

ZÁKLADNÍ AKUSTICKÉ VLASTNOSTI HLASU A ŘEČI

HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU (SOUND PRESSURE LEVEL, SPL)



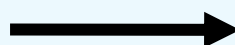
JAN ŠVEC

Katedra experimentální fyziky, Př.F. UP v Olomouci



ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ZVUKU

OBJEKTIVNÍ



SUBJEKTIVNÍ (vnímané)

Základní frekvence (f_0)



Výška

Intenzita, hladina akust. tlaku



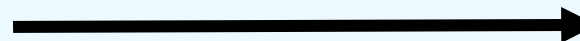
Hlasitost

Spektrum



Barva

Trvání v čase



Trvání v čase

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.

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.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



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:

$$I \sim p^2$$

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 proto měříme pouze část výkonu na malé ploše (plocha mikrofону či intenzitní sondy).

VÝKON na PLOCHU se nazývá INTENZITA.

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

Hladinu akustické intenzity SIL dostaneme logaritmováním intenzity. Často používáme SPL místo SIL – viz dřívější slide.

INTENZITA HLASU A VZDÁLENOST:

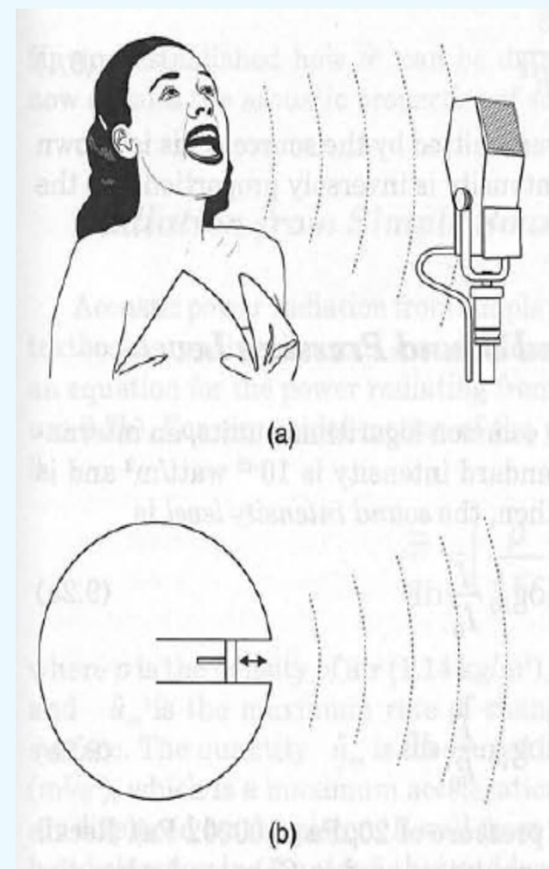
Akustická vlna se šíří od úst do všech směrů a její tvar je přibližně kulový.

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:

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

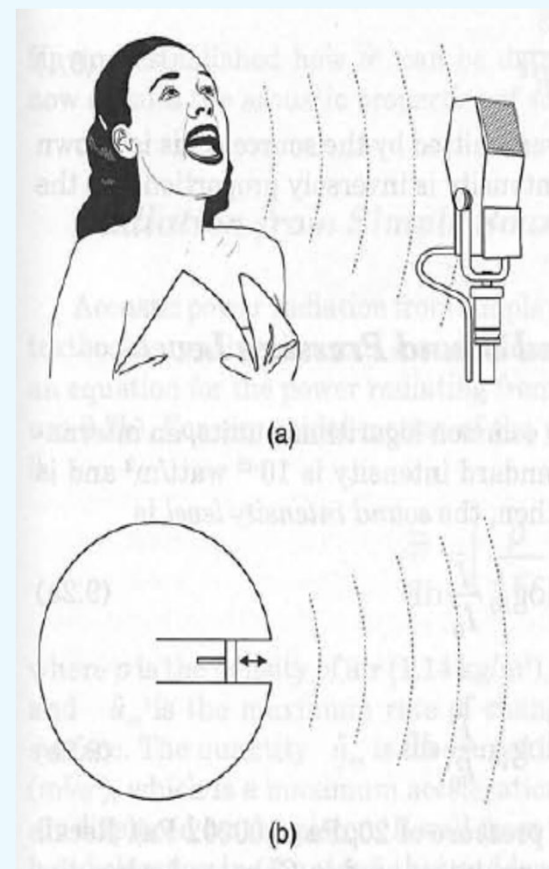
Jaký je poměr intenzit I_1, I_2 ve dvou různých

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:

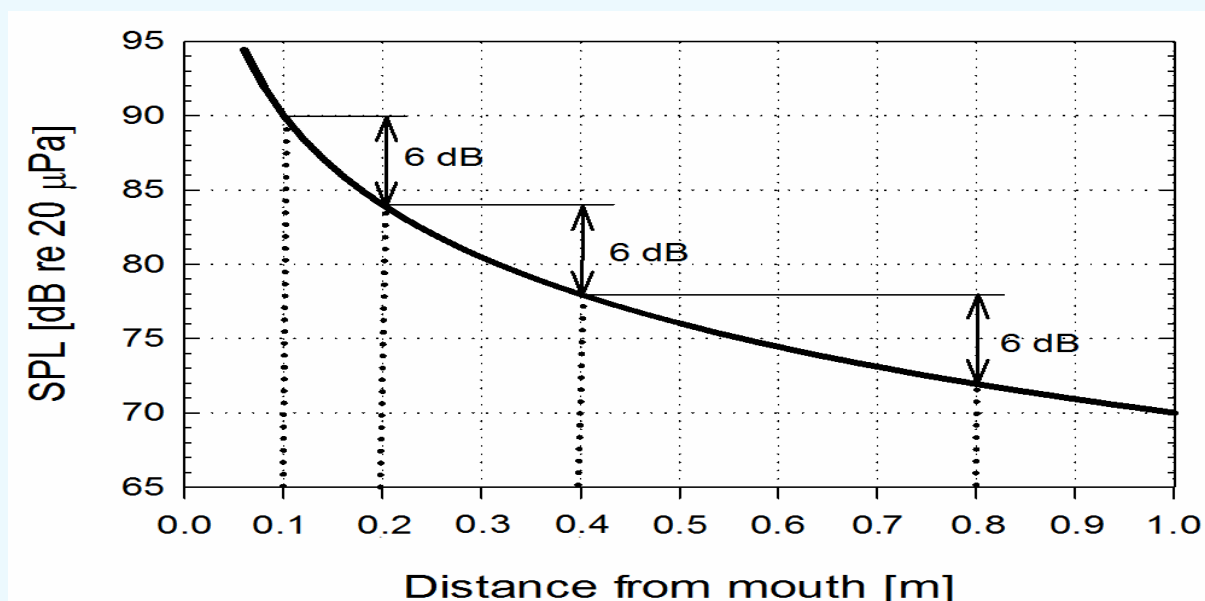
$$10 \log (p_2^2 / p_1^2) = 10 \log (r_1^2 / r_2^2)$$

$SPL_2 - SPL_1 = 20 \log (r_1 / r_2) \rightarrow$ 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

