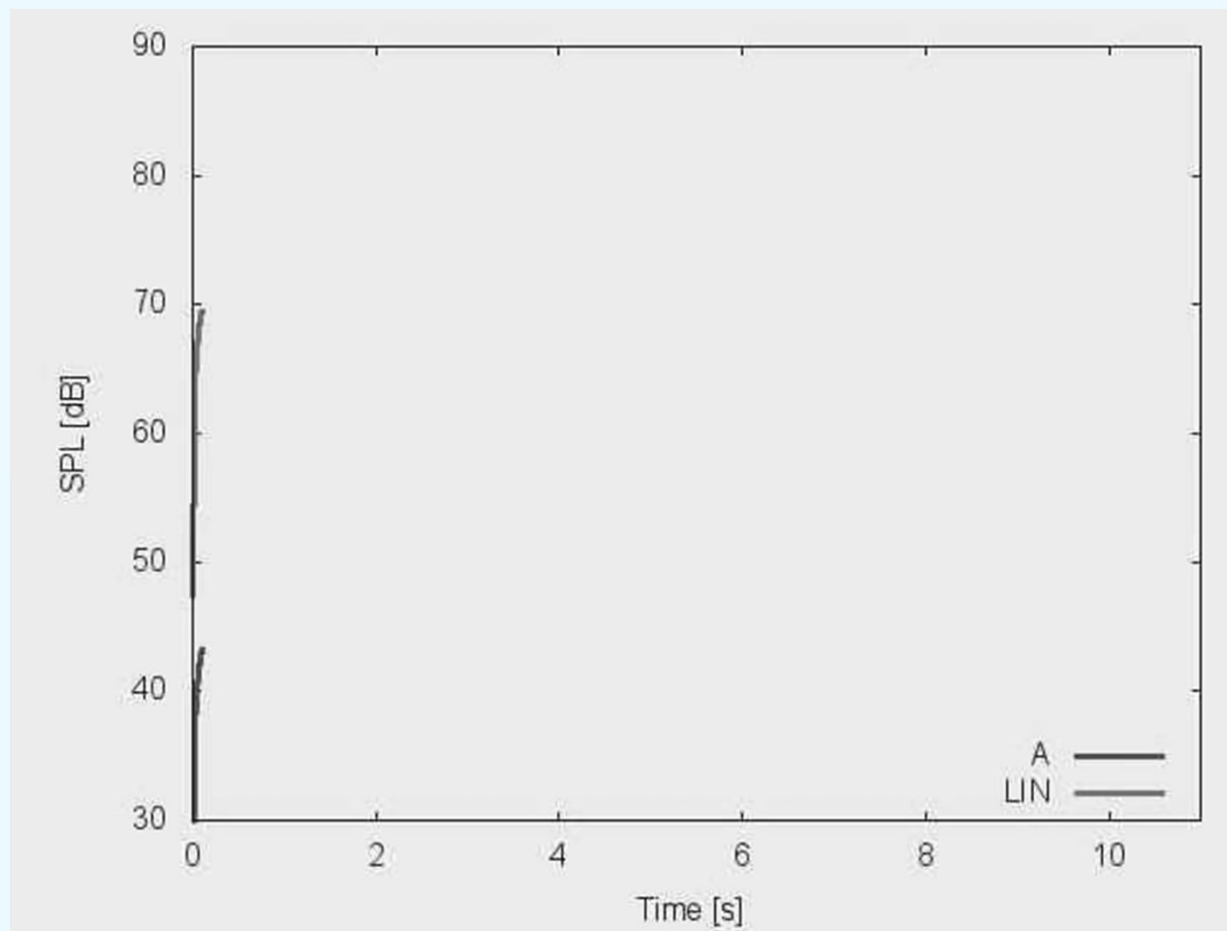
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

