



(Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky)

Akustický vplyv veterných elektrární

Vedecká reakcia na správu „Veterný park Drahovce - akustické posúdenie projektu ako podklad pre správu o hodnotení“ (č. N24_036), ktorú vypracovalo skúšobné laboratórium Avekol, Žilina, Slovensko.

Dokument IARO25-5

Júl 2025

Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky

IARO je medzinárodná skupina výskumníkov, ktorej poslaním je skúmať akustické prostredie, najmä s ohľadom na vlastnosti, ktoré ovplyvňujú ľudí a zvieratá, a publikovať výsledky. IARO je držiteľom etického schválenia pre CSI-ACHE, občiansko-vedeckú iniciatívu zameranú na akustickú charakteristiku ľudského prostredia, ktorej výsledky sa verejne šíria.

Kontakty:

IARO, 37 Weston Ave, Palmerston North, 4414, Nový Zéland

Tel: +64 21 033 6528

E-mail: HuubBakker@smart-technologies.co.nz

Autori *(v abecednom poradí)*

Mariana Alves-Pereira, PhD., Univerzita Lusofona, Lisabon, Portugalsko

Huub Bakker, PhD., IARO, Palmerston North, Nový Zéland

Rachel Summers, IARO, Palmerston North, Nový Zéland

PodĎakovanie

Autori tejto správy by chceli vyjadriť vďaku za dlhoročnú pomoc Dr. Bruceovi Rapleymu zo spoločnosti Sound Analytics pri vývoji technológie SAM, ktorá vygenerovala všetky nahrávky použité na vytvorenie tejto správy. Autori by tiež chceli oceniť mnohé poznatky, ktoré im poskytol Les Huson zo spoločnosti L Huson & Associates, a rozsiahle skúsenosti v oblasti akustiky, ktoré im sprístupnil Dr. Philip Dickinson, vedúci výskumný pracovník IARO.

OBSAH

ZHRNUTIE	4
A. ÚVOD	5
I. Pozadie	5
II. Cieľ	5
III. Vyhlásenie o odmietnutí zodpovednosti	5
IV. Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky, IARO	6
V. Skratky a premenné použité v správach IARO	6
B. CELKOVÝ PREHĽAD	7
C. PRÍPUSTNÉ HODNOTY	8
D. FREKVENČNÝ VÁHOVÝ FILTER „A“ (DBA)	9
E. S FREKVENČNÝM VÁHOVÝM FILTROM „A“ A BEZ NEHO	13
F. S FREKVENČNÝM VÁHOVÝM FILTROM „G“ A BEZ NEHO	17
G. HLUK Z VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ	21
I. Počuteľný hluk	21
II. Aerodynamický hluk	21
H. MERANIE HLUKU VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ POMOCOU MODERNÝCH TECHNÍK	23
I. Zvyšovanie spektrálneho a časového rozlíšenia	23
II. Akustické signatúry veterných turbín	23
III. S akustickými signatúrami veterných turbín a bez nich	28
I. HYPOTÉZA PSYCHOSOMATICKEJ ETIOLÓGIE	32
J. ZÁVERY	36
K. ODPORÚČANIA	37
I. Akustika	37
II. Verejné zdravie	37
III. Zdravie hospodárskych zvierat	38

PRÍLOHA A: PREKLAD SPRÁVY AVEKOLU DO ANGLIČTINY

PRÍLOHA B: 2023 VEDECKÁ PUBLIKÁCIA: „VYSTAVENIE INFRAZVUKU: MERANIA S VYSOKÝM ROZLIŠENÍM V BLÍZKOSTI VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ.“

PRÍLOHA C: 2025 VEDECKÁ PUBLIKÁCIA: „VZŤAH DÁVKY A ODOZVY PRI VYSTAVENÍ HLUKU PRI PRÁCI: „ODOZVA NA HLUK: SKRESLENÁ KVANTIFIKÁCIA DÁVKY, KTORÁ DEZINFORMUJE LEKÁRSKU KOMUNITU“.

ZHRNUTIE

1. V máji 2025 sa na vedeckých pracovníkov z organizácie IARO obrátila inžinierka Jana Michalková, zastupujúca Občianske združenie Pokojný vietor [O.Z. Pokojný vietor], Drahovce, Slovensko, so žiadosťou o posúdenie správy vypracovanej skúšobným laboratóriom Avekol, Žilina, Slovensko (správa č. N24_036), s názvom: „Veterný park Drahovce - akustické posúdenie projektu ako podklad pre správu o hodnotení: Výpočet hluku a vytvorenie hlukových máp“.
2. Správa spoločnosti Avekol sa pri akustickom hodnotení úzko drží všetkých príslušných vyhlášok a noriem týkajúcich sa hluku.
3. Tým sa do predpovede vplyvu veternej elektrárne (VTE) Drahovce na zdravie a pohodu okolitých obyvateľov a hospodárskych zvierat vnášajú hlboké vedecké nedostatky.
4. Tieto hlboké vedecké nedostatky sú zakotvené vo vyhláške Ministerstva zdravotníctva SR (č. 549/2007 Z. z.), ktoré následne hlboko dezinformujú, zavádzajú a klamú štátnych úradníkov, rozhodovaciu hierarchiu a širokú verejnosť, pokiaľ ide o účinky akustického výkonu VTE na zdravie okolitých obyvateľov a hospodárskych zvierat.
5. Vedecký základ pre toto tvrdenie je uvedený v tejto správe a jeho účelom je poučiť laikov.
6. Techniky počítačového modelovania na hodnotenie hluku emitovaného VTE sú väčšinou založené na číselných údajoch vyjadrených v decibeloch vážených stupňom A (dBA), čo znamená, že sa berie do úvahy len malá časť akustického prostredia, a to počuteľnejšia časť spektra.
7. Používanie decibelov s váhou G (dBG), ktoré údajne chráni pred obťažovaním, nie je v súlade s definíciami, ktoré predložila Slovenská zdravotnícka organizácia v súvislosti s nepriaznivými účinkami na zdravie spôsobenými vystavením hluku.
8. Najdôležitejšie akustické výstupy VTE, ktoré sú pre ľudské zdravie škodlivé, sú obsiahnuté v infrazvukových a nízkofrekvenčných zložkách akustického spektra a tie nie sú kvantifikované ani frekvenčnými váhovými filtrami A, ani G.
9. Túto skutočnosť nezohľadňujú techniky počítačového modelovania ani vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR (č. 549/2007 Z. z.), ani smernice EÚ, ani normy ISO.
10. V prípade výstavby VTE Drahovce sa navrhujú odporúčania pre štátnych úradníkov zodpovedných za ochranu verejného zdravia občanov SR, ako aj pre širokú verejnosť susediacu s VTE.

A. ÚVOD

I. Základné informácie

11. V máji 2025 sa na vedeckých pracovníkov organizácie IARO obrátila inžinierka Jana Michalková, zastupujúca Občianske združenie Pokojný vietor [O.Z. Pokojný vietor], Drahovce, Slovensko, so žiadosťou o preskúmanie správy vypracovanej skúšobným laboratóriom Avekol, Žilina, Slovensko (správa č. N24_036), s názvom: „Veterný park Drahovce - akustické posúdenie projektu ako podklad pre správu o hodnotení: Výpočet hluku a vytvorenie hlukových máp“.
12. Ing. Jana Michalková poskytla vedcom organizácie IARO anglický preklad správy, ktorý tvorí prílohu A k tejto správe IARO.

II. Cieľ

13. Cieľom je zabezpečiť vedeckú revíziu správy spoločnosti Avekol a súčasne vedecky informovať rozhodovacie hierarchie a širokú verejnosť o akustickom výkone veterných elektrární a ich účinkoch na ľudské biosystémy.

III. Vyhlásenie o odmietnutí zodpovednosti

- a. Predkladaná správa má len jeden cieľ, a to čisto vedecký výskum.
- b. Autori tejto správy neprechováajú voči technológiám a veternej energii negatívne emócie.
- c. Táto vedecká revízia sa v žiadnom prípade nemôže a nemá vykladať ako dokument, ktorý obhajuje alebo odmieta realizáciu veterných elektrární alebo akéhokoľvek iného typu infraštruktúry či priemyselných komplexov, ktoré vytvárajú akustické znečistenie.
- d. Členovia IARO a autori tejto správy nemajú žiadny finančný záujem na technológii SAM, ktorá bola použitá na získanie väčšiny údajov uvedených v tejto správe.

IV. Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky IARO

14. Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky (IARO) predstavuje skupinu vedcov, ktorí majú spoločne viac ako 200 rokov vedeckých skúseností v oblasti infrazvuku a nízkofrekvenčného hluku a jeho účinkov na ľudské zdravie. Od roku 2016 výskumníci IARO zaznamenávajú a analyzujú akustické údaje v domoch a v okolí domov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti pobrežných veterných elektrární v týchto krajinách (v abecednom poradí): Anglicko, Austrália, Dánsko, Estónsko, Francúzsko, Holandsko, Írsko, Kanada, Nemecko, Nový Zéland, Portugalsko, Severné Írsko, Slovinsko a Škótsko. Pred rokom 2016 pracovali už všetci vedci z IARO buď len v oblasti akustiky, alebo v oblasti akustiky a zdravia. Všetok výskum, ktorý vykonáva IARO, je súčasťou občiansko-vedeckej iniciatívy pre akustickú charakteristiku ľudského prostredia (CSI-ACHE).

V. Skratky a premenné používané v správach IARO

15. V tabuľke 1 sú uvedené skratky a premenné často používané v správach IARO.

Tabuľka 1. Skratky a premenné, ktoré sa môžu objaviť v správach IARO

dB	Decibel nevážený	(miera hladiny akustického tlaku)
dBA	Decibel A – vážený	(miera hladiny akustického tlaku)
dBG	Decibel G – vážený	(miera hladiny akustického tlaku)
Hz	Hertz	(miera frekvencie)
ILFN	Infrazvuk a nízkofrekvenčný hluk	
VT	Veterná turbína	
SPL	Hladina akustického tlaku	
WHO	Svetová zdravotnícka organizácia	
VTE	Veterná elektrárň	
ASVT	Akustická signatúra veternej turbíny	

B. CELKOVÝ PREHĽAD

16. Správa spoločnosti Avekol je jednou z najkomplexnejších a najprísnejších, ktoré mali vedci IARO možnosť posúdiť.
17. Správa spoločnosti Avekol je v súlade so všetkými ustanoveniami príslušných noriem ISO a vyhlášky Ministerstva zdravotníctva SR č. 549/2007 Z. z.
18. Akustickí inžinieri zamestnaní spoločnosťou Avekol preto dospeli k záveru, že „Vzhľadom na vzdialenosť elektrárne Drahovce od najbližších chránených objektov nehrozí ich ovplyvnenie infrazvukom (...)“. (s. 30, príloha A).
19. Akustikom na celom svete sa tvrdí, že ak sa budú správne uplatňovať vyhlášky a usmernenia zverejnené vládnyimi orgánmi, populácia ľudí a zvierat bude primerane chránená pred hlukovou agresiou.
20. Žiaľ, nie je to pravda.
21. Nie je však povinnosťou akustikov hodnotiť, či metodiky, ktoré im tieto vládne orgány ukladajú, sú naozaj vhodné na posúdenie účinkov na okolité ľudské biosystémy. To je doménou lekárov.
22. Prevažná väčšina akustikov nie sú lekári.
23. Prevažná väčšina akustikov sa dôkladne riadi metodikami, ktoré im ukladajú vládne orgány.
24. Tieto metodiky nie sú vhodné na hodnotenie potenciálnej hrozby infrazvukovej kontaminácie obytných oblastí, najmä takej, ktorú generujú rotujúce veterné turbíny (VT).
25. Vedecké dôkazy, ktoré toto tvrdenie opodstatňujú, sú uvedené v ďalších častiach.
26. Vedci IARO by chceli zopakovať, že táto (medzinárodná) situácia v žiadnom prípade neodzrkadľuje profesionalitu akustických inžinierov, ktorí vypracovali správu za Avekol.
27. Táto situácia však odráža neschopnosť vládnych zdravotníckych orgánov, ktoré sú zodpovedné za verejné zdravie, chrániť svojich občanov pred týmto infrazvukovým pôvodcom chorôb.
28. Vedecké dôkazy, ktoré uvedené tvrdenie opodstatňujú, sú uvedené aj v ďalších častiach.

C. PRÍPUSTNÉ HODNOTY

29. Komplexná povaha vedy o akustike sa často využíva na zahmlievanie dôležitých parametrov, ktoré sú dôležité pre ľudské zdravie.
30. Mnohé zo správ, ktoré pripravili vedci IARO, sú určené na posúdenie pre osoby s rozhodovacími právomocami a širokú verejnosť, pričom obidve tieto skupiny sú vo všeobecnosti v oblasti akustiky laikmi.
31. Vedci IARO preto často používajú obrázky na objasnenie zložitejších aspektov danej problematiky.
32. Na základe zavedených metodík, konkrétne vyhlášky Ministerstva zdravotníctva SR č. 549/2007 Z.z., správa Avekolu uvádza:

Pre riešenú situáciu boli použité tieto prípustné hodnoty pre hluk z iných zdrojov, kategória územia II. a III.

$$L_{Aeq,p}(\text{deň}) = 50 \text{ dB} \quad L_{Aeq,p}(\text{večer}) = 50 \text{ dB} \quad L_{Aeq,p}(\text{noc}) = 45 \text{ dB}$$

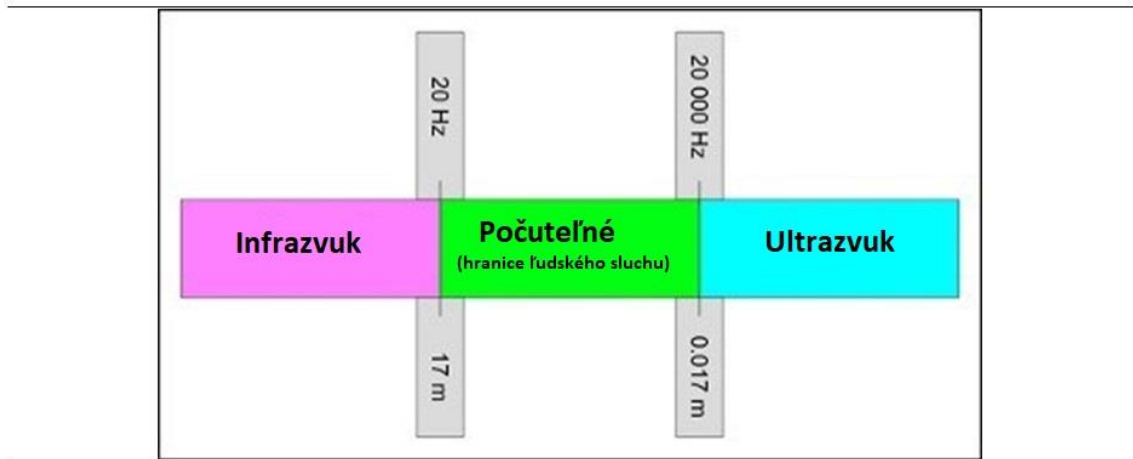
Pre infrazvuk bola na posúdenie vplyvu infrazvuku na okolie VP Drahovce použitá prípustná hodnota $L_{Geqv,1h,p} = 90 \text{ dB}$ pre vnútorné prostredie s tým, že pokiaľ táto hodnota bude splnená s dostatočnou rezervou aj vo vonkajšom prostredí, potom bude splnená aj vo vnútornom prostredí chránených objektov.

Obrázok č. 1. Čiastočná reprodukcia časti 3.1 *Prípustné hodnoty* (s. 5 - 6). [Poznámka: „VP“= veterný park]

33. Čo tieto čísla v skutočnosti znamenajú?

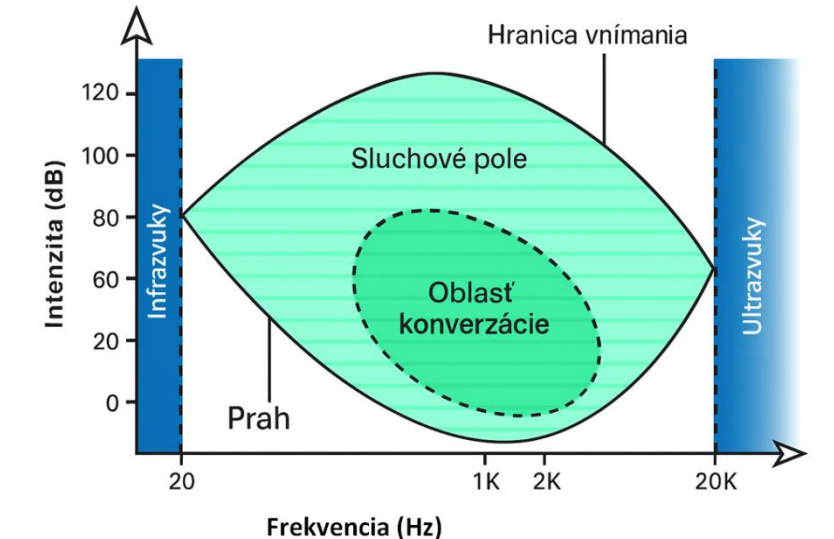
D. FREKVENČNÝ VÁHOVÝ FILTER „A“ (DBA)

34. Metodiky, ktoré sa dnes akustikom vnucujú, sa považovali za najmodernejšie približne pred 100 rokmi.
35. Nadmerné vystavenie hluku sa vždy spájalo s rizikom poškodenia sluchu alebo dokonca hluchoty.
36. Preto vedecká komunita navrhla približne pred 100 rokmi spôsob, ako sa zamerať na frekvenčný rozsah, ktorý najviac ovplyvňuje ľudský sluch.
37. Klasicky sa predpokladá, že ľudia môžu vnímať akustické javy ako „zvuk“ vo frekvenčnom rozsahu 20 Hz až 20 000 Hz, hoci niektorí autori navrhujú pre infrazvuk hranicu 16 Hz (pozri obrázok č. 2).



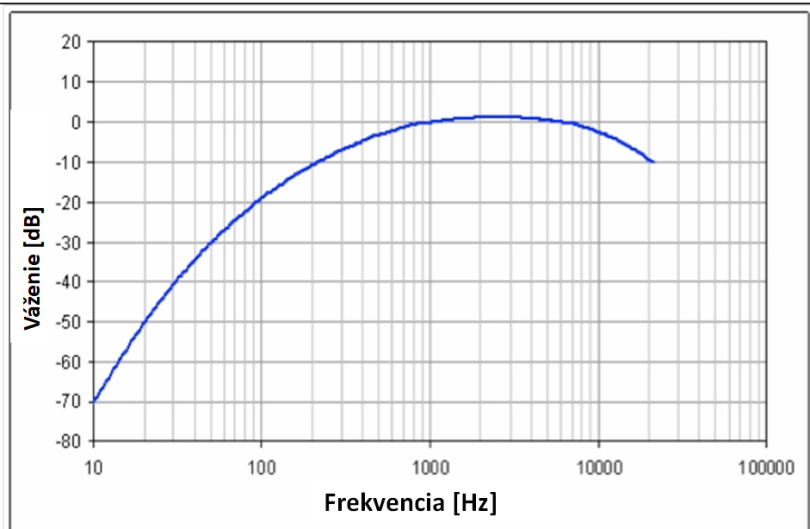
Obrázok č. 2. Akustické spektrum. Segmentácia zodpovedajúca počuteľným a nepočuteľným (infrazvuk a ultrazvuk) frekvenciám. Pri 20 Hz je vlnová dĺžka akustickej tlakovej vlny 17 m. Pri 20 000 Hz je vlnová dĺžka 0,017 m.

