

O hluku

Mgr. Aleš Peřina, Ph. D.

RNDr. Jan Hollan, Ph. D.

Fyzikální vymezení

Hlukem rozumíme jakýkoliv zvuk, který působí škodlivě, rušivě nebo nepříjemně. Zdraví může být ovšem poškozováno i zvukem, který lidé vyhledávají (sami jej za hluk nepovažují), ale je už příliš silný. Zvuk je mechanické kmitání pružného prostředí šířící se jako vlnění, vzduchem, kapalinami, ale i pevnými předměty, z nichž se kmity mohou přenášet do sluchového ústrojí zejména kostrou. Je-li na nějaké frekvenci jeho intenzita výrazně vyšší, vnímáme ji jako výšku tónu.

Frekvencí rozumíme počet kmitů prostředí za vteřinu. Jednotkou je Hertz (Hz), 1 Hz odpovídá jedné vlně za vteřinu. Lidské ucho je adaptováno na frekvence v rozsahu přibližně 16 Hz až 16.000 Hz. Při analýze frekvenčního pásma můžeme odlišit zvuk s tónovými složkami¹.

Vnímaná intenzita hluku je závislá na příkonu zvukových vln rozkmitávajících receptory, výběžky vláskových buněk ve vnitřním uchu. Platí zde obecná zásada, že následek nemůže nastat bez expozice, takže např. neslyšící člověk nemůže být obtěžován např. rušivým působením tónové složky zvuku. V praxi se spíše setkáváme se situacemi, kdy osoby s poruchami sluchu zesilují např. rozhlasové a televizní přijímače a stávají se tak původcem rušivého hluku pro svoje okolí.

Při vnímání obecně, nejen u zvuku, registrujeme poměry signálů čili například o kolik procent či řádů se signál zesílí či zeslabí. Nevnímáme tedy absolutní přírůstky, ale relativní. Ty lze vyjádřit jako přírůstek logaritmu (*Weberův-Fechnerův zákon*). V případě zvuku to vyjadřujeme jako **dekadický logaritmus podílu hustot toku energie**, což je totéž, jako logaritmus podílu druhých mocnin amplitudy, tedy rozdílu maximálního a minimálního tlaku během zvukového vlnění (obecně je u vlnění tok hustota toku energie úměrná kvadrátu amplitudy).

Základní úroveň hustoty toku akustické energie (aneb *intenzity zvuku J*, to jest měrného akustického příkonu na plošku kolmou ke směru šíření zvuku) je konvenčně přítom ta, která se bere jako práh vnímání pro zdravého mladého člověka, jde o jeden pikowatt na metr čtvereční:

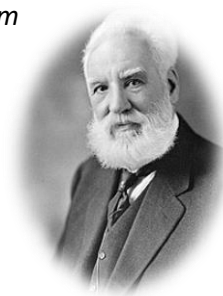
$$J_0 = 1 \text{ pW/m}^2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Hladina intenzity zvuku L je pak logaritmická veličina

$$L = 10 \text{ dB} \times \log \frac{J}{J_0}$$

¹ Tón je zvuk s periodicky se opakujícími frekvencemi a zpravidla nese informační hodnotu, ke které může mít příjemce negativní, neutrální, nebo pozitivní vztah. Tónové složky má lidský hlas, hudba, hlahol zvonů, zpěv ptáků apod. Přítomnost tónové složky může pro svoji informační hodnotu zvyšovat rušivý účinek hluku.

Zvýšení této hladiny o 1 B, jeden bel (fonetická podoba příjmení *Alexander Graham Bell*) by znamenalo desetkrát větší intenzitu zvuku, o tři bely by to byl tisícinásobek. V praxi se používá jednotka desetinná, decibel. Zvýšení hladiny o *tři decibely* znamená dvojnásobnou intenzitu zvuku (zvýšení o 30 dB tisícinásobnou).



Obrázek 1 Alexander Graham Bell.

Zdroj: Wikimedia Commons

Zkuste si spočítat, jaký příkon tedy vyvolá takový vjem, dopadá-li zvukové vlnění na bubínek, který samozřejmě nemá plochu metr čtvereční, ale řekněme centimetr čtvereční! Zjistíte, že to velice malý přísun energie. To, že jej dokážeme zaznamenat, je díky „kvantovým zesilovačům“, oscilátorům naladěným na tu či onu frekvenci a tenkým jen pár mikrometrů, tzv. vláskovými buňkami, viz <http://www.cochlea.eu/en/hair-cells>.