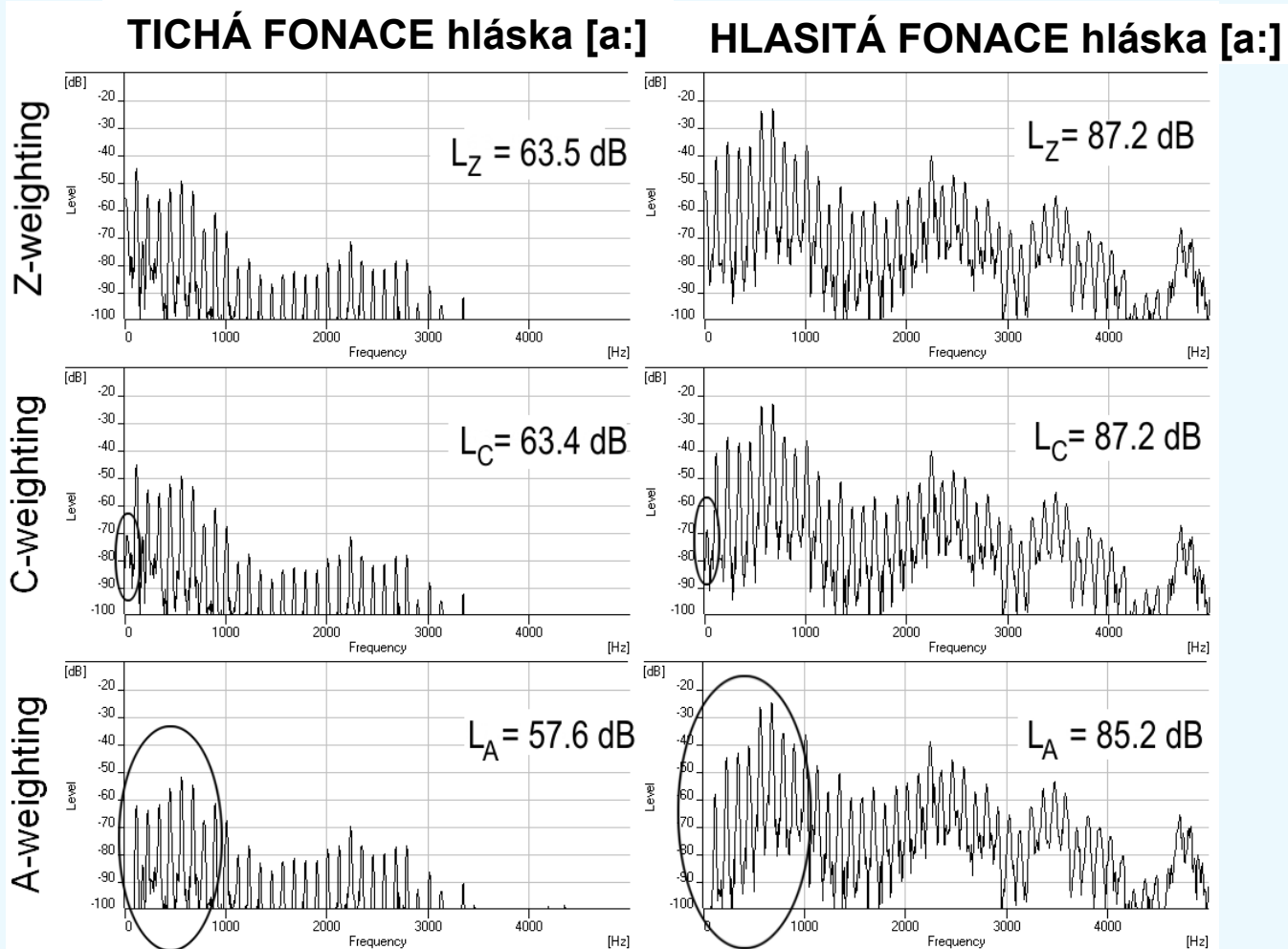
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

VIDEO UKÁZKA: A-FREKVENČNÍ VÁŽENÍ ZVUKOMĚŘU



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Illustration_of_A_weighting.oggv

VLIV FREKVENČNÍHO VÁŽENÍ ZVUKOMĚRU NA VÝSLEDNOU SPL A SPEKTRUM HLASU:





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ZVUKOMĚR: ČASOVÉ VÁŽENÍ:

Pro hladinu akustického tlaku SPL platí:

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

Průběh akustického tlaku p ale neustále rychle osciluje a proto není možné použít okamžité hodnoty akustického tlaku, ale musíme průměrovat v čase..

Hodnotu akustického tlaku p ale nelze obdržet jako průměr všech hodnot $p(t)$ v čase $p = \frac{1}{T} \int p(t) dt$, neboť tato hodnota by byla vždy 0. (Tlak p stále osciluje nahoru a dolů kolem nulové hodnoty – podobně jako sinusoida).