38. V rozsahu 20 až 20 000 Hz má však ľudský sluch rôznu citlivosť.
39. Ľudské dieťa napríklad plače pri frekvencii 3500 Hz a profesionálna hluchota sa kvantifikuje pri záreze 4000 Hz.
40. Na obrázku č. 3 sú znázornené krivky citlivosti ľudského sluchu, ktoré dokazujú, že to, čo „počujeme ako zvuk“, je nelineárna kombinácia frekvencie a hladiny akustického tlaku.



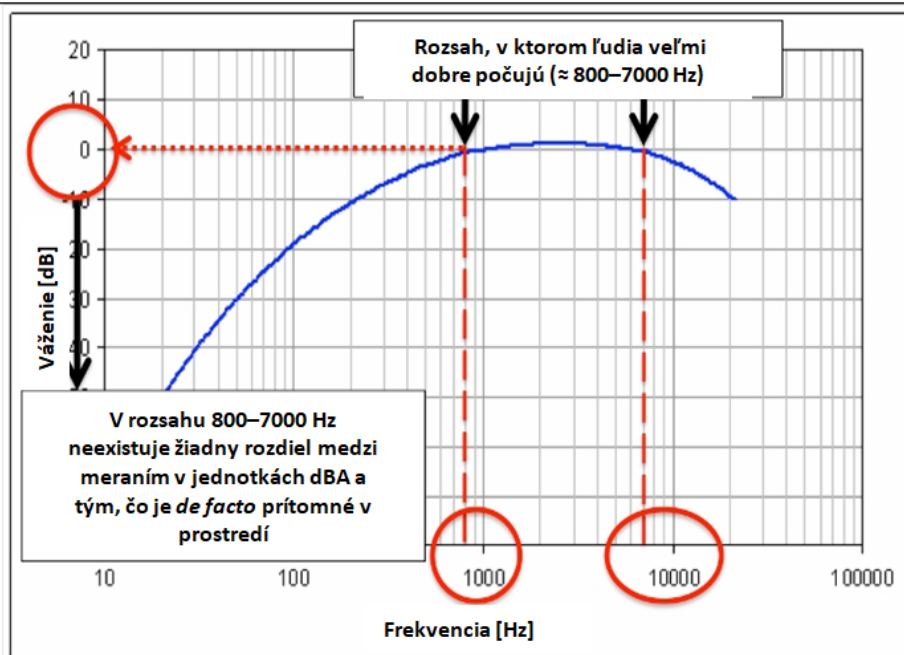
Obrázok č. 3. Citlivosť človeka na zvuk v závislosti od frekvencie a intenzity (t. j. hladiny akustického tlaku v dB). Ľudia sú najcitlivejší na zvuk v rozsahu 800 - 7 000 Hz. Na to, aby sa akustická udalosť vnímala ako „zvuk“, je v tomto rozsahu potrebná najmenšia hladina akustického tlaku (dB). Pri nižších frekvenciách sú potrebné väčšie hladiny akustického tlaku, aby akustickú udalosť bolo možné „počuť“.

41. V prvých dňoch ochrany ľudí pred hlukom sa pozornosť sústredila výlučne na to, čo je „počuť“.
42. To viedlo k známemu, ale veľmi chybnému stanovisku: „čo nepočuješ, nemôže ti ublížiť“.
43. Pre vedcov z oblasti medicíny a akustiky bolo preto potrebné to, aby boli schopní merať len tú časť zvukového prostredia, ktorá spôsobuje poškodenie sluchu alebo hluchotu.
44. K tomu dochádzalo súčasne s vývojom telefónu, pre ktorý malo pochopenie vnímania zvuku tiež zásadný význam.
45. Z týchto dôvodov bol vyvinutý frekvenčný filter „A“, založený na Fletcher Munsonových krivkách, ktoré boli vytvorené pre telefonovanie.
46. Pri použití tohto filtra „A“ sa hladiny akustického tlaku vyjadrujú v dB(A).
47. Ako vidieť na obrázku č. 1, „prípustné hodnoty hluku“ (pre deň, večer a noc) sú uvedené ako L_A
48. To znamená, že všetky číselné hodnoty (50 pre deň a večer a 45 pre noc) sa zohľadňujú pri použití frekvenčného váhového filtra „A“.
49. Na obrázku č. 4 je znázornená krivka frekvenčnej odozvy pre tento frekvenčný váhový filter „A“.

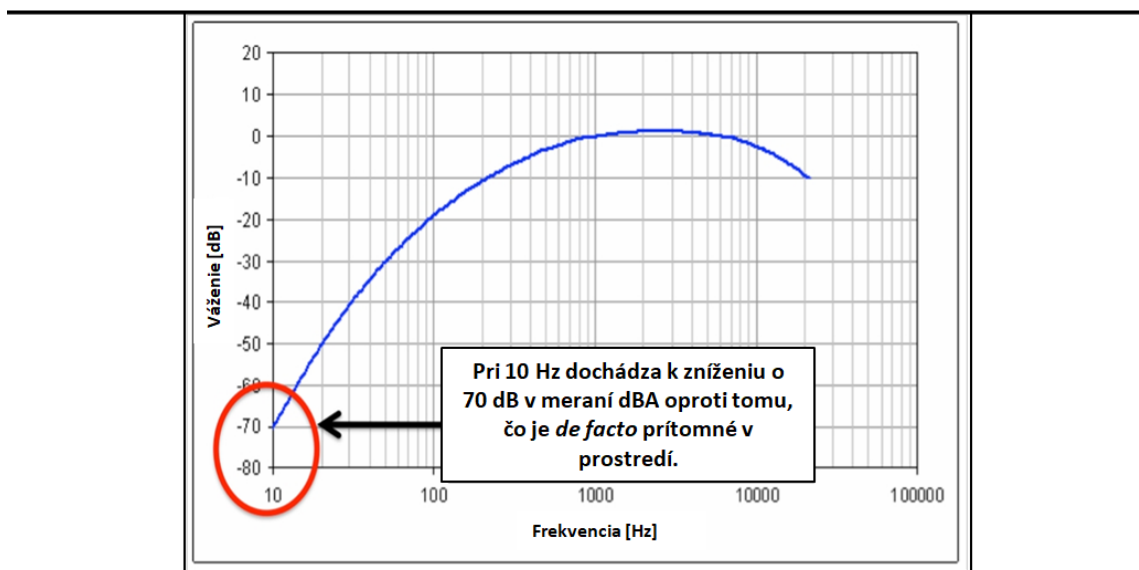


Obrázok č. 4. Krivka frekvenčnej váhovej odozvy filtra „A“.

Čo to znamená? Pozri obrázok č. 5 a obrázok č. 6.



Obrázok č. 5. Frekvenčný rozsah, v ktorom majú ľudia najvyššiu ostrosť, je 800-7000 Hz. Práve v tomto rozsahu potrebujú ľudia ochranu pred hlukom najviac. Preto je v celom tomto špecifickom frekvenčnom rozsahu váha NULA. Hodnoty namerané pomocou frekvenčného váhového filtra A odrážajú fyzikálnu realitu v tomto rozsahu 800 až 7000 Hz.

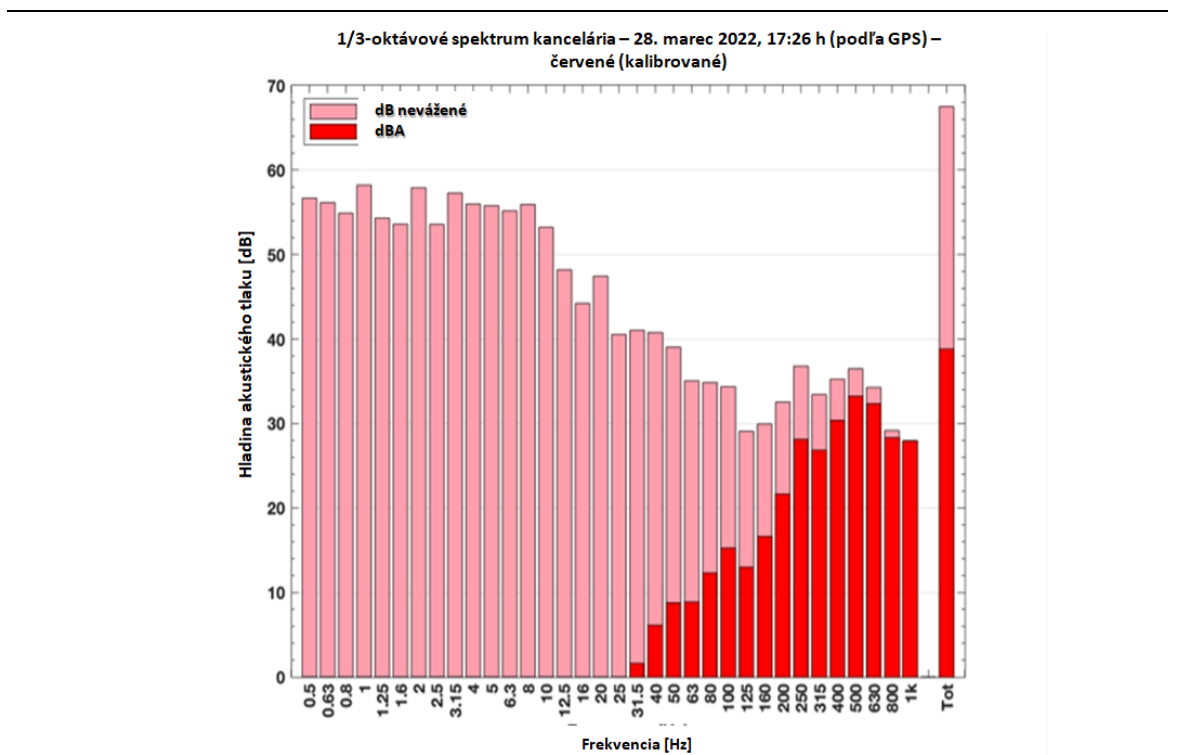


Obrázok č. 6. Keď sa na frekvencie v infrazvukovom rozsahu použije frekvenčný váhový filter A, namerané hodnoty neodrážajú fyzikálnu realitu. V tomto prípade je pri použití tohto filtra na meranie hladín akustického tlaku pri frekvencii 10 Hz rozdiel medzi nameranými hodnotami a fyzickou realitou 70 dB.

50. Preto, keď sú prípustné hladiny vyjadrené v $L_{A...}$, výslovne sa uvádza, že bol použitý frekvenčný váhový filter A, t. j. hodnotí sa len malá časť zvukového prostredia – tá časť, ktorá spôsobuje poškodenie sluchu alebo hluchotu.
51. Prípustné hodnoty uvedené na obrázku č. 1 vychádzajú z chybného predpokladu, že „čo nepočujete, to vám nemôže ublížiť“.

E. S FREKVENČNÝM VÁHOVÝM FILTROM „A“ A BEZ NEHO

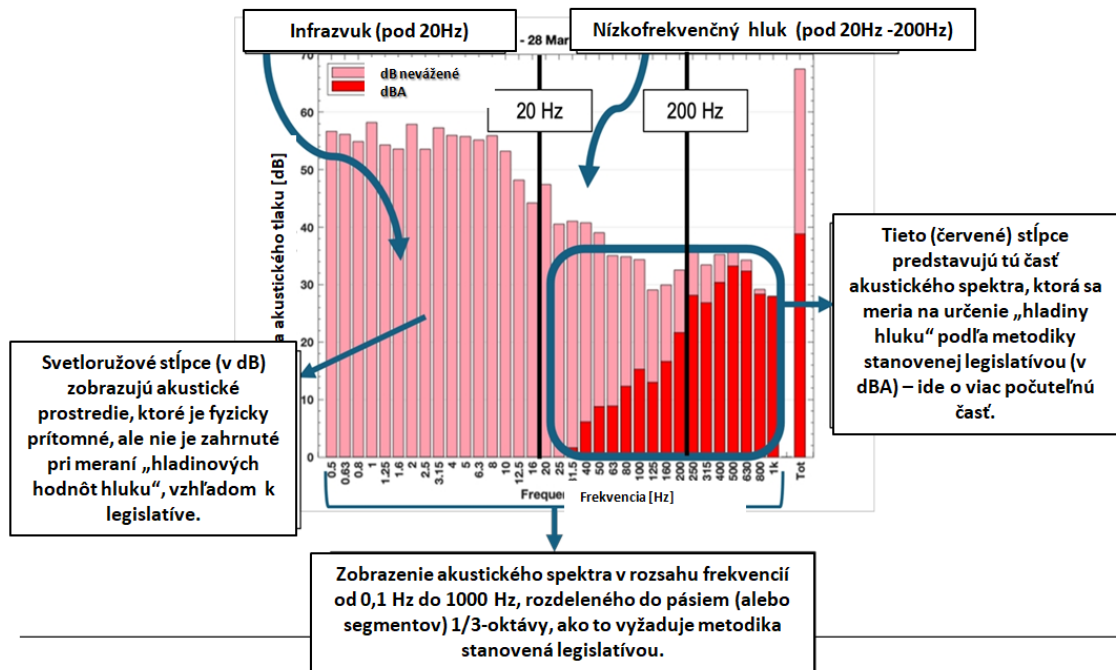
52. Vedci IARO zhromažďujú od roku 2016 akustické záznamy s vysokým rozlíšením nahrané v mnohých rôznych krajinách, v domoch susediacich s veternými elektrárnami (pozri bod 14.).
53. Na **obrázku č. 7** je znázornený príklad týchto záznamov, ktoré boli urobené v dome v blízkosti veternej elektrárne, s (povinným) použitím frekvenčného váhového filtra A – červené stĺpce (dBA) – a bez použitia akéhokoľvek filtra - ružové stĺpce (dB bez váženia).



Obrázok č. 7. Frekvenčné rozloženie s rozlíšením 1/3 oktávy (pozri text nižšie) 10-minútového (spriemerovaného) záznamu. Mikrofón bol umiestnený v pracovni domu susediaceho s veternou elektrárnou (Škótsko, marec 2022¹). Červené pruhy označujú (malú) časť akustického prostredia, ktorá sa vyhodnocuje pri použití frekvenčného váhového filtra A. Ružové stĺpce odrážajú fyzikálne zvukové prostredie, ktoré je v skutočnosti prítomné, t. j. nevážené meranie. Posledný stĺpec na pravej strane grafu (označený ako „Tot“) predstavuje celkovú hladinu hluku vyjadrenú v dBA (červený stĺpec, menej ako 40 dBA) a v dB bez váženia (ružový stĺpec, nad 60 dB).

¹ Celá správa je k dispozícii na: <https://iaro.org.nz/wp-content/uploads/2024/04/Rural-Farm-Report-Scotland-2023-FINAL-Apr-2024.pdf>

54. **Obrázok č. 8** je výučbovým znázornením **obrázka č. 7**, pričom poukazuje na tie časti grafu, ktoré sú dôležité pre pochopenie danej problematiky.



Obrázok č. 8. Vzdelávacie znázornenie obrázka č. 7 s poukázaním na tie časti grafu, ktoré sú dôležité pre pochopenie danej problematiky. Ide o znázornenie rozloženia akustickej energie vo frekvenčnom spektre v prostredí na základe priemeru 10-minútového merania. Infrazvuk (pod 20 Hz) a nízko-frekvenčný hluk (20 - 200 Hz) zodpovedajú vyznačeným frekvenčným rozsahom. Červené stĺpce znázorňujú hladinu hluku nameranú použitím frekvenčného filtra A (dBA), ako to vyžaduje legislatíva². Ružové stĺpce odrážajú akustické prostredie, ktoré je fyzicky prítomné, merané bez použitia filtrov (dB bez váženia), čo však legislatíva nevyžaduje.

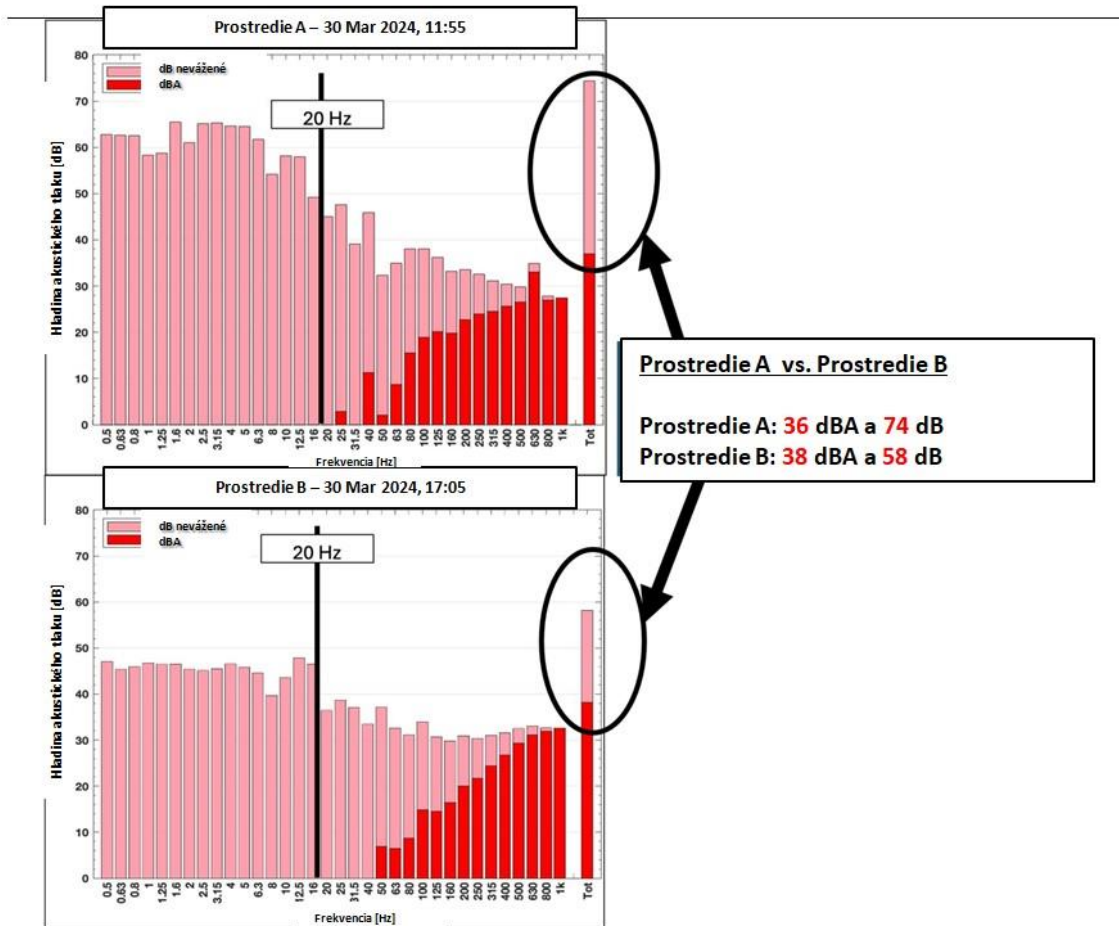
55. Ako vidno, údaje, ktoré získajú akustici pri použití metodík nariadených vládnymi orgánmi (ako napríklad váhový filter frekvencie A), sú veľmi obmedzené - červené stĺpce na obrázku č. 7.
56. Keď sa nepoužije žiadny filter (bez váženia), t. j. keď je v celom frekvenčnom spektre NULOVÉ váženie (pozri obrázok č. 5), získajú sa pravdivejšie hodnoty fyzikálnej reality - ružové stĺpce na obrázku č. 7.

