

Ucho jako zdroj zvuku: whistling while it works

K. Dovalová, kikusikdovalova@gmail.com

L. Beránková, lucie.berankova@spssecb.cz

O. Garant, školitel; Ing. Václav Vencovský, Ph.D.

Abstrakt:

Cílem projektu bylo seznámit se spontánními otoakustickými emisemi (SOAE). V rámci projektu bylo provedeno měření na dvou subjektech. Pro studium stability SOAE v čase jsou výsledky doplněny daty třetího subjektu získanými s tříletým odstupem. A též jsme provedli pilotní experiment, při kterém jsme měřili interakce SOAE s externím tónem. Tato data budou dále využita pro studium generace SOAE.

1. Úvod

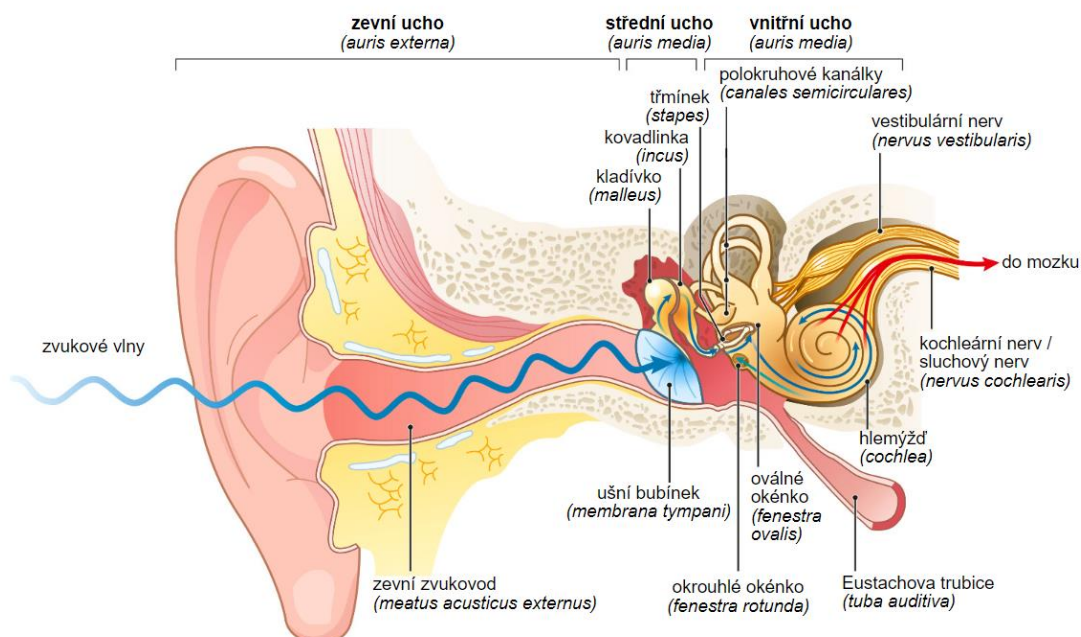
Lidské ucho, ale také ucho jiných obratlovců, není pouze přijímač zvukového signálu. Zhruba 50 % lidí s normálním sluchem produkuje SOAE. SOAE jsou velmi slabé zvukové signály, které mohou být nahrány mikrofonem vloženým do zvukovodu. Jelikož ale nejsou SOAE přítomny u všech normálně slyšících lidí, nevyužívají se k diagnostice poruch sluchu. Jejich studium však přispívá k našemu poznání o funkci vnitřního ucha, které tyto emise produkuje. Stále neznáme mnoho detailů o generaci SOAE a funkci vnitřního ucha. V rámci projektu jsme měřili SOAE u lidí s normálním sluchem. Zaměřili jsme se na dynamiku spontánních otoakustických emisí, které jsme zjišťovali prezentováním tónů o různých intenzitách. pomáhají dozvědět se více o jeho funkci.