Proto se pro určení p používá např. odmocnina střední hodnoty kvadrátu (RMS) (také nazývána efektivní hodnota):

$$p = \sqrt{\frac{1}{T_m} \int p^2(t) dt}$$

Dosazením tohoto p do rovnice (1) získáme tzv. *časově průměrovanou hodnotu* SPL přes čas T_m , která se také nazývá *ekvivalentní SPL*.

Alternativně se využívá tzv. *špičková hladina akustického tlaku* p_{peak} a zvukoměry standardně využívají také *pomalého a rychlého časového vážení*.

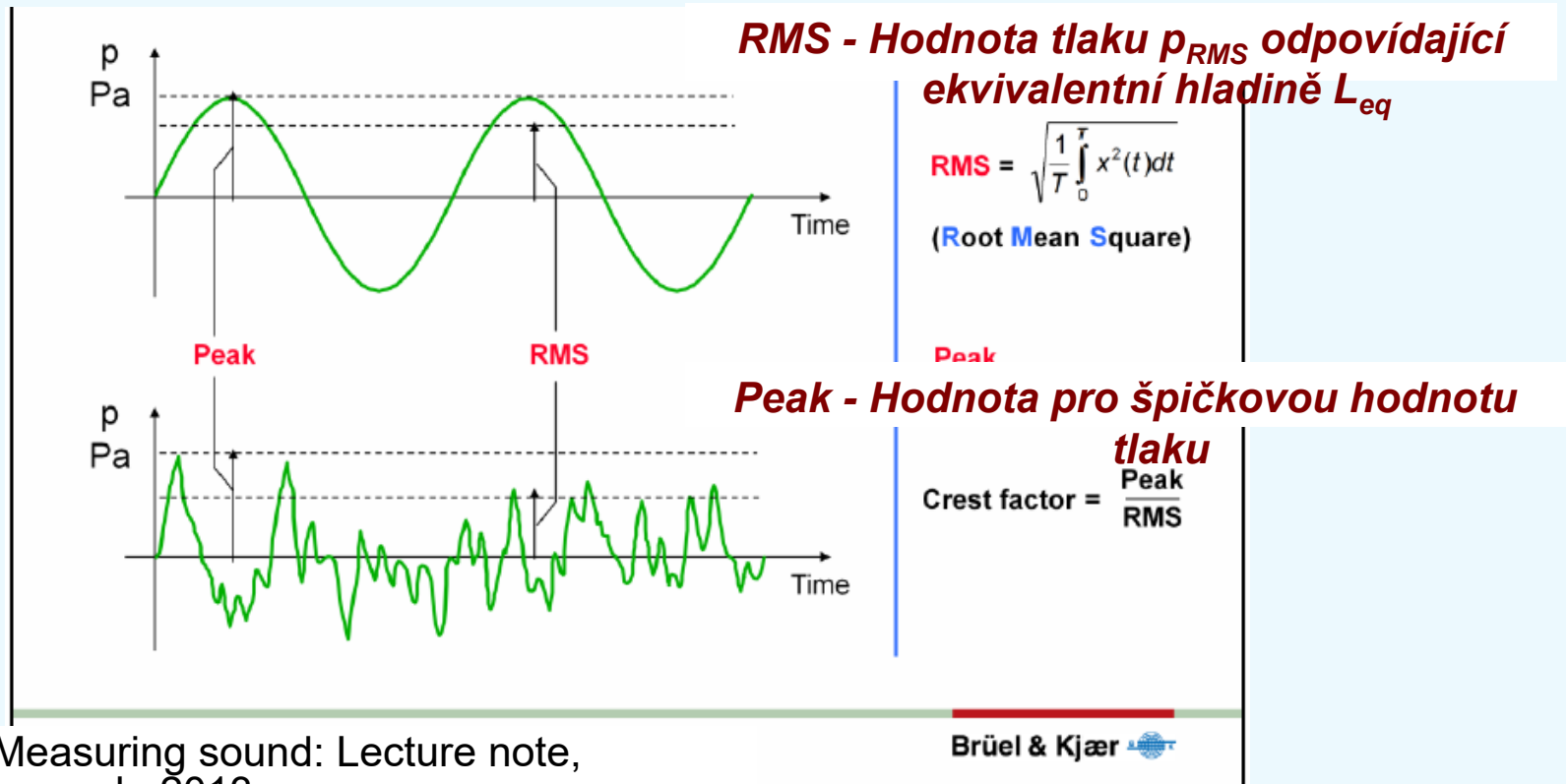
ZÁKLADNÍ PARAMETRY MĚŘENÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU:

Ekvivalentní (časově průměrovaná) hladina akustického tlaku (L_{eq}):

- vyjádření průměrované hodnoty hladiny akustického tlaku – odpovídá hladině stabilního tónu o stejné době trvání jako má tón měřený, který obsahuje stejné množství vyzážené akustické energie. Počítá se přes RMS hodnotu tlaku p_{RMS} (RMS=střední hodnota kvadrátu) neboli efektivní hodnotu tlaku.