² Tu je znázornený len rozsah 0,5 - 1 000 Hz, pretože nad 1 000 Hz sú hladiny zvuku s váženým filtrom A a hladiny zvuku bez váženého filtra v podstate rovnaké.

57. Ako je vysvetlené vyššie v časti D, celá táto metodika je dnes súhrnne (ak nie ľahkovážne) odôvodnená historickým predpokladom: „čo nepočuješ, nemôže ti ublížiť“.
58. Dôsledky tejto obmedzujúcej metodiky sú ďalekosiahlejšie než len extrémne znížené a skreslené množstvo získaných akustických údajov.
59. V lekárskejších vedách má vzťah DÁVKA – ODOZVA základný význam, ktorý sa vzťahuje na jedy, lieky, fyzickú silu, t. j. na akýkoľvek činiteľ (fyzikálny, biologický, chemický alebo psychosociálny), ktorý môže vyvolať merateľnú a objektívnu biologickú odozvu (neškodnú alebo škodnú).
60. V lekárskejších vedách sa meranie „hluku“ rovná kvantifikácii množstva DÁVKY pôvodcu choroby („hluku“), ktorému je človek vystavený.
61. Napríklad prípustné hladiny hluku v pracovnom prostredí boli stanovené na základe DÁVKY potrebnej na zabránenie vzniku hluchoty.
62. V prípade navrhovanej veternej elektrárne v Drahovciach je DÁVKA, ktorá sa považuje za prípustnú, uvedená na obrázku č. 1.
63. Je to vedecky platné v rámci lekárskejších vied, t. j. pokiaľ ide o ľudské zdravie?
64. Táto otázka je mimo zodpovednosti a pôsobnosti akustických inžinierov, ktorí len uplatňujú metodiku nariadenú vládnyimi orgánmi.
65. Je však plne v kompetencii lekárskej obce, ktorá je zodpovedná za verejné zdravie občanov Slovenska.
66. **Obrázok č. 9** znázorňuje, ako metodiky nariadené vládnyimi orgánmi znemožňujú rozlíšiť dve výrazne odlišné akustické prostredia – veľmi problematická situácia pre lekársku obec.
67. Príklad na **obrázku č. 9** znázorňuje dve akustické prostredia s „ekvivalentnými hladinami hluku“: 36 dBA a 38 dBA³ – hlboko pod požiadavkou na dennú hladinu hluku uvedenú na obrázku 1.
68. V skutočnosti však ide o výrazne odlišné akustické prostredia s neváženými (t. j. nefiltrovanými) hladinami hluku 74 dB a 58 dB, a teda ich nemožno považovať za porovnateľné prostredia. A čo je ešte dôležitejšie, klinické reakcie spôsobené vystavením týmto dvom rôznym hladinám hluku môžu byť tiež značne odlišné.

³ V logaritmickej stupnici dB pre akustický tlak (ref: 20 mikropascalov) sa amplitúda akustického tlaku zdvojnásobuje každých 6 dB.

69. Je vidieť, že väčšina akustickej energie v prostredí A je väčšinou pod 20 Hz, t. j. v infrazvukovom pásme, a napriek tomu je to prostredie s najnižšou „hladinou hluku“ nameranou pomocou frekvenčného váhového filtra A.



Obrázok č. 9. Frekvenčné rozloženie (rozlíšenie 1/3 oktávy) dvoch akustických prostredí, znázornené ako 10-minútové priemery. Mikrofón bol umiestnený vo vnútri prístrešku pre zvieratá susediaceho s veternými elektrárnami (Portugalsko, marec 2024)⁴. Obe merania sa uskutočnili s mikrofónom v rovnakej polohe, ale v rôznych denných časoch: Prostredie A o 11:55 h a prostredie B o 17:05 h. Posledný stĺpec na pravej strane každého z grafov (v čiernom kruhu) predstavuje celkovú hladinu hluku vyjadrenú v dBA (červený stĺpec) a v nevážených dB (ružový stĺpec). Podobnosť hodnôt pri vyjadrení v dBA vedie väčšinu hlavných vedcov k presvedčeniu, že ide o akusticky porovnateľné prostredia (36 a 38 dBA). V skutočnosti sa však výrazne líšia, ako dokazujú ich hladiny zvuku a rozloženie frekvencií v nevážených dB: 74 vs. 58 dB.

⁴ Akustické údaje uvedené na tomto obrázku sú reprodukovanie z článku uverejneného v recenzovanom portugalskom technickom časopise: Sousa-Pereira P, Bakker HHC, Alves-Pereira M. (2024) [The dose-response relationship in occupational noise exposures.] Revista Segurança, 271: 13-18. https://www.researchgate.net/publication/387127796_A_Relacao_Dose-Resposta_no_Ruido_Ocupacional

F. S FREKVENČNÝM VÁHOVÝM FILTROM „G“ A BEZ NEHO

- 70.** Problém s infrazvukovou kontamináciou obytných oblastí sa neobjavil s nástupom veternej energie.
- 71.** V Ruskej federácii boli v 80. rokoch minulého storočia stanovené právne predpisy pre prípustné hladiny vystavenia infrazvuku v pracovnom aj obytnom prostredí. **Obrázok č. 10** reprodukuje tieto hodnoty v podobe, v akej existovali v roku 2001.

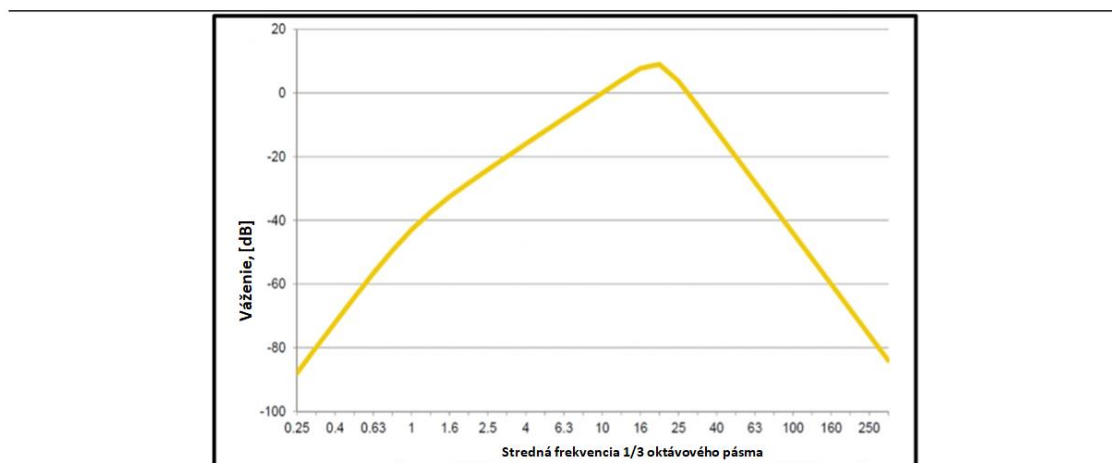
Priestory	Hladiny akustického tlaku, dB, v oktaválnych pásmach priemerných geometrických frekvencií, Hz				Všeobecná hladina akustického tlaku dB „Lin“
	2	4	8	16	
Rôzne práce vnútri priemyselných a výrobných priestorov: •Práce rôznej fyzickej záťaže •Práce rôznej intelektuálnej a emocionálnej záťaže	100	95	90	85	100
	95	90	85	80	95
Obývaná oblasť	90	85	80	75	90
Obytné a verejné priestory	75	70	65	60	75

Obrázok č. 10. Prípustné úrovne vystavenia infrazvuku v Ruskej federácii (prevzaté z⁵). Pozoruhodné je, že a) infrazvukový rozsah bol rozdelený do jednooktavových pásiem s frekvenciami 2, 4, 8 a 16 Hz, pričom pre každé z nich sú stanovené rôzne hodnoty limitov expozície, b) hladiny hluku sú vyjadrené v dB „Lin“, čo znamená nevážené dB, a c) prípustné hladiny hluku sú uvedené pre dva rôzne typy pracovného prostredia a dva rôzne typy environmentálnych expozícií.

- 72.** Všimnite si, že číselné hodnoty uvedené na **obrázku č. 10** boli stanovené pred nástupom veterných elektrární, a preto sa vzťahujú na tónový hluk, a nie na pulzujúce série tlakových vln, ktoré emitujú veterné turbíny (pozri ďalej akustická signatúra veterných turbín).

⁵ Reprodukované z: Stepanov V. (2001) Biologické účinky nízkofrekvenčných akustických oscilácií a ich hygienická regulácia. Štátne výskumné centrum Ruska, Moskva. https://archive.org/details/DTIC_ADA423963

- 73.** V roku 1995 bol ratifikovaný systém frekvenčného váženia „G“, ktorého účelom bolo lepšie chrániť ľudí pred infrazvukovou kontamináciou⁶.
- 74.** Na **obrázku č. 11** je znázornená krivka odozvy frekvenčného váženia „G“ tak, ako bola znázornená na obrázku č. 4 pre krivku odozvy frekvenčného váženia „A“.



Obrázok č. 11. Krivka frekvenčnej odozvy pre filter s frekvenčným vážením G⁷. Dva dátové body majú nulové váženie: 10 Hz a 31,5 Hz. Inými slovami, hladina akustického tlaku meraná s aplikovaným vážením G bude presne merať fyzikálnu realitu len v dvoch frekvenčných bodoch 10 Hz a 31,5 Hz. Medzi týmito izolovanými dátovými bodmi (t. j. vo frekvenčnom rozsahu 10 - 31,5 Hz) G-váha nadhodnocuje hodnotu hladiny akustického tlaku (čo znamená, že číselné hodnoty budú udávať vyššiu hladinu dBG, než aká je v skutočnosti fyzicky prítomná). S klesajúcou hodnotou frekvencie od 10 Hz sa hodnoty váženía výrazne zvyšujú - pri 1 Hz je rozdiel medzi fyzickou realitou a nameranými hodnotami váženía G 50 dB.

- 75.** Predpokladá sa, že frekvenčný váhový filter „G“ je na vyhodnotenie úrovne obťažovania lepší:

Niektoré literárne údaje o obťažovaní infrazvukom naznačujú, že obťažovanie môže úzko súvisieť s priamym vnímaním. Pri tomto vnímaní by úrovne merané podľa tejto medzinárodnej normy odrážali obťažovanie rovnako dobre ako priame vnímanie⁸.

⁶ ISO 7196:1995(E). (1995). Akustika. Frekvenčná váhová funkcia na meranie infrazvuku. Ženeva, Švajčiarsko.

⁷ Obrázok reprodukovaný z publikácie „Systematic review of the human health effects of wind farms“ (2014). University of Adelaide, Austrália, National Health and Medical Research Council.

https://www.researchgate.net/publication/265294499_Systematic_review_of_the_human_health_effects_of_wind_farms/figures?lo=1.

⁸ ISO 7196:1995(E). (1995). Akustika. Frekvenčná váhová funkcia na meranie infrazvuku. Ženeva, Švajčiarsko. s. iii.

76. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO):

Nepriaznivý účinok hluku je definovaný ako zmena morfológie a fyziológie organizmu, ktorá má za následok zhoršenie funkčnej schopnosti alebo zhoršenie schopnosti kompenzovať dodatočnú záťaž, alebo zvyšuje náchylnosť organizmu na škodlivé účinky iných vplyvov prostredia⁹.

77. „Obťažovanie“ preto nie je vedecky platným medicínskym alebo klinickým koncovým ukazovateľom, pretože nie je objektívnym meradlom „zmeny morfológie a fyziológie organizmu“.

78. V skutočnosti sa anglický výraz pre obťažovanie – „annoyance“ nenachádza vo vydaní Mosby's Medical Dictionary z roku 2017¹⁰ ani vo vydaní Medical Dictionary z roku 2018, ktoré vydala Britská lekárska asociácia¹¹. Vo vydaní Oxford Medical Dictionary z roku 2020 sa pre toto slovo nachádza jedno jediné heslo:

Oslnenie, pods. m., nežiaduce účinky rozptýleného svetla na sietnicu, ktoré spôsobujú zníženie kontrastu a zrakového výkonu, ako aj obťažovanie a nepohodlie¹².

79. Je zrejmé, že pojem „obťažovanie“ nemožno v rámci lekárskeho jazyka považovať za pravú klinickú ODOZVU.

80. Súčasne je frekvenčný váhový filter G, podobne ako váhový filter frekvencie A, hlboko nedostatočný na kvantifikáciu lekárskej DÁVKY infrazvukového pôvodcu ochorenia.

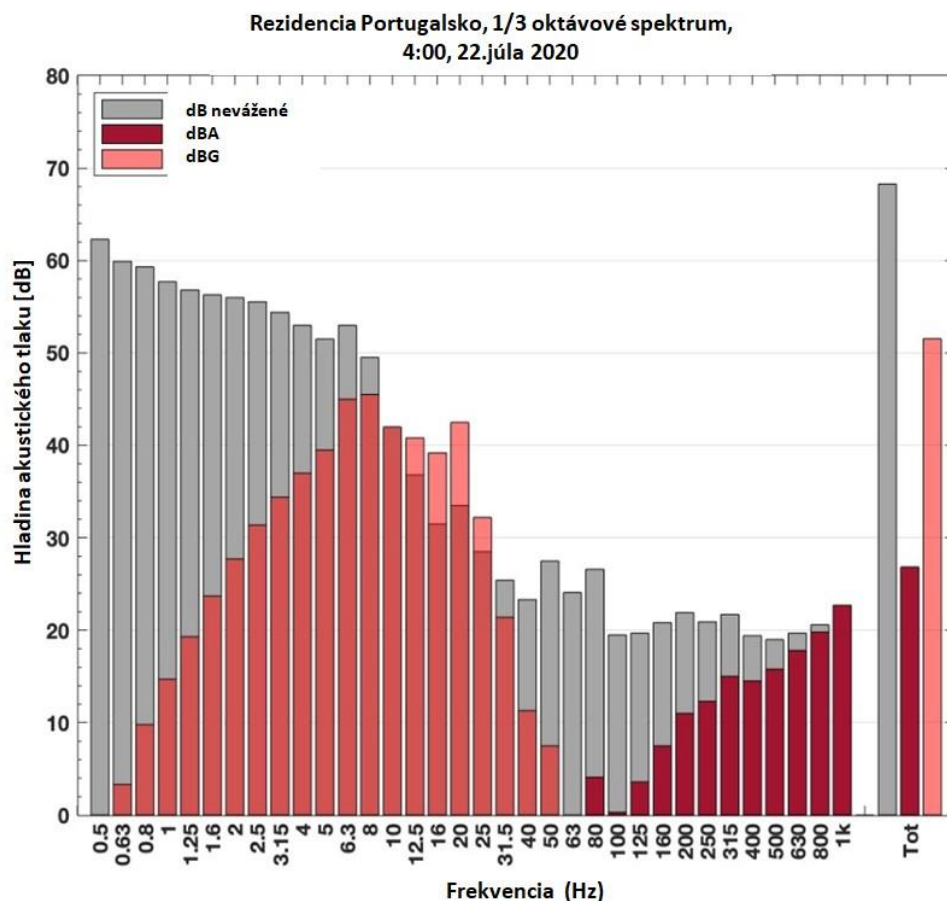
81. Na **obrázku č. 12** sa porovnávajú údaje získané pri použití váhového filtra frekvencie A, váhového filtra frekvencie G a nevážených metodík.

⁹ Svetová zdravotnícka organizácia. (1999) Guidelines for community noise (Usmernenia pre hluk v komunite). Štokholmská univerzita a Karolinský inštitút: Štokholm, Švédsko. s. 21. <https://www.who.int/publications/i/item/a68672>

¹⁰ O'Toole MT et al. (Eds). (2017) Mosby's Medical Dictionary (Mosbyho lekársky slovník). 10th Ed. Elsevier: St Louis, MI, USA.

¹¹ Britská lekárska asociácia. (2018) Medical Dictionary (Lekársky slovník). 4. vydanie. Dorling Kindersley: London, Spojené kráľovstvo.

¹² Martin E, Law J. (Eds) (2020) Concise Colour Medical Dictionary (Stručný farebný lekársky slovník). 7th Ed. Oxford University Press: Oxford, Spojené kráľovstvo.



Obrázok č. 12. Frekvenčné rozloženie (rozlíšenie 1/3 oktávy) 10-minútového (spriemerovaného) záznamu zachyteného v spálni domu susediaceho s veternými elektrárnami (Portugalsko, 22. júla 2020¹³). Stĺpce tmavočervenej farby označujú časť zvukového prostredia, ktorá sa vyhodnocuje pri použití frekvenčného filtra A (čím sa získajú hodnoty vyjadrené v dBA). Svetločervené stĺpce označujú časť zvukového prostredia, ktorá sa hodnotí pri použití frekvenčného váhového filtra G (hodnoty vyjadrené v dBG). Šedé stĺpce označujú celé zvukové prostredie bez použitia filtra (hodnoty sú vyjadrené v dB bez váženia).

82. Ako je vidieť na **obrázku č. 12**, ani údaje s vážením G, ani údaje s vážením A (samostatne alebo spolu) nepostačujú na správnu charakteristiku akustického prostredia, ktoré môže človeka potenciálne poškodiť.

¹³ Bakker HHC, Alves-Pereira M, Mann R, Summers R, Dickinson. (2023) Infrasound exposure: High-resolution measurements near Wind Power Plants (Vystavenie infrazvuku: Merania s vysokým rozlíšením v blízkosti veterných elektrární). In: Suhanek M, Kevin Summers J (eds) Management of Noise Pollution. IntechOpen, Londýn. DOI: 10.5772/intechopen.109047-Táto publikácia tvorí prílohu B.

G. HLUK Z VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ

I. Počuteľný hluk

83. Navrhovaná veterná elektráreň Drahovce zahŕňa sedem veterných turbín s výkonom 6,6 MW, s výškou stožiara 115 m a priemerom rotora 170 m. Výška po špičku lopatiek je teda 200 m.
84. Správa spoločnosti Avekol obsahuje 4 obrysové mapy hluku (s. 23 – 26). Tie sa bežne používajú na vymedzenie oblastí, v ktorých sa očakávajú rôzne hladiny hluku merané v dBA, t. j. posudzuje sa len to, čo budú okolití obyvatelia „počuť“.
85. Tieto mapy sú zvyčajne vytvorené počítačom a sú naprogramované s rôznymi premennými, ktoré môžu, ale nemusia presne odrážať danú fyzickú realitu.
86. Vo všetkých štyroch príkladoch sa najvyššie predpovedané hladiny vyskytujú priamo v blízkosti veže veternej turbíny a zrejme nikdy neprekročia 60 – 65 dBA.
87. Ako je vysvetlené v predchádzajúcich častiach, keďže sa hodnoty vyjadrujú v dBA, znamená to, že sa používa frekvenčný váhový filter A, a preto sa tieto hodnoty týkajú len nebezpečenstva poškodenia sluchu, sluchovej únavy a zrozumiteľnosti reči.
88. Z obrysových máp uvedených v správe spoločnosti Avekol sa zdá, že navrhovaná veterná elektráreň v Drahovciach nepredstavuje pre obyvateľov v okolitých oblastiach riziko klasického poškodenia sluchu (meraného pomocou audiogramov).