A jaký příkon na centimetr čtvereční představuje hladina 110 dB? Taková, které bychom se měli za život vystavovat co nejméně minut? (Jde jen o sčítání řádů, o sto decibelů více znamená o deset řádů více.)

Zvýší-li se hladina intenzity zvuku na 10 dB (intenzita zvuku vzroste na desetnásobek oproti možnému prahu vnímání) ze stavu, kdy byla pod 0 dB, jako změnu postřehne už každý mladý člověk adaptovaný na ticho.

Z hlediska intenzity zvuku můžeme zvuk charakterizovat jako ustálený nebo proměnný. Za proměnný označujeme hluk, který se během hlukové expozice mění o více než 5 dB, což je poměr 1:3. Zvláštním případem proměnného hluku je hluk impulzní. Jde o krátké epizody velmi intenzivních expozic, jako jsou výbuchy trhavin v lomech, střelba, hluk vznikající při demoličních procesech, některých odvětvích (zvláště těžkého) průmyslu, ale též sonické třesky z provozu např. nadzvukových letadel.

Nepříznivé účinky hluku na zdraví vyplývají z

- a) Absorbované energie lidským uchem. Projevují se na sluchovém orgánu, na němž vyvolávají vratné nebo nevratné změny
- b) Informační hodnoty hluku (přítomnost nežádoucí hlukové expozice vyvolávající dráždění nervových vláken sympatiku vedoucí ve svém důsledku ke stresové odpovědi organismu.

Účinky hluku na sluchový orgán

Účinky na sluchový orgán jsou specifické a můžeme je rozlišit jako změny vedoucí k dočasnému nebo trvalému zvýšení sluchového prahu a v systému Mezinárodní klasifikace nemocí, 10. revize, odpovídají kódu H 83.3 – Účinky hluku na vnitřní ucho:

- Akustické trauma
- Nedoslýchavost, ztráta sluchu způsobená hlukem

Nepříznivé účinky na sluchový orgán se dostávají v závislosti na intenzitě hluku, které byly postižené osoby vystaveny. Platí zde, že nepříznivý účinek se při vyšších intenzitách dostává rychleji a že lze stanovit bezpečnou hladinu hlukové expozice. Ta se, pokud jde o ochranu sluchového orgánu, pohybuje kolem 70 dB, bez ohledu na původ hluku v prostředí člověka.

Pronikání hluku do uší, zejména nad hladinou 80 dB, trvá-li hodiny denně, lze velmi účinně tlumit levnými chrániči, jako jsou „hluchátka“ podobná velkým sluchátkům, ale dnes i *hi-tech* aktivní sluchátka vytvářející kmity opačné ke hluku pronikajícímu zvenčí. Je snadné kdykoliv použít vatové zátky (ale i jen z papírového kapesníku či toal. papíru), účinnější jsou zátky pěnové, pár za několik korun či desetikorun (ear plugs, „špunty do uší“). Pohodlnější je ovšem se takové hlukové expozici úplně vyhnout nebo ji co nejvíce zkrátit.

Časté dlouhé expozice hladinám nad 90 dB, ba i opakované, ač jen chvilkové nad 100 dB už poškozují vnější vláskové buňky² a tím velmi urychlují zhoršování sluchu, které je spojené s věkem³ (též Wu et al., 2020) . Nejhorší je přitom ztráta nejsubtilnějších vlásků na oněch buňkách, které zesilují vysoké frekvence. Právě ty jsou klíčové k tomu, abychom rozuměli lidské řeči.

Počítejme s tím, že už lidé nad 50, 60, 70, 80, natož více let, z téhož důvodu budou dobře rozumět jen tehdy, když kromě řeči bude ticho, a když budou dobře vidět obličej mluvčího, hlavně ústa (mluvčí nesmí stát mezi oknem a jimi samými, pak budou mluvčího vnímat jen jako tmavou siluetu). A že lépe rozumějí hlasu hlubokému než vysokému („nezvyšujte hlas“, raději mluvmě pomalu a s mimikou). Starší osoby sice slyší, ale už nejsou schopni snadno rozpoznat zejména souhlásky, to bez vnímání vysokých frekvencí není možné.