Špičková hladina akustického tlaku (L_{peak}):

- Hladina odpovídající nejvyšší okamžité hodnotě akustického tlaku (Peak)





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



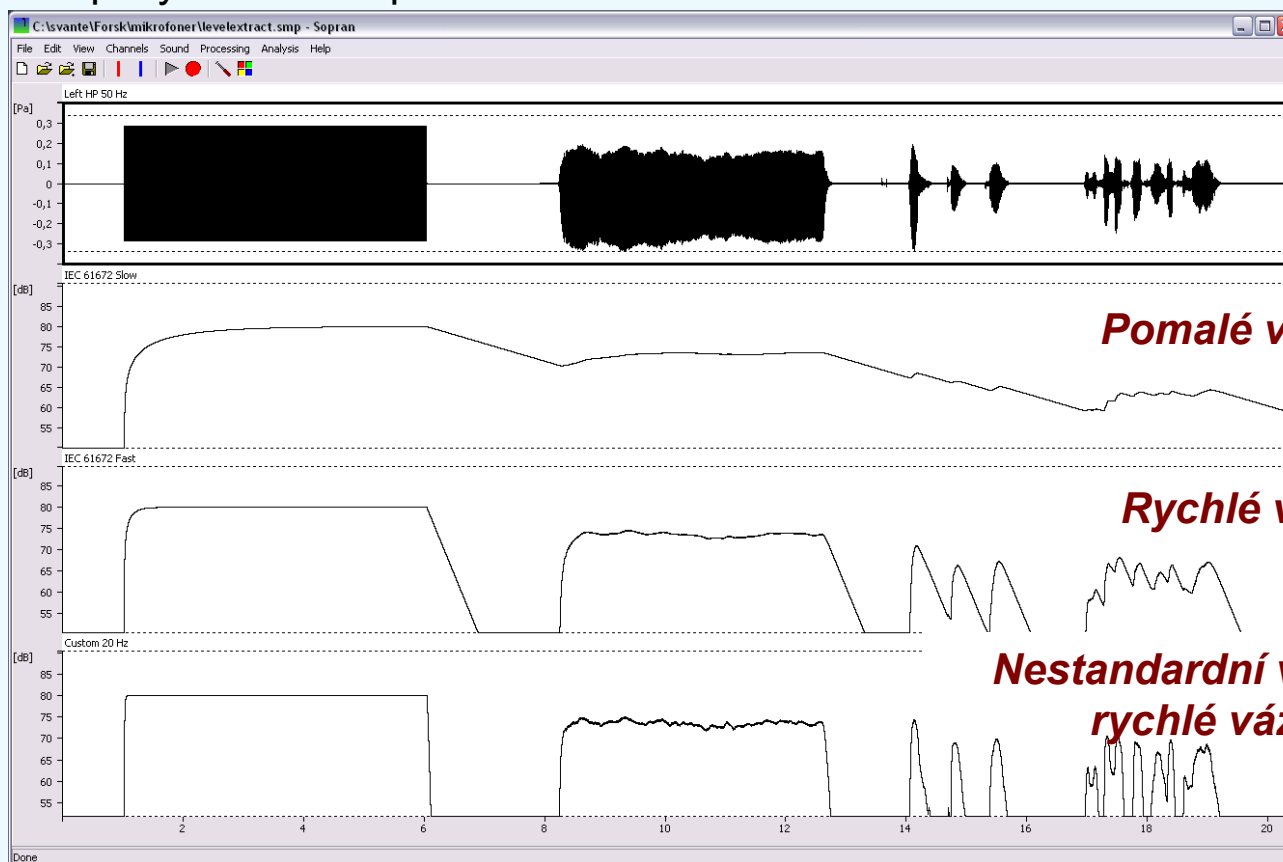
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ZVUKOMĚR: ČASOVÉ VÁŽENÍ:

S-vážení (slow): Pomalé - stabilnější čtení SPL při nestabilním signálu.
(Časová konstanta 1s)

F-vážení (fast): Rychlé – umožňuje rychlejší reakci zvukoměru na výkyvy v nestabilním zvukovém signálu. (Časová konstanta 125 ms). Doporučeno Unií evropských foniatrů pro měření hlasu a řeči.