II. Aerodynamický hluk

89. Tento typ „hluku“ je úplne iná záležitosť, pretože väčšina jeho akustickej energie sa nachádza v infrazvukovej a nízkofrekvenčnej časti akustického spektra¹⁴.
90. Vlastnosti šírenia vzdušných akustických vln sa menia s vlnovou dĺžkou javu. Na obrázku č. 2 bolo stručne naznačené, že nižšie frekvencie majú oveľa väčšiu vlnovú dĺžku ako počuteľnejšie, vyššie frekvencie.
91. Vplyv teploty, vlhkosti, tlaku vzduchu a topológie je pre šírenie infrazvukových tlakových vln prenášaných vzduchom rozhodujúcejší ako pre počuteľný zvuk.

¹⁴ S rastúcou veľkosťou veternej turbíny sa čoraz viac zvukovej energie presúva do oblasti nižších frekvencií a infrazvuku.

92. Podľa vedomostí vedcov IARO na trhu neexistujú počítačové programy, ktoré by modelovali šírenie infrazvuku tak, ako ho generujú veterné elektrárne.
93. Zatiaľ čo rýchlosť vetra je zrejmým faktorom množstva aerodynamického hluku produkovaného rotujúcou veternou turbínou, ďalším veľmi dôležitým faktorom je veľkosť lopatiek.
94. Aerodynamický hluk súvisí s množstvom vzduchu, ktorý je lopatkou tlačенý alebo ťahaný. Čím väčšia je plocha lopatky, tým väčšie je množstvo vzduchu, ktoré sa počas otáčania vytláča.
95. Vyššie a modernejšie veterné turbíny nielenže produkujú oveľa viac infrazvukovej energie, ale čím je veža vyššia, tým ďalej a silnejšie sa infrazvukové zložky šíria¹⁵.
96. Aerodynamický hluk nemusí nevyhnutne súvisieť s výrobou elektrickej energie, pretože aj keď sa lopatky otáčajú voľne (voľnobeh, bez krútiaceho momentu alebo výroby energie), dochádza k značnej produkcii infrazvuku.

¹⁵ Moller H, Pedersen CS. (2011) Low frequency noise from large wind turbines (Nízko frekvenčný hluk z veľkých veterných turbín). Journal of the Acoustical Society of America, 129(6):3727-44. doi: 10.1121/1.3543957.

H. MERANIE HLUKU Z VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ POMOCOU MODERNÝCH TECHNÍK

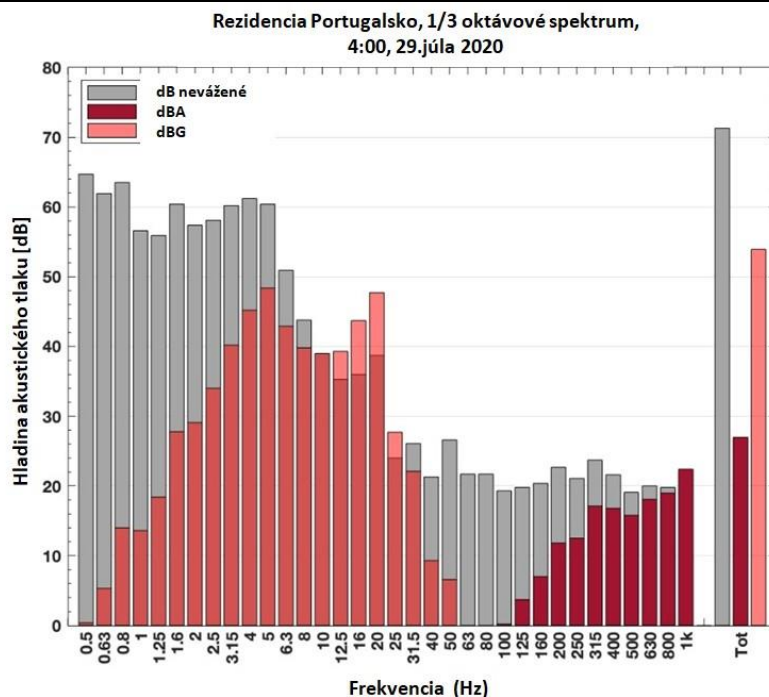
I. Zvyšovanie spektrálneho a časového rozlíšenia

97. Na rozdiel od akustických inžinierov nie sú vedci z IARO obmedzovaní legislatívou, ktorú ukladajú vládne orgány. Nie sú ani obmedzení na hrubé merania v priemere 10 minút a 1/3 oktávy. Vedci môžu skúmať prírodu v súlade s vedeckými princípmi.
98. Ak je cieľom kvantifikovať akustickú DÁVKU, ktorá môže mať na človeka biologický účinok (iný ako poškodenie sluchu), je zrejmé, že frekvenčné váhové filtre A ani G nie sú vhodné.
99. Vedci IARO preto skúmajú hladiny akustického tlaku len ako nevážené dB (bez použitia filtrov).
100. Vedci IARO (okrem iného) považovali segmentáciu akustického spektra v 1/3 oktávovom pásme za príliš hrubú a elementárnu na správne vedecké analýzy, najmä pokiaľ ide o účinky na zdravie.
101. Namiesto toho sa spektrálne rozlíšenie zvýšilo na 1/36 oktávového pásma. Preto namiesto 3 dátových bodov na každú oktávu je teraz 36 dátových bodov na oktávu.
102. Nakoniec, právne predpisy uložené vládnymi orgánmi zvyčajne vyžadujú, aby sa hluk vyhodnocoval ako priemery 10-minútových časových úsekov (hoci sa môžu použiť aj 1-minútové a 10-sekundové priemery).
103. Vedci IARO získavajú záznamy zvukového prostredia v 10-minútových úsekoch a zaoberajú sa 1- sekundovým časovým priemerom.

II. Akustické podpisy veterných turbín

104. Všetky stroje majú akustickú signatúru a veterné turbíny sa od nich nelíšia.
105. Akustickú signatúru veterných turbín (ASVT) nie je možné identifikovať, ak sa použijú bežné, legislatívou stanovené metodiky.

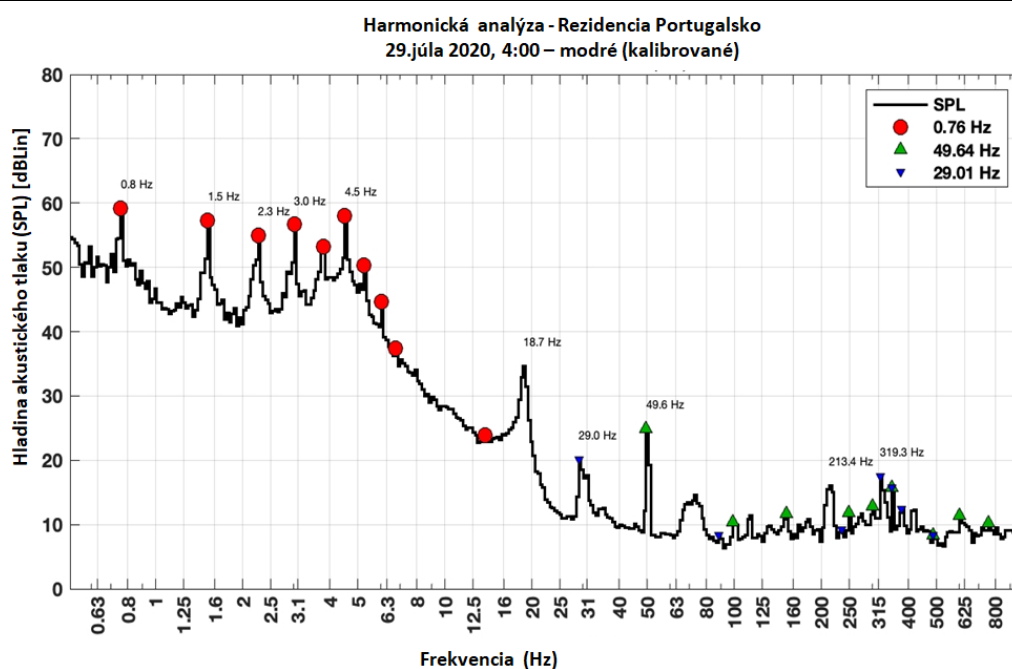
- 106.** Na **obrázku č. 13** je znázornený príklad akustického prostredia zachyteného v spálni domu, ktorý sa nachádza v blízkosti veterných elektrární, v súlade s legislatívou stanovenými metodikami.



Obrázok č. 13. Frekvenčné rozloženie (rozlíšenie 1/3 oktávy) 10-minútového (spriemerovaného) záznamu zachyteného v spálni domu susediaceho s veternými elektrárnami (Portugalsko, 29. júla 2020, pozri prílohu B). Stĺpce tmavočervenej farby označujú časť zvukového prostredia, ktorá sa hodnotí pri použití frekvenčného váhového filtra A (čím sa získajú hodnoty vyjadrené v dBA). Svetločervené stĺpce označujú časť zvukového prostredia, ktorá sa hodnotí pri použití frekvenčného váhového filtra G (hodnoty sú vyjadrené v dBG). Šedé stĺpce označujú celú zvukovú krajinu bez použitia filtra (hodnoty sú vyjadrené v dB bez vážená). V uvedený deň a hodinu (04:00 h) obyvatelia tohto domu nemohli spať a muž bol nútený užívať benzodiazepíny (pozri text a prílohu B).

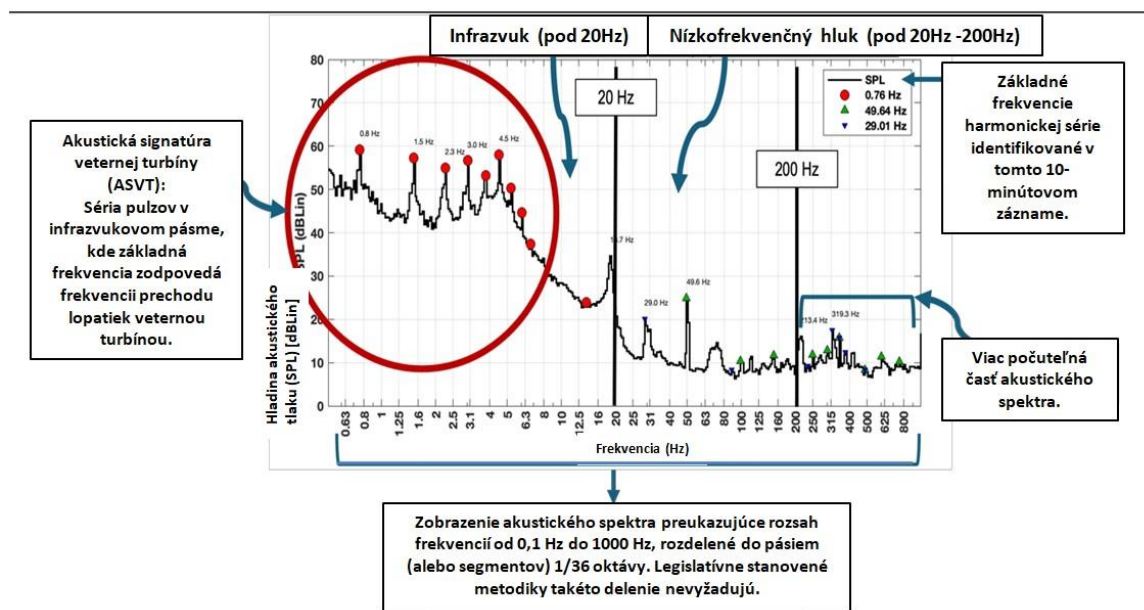
- 107.** V období, kedy boli tieto záznamy zachytené, manželia žijúci v tomto dome nemohli spať a muž bol nútený liečiť sa benzodiazepínmi (pozri prílohu B).
- 108.** Všimnite si, že **obrázok č. 13** predstavuje akustické prostredie charakterizované hodnotou nižšou ako 30 dBA, približne 55 dBG a tesne nad 70 dB (nevážené).

109. Vzhľadom na hodnoty uvedené na obrázku č. 1 je podľa vyhlášky Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 549/2007 Z. z. akustické prostredie znázornené na obrázku č. 13 v rámci prijateľných hodnôt.
110. Napriek tomu obyvatelia nemohli spať „kvôli hluku z veterných turbín“ (pozri prílohu B).
111. Na obrázku č. 14 sú zobrazené presne tie isté údaje, ale tentoraz analyzované so zvýšeným spektrálnym a časovým rozlíšením (ako je opísané vyššie v bodoch 98. až 103.).



Obrázok č. 14. Frekvenčné rozdelenie (rozlíšenie 1/36 oktávy) 10-minútového záznamu zachyteného v spálni domu susediaceho s veternými elektrárnami (Portugalsko, 29. júla 2020, pozri prílohu B). Červené krúžky označujú prítomnosť harmonického radu (matematický nástroj používaný na štúdium periodických udalostí). Základná frekvencia tohto harmonického radu (0,76 Hz) zodpovedá frekvencii prechodu lopatiek tohto konkrétneho modelu veterných turbín. Tento harmonický rad sa označuje ako akustická signatúra veternej turbíny (ASVT). V uvedený deň a hodinu obyvatelia tohto domu nemohli spať a muž bol nútený užívať benzodiazepíny (pozri text a prílohu B).

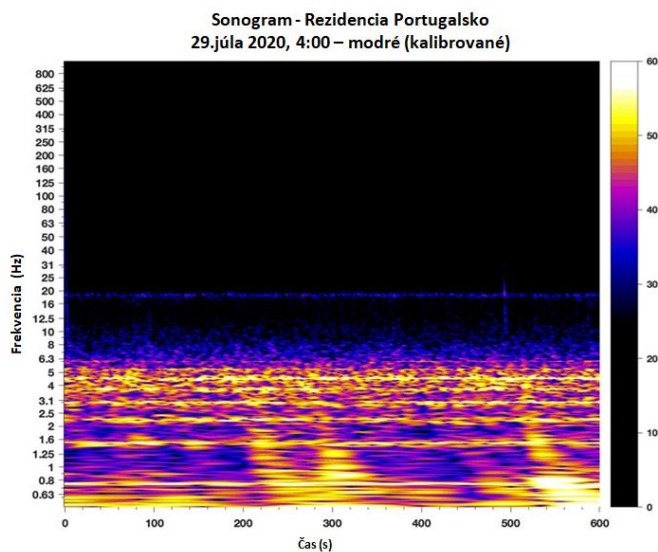
112. Obrázok č. 15 je výučbové znázornenie obrázka č. 14 s vyznačením častí grafu, ktoré sú dôležité pre pochopenie danej problematiky.



Obrázok č. 15. Vzdelávacie znázornenie obrázku č. 14, ktoré poukazuje na časti grafu, ktoré sú dôležité pre pochopenie danej problematiky. Toto je znázornenie rozloženia akustickej energie v prostredí vo frekvenčnom spektre na základe priemeru 600-sekundového (10-minútového) záznamu. Infrazvuk (pod 20 Hz) a nízkofrekvenčný hluk (20 - 200 Hz) zodpovedajú vyznačeným frekvenčným rozsahom. „Hladina hluku“ je vyjadrená v dB na osi Y. Červený kruh znázorňuje spektrálne zložky sústavy impulzov ako harmonický rad so základnou frekvenciou 0,76 Hz. Tieto série impulzov generuje vetrná turbína s frekvenciou lopatiek 0,76 Hz.

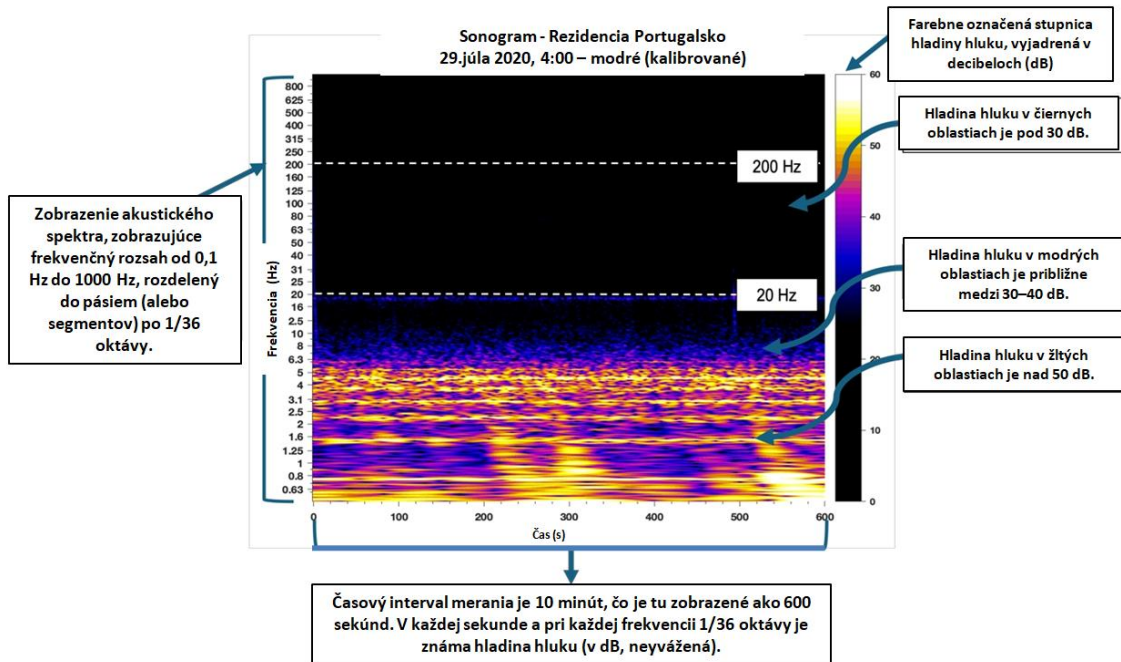
113. Z matematických dôvodov, ktoré sú úplne vysvetlené v iných vedeckých a recenzovaných publikáciách (pozri prílohu B a ¹⁶), sú tieto reťazce impulzov reprezentatívne pre akustický výstup vetrných turbín a označujú sa ako akustická signatúra vetrných turbín (ASVT).
114. Ďalšia vizualizácia ASVT sa môže uskutočniť prostredníctvom generovania sonogramov.
115. Na obrázku č. 16 je znázornený sonogram zodpovedajúci tým istým údajom, ktoré sú uvedené na obrázkoch č. 13 a 14.

¹⁶ Alves-Pereira M, Krough C, Bakker HHC, Summers R, Rapley B. (2019) Infrasound and low frequency noise guidelines - Antiquated and irrelevant for protecting populations (Usmernenia o infrazvuku a nízkofrekvenčnom hluku - zastarané a nepodstatné pre ochranu obyvateľstva). Zborník 26. medzinárodného kongresu o zvuku a vibráciách, Montreal, Kanada, 7. - 11. júla, č. 682. (Recenzovaný konferenčný príspevok).



Obrázok č. 16. Sonogram vytvorený na základe rovnakých údajov, aké sú uvedené na **obrázkoch č. 13 a 14**.

- 116.** **Obrázok č. 17** – výučbové znázornenie **obrázka č. 16** s poukázaním na časti grafu, ktoré sú dôležité pre pochopenie danej problematiky.
- 117.** Každá z vodorovných čiar, ktoré pretínajú celý **obrázok č. 16** v oblasti pod 20 Hz, predstavuje jeden z vrcholov ASVT, ako je vidieť na **obrázku č. 14**. To naznačuje, že ASVT bol nepretržitý počas 10 minút záznamu.
- 118.** Často sa tvrdí, že infrazvuk z veterných elektrární sa nelíši od prirodzeného planetárneho infrazvuku. Ako je vidieť na **obrázku č. 16** a ako je zdôraznené na **obrázku č. 17**, trojuholníkové tvary v spodnej časti obrázka odrážajú vietor - akustickú udalosť s úplne iným časovým profilom ako strojovo generovaná signatúra.