Bohužel, ztráta citlivosti na vysoké tóny postihuje dnes i mladé lidi, pokud hodiny denně poslouchají velmi hlasitou hudbu, i když třeba nenápadně ze sluchátek. Nemusí je to příliš omezovat ve středním věku, ale ve stáří už ano. Vnoučátka a pravnoučátka mají vysoké hlásky. Komunikace s malými dětmi bývá pro seniory největší radostí, je škoda o ni přijít – a je to škoda i pro ty děti. Odjakživa se nejmladší generace učily od těch nejstarších, které na ně měly čas a trpělivost. Chraňte si proto svůj sluch, ať vám vydrží dobrý až do smrti.

Systémové účinky hluku

Nepříznivé účinky, které se projevují mimo sluchový orgán, jsou nespécifické a spíše, než z pozorování je můžeme vyvozovat z výsledků epidemiologických studií. Jejich základním principem je porovnání zdravotního stavu skupin obyvatelstva dlouhodobě pobývajících v hlukově exponovaných a hlukově neexponovaných oblastech. Jako rizikové pro zdraví se ukázaly dlouhodobé expozice hladinám již od 45 dB.

Nejsilněji se biologický účinek dostavuje prostřednictvím stimulace sympatiku a dysbalance stresových hormonů vedoucí k vazokonstrikci a následné elevaci systémového krevního tlaku. Tento účinek se dostavuje dokonce i při expozicích, které nastávají během spánku. Následky pak můžeme pozorovat na výskytu chorob kardiovaskulárního systému a chorob metabolických, ačkoliv mechanismus jejich rozvoje není ještě ve všech hlediscích zcela prozkoumán. Z epidemiologických studií Světová zdravotnická organizace (WHO) vyvozuje, že **chronická hluková expozice zvyšuje pravděpodobnost vzniku kardiovaskulárních a metabolických onemocnění o 5 až 10 %**.

Dalším intenzivně studovaným následkem hlukových expozic je **rušení spánku zkrácováním jeho délky a snížením kvality REM-fáze**. Ačkoliv REM fáze spánku u dospělého člověka zahrnují asi jen 25 % celkové doby spánku, jeho úloha je zcela zásadní pro obnovu funkcí CNS.

² viz <http://www.cochlea.org/en/noise>

³ viz <http://www.cochlea.eu/en/pathology/presbycusis>

Nadměrný hluk v místě bydliště lidí snižuje kvalitu bydlení, zhoršuje mezilidské vztahy a bývá předmětem stížností. Snížená kvalita bydlení vlivem hluku bývá spojená také s omezením větrání okny s cílem utlumit hluk výplní oken. Takové opatření však vede ke zhoršení kvality vzduchu v interiérech, v létě pak znemožňuje chlazení příbytků nočním průvanem. Jistě, hluku se lze bránit oněmi „špunty do uší“, pro spánek je jako nouzové opatření je velmi doporučováno. Mírné nepohodlí při usínání je odměněno klidným spánkem včetně patřičných REM-fází, nezbytných také k zapamatování předtím učených informací.

Hluk je opak ticha, které je pro spánek potřeba stejně jako přírodní noční tma.

Účinky ultrazvuku a „infrazvuku“

Zdravotní důsledky zvuků o frekvencích, které člověk neslyší, jsou oproti zvukům, které vnímáme jako sluchový vjem, většinou nevýznamné. Šíření ultrazvuku (frekvence nad 20 kHz, tedy vlnové délky pod 1,7 cm) brání i relativně malé překážky, nicméně při pobytu člověka v přímém působení vysoce energetického ultrazvuku (výhradně průmyslové použití) hrozí závažné škody na zdraví (poškození sluchu, systémová poškození organismu, smrt).

Účinky infrazvuku, což jsou konvenčně frekvence pod 20 Hz nebo 16 Hz⁴, jsou patrně stejné jako účinky nad touto frekvencí. Ve skutečnosti totiž lze slyšet i frekvence o několika hertzech, jen práh jejich slyšitelnosti stoupá postupně až nad 100 dB (*Maijala et al. 2020, str. 4*). A už v nich nejsou poznat tóny. Dokud jejich hladina intenzity nedosáhne prahu slyšitelnosti, který je ovšem velmi individuální, samy o sobě nevadí. Mohou jen modulovat svou frekvencí pocit hlasitosti u dosti hlubokých zvuků v pásmu Velké oktávy (sahající od 65 Hz do 123 Hz)⁵, což může být rušivé. Případů, kdy je infrazvuk zvenčí sluchem vnímán, je málo, jde např. o blízkost mostů rezonujících pod těžkou dopravou. Častější jsou případy silných zdrojů uvnitř budov (větrací systémy, různé stroje). Ty může tělo samozřejmě vnímat i jako vibrace přenášené kostrou, bez vlivu na sluch (*Moyano a Lezcano, 2020*). Samostatně o vlivu větrných turbín, který je zřejmě, pokud jde o samotný (infra)zvuk, hygienicky bezvýznamný hovoří např. *van Kamp a van den Berg (2020)*.