Pomalé vážení

Rychlé vážení

*Nestandardní velmi
rychlé vážení*



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



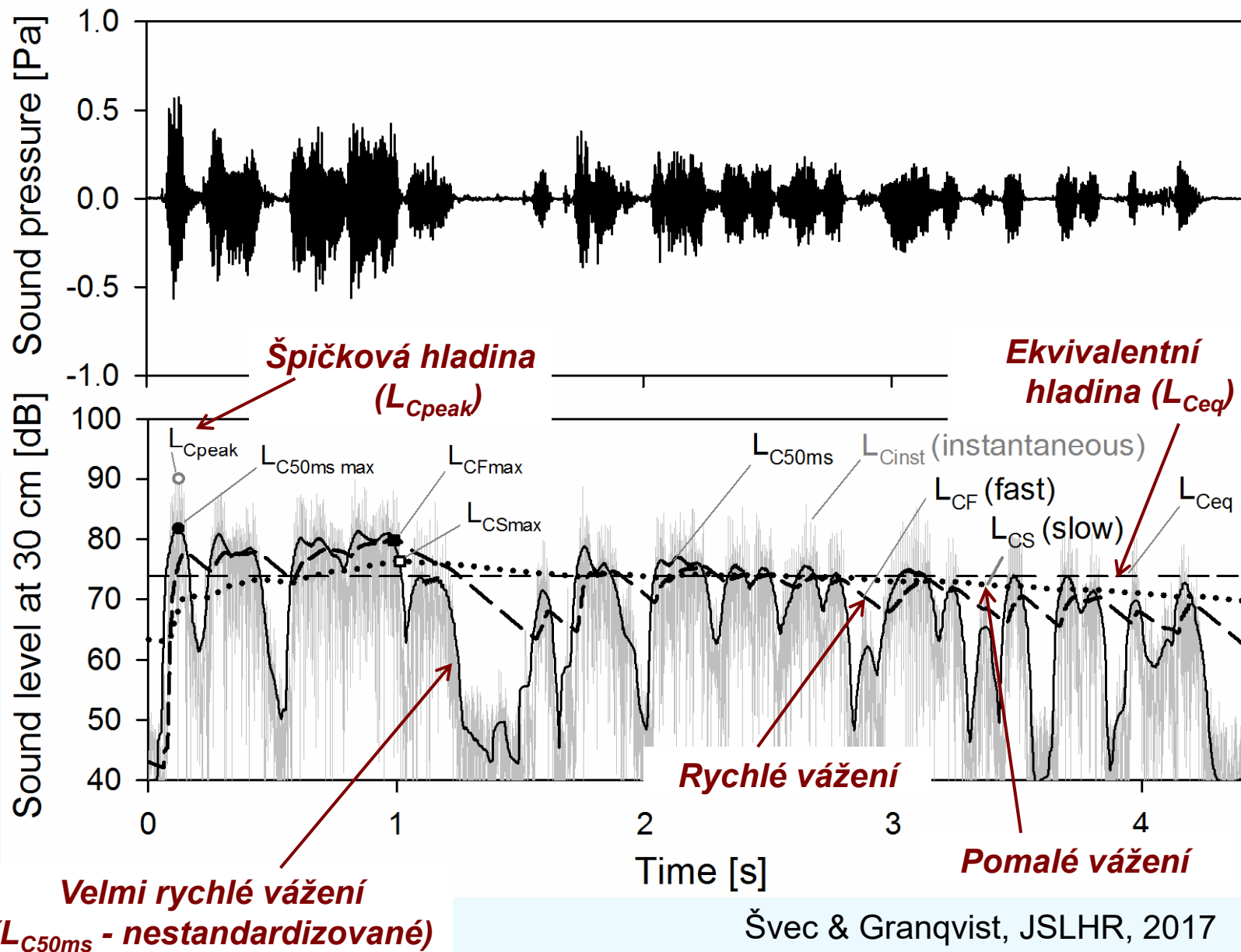
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

PRŮBĚH SPL PŘI ŘEČI: RŮZNÁ ČASOVÁ VÁŽENÍ -> RŮZNÉ VÝSLEDKY





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

KONEC DÍLU