2. Ucho jako zdroj zvuku

2.1. Fyziologie ucha, zvuk a otoakustické emise

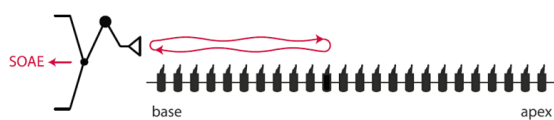
Lidské ucho je velmi komplexní a propracované. Ucho dokáže vnímat zvuk o frekvencích od 16 Hz až do 20 000 Hz. Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Jak však ale tento vjem vzniká? Ve zkratce ucho zachycuje různé zvuky v podobě zvukových vln a převádí je na nervový signál, který dále putuje do mozku k dalšímu zpracování. Ucho se dělí na tři části (*viz obr. 1*): zevní, střední a vnitřní. Zevní část ucha je tvořena boltcem a zvukovodem. Zevní ucho zachytává zvukové vlny a přenáší je přes zvukovod k bubínku, který vlny rozvibruje. Bubínek je na konci zvukovodu a odděluje zevní a střední ucho. Střední ucho je tvořeno třemi kůstkami: kladívkem, kovádkou a třmínkem. Jejich hlavní funkce je vést vibrace dále do vnitřního ucha vyplněného tekutinou. Část vnitřního ucha zodpovědná za vjem zvuku je podle tvaru ulity nazývána hlemýžď. Třmínek je spojený s oválným okénkem na vstupu do hlemýžďe a jeho vibrace jsou přenášeny na bazilární

membránu, kde způsobí postupnou vlnu. Sluchový orgán, nacházející se v hlemýždi se nazývá Cortiho orgán. V něm jsou vnitřní vláskové buňky, které převádějí mechanické vibrace na nervové vzruchy. A vnější vláskové buňky, které tyto mechanické vibrace zesilují.



Obrázek 1. Ilustrační schéma sluchové periferie.

Otoakustické emise (OAE) jsou zvukové signály, které vznikají v hlemýždi. Mohou být evokované nebo spontánní. Evokovat OAE můžeme například dvojicí tónů blízkých frekvencí (ideální poměr 1.2). Takto vygenerujeme intermodulační produkt, který se používá na objektivní zjištění stavu sluchu. SOAE jsou naopak generovány samovolně bez cílené externí stimulace. Jsou to ve frekvenci a amplitudě fluktuující tóny (viz obr. 3., 4., 5.). Jak však tyto emise vznikají? Existují dva nejznámější navrhované modely vzniku. Zaprvé se za oscilační prvek považuje jednotlivá vlásková buňka nebo menší skupina buněk (viz obr. 2.b). Zadruhé k jej vzniku dochází kvůli rezonanci. V kochleě vzniká postupná vlna v důsledku vnitřního šumu. Část energie postupné vlny je odražena zpět k tříměnku, kde se následně odráží zpět. (viz obr. 2.a) Analogový případ je koherentní emise světla optickým laserem [2].