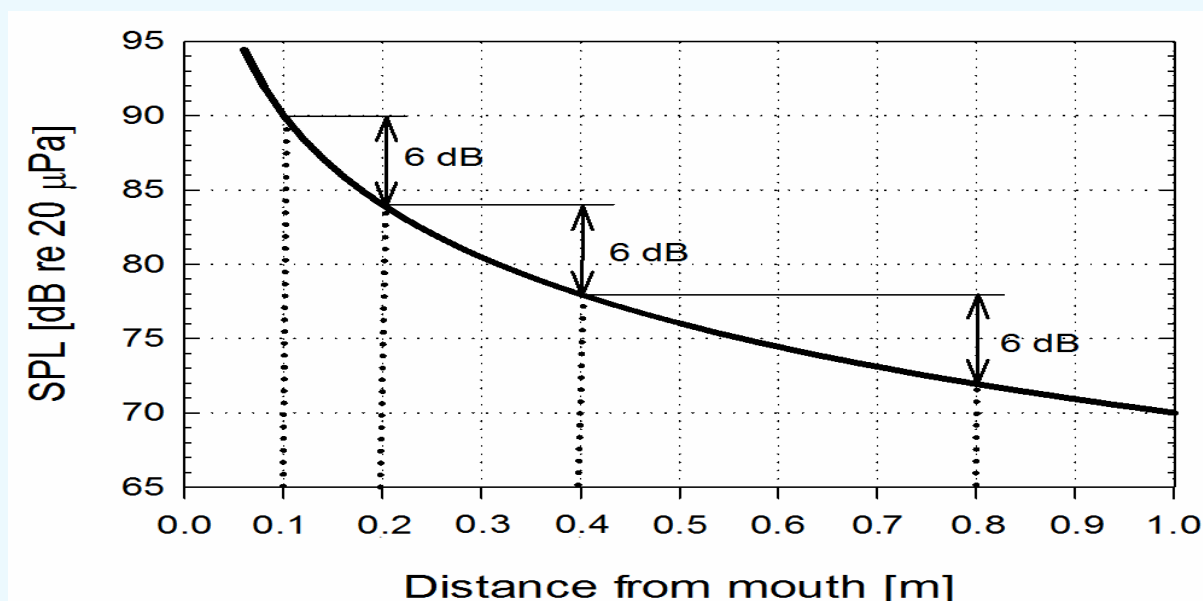
SPL VERSUS VZDÁLENOST:

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:

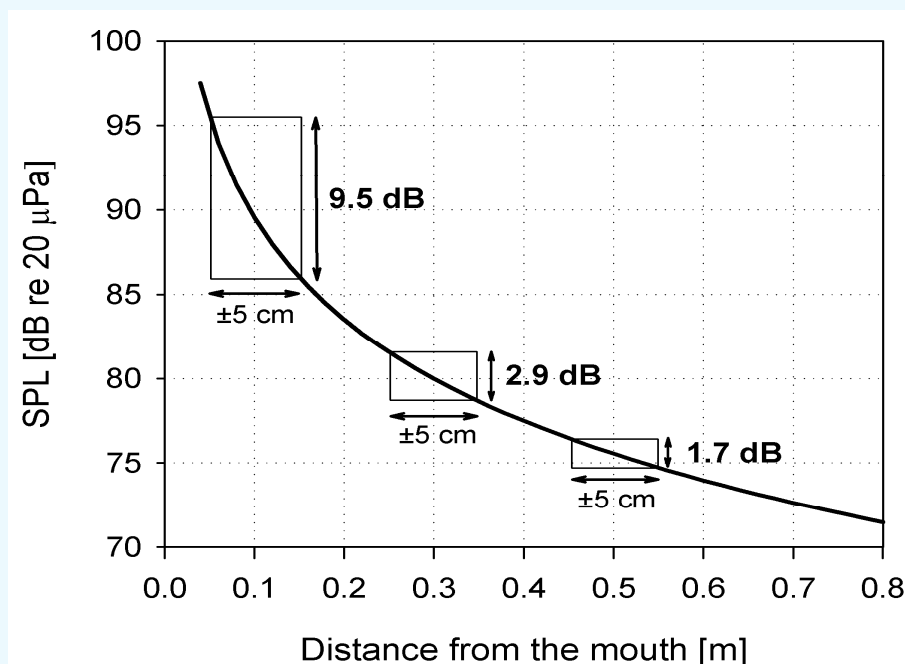
Důsledkem zákona vzdálenosti je, že v blízkých vzdálenostech od úst malá změna vzdálenosti způsobí velké změny SPL.

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!



Svec & Granqvist, JSLHR, 2017



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

V JAKÉ VZDÁLENOSTI BY SE HLAS A ŘEČ MĚLY MĚŘIT?

Při nejpřesnějších 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.

NEJPŘESNĚJŠÍ MĚŘENÍ:

BEZDOZVUKOVÁ KOMORA

MIKROFON NEJMÉNĚ 1 M DALEKO

ALE:

- Pocitově nepřírozené/nepříjemné prostředí 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

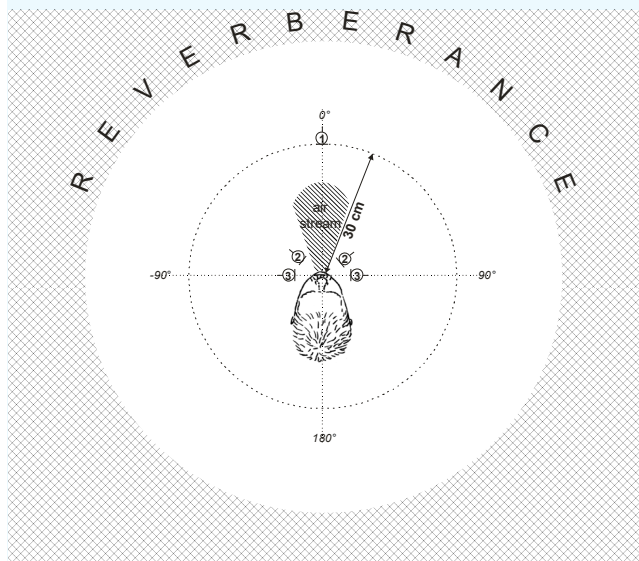
Chceme zaznamenat přímý zvuk z úst, ne odražený zvuk z místnosti !

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

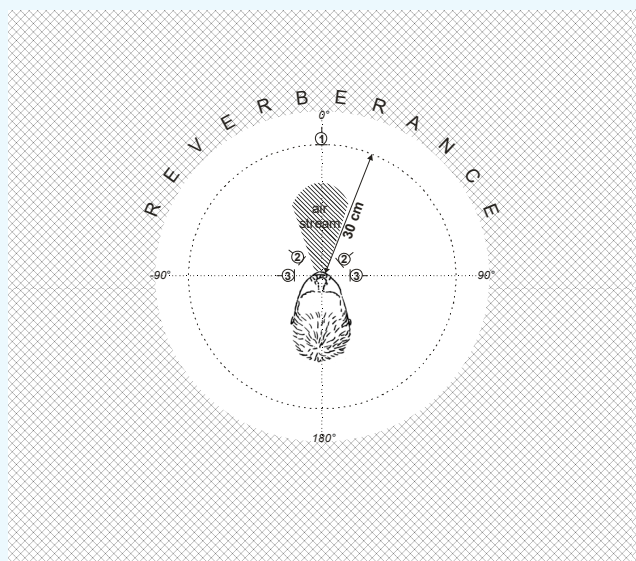
Šedá plocha – zvuk odražený od stěn je silnější než přímý zvuk

Čím méně je místnost tlumená (více rezonuje), tím kratší je poloměr dozvuku. (Problém přesného měření např. v koupelně).