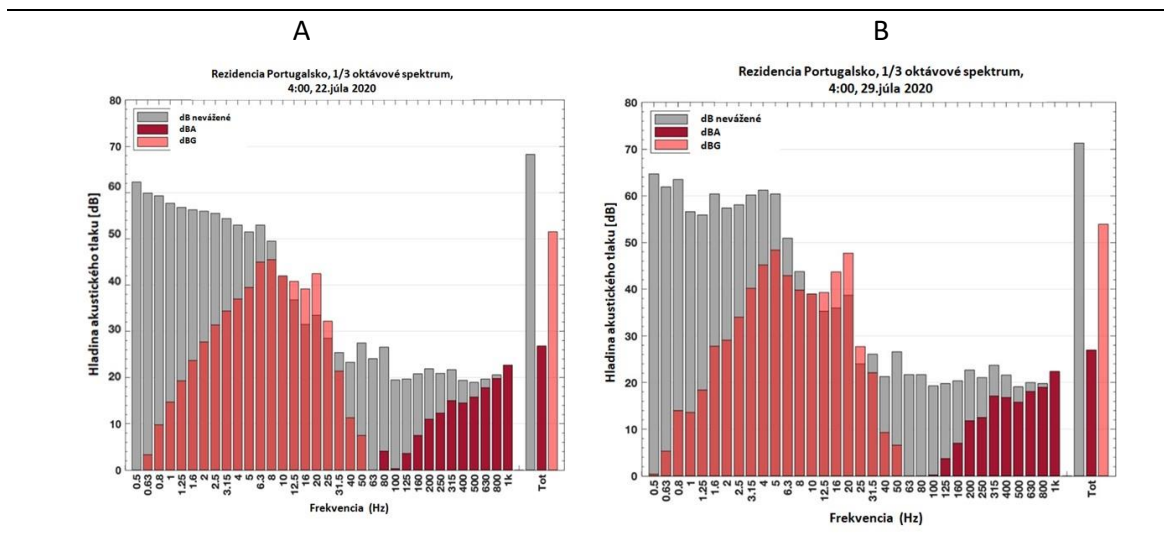


Obrázok č. 17. Vzdelávacie znázornenie **obrázku č. 16** s poukázaním na časti grafu, ktoré sú dôležité pre pochopenie danej problematiky. Ide o znázornenie rozloženia akustickej energie v prostredí v závislosti od frekvencie na základe 600 jednosekundových priemerov z 10-minútového merania zvukového súboru. Infrazvuk (pod 20 Hz) a nízkofrekvenčný hluk (20 - 200 Hz) zodpovedajú vyznačeným frekvenčným rozsahom. Hladina hluku je vyjadrená v dB (nevyvážená, bez filtra) na osi Y. Vodorovné čiary predstavujú s ASVT a vyskytujú sa pri rovnakých hodnotách frekvencie ako vrcholy ASVT znázornené na **obrázku č. 14**. Obrázky v tvare trojuholníka v spodnej časti obrázka odrážajú vietor.

III. Akustické podpisy s veternými turbínami a bez nich

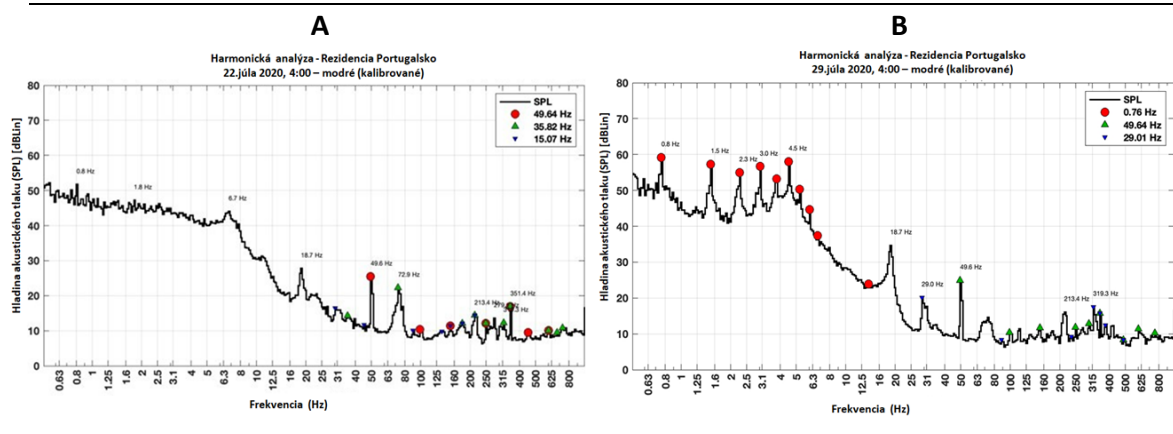
- 119.** Ako sa už ukázalo, prítomnosť ASVT môže rušiť spánok (pozri prílohu B).
- 120.** Na **obrázku č. 18** sa porovnávajú dve prostredia v rámci jedného domu, ktorý sa nachádza v blízkosti veterných elektrární. Mikrofóny boli umiestnené v spálni.
- 121.** Počas celého nahrávania (22 nepretržitých dní v júli auguste 2020) boli obyvatelia požiadaní, aby si viedli denník svojich symptómov.
- 122.** Dňa 22. júla 2020 (**obrázok č. 18A**) mali obyvatelia pokojný spánok. Dňa 29. júla 2020 (**obrázok č. 18B**) obyvatelia nemohli spať, sťažovali sa na „hluk veternej turbíny“ a jeden z cítil nutnosť vziať si lieky.

- 123.** Ako vidieť na obrázku č. 18A, počas noci pokojného spánku boli hladiny dBA pod 30, hladiny dBG boli tesne nad 50. Nevážené hladiny boli nižšie ako 70 dB.
- 124.** Počas bezsennej noci (obrázok č. 18B) boli hladiny dBA pod 30, hladiny dBG boli o niečo vyššie, približne 55. Nevážené úrovne boli tesne nad 70 dB.
- 125.** Obe tieto situácie sú v rámci prípustných úrovní stanovených na obrázku č. 1...
- 126.** ...a napriek tomu jedna z nich umožňuje pokojný spánok a druhá spôsobuje značnú úzkosť.

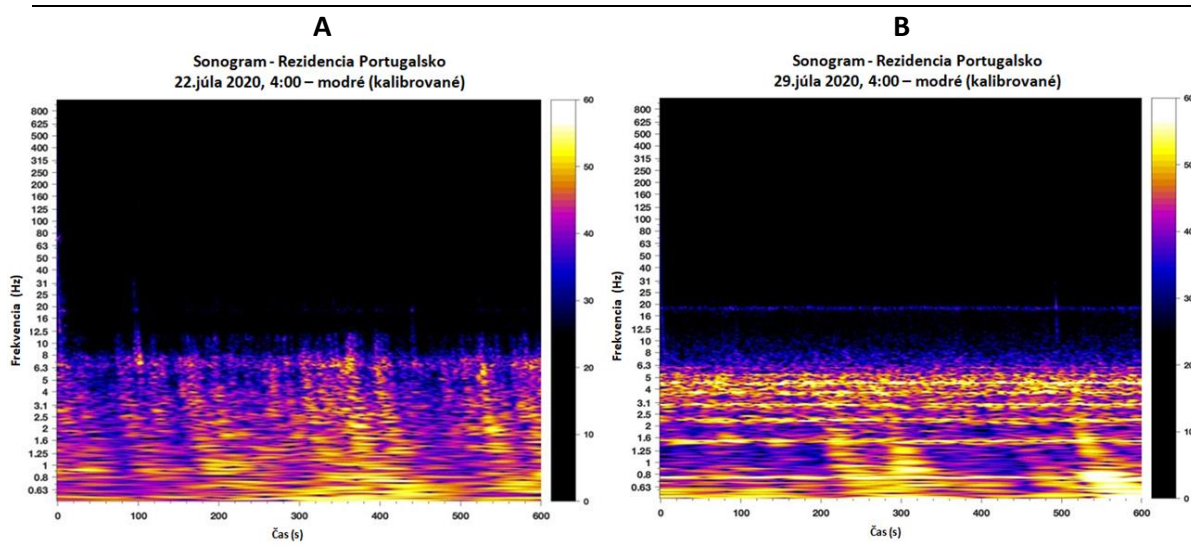


Obrázok č. 18. Porovnanie rozloženia frekvencií (rozlíšenie 1/3 oktávy) dvoch 10-minútových (spriemerovaných) záznamov, zachytených v spálni domu susediaceho s veternými elektrárnami (Portugalsko, júl 2020, pozri prílohu B). Hodnoty obrázku **A** boli zaznamenané počas noci, kedy obyvatelia mohli pokojne spať. Hodnoty obrázku **B** boli zaznamenané počas noci, kedy obyvatelia nemohli spať a muž bol nútený užiť benzodiazepíny (pozri text a prílohu B).

- 127.** Na **obrázku č. 19** sú reprodukované rovnaké údaje ako na **obrázku č. 18**, ale s vyšším rozlíšením.
- 128.** Medzi oboma prostrediami je zreteľný rozdiel: počas bezsennej noci boli v spálni prítomné ASVT v podobe série impulzov (**obrázok č. 19B**), ktoré boli v noci, kedy bol pokojný spánok, neprítomné (**obrázok č. 19A**).
- 129.** Na **obrázku č. 20** sú uvedené rovnaké údaje vo forme sonogramov. Jasná neprítomnosť udalostí ASVT počas pokojnej noci (**obrázok č. 20A**) zreteľne kontrastuje s prítomnosťou ASVT počas nepokojnej noci (**obrázok č. 20B**).



Obrázok č. 19. Porovnanie dvoch prostredí, ktoré mali výrazne odlišný vplyv na obyvateľov. V prípade **A** nie je identifikovaný žiadny ASVT – počas tejto noci obyvatelia spali pokojne. V prípade **B** sa prítomnosť ASVT zhodovala s ich neschopnosťou spať a prinútila muža užiť benzodiazepíny (pozri text a prílohu B).



Obrázok č. 20. Porovnanie dvoch prostredí, ktoré mali výrazne odlišný vplyv na obyvateľov. V prípade **A** sú vertikálne udalosti trojuholníkového tvaru spojené so slabým vetrom. Nie je prítomný žiadny ASVT. To sa týka noci, v ktorej obyvatelia pokojne spali. V prípade **B** sú vodorovné čiary identifikujúce ASVT jasne prítomné počas celého záznamu a koexistujú s udalosťami spôsobenými vetrom (trojuholníkové tvary v dolnej časti). Počas tejto noci obyvatelia nemohli spať „kvôli hluku veternej turbíny“ a muž bol nútený užiť benzodiazepíny (pozri prílohu B).

130. Je vhodné pripomenúť, že charakteristika týchto prostredí je výsledkom priamych, vedeckých terénnych meraní – nie počítačového modelovania.

131. Tieto záznamy odhalili:

- a. podobné hladiny hluku vyjadrené v dBA (menej ako 30 dBA),
- b. podobné hladiny hluku, ktoré sú hlboko pod prípustnou úrovňou 90 dBG.

132. Napriek tomu v jednom prostredí obyvatelia trpeli extrémnou symptomatológiou (ktorú pripisovali „hluku veterných turbín“), zatiaľ čo v druhom prostredí necítili nič.

133. Po použití vyššieho rozlíšenia pri analýze údajov bol jediný akustický rozdiel identifikovaný ako ASVT.

I. HYPOTÉZA PSYCHOSOMATICKEJ ETIOLÓGIE

- 134.** Hypotéza psychosomatickej etiológie zrejme vznikla práve kvôli takým situáciám, ako sú opísané na **obrázkoch č. 18 až 20** (a ako sú tie, ktoré sú zdokumentované v prílohe C).
- 135.** Zdá sa, že sa stalo bežným javom (dokonca aj medzi mnohými členmi lekárskej komunity¹⁷), že zdravotným ťažkostiam, ktoré hlásia ľudia žijúci v blízkosti veterných elektrární, sa paušálne pripisuje psychosomatický pôvod, t. j. „všetko je to v ich hlave, v skutočnosti im nič nie je...“
- 136.** Vzhľadom na všetky vyššie uvedené skutočnosti sa zdá, že trvanie na tomto stanovisku je v lepšom prípade intelektuálne nepoctivé a v horšom prípade trestnoprávne nedbalé.
- 137.** Akustické vplyvy zodpovedné za tieto zdravotné ťažkosti sa v legislatívne stanovených metodikách, ktorými sa akustici musia riadiť, neuvádzajú.
- 138.** Súčasné číselné hodnoty, ktoré majú charakterizovať akustické prostredie, nie sú schopné rozlišovať medzi výrazne odlišnými prostrediami, ako je uvedené vyššie a v prílohe C.
- 139.** DÁVKA pôvodcu ochorenia nie je známa.
- 140.** Pôvodca ochorenia nie je v súčasnej legislatíve fakticky ani identifikovaný, pretože sa väčšinou vyskytuje pri frekvenciách pod 10 Hz (pozri ASVT na **obrázku č. 14**).
- 141.** Vláčiky akustických impulzov vysielaných veternými elektrárnami sa považujú za nepodstatné pre ľudské zdravie, pretože sa vyskytujú najmä v infrazvukovom pásme, ktoré sa považuje za nepočuteľné pre človeka, a preto nemajú žiadny vplyv na ľudské zdravie („čo nepočuješ, to ti neublíži“)⁽¹⁸⁾.

¹⁷ Pozri „Health Report on a Rural Sheep Farm in Scotland“ (Zdravotnú správu o vidieckej ovčej farme v Škótsku) (dokument IARO24-5), v ktorej je poskytnutá odpoveď Národnej zdravotnej služby (NHS) v Spojenom kráľovstve týkajúca sa hypotetického psychosomatického pôvodu sťažností, ktoré nahlásili občania žijúci v blízkosti veterných elektrární. Dostupné na: <https://iaro.org.nz/wp-content/uploads/2025/02/Rural-Farm-Health-Report-%E2%80%94-REDACTED-Final.pdf>.

¹⁸ Ak použijeme „svetlo“ ako analógiu, je to rovnaké ako veriť, že elektromagnetické žiarenie, ktoré nie je vnímané očami (napríklad röntgenové žiarenie, mikrovlny, ultrafialové žiarenie), je pre ľudské zdravie nepodstatné, pretože ho očami nevnímame ako svetlo. Okrem toho nedávne štúdie preukázali, že infrazvukové signály môžu byť spracované mozgom, ale nie sú vedené klasickými sluchovými dráhami. Pozri: Weichenberger M, Bauer M, Kuhlner R, Hensel J, Forlim CG, Ihlenfeld A, et al. (2017) Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold: Evidence from fMRI. (Zmenená kortikálna a subkortikálna konektivita v dôsledku infrazvuku podávaného blízko prahu sluchu: Dôkazy z fMRI). PLoS ONE, 12(4): e0174420. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174420>.

- 142.** (Neodôvodnený) predpoklad je, že mechanizmus musí zahŕňať počuteľnosť (definovanú frekvenčne váženou počuteľnosťou A), a preto musí zahŕňať aj klasickú sluchovú senzorickú dráhu, a to výlučne.
- 143.** Neberie sa do úvahy, že ľudské sluchové orgány môžu byť citlivé na akustickú energiu pod týmito hranicami počuteľnosti alebo že ľudské sluchové orgány a orgány rovnováhy môžu byť citlivé na akustickú energiu inými cestami. Obe tieto možnosti boli preukázané (pozri napríklad^{19,20,21}).
- 144.** Preto keď inžinieri Avekolu uvádzajú:

Vzhľadom na vzdialenosť elektrárne Drahovce od najbližších chránených objektov neexistuje riziko ich ovplyvnenia infrazvukom (...) (s. 30, príloha A),

nielenže výrazne zavádzajú rozhodovacie orgány, širokú verejnosť a neinformovanú lekársku obec, ale na takéto tvrdenie nemajú žiadny vedecký základ.

- 145.** Vedci IARO opätovne zdôrazňujú, že stanovisko, ktoré zaujali akustici Avekolu, je bežné na celom svete. Ich dezinformácie nemusia predstavovať úmysel klamať.
- 146.** Akustikom sa tvrdí, že metodiky, ktorými sa majú riadiť pri posudzovaní hluku, zaručujú ochranu ľudí. Väčšina z nich nemá lekárske vzdelanie, aby mohla posúdiť, či je to pravda alebo nie, a väčšinou konajú v dobrej viere, že legislatívne ustanovenia skutočne chránia občanov.
- 147.** Na druhej strane, lekárska obec je často vážne neinformovaná o zdravotných účinkoch vystavenia hluku a často sa drží psychosomatickej etiológie, aby vysvetlila sťažnosti pacientov
- 148.** V skutočnosti sa vo väčšine prípadov pacientom ani neposkytujú doplnkové diagnostické lekárske testy na preukázanie hypotézy psychosomatickej etiológie.
- 149.** **Obrázky č. 18 až 20** by mali slúžiť ako varovanie pre neinformovanú lekársku komunitu - aj keď sú hladiny hluku v súlade s legislatívnymi ustanoveniami, tieto nezaručujú žiadnu ochranu pred vysoko agresívnym akustickým prostredím, ktoré vytvárajú veterné elektrárne (pozri prílohu B).

¹⁹ Weichenberger M, Bauer M, Ku'hler R, Hensel J, Forlim CG, Ihlenfeld A, et al. (2017) Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold: Evidence from fMRI. (Zmenená kortikálna a subkortikálna konektivita v dôsledku infrazvuku podávaného blízko prahu sluchu: Dôkazy z fMRI). PLoS ONE, 12(4): e0174420. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174420>.

²⁰ Stepanov V. (2001) Biologické účinky nízkofrekvenčných akustických oscilácií a ich hygienická regulácia. Štátne výskumné centrum Ruska, Moskva. https://archive.org/details/DTIC_ADA423963

²¹ Busnel RG, Lehmann AG (1978). Infrasound and sound: Differentiation of their psychophysiological effects through use of genetically deaf animals (Infrazvuk a zvuk: Rozlíšenie ich psychofyziologických účinkov pomocou geneticky hluchých zvierat). Journal of the Acoustical Society of America, 63(3):974-977. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/670562/>

- 150.** Hypotéza o psychosomatickom pôvode zdravotných ťažkostí, ktoré uvádzajú ľudia žijúci v blízkosti veterných elektrární, je neúprimná a je možné ju ľahko a okamžite spochybniť na základe účinkov na zvieratá.
- 151.** Tu je niekoľko príkladov:
- a. Kravy vystavené vplyvu VTE vo Francúzsku zaznamenali dramatický pokles produkcie mlieka.²²
 - b. U kráv vystavených vplyvu VTE v Kórei sa uvádza mnoho prípadov úmrtia plodu.²³
 - c. V Poľsku sa zistil negatívny vplyv na stresové parametre a produktivitu husí vystavených vplyvu VTE.²⁴
 - d. V Anglicku sa u jazvecov vystavených vplyvu VTE zistili vyššie hladiny kortizolu a „tieto vysoké hladiny môžu ovplyvniť imunitný systém jazvecov, čo by mohlo mať za následok zvýšené riziko infekcie a ochorenia v populácii jazvecov“.²⁵
 - e. V poľskej štúdii sa výrazne znížila kvalita mäsa ošípaných vystavených vplyvu VTE.²⁶
 - f. V Španielsku sa na farme králikov po vybudovaní VTE zaznamenal 50 % pokles produkcie. U králikov vystavených vplyvu VTE sa objavili „problémy so stresom, neplodnosťou, úhynom a zmenami správania“²⁷ a „neúmerne sa zvýšila miera úmrtnosti“. Táto farma bola odvtedy zatvorená.²⁸
 - g. Žaby vystavené vplyvu VTE v Japonsku „zozbierané z ryžových polí s veternými generátormi“ vykazovali rýchlejšiu frekvenciu kŕkania, vyššie koncentrácie kortikosterónu v slinách a

²² Mulholland R. (2015) Francúzsky farmár žaluje energetického giganta po tom, čo veterné turbíny „spôsobujú kravám choroby“. The Telegraph, 18. septembra. <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/france/11875989/French-farmer-sues-energy-giant-after-wind-turbines-make-cows-sick.html>.