Obrázek 2. a Globální rezonance

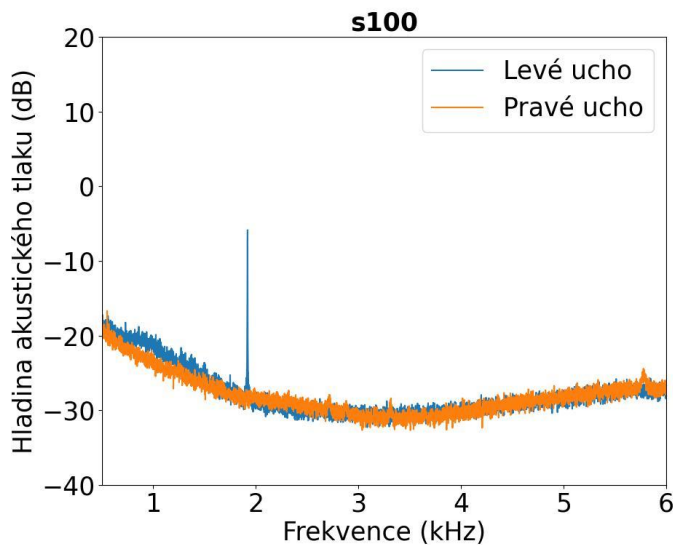


Obrázek 2. b Lokální oscilátor

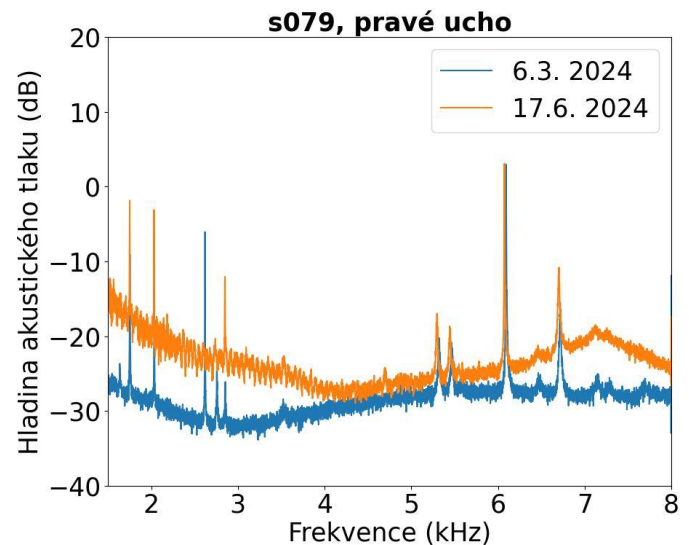
2.2. Metoda měření

OAE měříme pomocí sondy Etymotic ER10C a zvukové karty RME Fireface UCX, která přemění analogový signál na digitální. Následně digitální signál putuje ke zpracování do počítače, kde je napsaný kód v programovacím jazyku Python, který signál uloží pro budoucí zpracování. Data byla získána na třech audiologicky normálních subjektech (dvě ženy, jeden muž), ve věku od 19 do 26 let.

2.3. Výsledky

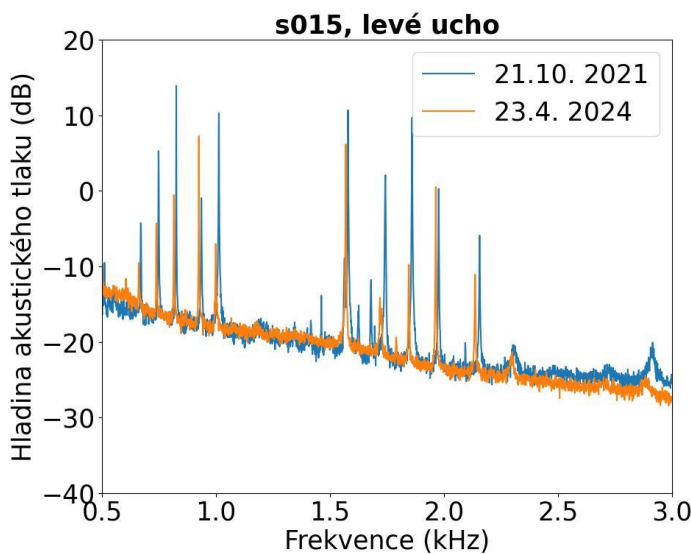


Obrázek 3.



Obrázek 4.

Obrázek 3 ukazuje amplitudu SOAE. V grafu vidíme, že pravé ucho subjektu s100 neprodukuje žádné emise na daném frekvenčním rozsahu až na malý náznak kolem 6 kHz, v literatuře zvaný „dwarf SOAE“ [2]. Naopak v levém uchu můžeme pozorovat výraznou emisi na frekvenci 2 kHz.

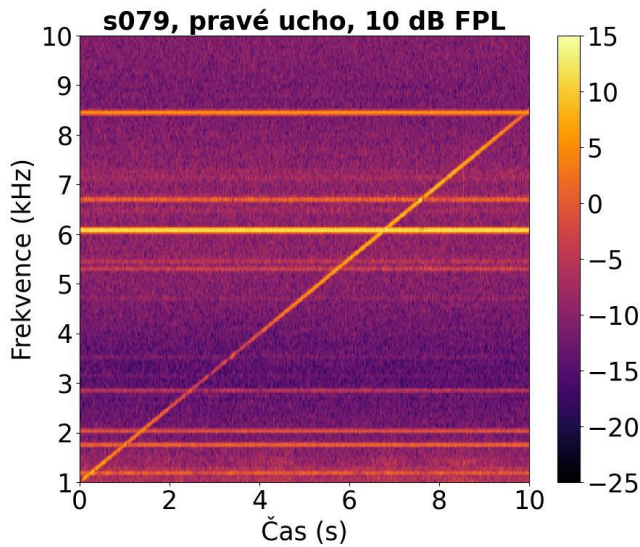


Obrázek 5.