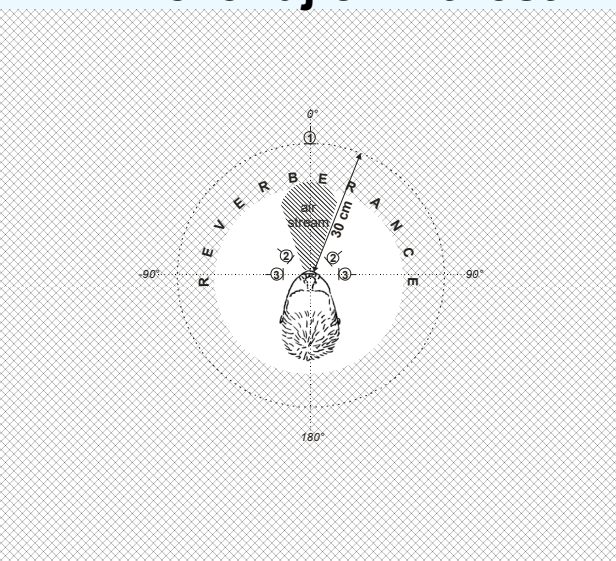
Zatlumená místnost



Běžná místnost



Rezonující místnost





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

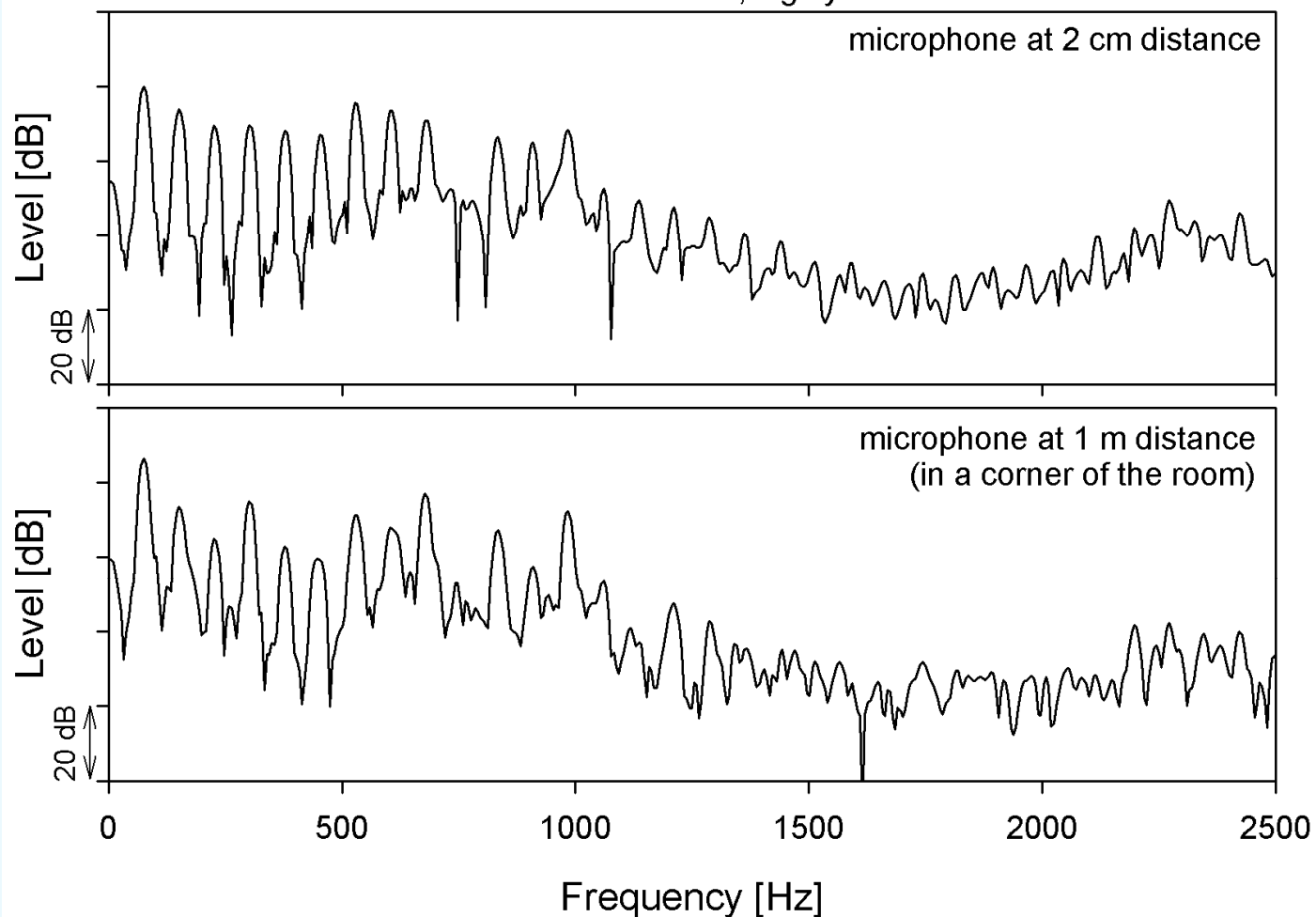


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Vliv místnosti na spektrum hlasu:

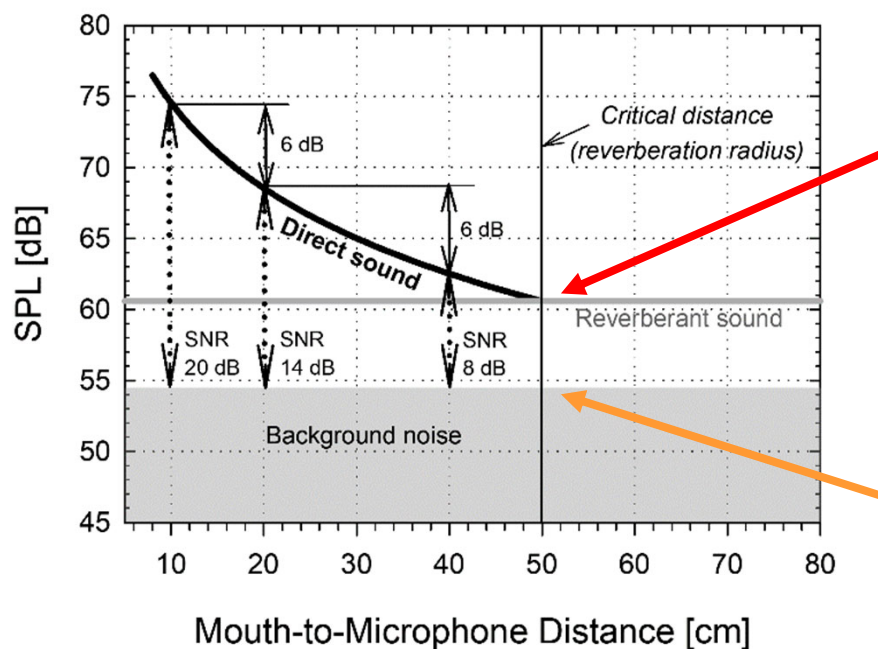
sust. /a/, recorded simultaneously with 2 identical microphones
at different distances in a small, highly resonant room



Granqvist & Svec, in preparation

Vliv místnosti na SPL hlasu

SPL versus VZDÁLENOST:



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

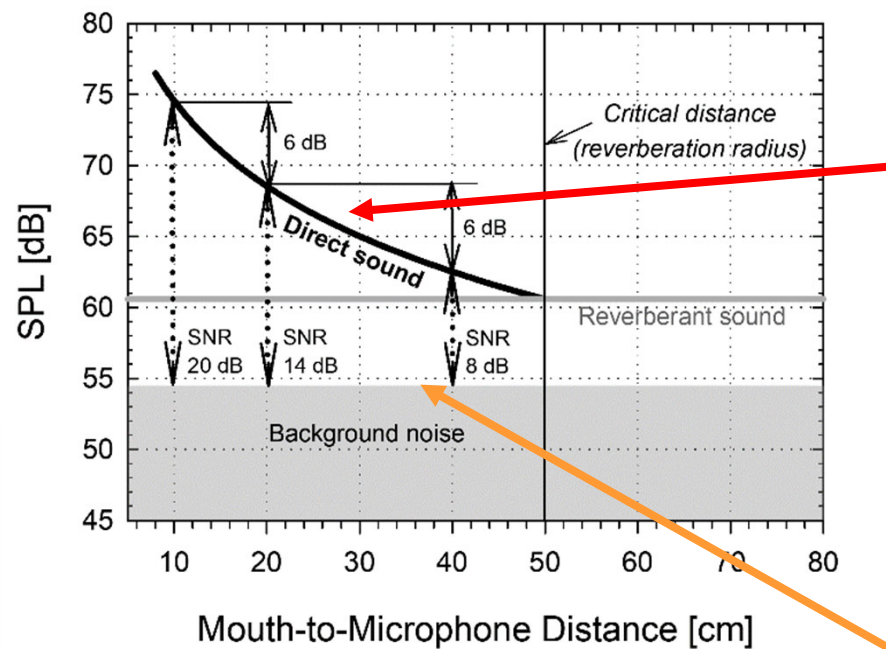
Když naroste intenzita zdroje zvuku tak naroste i intenzita dozvukového pole.

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:



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 nejtišších fonací, které chceme měřit (je doporučen odstup signálu od šumu nejméně 10 dB)

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

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

Jsou pro to dva důvody:

- 1) Chyby způsobené spontánními pohyby oproti mikrofónu na stojanu jsou většinou menší než 2 dB.
- 2) Přímý zvuk z úst je zde většinou silnější než zvuk odražený od stěn (tento předpoklad je pro přesné měření dobré ověřit).

Pozn:

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:

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

JAKÁ ZAŘÍZENÍ UMOŽŇUJÍ ZJISTIT HLADINU AKUSTICKÉHO TLAKU ZVUKU (HLASU, ŘEČI) V DECIBELECH?

Používáme kalibrovaný přístroj - vztahuje hodnotu 0 dB k akustickému tlaku 20 μ Pa – uváděno jako dB re 20 μ Pa

- *Zvukoměr*
- *Speciální software s kalibrovaným mikrofonom*
- *Orientační hodnotu SPL v dB lze získat pomocí smartphone aplikací – fungují v omezeném rozmezí cca 30 – 80 dB. Nemusí být zcela přesné, ale pro orientační měření je lze využít.*



Pozn: Vzdálenost od úst hraje významnou roli! (pro měření hlasu většinou používáno 30 cm)

CVIČENÍ:

Změřte si orientační hladinu akustického tlaku vašeho hlasu ve vzdálenosti 30 cm od úst při pohodlném vyslovení samohlásky [a:]

Použijte pro tento účel váš smartphone, kam si nainstalujete aplikaci zvukoměru (např. Decibel X)

Application DecibelX:

Start measurement

***Get the
measuring
display***



CVIČENÍ:

***Zjistěte jak moc se liší hodnoty ze dvou různých
smartphonů v aplikaci DecibelX při měření téhož zvuku.***

***Umístěte smartphony těsně vedle sebe a vyslovte
samohlásku [a:]***

CVIČENÍ:

Nakalibrujte si aplikaci DecibelX ve vašem smartphonu tak, aby ukazovala SPL stejné hodnoty jako zvukoměr.

Použijte k tomu zvuk z reproduktorů se známou hladinou SPL.

Nastavte si váš smartphone, ať ukazuje stejnou SPL hodnotu jako zvukoměr.

VYTVOŘENÍ ZVUKU SE ZNÁMOU HLADINOU SPL:

Použijte reproduktory, do kterých pustíte čistý tón (sinusoidu) o frekvenci cca 1000 Hz s konstantní intenzitou.

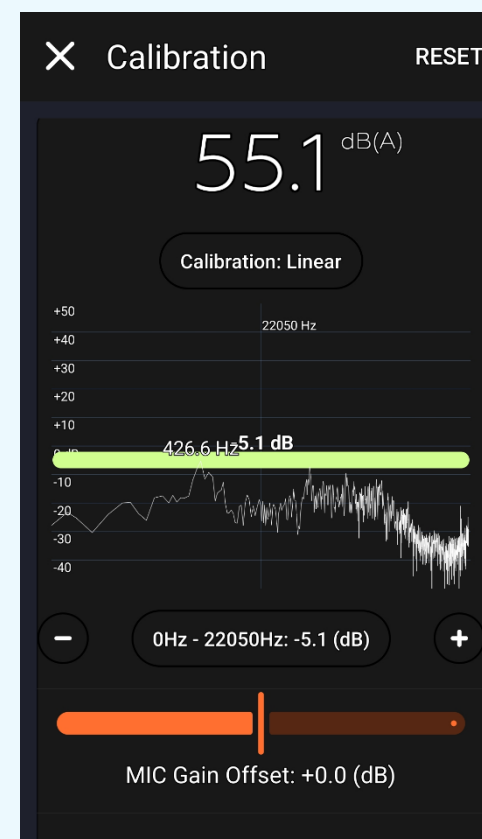
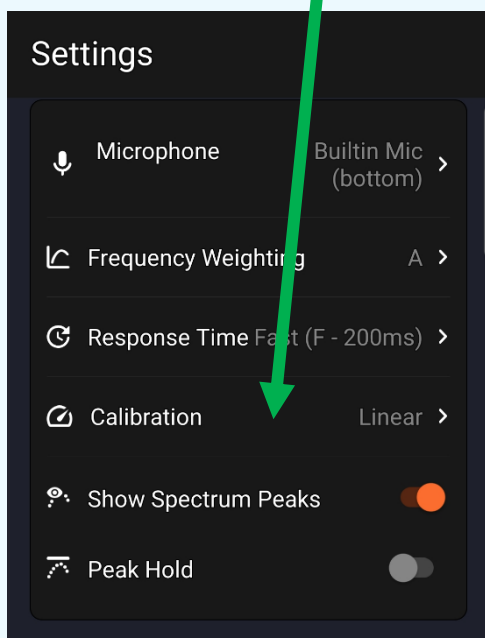
Umístěte mikrofon zvukoměru před reproduktory, přibližně 30-50 cm daleko.

Podívejte se, jakou SPL hodnotu zvukoměr ukazuje.

Nastavte hlasitost zvuku přibližně na 80 dB. (Smartphone funguje nejlépe v rozmezí přibližně 50-80 dB a intenzivnější zvuky jsou pro kalibraci lepší než tiché zvuky, které mohou být ovlivněny šumem prostředí).