Ochrana před hlukem

Opatření k ochraně před hlukem mohou být navržena v rovině technické, organizační a individuální:

- a) Technická opatření: spočívají v samotném odstranění zdroje hluku z prostředí člověka. Jedná se zpravidla o volbu takového technického řešení, které je spojeno s menší emisí hluku do prostředí. V oblasti dopravy se může jednat o úpravu nebo změnu pohonu vozidel; lidé je ovšem často detekují právě dle hluku motoru a tichého elektromobilu si nemusí všimnout, což může mít zlé následky. Prodej velkých domácích spotřebičů je v současnosti neodmyslitelně spojen s údajem o hlučnosti na energetickém štítku spotřebiče při běžném provozu, v průmyslu je samozřejmostí volba méně hlučných technologií nebo odhlučňených strojů a zařízení všude tam, kde je to možné. Při uvědomění si, že hluk je vlastně šířením mechanických

⁴ subkontra dis nebo subkontra c, vlnová délka 2 m

⁵ viz např. <https://pages.mtu.edu/~suits/notefreqs.html>

kmitů v prostředí, pak už pouhé snížení počtu volně pohyblivých součástí stroje nebo jeho pružné ukotvení k podložce přináší podstatný efekt ke snížení hlučnosti.

- b) Organizační opatření jsou velmi často doplňkem opatření technických. Asi k nejdůležitějším lze počítat časové omezení hlučných provozů, vč. např. kulturních, společenských a zábavních akcí, respektování doby tzv. nočního klidu obvykle mezi 22. a 06. hodinou, změna organizace dopravy ve městech apod. Velmi účinným opatřením je snížení povolené rychlosti. Zejména v noci, vytvoří-li se inverze, může být hluk z dálnice velmi rušivý i ve vzdálenosti kilometrů, a snížení rychlosti alespoň na 90 km/h emise sníží řádově (je to běžná praxe v Rakousku). Jelikož účinek hluku na sluchový orgán je úměrný množství absorbované energie, změna organizace práce v podnicích, v nichž se využívají hlučná zařízení, např. zkrácení pracovní směny nebo přechod k méně hlukově exponované práci po určitou část pracovní směny, může výrazně přispívat k ochraně zdraví osob.
- c) Individuální opatření bývají často na prvním místě při průmyslových aplikacích. Sluch osob profesně exponovaných hluku lze účinně chránit chrániči sluchu, které dle intenzity hluku mohou mít podobu ušních zátek, kochleárních chráničů, v extrémních případech až přileb, které zamezují i kostnímu vedení zvuku. V mimopracovním prostředí mají individuální opatření nezřídka povahu opatření organizačních, protože spočívají ve změně trávení volného času v místech, které jsou hluku vystavena méně, zkrácení času spojeného s volnočasovými aktivitami, které produkují hluk (travní sekačky, kutilství), vytvoření alespoň jedné, před hlukem chráněné prostory ve vnitřních dispozicích bytu.

Literatura:

- Kamp, I. van, a G. P. van den Berg. 2020. „Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update". Report. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://rivm.openrepository.com/handle/10029/624452>**Chyba! Odkaz není platný.**
- Maijala, Panu, Anu Turunen, Ilmari Kurki, Lari Vainio, Satu Pakarinen, Crista Kaukinen, Kristian Lukander, et al. 2020. „Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines". Sarjajulkaisu. valtioneuvoston kanslia. 22. červen 2020. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162329>**Chyba! Odkaz není platný.**
- Moyano, David Baeza, a Roberto Alonso González Lezcano. 2020. „Effects of infrasound on health: Looking for improvements in housing conditions." *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 0 (ja): 1–34. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1831787>**Chyba! Odkaz není platný.**
- Wu Pei-zhe, O'Malley, Jennifer T. de Gruttola Victor a Liberman M. Charles, 2020: „Age-Related Hearing Loss Is Dominated by Damage to Inner Ear Sensory Cells, Not the Cellular Battery That Powers Them“ *Journal of Neuroscience*, 40 (33) 6357-6366. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0937-20.2020>