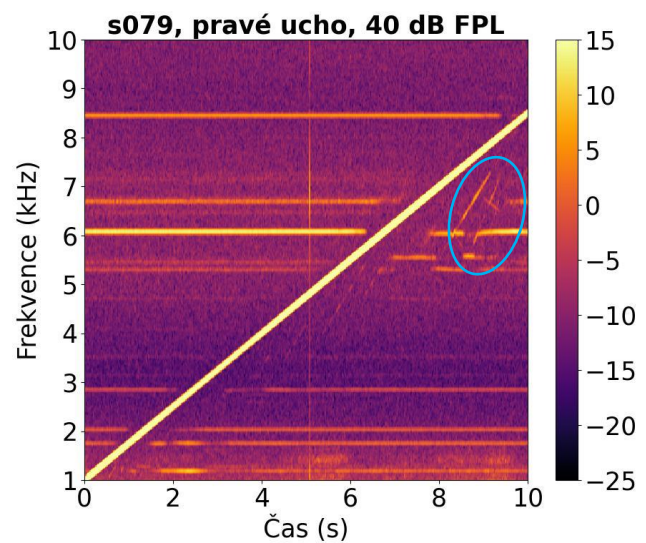
Obrázek 4 obsahuje graf SOAE subjektu s079. Mezi měřeními byl interval třech měsíců a můžeme pozorovat, že emise se téměř neliší kromě malých odchylek, které připisujeme chybě měření na 2-3 kHz. Subjekt mohl polknout, zakašlat nebo se hýbnout.

Na obrázku 5. vidíme tříletý rozdíl v měření subjektu s015, kdy se frekvence emisí subjektu posunula v grafu vlevo, což znamená postupné snižování frekvence v souladu s literaturou [3].

Na obrázku 6. a 7. jsou spektrogramy (spektrum ve frekvenčně časové doméně) ukazující SOAE v případě prezentování externího ve frekvenci přeladovaného tónu. Na levé straně nevidíme silnou interakci tónu o intenzitě 10 dB FPL (hladina akustického tlaku vzhledem k dopředné tlakové vlně) a SOAE. V kontrastu s tím na obrázku 7, můžeme pozorovat supresi SOAE tónem o intenzitě 40 dB FPL. Kolem frekvence 6 kHz vidíme že se objevuje nová složka, která pravděpodobně vznikla potlačením SOAE o vyšší frekvenci (té nad ní). Taky pozorujeme v grafu distorzní produkt, který je přesně na dvojnásobku frekvence přeladovaného tónu mínus frekvence spontánní emise na asi 8 a půl kHz (v modré elipse).



Obrázek 6.



Obrázek 7.

Shrnutí

V rámci projektu jsme se seznámili s činností ucha a tvorbou otoakustických emisí. Experimenty prováděnými také na nás jsme si potvrdily, že ucho opravdu může emitovat SOAE. Na jednom subjektu jsme provedli měření SOAE po třech měsících. Data ukazují časovou stabilitu. Pro studium generace SOAE je potřebné studovat její dynamiku, a to pomocí suprese externími stimuly – u jednoho subjektu byl v experimentu přeladovaný tón, ale i držený tón, který jsme z důvodu nedostatku prostoru neuvedly v tomto příspěvku. Výsledky budou na pracovišti garanta porovnávány se simulacemi a použity na další zpracování dat či na objasnění způsobu generace emisí.

Poděkování

Na závěr bychom chtěly poděkovat organizátorům TV@J, sponzorům a našemu garantovi, Ing. Václavu Vencovskému, Ph.D.

Reference

- [1] GESUNDHEIT.GV.AT. *nzip.cz* [online]. [cit. 17.6.2024]. Dostupný na WWW: <https://www.nzip.cz/clanek/1507-ucho-sluch-rovnovaha>
- [2] C.A. Shera, Whistling While it Works: Spontaneous Otoacoustic Emissions and the Cochlear Amplifier. *J. Assoc Res Otolaryngol.* 23, 17–25, 2022
<https://doi.org/10.1007/s10162-021-00829-9>
- [3] E. M. Burns, Long-term stability of spontaneous otoacoustic emissions. *J. Acoust. Soc. Am.*; 125 (5), 3166–3176, 2009
<https://doi.org/10.1121/1.3097768>