KALIBRACE SPL VE SMARTPHONU (Aplikace DecibelX)

Spustíte kalibraci



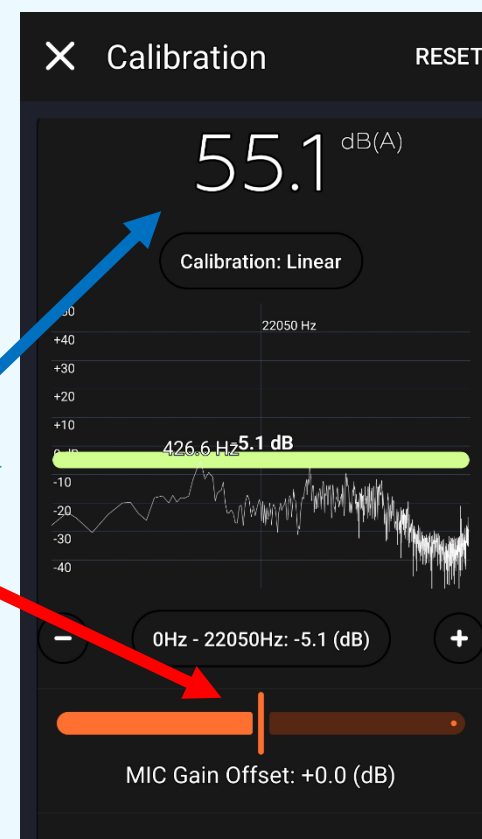
KALIBRACE SPL VE SMARTPHONU

(Aplikace DecibelX)

Dejte mikrofon vašeho smartphonu, tak aby směřoval k reproduktorům a byl těsně vedle mikrofonu zvukoměru.

Nastavte úroveň zesílení předzesilovače smartphonu na hodnotu 0 dB (MIC Gain Offset)

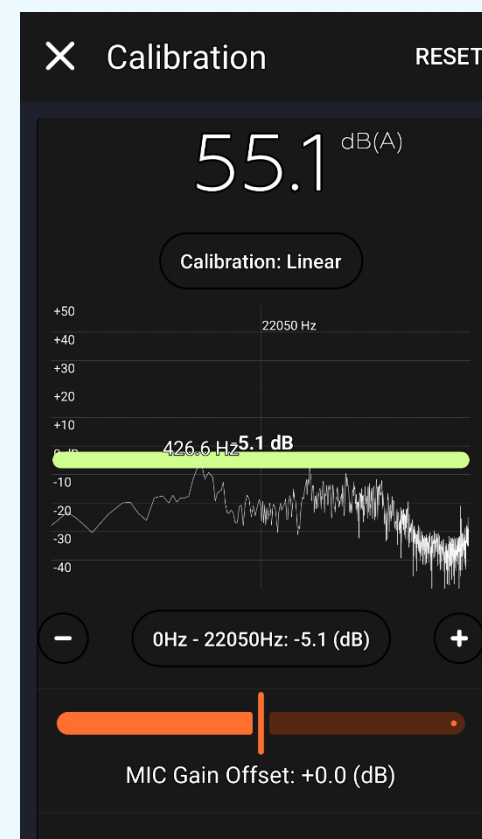
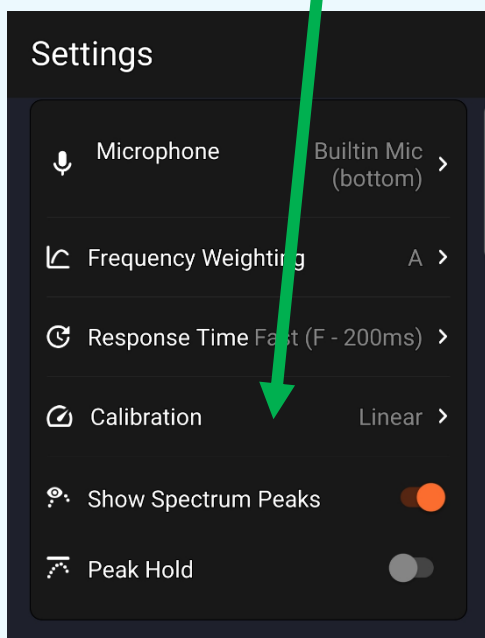
Nastavte hladinu SPL ve smartphonu pohybováním zelené čáry, aby byla SPL stejná jako u zvukoměru.



KALIBRACE SPL VE SMARTPHONU

(Aplikace DecibelX)

1) Spust'te kalibraci



HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU HLASU (SPL):

SPL pohodlné fonace: cca 60-80 dB @ 30 cm

***SPL nejhlasitějších fonací (zvolání, křik): běžně nad 100 dB @ 30 cm
(již nelze měřit pomocí smartphonu – je třeba použít zvukoměr)***

Zvukoměr – přístroj, který je kalibrován a má displej, který zobrazuje hladinu akustického tlaku v dB re 20 μ Pa.

Zvukoměr poskytuje hodnoty SPL, které se liší v závislosti na nastavení vážení:

- Frekvenční vážení: A, C, Z [dB(A), dB(C), dB(Z)]
- Časové vážení: S, F



NASTAVENÍ ZVUKOMĚRU:

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

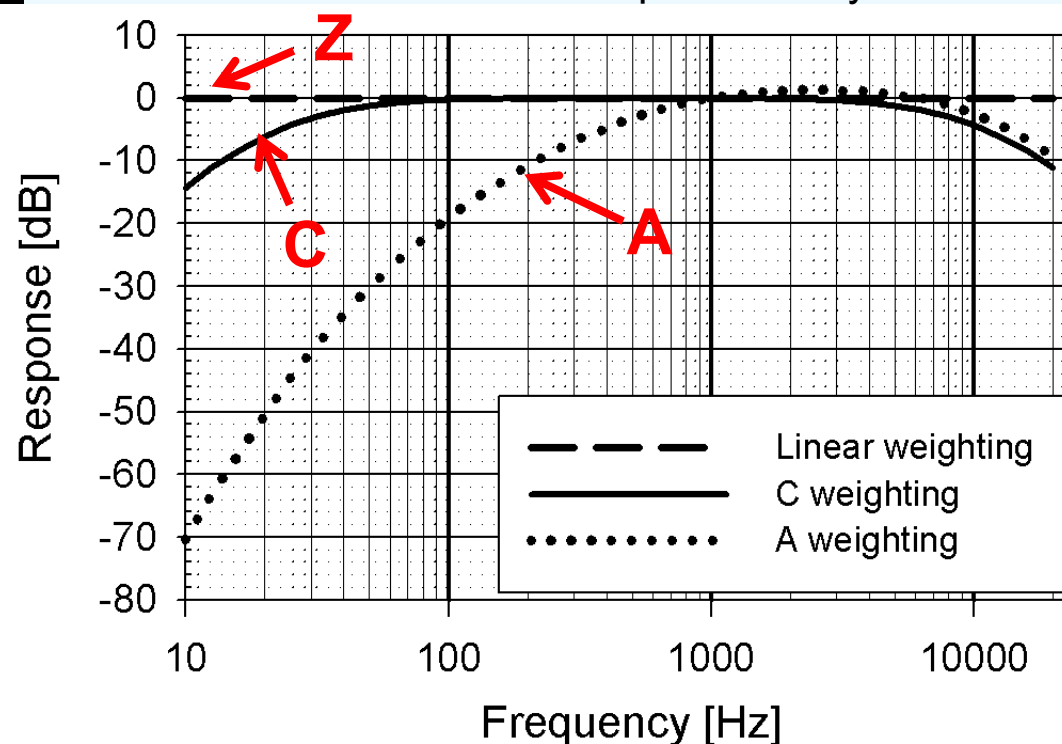
- 1) **Frekvenční vážení** (Frequency weighting) – nastavuje frekvenční odezvu zvukoměru
- 2) **Časové vážení** (Time weighting) – nastavuje citlivost na rychlost změn hladin akustického tlaku

ZVUKOMĚR: FREKVENČNÍ VÁŽENÍ:

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

C-vážení: přibližně rovnoměrné pro frekvence mezi 50 Hz a 5 kHz. Potlačuje nejnižší a nejvyšší slyšitelné frekvence. Vhodné pro měření hlasu (většinou tyto potlačené frekvence neobsahuje).