²³ Se-hwan B. (2018). Veterné turbíny ničia miestnu poľnohospodársku dedinu. Rýchle rozširovanie zariadení na výrobu veternej energie vyvoláva obavy o zdravie a životné prostredie. The Korea Herald, 20. marca. <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20180320000768>

²⁴ Mikolajczak J, Borowski S, Marc-Pienlowska J, Odrowaz-Sypniewska G, Bernacki Z, Siodmiak J, Szterk P. (2013) Preliminary studies on the reaction of growing geese (Anser anser f. domestica) to the proximity of wind turbines (Predbežné štúdie o reakcii chovaných husí (Anser anser f. domestica) na blízkosť veterných turbín). Polish Journal of Veterinary Sciences, 16(4):679-86. DOI: 10.2478/pjvs-2013-0096

²⁵ Agnew RCN, Smith VJ, Fowkes RC. (2016) Wind turbines cause chronic stress in badgers (meles meles) in Great Britain (Veterné turbíny spôsobujú chronický stres u jazvecov lesných (meles meles) vo Veľkej Británii). Journal of Wildlife Diseases, 52(3): 459-67. DOI: 10.7589/2015-09-231

²⁶ Karwowska M, Milolajczak J, Dolatowski ZJ, Borowski S. (2015) The effect of varying distances from wind turbine on meat quality of growing-finishing pigs (Vplyv rôznych vzdialeností od veterných turbín na kvalitu mäsa ošípaných vo výkrme). Annals of Animal Sciences, 15(4):1043-54. DOI: 10.1515/aoas-2015-0051.

²⁷ Ephe. (2023) [Únia roľníkov Kastílie a Leónu odsudzuje zničenie jednej z najlepších fariem v Španielsku veterným parkom] El Diario.es, 9. mája. (V španielčine) https://www.eldiario.es/castilla-y-leon/union-campesinos-castilla-leon-denuncia-ruina-mejores-granjas-espana-parque-eolico_1_10189253.html

²⁸ Fernández, JI. (2023) [Boj králičej farmy proti veternej farme: „Sme v troskách“]. El Español, 9. mája. [Článok v španielčine] https://www.elespanol.com/castilla-y-leon/economia/el-campo/20230509/lucha-granja-conejos-parque-eolico-ruina/762423940_0.html

nižšiu vrodenu imunitu (...) To môže zmeniť epidemiológiu chorôb miestnych populácií reguláciou rovnováhy medzi reprodukciou a imunitou.“²⁹

- h. U koní vystavených vplyvu VTE v Portugalsku sa objavili ohybové deformácie a na stenách ciev sa prejavilo charakteristické zhrubnutie na báze kolagénu.^{30, 31}
- i. V Dánsku museli zatvoriť farmu na chov norkov kvôli výrazne zvýšenej agresivite, mŕtvonarodeným mláďatám a vrodenným chybám.³²

152. Aj u týchto zvierat sa prejavujú psychosomatické reakcie na vizuálnu stránku alebo na finančné problémy spojené s veternými elektrárňami?

²⁹ Park JK, Do Y. (2022) Wind turbine noise behaviourally and physiologically changes male frogs (Hluk veterných turbín mení samce žiab behaviorálne a fyziologicky). *Biology*, 11, 516. DOI: 10.3390/biology11040516

³⁰ Castelo Branco NAA, Costa e Curto T, Mendes Jorge L, Cavaco Faisca J, Amaral Dias L, Oliveira P, Martins dos Santos J, Alves-Pereira M. (2010) Rodina s veternými turbínami v tesnej blízkosti domu: sledovanie prípadu prezentovaného v roku 2007. Zborník zo 14. medzinárodného stretnutia o nízkofrekvenčnom hluku, vibráciách a ich kontrole. Aalborg, Dánsko, 9.-11. júna, 31-40. https://www.researchgate.net/publication/290444702_Family_with_wind_turbines_in_close_proximity_to_home_follow-up_of_the_case_presented_in_2007

³¹ Costa e Curto TM. (2012) [Acquired flexural deformity of the distal interphalangeal articulation in foals (Získaná flexná deformita distálneho interfalangického kĺbu u žriebät)]. Magisterská diplomová práca. Fakulta veterinárnej medicíny, Technická univerzita v Lisabone. [Diplomová práca v portugálčine] <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/4847>

³² Rapley, B. (2018). Rozhovor pre malú planétu Vol. 3 – Biological Consequences of Low-Frequency Sound (Biologické dôsledky nízkofrekvenčného zvuku). Bouncing Koala Press, Palmerston North, Nový Zéland. (Kapitola 8-Smrť v Dánsku) Dostupné na consultant@smart-technologies.co.nz.

J. ZÁVERY

153. Vedci z IARO plne uznávajú, že vlády na celom svete boli informované o predpokladaných ekonomických výhodách, ktoré by veterné elektrárne mohli priniesť ich štátom.
154. Tieto domnelé ekonomické výhody sprevádzajú značné (skryté) náklady spojené s výrazným znížením zdravotného stavu ľudskej a živočíšnej populácie žijúcej v okolí týchto priemyselných komplexov.
155. Správa Avekolu zachováva chybné a archaické metodiky týkajúce sa posudzovania hluku na účely prevencie škodlivých účinkov na zdravie.
156. Tieto chybné a archaické metodiky sa používajú na odôvodnenie záverov, ktoré sú často vedecky nesprávne.
157. Napríklad v časti Závery a odporúčania správy Avekolu sa výslovne uvádza: *„Vzhľadom na vzdialenosť elektrárne Drahovce od najbližších chránených objektov nehrozí ich ovplyvnenie infrazvukom...”*
158. Ide o nepravdivé tvrdenie bez vedeckého základu, ktoré zavádza rozhodovacie orgány, ako aj širokú verejnosť.
159. Ako vedci IARO opakujú v celej tejto správe, akustici Avekolu sú nútení zaujať toto stanovisko vzhľadom na chybné a archaické metodiky, ktoré sú poverení používať.
160. Ako sa uvádza v bodoch 24. a 25., vedci IARO poskytli jasné vedecké dôkazy, ktoré dokazujú, že: *„Tieto metodiky nie sú vhodné na hodnotenie potenciálnej hrozby infrazvukovej kontaminácie obytných oblastí.”*
161. Ako sa uvádza v bodoch 27. a 28., vedci IARO preukázali (zrejmu) *„neschopnosť vládnych zdravotníckych orgánov... chrániť svojich občanov pred týmto infrazvukovým pôvodcom chorôb”*.
162. Vo väčšine krajín je povinnosťou vládneho orgánu zodpovedného za verejné zdravie chrániť občanov pred novými rizikami z nových strojov, ktoré sa násilne zavádzajú do ľudských biosystémov.
163. Vedci IARO vyzývajú lekársku komunitu, ktorú zamestnáva Ministerstvo zdravotníctva SR ako orgán zodpovedný za verejné zdravie, aby sa bližšie (a vedecky) pozrela na vážne situácie, ktoré vznikajú v blízkosti veterných elektrární na celom svete.

K. ODPORÚČANIA

- 164.** Vedci IARO odporúčajú, aby výstavba veternej elektrárne v Drahovciach v súčasnej konfigurácii nebola povolená.
- 165.** V prípade povolenia navrhujeme nasledujúce odporúčania pre rozhodovacie orgány, vládnych úradníkov a širokú verejnosť (podľa potreby):

I. Akustika

- 166.** Pred začatím výstavby akejkoľvek časti veternej elektrárne by sa mali vykonať základné záznamy hluku, ktoré musia zahŕňať infrazvukovú oblasť akustického spektra.
- 167.** Analýza týchto záznamov musí obsahovať priemery s nízkym rozlíšením vyjadrené v dB bez váženia a musí zahŕňať vzorky s vysokým rozlíšením v infrazvukovej a nízkofrekvenčnej oblasti.
- 168.** To znamená, že protokoly o meraní hluku nemôžu byť diktované výlučne platnými právnymi predpismi, ale skôr správnymi vedeckými postupmi.
- 169.** Tieto merania hluku nemožno nahradiť technikami počítačového modelovania.
- 170.** Po uvedení veternej elektrárne do prevádzky by sa tieto záznamy a analýzy hluku mali pravidelne vykonávať minimálne päť rokov.
- 171.** Keďže šírenie ASVT sa výrazne mení v závislosti od poveternostných podmienok, záznamy a analýzy by mali zahŕňať celý rozsah smerov vetra a poveternostných podmienok počas všetkých ročných období.
- 172.** Tieto opatrenia by sa mali vykonávať pod záštitou Ministerstva zdravotníctva SR ako orgánu zodpovedného za verejné zdravie. Ak k tomu nedôjde, mali by tieto opatrenia prijať jednotliví občania v rámci občiansko-vedeckých iniciatív.

II. Verejné zdravie

- 173.** Pred výstavbou akejkoľvek veternej elektrárne by sa mali uskutočniť rozhovory s obyvateľmi žijúcimi v okolí (do vzdialenosti 20 km od navrhovaného komplexu), aby sa zistil a) rozsah v akom boli v minulosti vystavení vplyvom ILFN, b) ich súčasný klinický stav a c) zdravotná anamnéza.

- 174.** Počas výstavby veternej elektrárne a po jej uvedení do prevádzky by sa mali obyvatelia monitorovať, pokiaľ ide o relevantné klinické a reprodukčné výsledky (a nielen o subjektívne psychoakustické parametre, ako je „obťažovanie“), a to minimálne päť rokov.
- 175.** Miestni lekári by mali zaviesť povinný systém nahlasovania každého pacienta, ktorý vykazuje príznaky nadmerného vystavenia infrazvuku a nízkofrekvenčnému hluku, alebo každého pacienta, ktorý sám pripisuje svoje nepriaznivé zdravotné účinky vystaveniu hluku.
- 176.** Tieto opatrenia by sa mali vykonávať pod záštitou Ministerstva zdravotníctva SR ako orgánu zodpovedného za verejné zdravie. Ak k tomu nedôjde, mali by tieto opatrenia prijať jednotliví občania v rámci občiansko-vedeckých iniciatív.

III. Zdravie hospodárskych zvierat

- 177.** Majitelia hospodárskych zvierat by mali pred výstavbou akejkoľvek veternej elektrárne vypracovať podrobné správy o úmrtnosti, pôrodnosti a chorobnosti svojich zvierat.
- 178.** Monitorovanie týchto parametrov sa musí vykonávať minimálne 5 rokov po uvedení veternej elektrárne do prevádzky.
- 179.** Tieto opatrenia by sa mali vykonávať pod záštitou Ministerstva zdravotníctva SR ako orgánu zodpovedného za verejné zdravie. Ak k tomu nedôjde, mali by tieto opatrenia prijať jednotliví občania v rámci občiansko-vedeckých iniciatív.

Vystavenie infrazvuku: Merania s vysokým rozlíšením v blízkosti veterných elektrární

*Huub Bakker, Mariana Alves-Pereira, Richard Mann, Rachel
Summers a Philip Dickinson*

Abstrakt

Táto kapitola sa zameriava na vystavenie infrazvukovému (≤ 20 Hz) hluku zachytenému v domoch a v okolí domov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti veterných elektrární. Napriek pretrvávajúcim sťažnostiam miestnych obyvateľov na hluk sa zatiaľ nepodarilo identifikovať žiadnu uspokojivú akustickú udalosť, ktorá by odôvodnila túto nepríjemnú (celosvetovú) situáciu. Z mnohých domov na celom svete sa získali nepretržité (dni) záznamy s vysokým rozlíšením – spektrálne segmentácie 1/36 oktávy a časové prírastky 1 sekundy, ktoré odhalili prítomnosť akustických signatúr veterných turbín. Tie pozostávajú z vláčikov tlakových impulzov vzduchu, ktoré sa vo frekvenčnej oblasti identifikujú ako harmonické rady so základnou frekvenciou rovnajúcou sa frekvencii lopatiek veternej turbíny. Táto správa dokumentuje tri takéto prípady (Portugalsko a Škótsko). Najvyššie špičky akustickej signatúry veterných turbín (až 25 dB nad hlukom pozadia) sa vyskytli v oblasti 0,5 – 5 Hz, ktorá je klasicky definovaná ako oblasť pod prahom ľudského sluchu, a napriek tomu sa zdá, že tieto „nepočuteľné“ javy vyvolávajú závažné biologické reakcie.

Na základe výraznosti špičiek v harmonickom rade sa navrhuje nové meradlo, ktoré by sa malo používať pri určovaní vzťahov medzi dávkou a odozvou pri vystavení infrazvuku. Táto nová metodika sa môže použiť pri vystavení infrazvuku v environmentálnom aj pracovnom prostredí.

Kľúčové slová: harmonický rad, harmonický výbežok, veterná ružica, šírka pásma 1/36 oktávy, časový profil, nízkofrekvenčný hluk, environmentálny hluk, veterné turbíny

1. Úvod

Strata sluchu, zrozumiteľnosť reči a obťažovanie hlukom patria medzi najštudovanejšie vplyvy vystavenia hluku na ľudské zdravie a pohodu. Spoločným menovateľom týchto troch následkov je počuteľnosť zvuku. Vystavenie silnému hluku počas dlhšieho časového obdobia môže spôsobiť poškodenie sluchu, hlučné prostredie môže narušiť správne porozumenie reči a určité typy nepretržitých alebo prerušovaných zvukov môžu spôsobiť, že ľudia sa hlukom cítia obťažovaní, čo môže následne zhoršiť základné poruchy alebo ochorenia.

Existujú však aj ďalšie vlastnosti zvukového prostredia, ktoré nesúvisia s počuteľnosťou zvuku pre človeka, ale ktoré môžu tiež škodlivo ovplyvniť ľudské zdravie a pohodu, konkrétne infrazvuk (≤ 20 Hz).

1.1 Infrazvuk a ľudské zdravie: stručný prehľad

S rastúcou industrializáciou a mechanizáciou, ku ktorej došlo na celom svete v 60. rokoch 20. storočia, si infrazvuk v prostredí začal vyberať svoju daň na robotníkoch a obyvateľoch miest. V roku 1973 preto Národná rada pre výskum vo Francúzsku zorganizovala medzištátne kolokvium, ktoré bolo celé venované infrazvuku [1]. Jedným z výsledkov bolo stanovenie prípustných úrovní vystavenia infrazvuku v Ruskej federácii [2]. Na **obrázku č. 1** sú znázornené legislatívne hodnoty pre rok 2000.

Po zavedení priemyselných veterných turbín (PVT) v prevažne vidieckych oblastiach sa v médiách [3, 4] a vo vedeckých časopisoch [5, 6] začali objavovať sťažnosti miestnych obyvateľov na hluk. A pritom prevažná väčšina meraní hluku vykonaných v obydliach a v ich okolí v blízkosti veterných elektrární (VTE) vykazovala hodnoty, ktoré boli v rámci stanovených smerníc [napríklad 7, 8]. Táto zjavne paradoxná situácia dokonca podnietila niektorých autorov predpokladať psychosomatický pôvod sťažností obyvateľov na hluk [9] alebo spájať tieto zdravotné sťažnosti s nedostatočným peňažným ziskom z VTE [10]. V priamom rozpore s predstavou o psychosomatickom pôvode týchto sťažností na hluk sú štúdie na zvieratách, ktoré poukazujú na zvýšený fyziologický stres pri pobyte vo voľnej prírode v blízkosti VTE [11] alebo v laboratórnych podmienkach simulujúcich pracovné prostredie [12, 13].

1.2 Systémy frekvenčného váženia, spektrálna segmentácia a časové rozlíšenie aplikované na získavanie akustických údajov

Schopnosť ľudského sluchového systému zachytiť zvuk závisí od kombinácie amplitúdy tlakovej vlny (zvyčajne hodnotenej v decibeloch, dB, vzťahovanej na 20 mikropascalov) a frekvencie (Hz). Na to, aby boli počuteľné, si rôzne frekvencie vyžadujú rôzne úrovne akustického tlaku. Pred niekoľkými desaťročiami zaviedla Medzinárodná organizácia pre normalizáciu (ISO) sieť frekvenčných váh, ktorá simulovala prah ľudského sluchu a ktorá bola

#	Priestory	Hladiny akustického tlaku, dB, v oktáválnych pásmach priemerných geometrických frekvencií, Hz				Všeobecná hladina akustického tlaku dB "Lin"
		2	4	8	16	
1.	Rôzne práce vnútri priemyselných a výrobných priestorov: •Práce rôznej fyzickej záťaže •Práce rôznej intelektuálnej a emocionálnej záťaže	100	95	90	85	100
		95	90	85	80	95
2.	Obývaná oblasť	90	85	80	75	90
3.	Obytné a verejné priestory	75	70	65	60	75

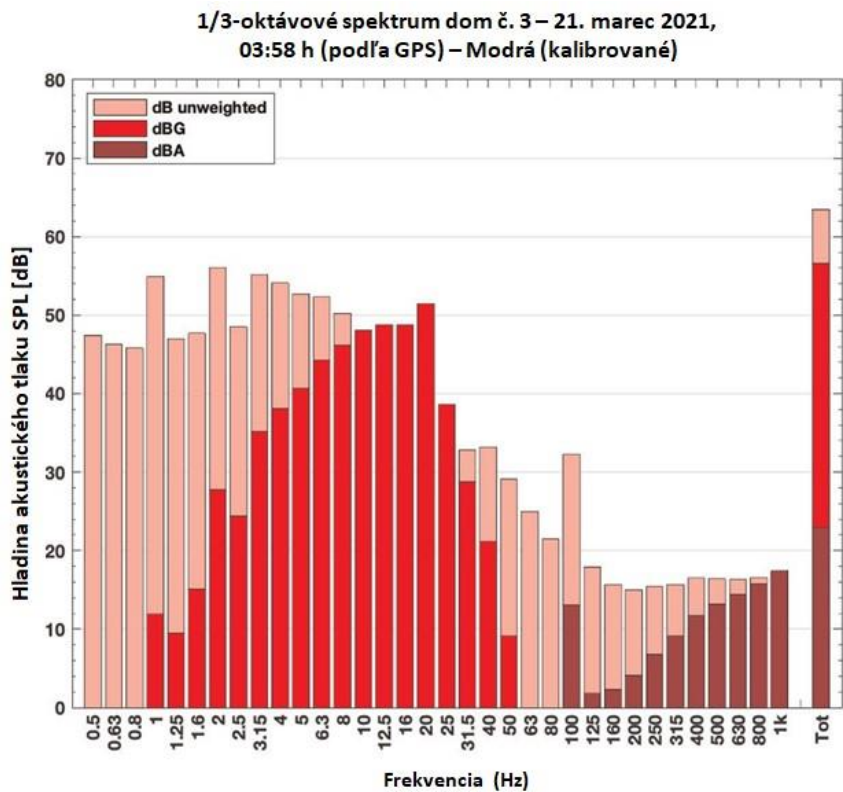
Obrázok č. 1.
Prípustné hladiny vystavenia infrazvuku (pri frekvenciách 2, 4, 8 a 16 Hz) pre dve pracovné a dve environmentálne prostredia. Hodnoty sú uvedené v dB lineárne (bez váženia) a podľa očakávania sú nižšie pre verejné priestory ako pre pracovné prostredie [prevzaté z 2].