Z-vážení: rovná frekvenční charakteristika pro všechny frekvence (Z = zero weighting).



Švec JG & Granqvist S (2018). Tutorial and guidelines on measurement of sound pressure level in voice and speech. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 61(3), 441-461.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



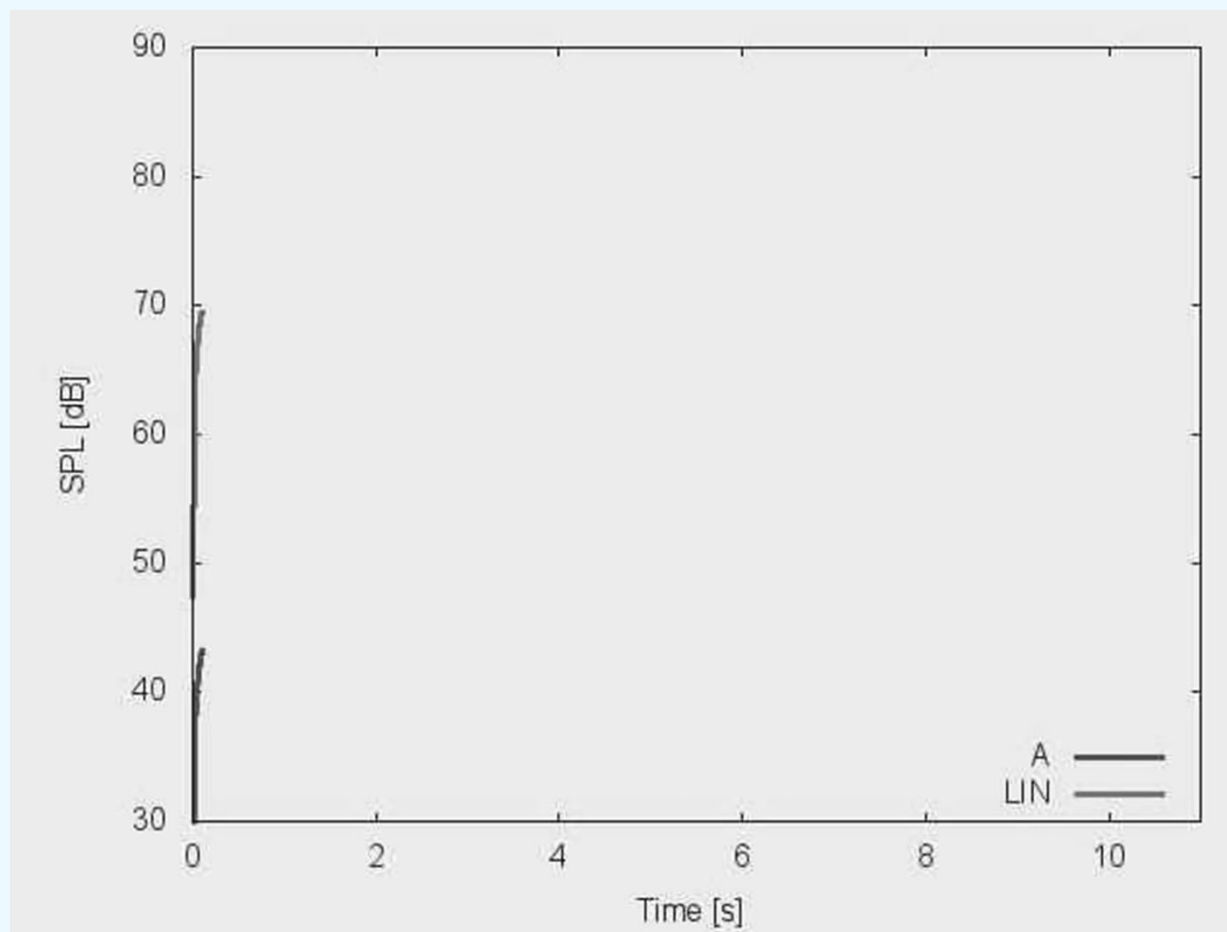
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

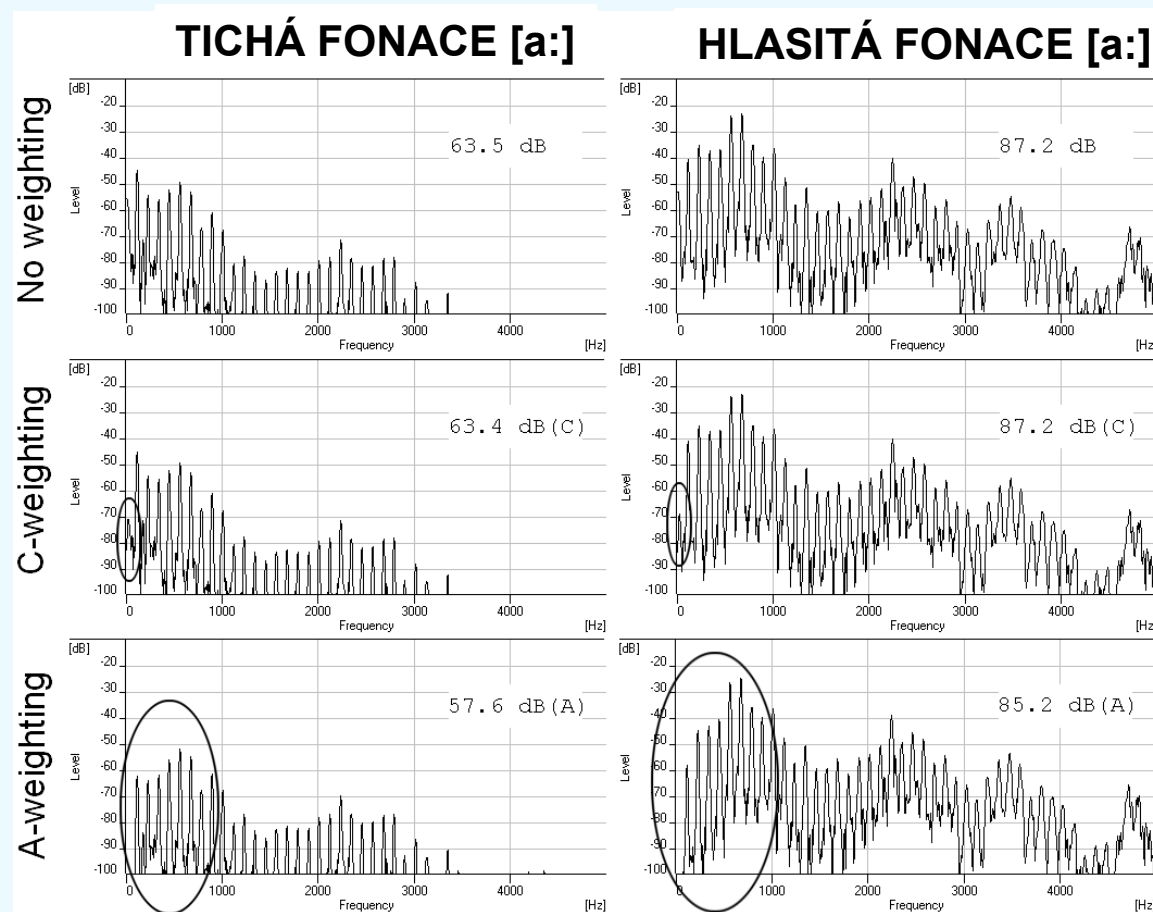
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

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:



Švec JG & Granqvist S (2018). Tutorial and guidelines on measurement of sound pressure level in voice and speech. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 61(3), 441-461.



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.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

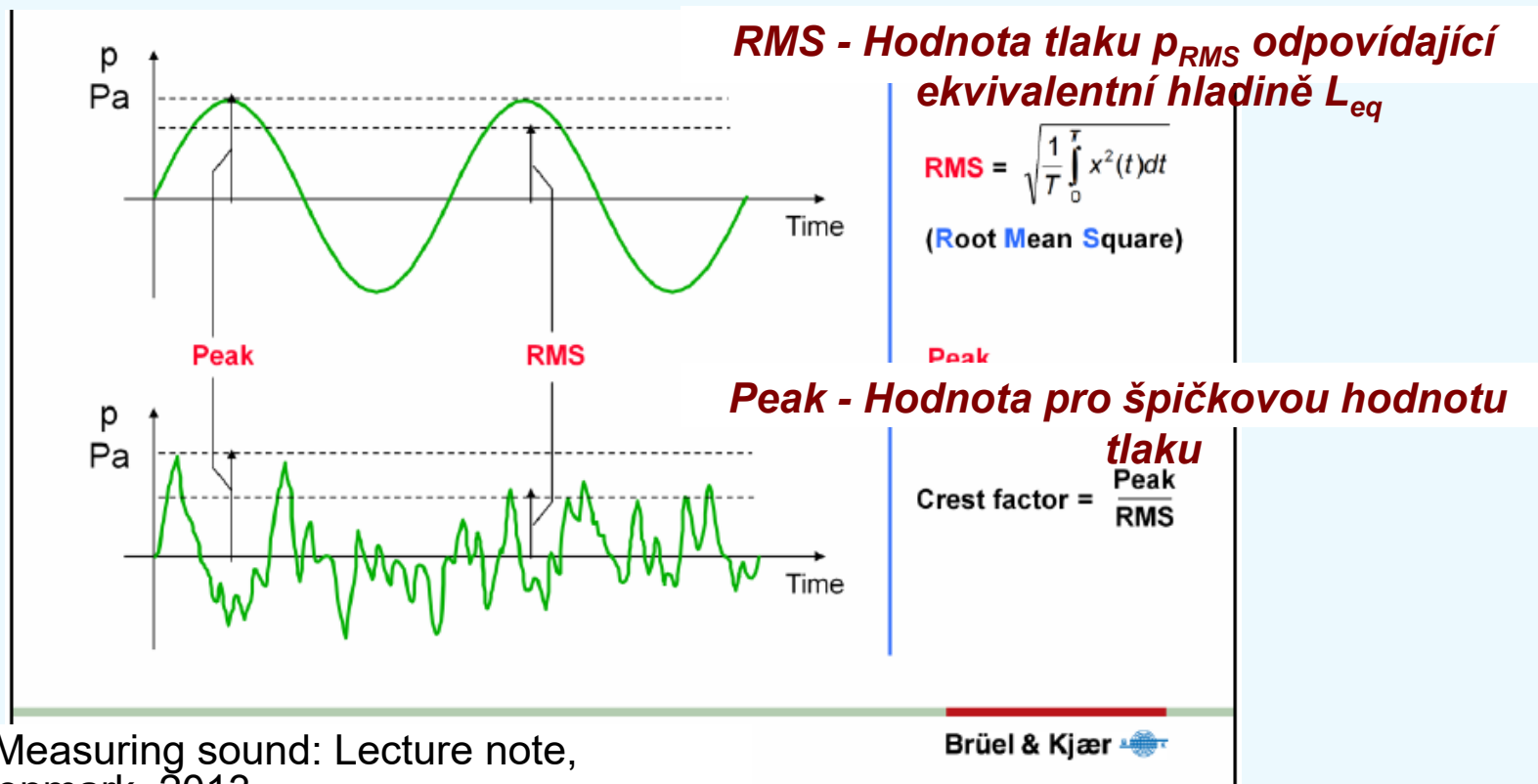
ZÁKLADNÍ PARAMETRY MĚŘENÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU:

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 vyzářené akustické energie. Počítá se přes RMS hodnotu tlaku p_{RMS} (RMS=střední hodnota kvadrátu) neboli efektivní hodnotu tlaku.

Špičková hladina akustického tlaku (L_{peak}):

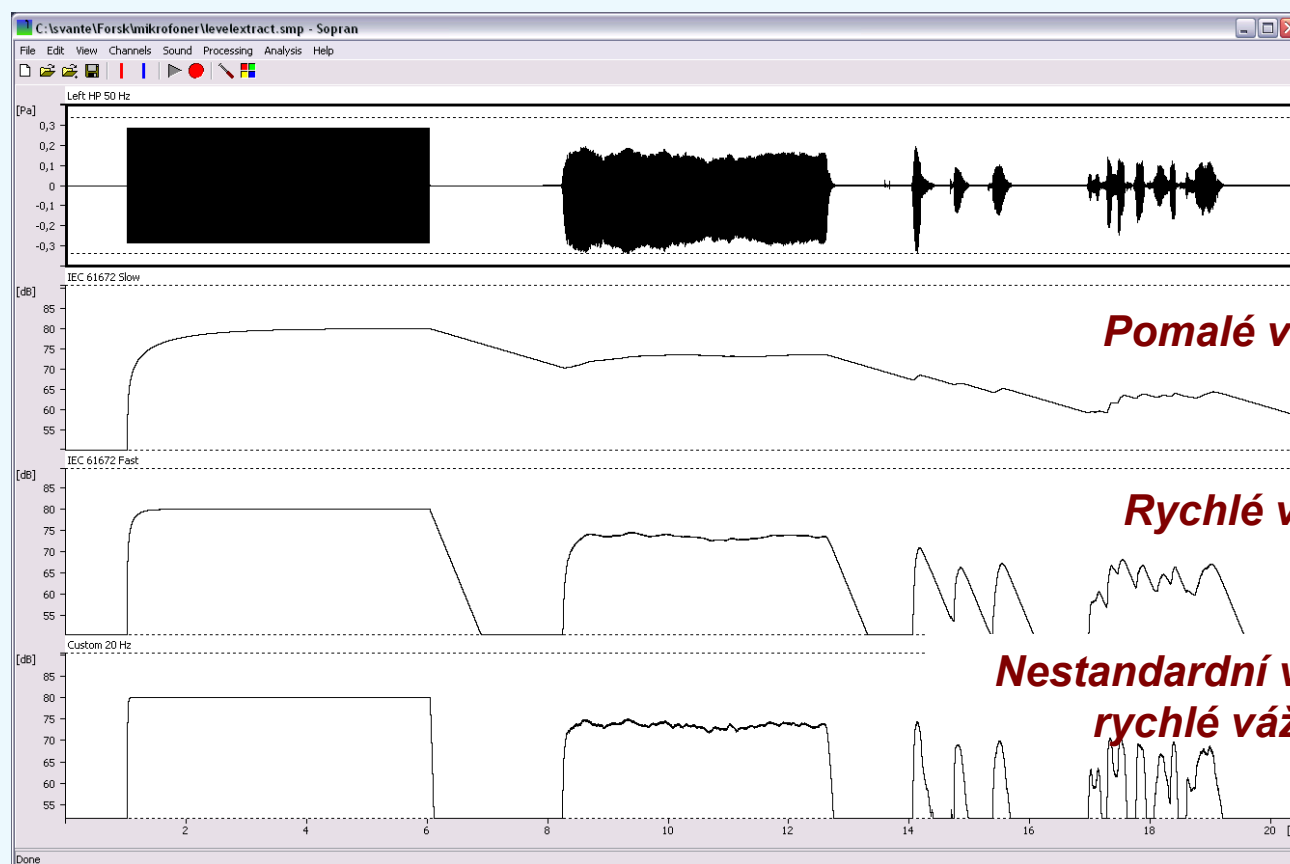
- Hladina odpovídající nejvyšší okamžité hodnotě akustického tlaku (Peak)