špeciálne zameraná na prevenciu straty sluchu – systém frekvenčného váženia „A“ [14]. Použitím systému váženia A sa získavajú hladiny akustického tlaku v metrike dBA.

ISO ratifikovala aj postupy na hodnotenie infrazvukových a nízkofrekvenčných zložiek: ISO 7196:1995(E) definuje frekvenčný váhový systém „G“ ako vhodný na kvantifikáciu akustickej energie v rozsahu 0,25 – 250 Hz [15]. Použitím systému váženia G sa získavajú hladiny akustického tlaku v metrike dBG. Na **obrázku č. 2** sa porovnávajú údaje, na ktoré sa použilo váženie A a G. Uvádzajú sa na ňom aj hodnoty merania, pri ktorom sa neuplatňuje žiadne váženie.

Prostredie znázornené na **obrázku č. 2** sa nachádza vo vidieckom dome v blízkosti VTE, kde sa obyvatelia sťažujú na hluk (pozri časť 2 nižšie, dom 2). V tomto 10-minútovom úseku údajov bola priemerná hladina hluku nižšia ako 30 dBA, čo je v súlade s úrovňou hluku pre väčšinu vidieckych oblastí na celom svete. Systém váženia G síce nadhodnotil hladiny akustického tlaku v rozsahu 10 – 25 Hz, ale poskytol priemernú hladinu hluku približne 55 dBG. Napríklad v Japonsku je limit pre infrazvuk generovaný vnútrozemskou elektrickou dopravou 92 dBG [16]. Nevážené zachytenie zvuku, ktoré meria skutočné hladiny prítomné v prostredí, nameralo priemernú hladinu hluku nad 60 dB. Najvyššie špičky v tomto prostredí merané bez váženia, sa vyskytovali pri frekvenciách pod 8 Hz, t. j. pod definovaným prahom počuteľnosti pre človeka. Samotné tieto číselné hodnoty sa zdajú byť nedostatočné na primeranú charakteristiku pôvodcu sťažností týchto obyvateľov na hluk.

Okrem poukázania na problematické používanie rôznych systémov frekvenčného váženia **obrázok č. 2** zdôrazňuje dva ďalšie aspekty merania hluku: segmentáciu akustického spektra do pásiem po 1/3 oktávy a časové rozlíšenie 10-minútových priemerov podľa smerníc ISO [14]. Pokiaľ ide o segmentáciu spektra, technologicky je možné dosiahnuť vyššie rozlíšenie, ale výsledky sú považované za väčšinou akademické, pretože prakticky všetky tabuľkové hodnoty týkajúce sa prípustných hladín vystavenia hluku používajú segmentáciu na 1/3 oktávy.



Obrázok č. 2.

Porovnanie akustických údajov získaných pomocou systémov bez váženia, s vážením G a s vážením A (10-minútový priemer). Všimnite si, že medzi 10 a 25 Hz sú definované hladiny akustického tlaku s vážením G vyššie ako hodnoty bez váženia. (Podrobné metodické zachytenie týchto údajov je uvedené v časti 2 nižšie v dome č. 2).

1.3 Cieľ tejto správy: Prekročenie odporúčaní ISO

Je možné, že spektrálna segmentácia na 1/3 oktávy a 10-minútové priemerné časové rozlíšenie sú príliš hrubé a rudimentárne na identifikáciu biologicky relevantných akustických javov, ako sú javy vychádzajúce z VTE?

Táto správa dokumentuje akustické prostredie zachytené v domoch nachádzajúcich sa v blízkosti VTE s použitím spektrálneho rozlíšenia 1/36 oktávy a časového rozlíšenia 1 sekunda. Hladiny akustického tlaku sa analyzovali v dB (nevážené).

2. Pozadie a metodika zberu údajov

Údaje uvedené v tomto dokumente boli zozbierané v Portugalsku v júli až auguste 2020 (dom č. 1) a v Škótsku vo februári až marci 2021 (domy č. 2 a 3) na pozvanie príslušných majiteľov domov – zvyčajne z dôvodu výskytu vyčerpujúcich symptómov, ktoré sa podľa nich začali prejavovať až po uvedení VTE do prevádzky v ich obytných oblastiach [17]. V každom dome a v jeho okolí bolo umiestnené dvojkanálové zariadenie na záznam zvuku s nepretržitým zberom údajov počas niekoľkých dní. Počas zvukových záznamov boli obyvatelia požiadaní, aby si viedli denník s dátumom a časom, v ktorom by podrobne zaznamenávali výskyt alebo absenciu symptómov, ako napríklad poruchy spánku. Nástup alebo absenciu príznakov bolo možné porovnať so zmenami v zvukových záznamoch, ktoré by mohli naznačovať príčinnú súvislosť.

2.1 Zvukový záznam s vysokým rozlíšením

Nahrávacím zariadením bol systém SAM Scribe Full Spectrum (FS) (Sound-scape Analytics, Palmerston North, Nový Zéland), model Mk1 v Portugalsku a Mk2 v Škótsku [18]. Ide o dvojkanálové zariadenie so vzorkovacou frekvenciou do 44,1 kHz, ktoré je určené na zachytenie záznamov zvukového prostredia s vysokou presnosťou, najmä v infrazvukovom a nízkofrekvenčnom pásme. Dátové toky sa dodávajú cez USB do notebooku s OS Windows a ukladajú sa na pevný disk ako nekomprimované súbory wav.

Informácie GPS sú uložené v súboroch ako metadáta, ktoré obsahujú aj digitálny podpis. Každý súbor wav zodpovedá 10-minútovému (600-sekundovému) záznamu zvukového prostredia. Systém dokáže presne zaznamenať frekvenčný rozsah 0,1 – 1 000 Hz podľa manuálovej frekvenčnej charakteristiky dvoch elektretových kondenzátorových mikrofónov [19].

Všetky tu uvedené merania pokrývajú rozsah od 0,5 – 1 000 Hz a boli zaznamenané so vzorkovacou frekvenciou 11,025 kHz. Všetky nahrávky obsahovali na začiatku a na konci štandardný referenčný kalibračný tón vytvorený pomocou kalibrátora typu I (súčasť systému SAM Scribe) s frekvenciou 1000 Hz/94 dB.

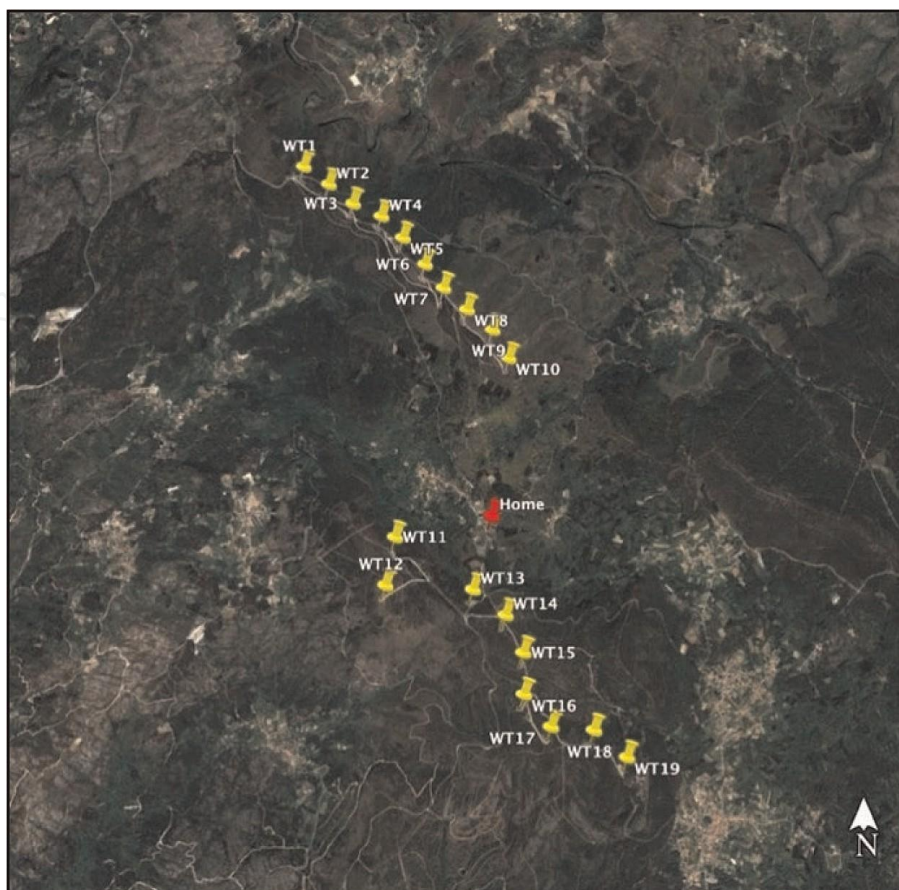
Kalibrácia systému SAM Scribe sa zakladá na 1) krivke frekvenčnej odozvy mikrofónu od výrobcu a 2) kalibrácii podľa certifikovaného zvukomera Larsen-Davis 831 v rozsahu 6,3 – 1 000 Hz.

2.2 Domy, v ktorých boli vyhotovené nahrávky

2.2.1 Dom č. 1: Portugalsko (rodina E.)

Obdobie nepretržitého nahrávania: júl 2020 (00:00) – 9. august 2020 (10:00).

Umiestnenie mikrofónu: Pri nohách postele v hlavnej spálni (prízemie), upevnený na statíve 1,5 m nad podlahou.



Obrázok č. 3.

Vzájomná poloha domu č. 1 (Home) a 19 priemyselných veterných turbín (WT), ktoré tvoria túto veternú elektráreň. (Obrázok upravený zo služby Google Earth).

Na **obrázku č. 3** je znázornená relatívna poloha domu č. 1 a VTE (19 turbín Senvion MM92, každá s výkonom 2 MW a dĺžkou lopatiek 45,2 m). Najbližšie k domu sú PVT s číslami 11, 12, 13 a 14 vo vzdialenosti 843 m, 1085 m, 648 m a 844 m. PVT1 a PVT19 sú od domu najďalej, a to vo vzdialenosti 3422 m a 2282 m.

Rodina E. – pán E. (63 rokov) a pani E. (64 rokov) – žije uprostred týchto 19 PVT od roku 2016. Zhoršenie ich zdravotného stavu bolo zdokumentované neurologickými lekárskymi správami.

2.2.2 Dom č. 2: Škótsko (rodina P.)

Obdobie nepretržitého zaznamenávania: 24. február 2021 (17:30) – 7. marec 2021 (00:00).

Umiestnenie mikrofónu: Vedľa čela postele v spálni na poschodí s vikierom, upevnený na statíve 1,5 m nad podlahou.

Pani P. dokumentovala niektoré svoje príznaky od júla 2019 do marca 2020. **Tabuľka č. 1** uvádza 6-mesačnú vzorku (júl – december 2019).

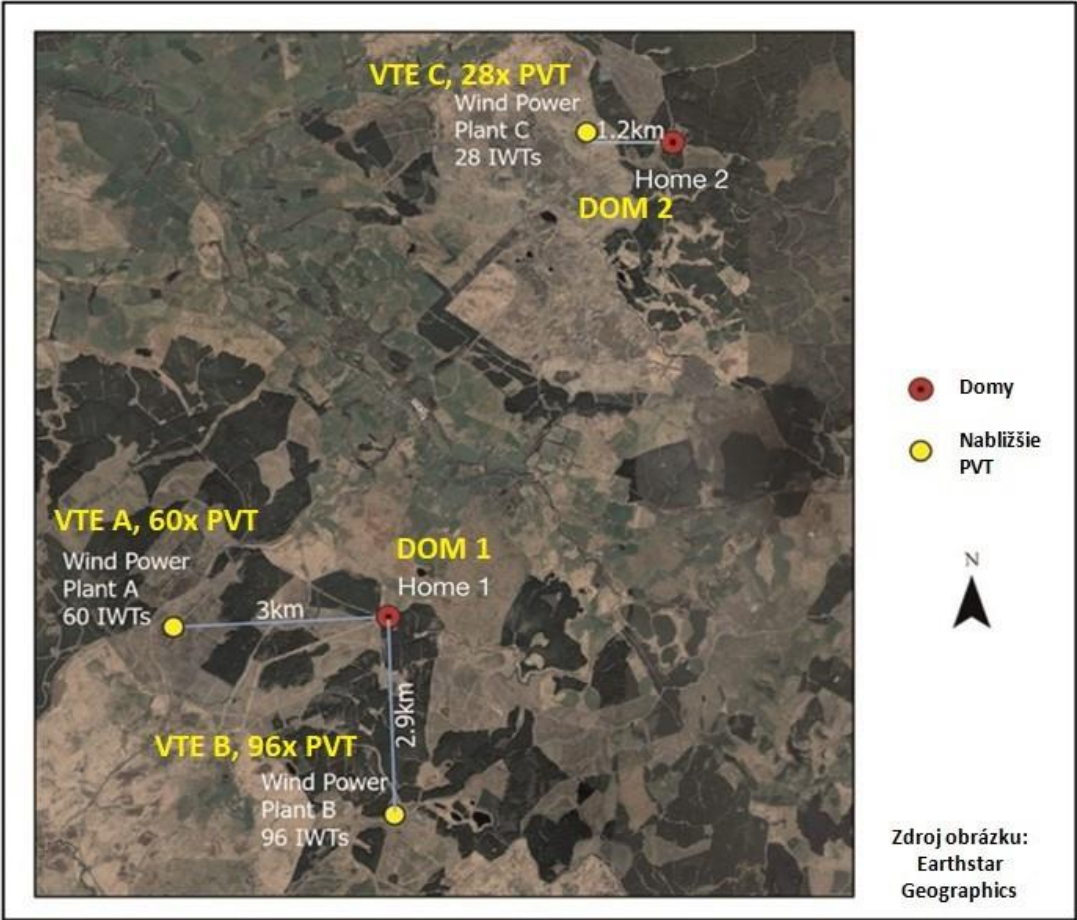
2.2.3 Dom č. 3 – Škótsko (rodina J.)

Obdobie nepretržitého záznamu: 20. marec 2021 (16:20) – 27. marec 2021 (18:40).

Umiestnenie mikrofónu: Uprostred podkrovnej spálne, upevnený na statíve vo výške 1,5 m nad podlahou.

Symptóm	Dátumy, kedy bol symptóm nahlásený
Nevoľnosť	6. júl, 3. august, 18. august, 12. október, 20. október, 4. november, 6. – 7. november, 10. november
Závraty	7. júl, 3. august, 13. – 14. september, 20. – 21. september, 26. september, 28. september, 24. november, 14. – 16. november
Bolesť v ušiach	5. – 9. júl, 15. júl, 18. júl, 22. júl, 26. júl, 31. júl, 1. august, 3. august, 9. – 12. august, 21. august, 23. august, 13. – 14. sept., 2. október, 4. – 5. október, 10. október, 17. nov., 22. dec., 27. dec., 30. dec.
Poruchy spánku	2. júl, 4. júl, 14. júl, 18. júl, 22. júl, 24. júl, 13. august, 25. august, 13. sept., 20. sept., 12. okt., 15. okt., 3. – 5. november, 17. november, 23. november

Tabuľka č. 1.
Šesťmesačná vzorka niektorých príznakov zdokumentovaných pani P.



Obrázok č. 4.
Vzájomná poloha domov č. 2 a 3 a najbližších priemyselných veterných turbín veterných elektrární A, B a C.
(Údaje na obrázku: Wind power – sila vetra, Home – dom, Plant – elektrárňa, IWT – PVT,

Na **obrázku č. 4** sú znázornené relatívne polohy medzi domami č. 2 a 3 a tromi priemyselnými elektrárnami nachádzajúcimi sa v ich blízkosti.

VTE A má 60 turbín Gamesa G80/2000, každá s výkonom 2 MW a priemerom lopatiek 80 m. Nachádza sa 4,6 km západne od domu č. 2 a 14,5 km juhozápadne od domu č. 3. V prevádzke je od roku 2011.

VTE B má 96 turbín Gamesa G114/2500, každá s výkonom 2,5 MW a priemerom lopatiek 114 m. Nachádza sa približne 2,9 km južne od domu č. 2 a 13,1 km južne od domu č. 3. V prevádzke je od roku 2007.

VTE C má 28 Gamesa 87/2000, každá s výkonom 2 MW a priemerom lopatiek 87 m. Nachádza sa približne 9,5 km severne od domu č. 2 a 2,1 km juhozápadne od domu č. 3. V prevádzke je od roku 2011.

2.3 Údaje o vetre

Informácie o rýchlosti a smere vetra sa zozbierali za celé obdobie, počas ktorého sa robili záznamy.

V Portugalsku sa údaje získali z Portugalského inštitútu pre more a atmosféru (IPMA [20]). Údaje boli požadované v 10-minútových intervaloch z troch rôznych meteorologických staníc: vo vzdialenosti 58 km (nadmorská výška: 995 m), 12,5 km (nadmorská výška: 642 m) a 52,7 km (nadmorská výška: 558 m) od domu rodiny E. (nadmorská výška: 850 m). V Škótsku boli údaje o počasi získané z britského Národného meteorologického ústavu prostredníctvom služby Open Weather [21] v hodinových intervaloch. Lokalita, pre ktorú boli získané údaje o počasi, bola vzdialená 3,5 km od domu č. 2 a 7,8 km od domu č. 3. Údaje o vetre boli časovo prispôsobené akustickým záznamom s časovou pečiatkou GPS.

3. Výsledky

3.1 Dom č. 1: denník

Rodina E. si viedla denník od 13. júla do 31. júla 2020.

Dňa 29. júla o 04.00 hod. bol spánok rodiny narušený na niekoľko hodín a pán E. sa cítil tak zle, že bol nútený užiť lieky (benzodiazepín) („*ľahká*“ epizóda). Na porovnanie, ráno 22. júla manželka E. spali nerušene až do 7.00 h („*pokojná*“ epizóda).

V oboch týchto dňoch sa preto prioritne analyzovalo obdobie medzi 03:00 a 06:00 (osemnásť desaťminútových záznamov), pričom výber rovnakých denných období pomohol zmierniť akékoľvek cudzie rozdiely medzi oboma ránami.