ZVUKOMĚR: ČASOVÉ VÁŽENÍ:

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

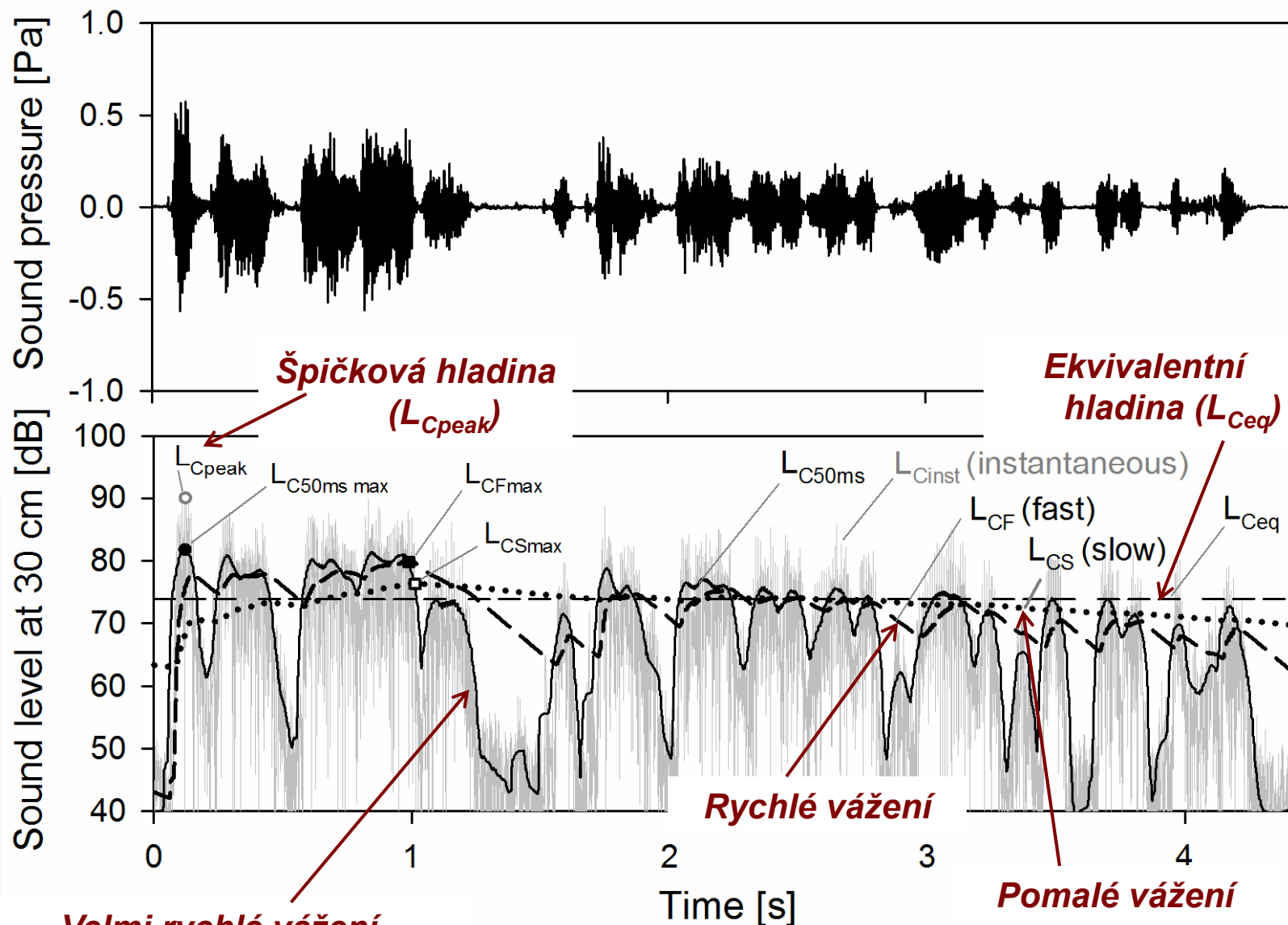
F-vážení (fast): Rychlé – umožňuje rychlejší reakci zvukoměru na výkyvy v nestabilním zvukovém signálu. (Časová konstanta 125 ms).



Švec JG & Granqvist S
(2018). Tutorial and
guidelines on
measurement of
sound pressure
level in voice and
speech. *Journal of
Speech Language
and Hearing
Research*, 61(3),
441-461.

PRŮBĚH SPL PŘI ŘEČI:

RŮZNÁ ČASOVÁ VÁŽENÍ -> RŮZNÉ VÝSLEDKY



Velmi rychlé vážení
(L_{C50ms} - nestandardizované)

Švec & Granqvist, JSLHR, 2018

CVIČENÍ:

*Zjistěte jaké frekvenční a
časové vážení používá
zvukoměrová aplikace Decibel
X instalovaná ve smartphonu.*

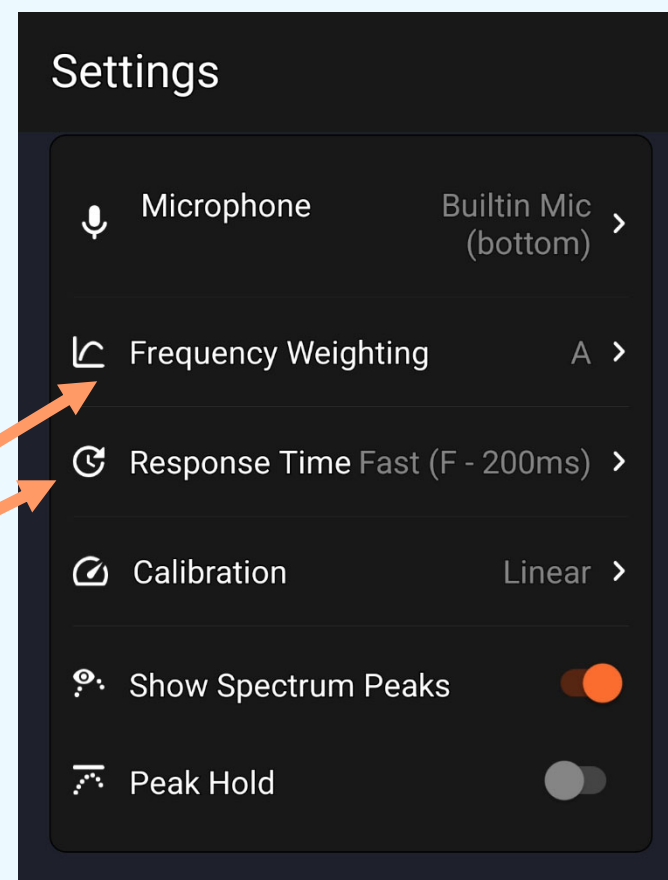
*Settings:
Frequency weighting
Response time*



CVIČENÍ:

*Zjistěte jaké frekvenční a
časové vážení používá
zvukoměrová aplikace Decibel
X instalovaná ve smartphonu.*

Settings:
Frequency weighting
Response time





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

KONEC DÍLU