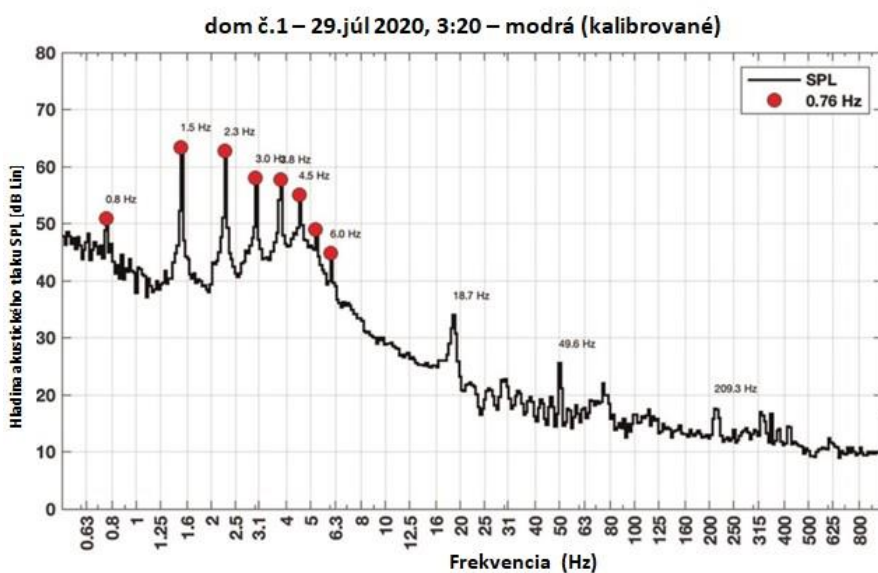
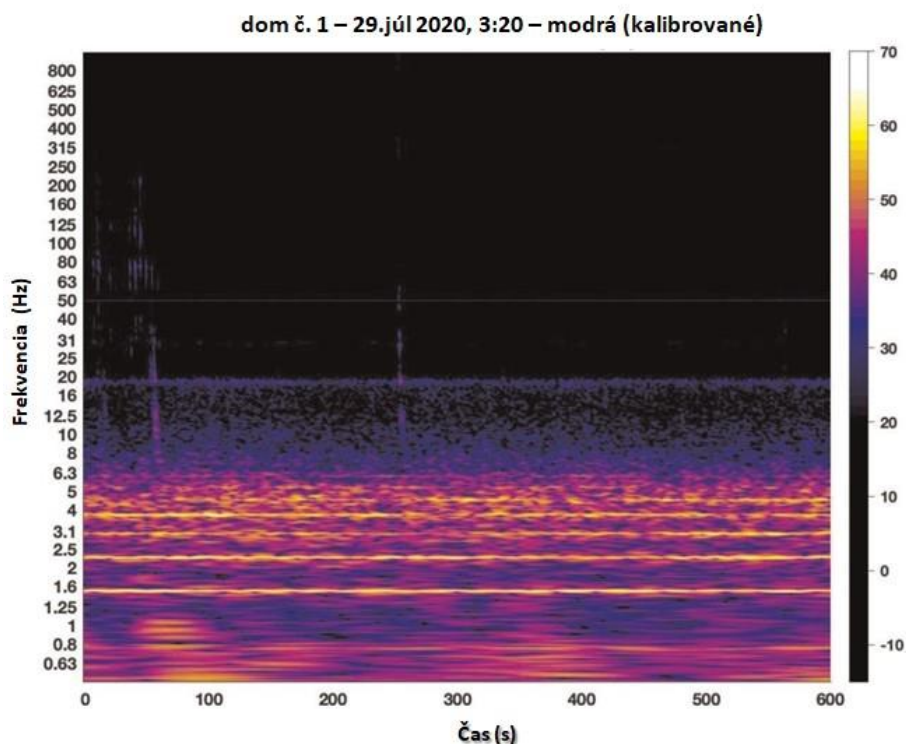
3.2 Dom č. 1: ráno o 03:20 hod. v deň „závažnej“ epizódy (29. júla 2020)

Na **obrázku č. 5** sú znázornené výsledky zvukových údajov získaných 29. júla ráno medzi 03:20 a 03:30, kedy bol spánok rodiny E. narušený a pán E. pociťoval potrebu samoliečby.

Na **obrázku č. 5A** je znázornený sonogram odrážajúci akustické prostredie vo vnútri spálne v priebehu 10 minút (600 sekúnd) s rozlíšením 1/36 oktávového pásma (vertikálna os) a časovým rozlíšením 1 sekunda (horizontálna os). Hladina akustického tlaku pri každej frekvencii a v každej sekunde v čase je vyznačená na farebnej stupnici vpravo (meraná v dB). Žltá farba rovných vodorovných čiar viditeľných naprieč obrázkom pri frekvenciách 1,5 Hz, 2,3 Hz, 3,0 Hz a 3,8 Hz odráža veľké množstvo akustickej energie (50 – 60 dB) prítomnej pri týchto frekvenciách. Okrem toho absencia prerušenia týchto čiar naznačuje, že tieto javy boli prítomné nepretržite počas celých 600 sekúnd.

Na **obrázku č. 5B** sú zobrazené rovnaké číselné údaje ako na **obrázku č. 5A**, ale ako frekvenčné spektrum. Je ľahko identifikovateľný rad špičiek, ktoré sa vyskytujú na rovnakých frekvenciách ako súvislé horizontálne čiary na sonograme (**obrázok č. 5A**). Matematický vzťah medzi frekvenciami jednotlivých špičiek (červené bodky) predstavuje harmonický rad so základnou frekvenciou 0,76 Hz (0,8 Hz na obrázku).

Vo všetkých 18 záznamoch (29. júla od 03:00 do 06:00) sonogramy predstavovali podobné, súvislé horizontálne čiary a vo všetkých zodpovedajúcich spektrogramoch bol viditeľný rovnaký harmonický rad (základný na 0,76 Hz). Frekvencia priechodu lopatiek PVT



Obrázok č. 5.

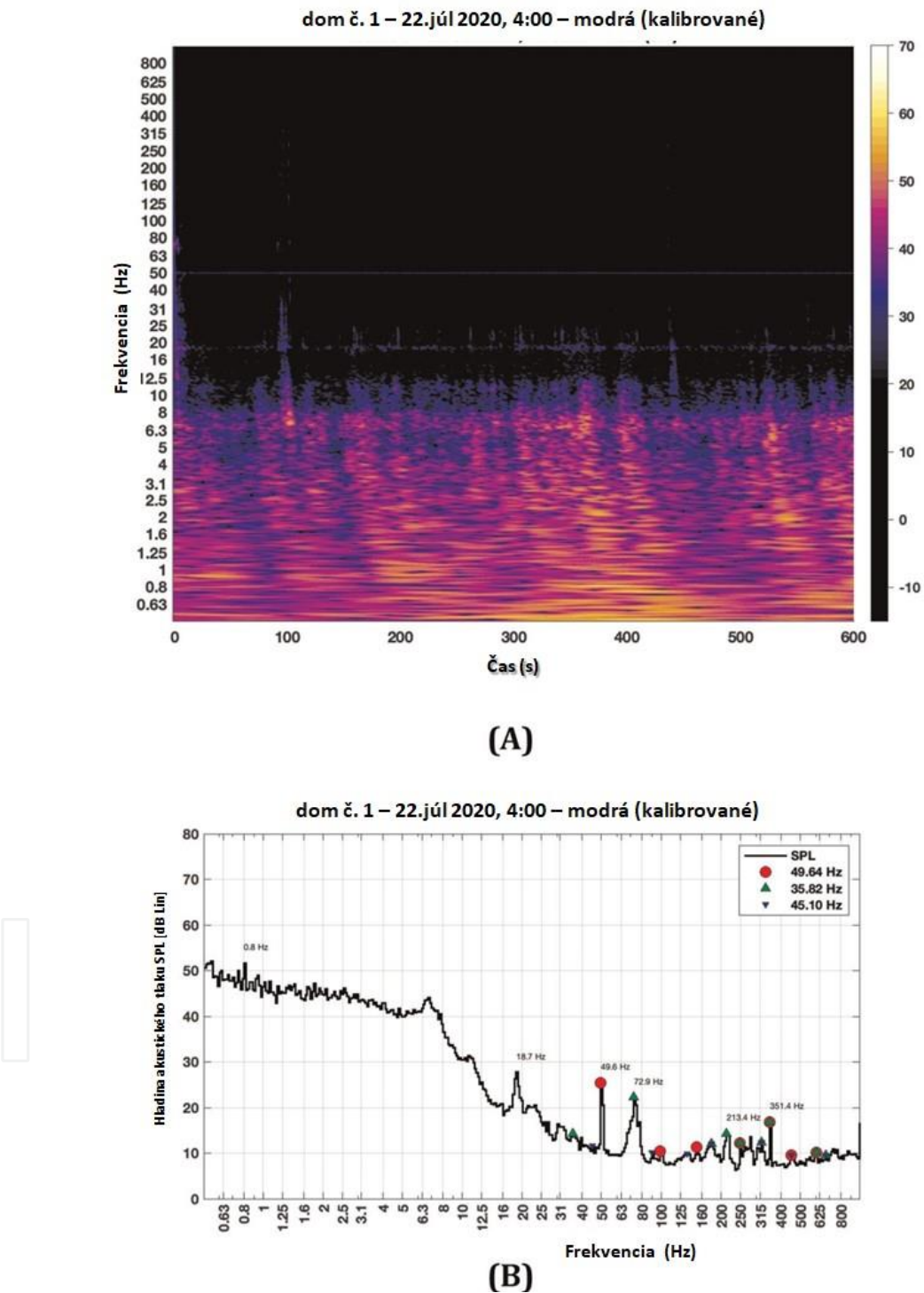
(A) Sonogram zobrazujúci zvukové prostredie v hlavnej spálni domu 1 (29. júla, kedy bol narušený spánok a bola potrebná medikácia) počas 10 minút (600 sekúnd) s rozlíšením 1/36 októvového pásma („frekvencia“ na vertikálnej osi) a časovým rozlíšením 1 sekundy („čas“ na horizontálnej osi). Farebne označená stupnica vpravo meria hladinu akustického tlaku v (nevážených) dB. Nepretržité (počas celého 600-sekundového intervalu) vodorovné čiary pretínajú obraz pri frekvenciách 1,5 Hz, 2,3 Hz, 3,0 Hz a 3,8 Hz s úrovňou tlaku 50-60 dB.

(B) Spektrogram vo forme frekvenčnej distribúcie zostrojený s rovnakými číselnými údajmi ako na obrázku č. 5A. Harmonický rad sa identifikuje, keď sú frekvencie jednotlivých špičiek (červené body) násobkami základnej frekvencie 0,76 Hz (0,8 Hz na obrázku).

postavených v okolí domu rodiny E. je 0,75 Hz. Harmonický rad identifikovaný v dome č. 1 je akustická signatúra, ktorá vychádza z týchto strojov a ktorá odráža šírenie impulznej tlakovej vlny generovanej rotujúcimi lopatkami PVT vo vzduchu. Táto akustická signatúra PVT sa vyskytuje pod prahom počuteľnosti pre človeka.

3.3 Dom č. 1: o 04:00 ráno v deň „pokojnej“ epizódy (22. júl 2020)

Na **obrázku č. 6** je znázornené zvukové prostredie v hlavnej spálni rodiny E. zachytené medzi 04:00 a 04:10 ráno 22. júla, kedy rodina E. pokojne spala. Pozoruhodná je absencia súvislých horizontálnych čiar v celom sonograme (**obrázok č. 6A**), ako aj absencia pravidelných špičiek v príslušnom spektrograme (**obrázok č. 6B**).



Obrázok č. 6.
(A) Sonogram zobrazujúci zvukové prostredie v hlavnej spálni domu 1 (22. júla, kedy nedošlo k narušeniu spánku) počas 600 sekúnd – s rozlíšením pásma 1/36 oktáv, časovým rozlíšením 1 sekunda a úrovňou tlaku v dB, ako je vyznačené na farebnej stupnici. Ružové trojuholníkové tvary, ktoré pokrývajú rôzne frekvencie, sú spôsobené fúkaním vetra a nepresahujú 50 dB. Súvislé vodorovné čiary, ktoré sa vyskytovali na **obrázku č. 5A**, chýbajú. (B) Spektrogram bez pravidelných veľkých špičiek akustickej energie v infrazvukovom pásme. Harmonické rady, ktoré sa týkajú akustických signatúr PVT, chýbajú.

Ružové trojuholníkové tvary, ktoré na sonograme pokrývajú rôzne frekvencie, sú spôsobené fúkaním vetra a nepresahujú 50 dB. Vo všetkých 18 záznamoch (22. júla od 03:00 do 06:00) sa nezistila žiadna akustická signatúra PVT.

3.4 Domy č. 2 a 3

Obyvatelia týchto domovov, bohužiaľ, neboli pri písaní denníkových záznamov dostatočne dôslední na to, aby bolo možné porovnať informácie týkajúce sa zdravia so simulovanými záznamami.

Domy č. 2 a 3 majú tri rôzne modely PVT spomedzi troch VTE nachádzajúcich sa v ich blízkosti, na rozdiel od domu č. 1, ktorý mal len jeden typ. V prípade asynchronných (konštantných s meniacou sa rýchlosťou vetra) PVT bude mať každý model vlastnú frekvenciu priechodu lopatiek, a preto sa ich akustické signatúry budú líšiť.

Na **obrázku č. 7** je znázornený sonogram a spektrogram zvukového prostredia zachyteného v podkrovnej spálni v dome č. 3. Veľmi čisté a súvislé horizontálne čiary, ktoré sa tiahnu počas celého 600-sekundového záznamu (**obrázok č. 7A**), odrážajú existenciu výraznej akustickej signatúry PVT. Potvrďuje to aj sled špičiek, ktoré tvoria harmonický rad, ako možno jasne identifikovať na príslušnom spektrograme (**obrázok č. 7B**). Dva harmonické rady (t. j. akustické signatúry PVT) identifikované v dome č. 3 sú prítomné aj v dome č. 2, ako je vidieť na spektrograme **na obrázku č. 8**.

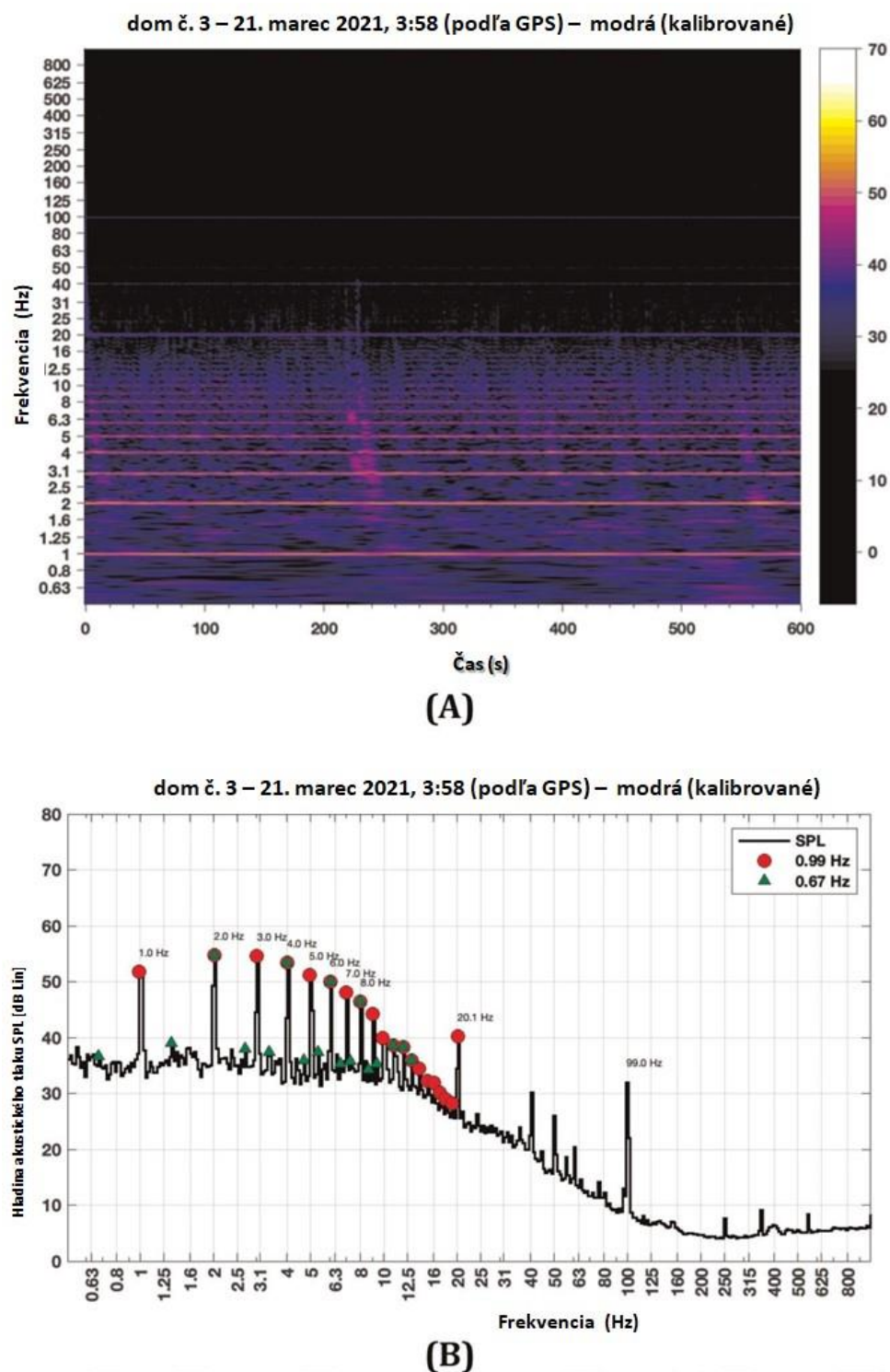
Obrázky č. 7B a 8 ukazujú veľmi podobné príklady dominantných akustických signálov PVT. Harmonická analýza zvyrazňuje harmonický rad so základnou frekvenciou 1 Hz (0,99 Hz na obrázkoch) a minimálne prvých 19 harmonických. Modely Gamesa 80 a 87 PVT majú frekvenciu priechodu lopatiek 1 Hz. Druhý identifikovaný harmonický rad má základnú frekvenciu 0,67 Hz. Frekvencia priechodu lopatiek modelu Gamesa 114 je 0,67 Hz. Samostatný harmonický rad začína pri 20 Hz z neznámeho zdroja, pravdepodobne z prevodoviek PVT.

4. Diskusia

4.1 Narušenie spánku a výraznosť harmonických špičiek

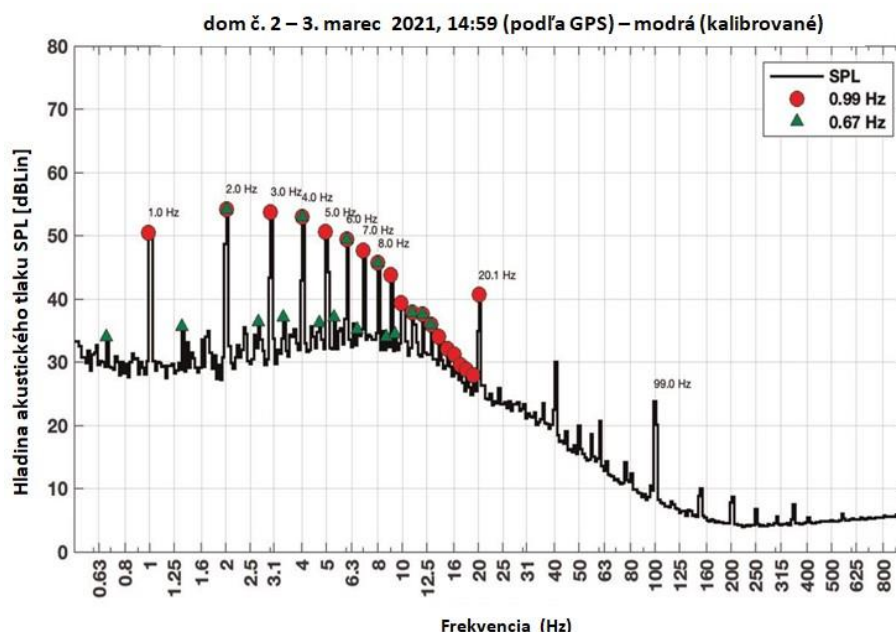
Harmonické série pozorované vo všetkých 18 vzorkách „závažnej“ epizódy, ktoré chýbali vo všetkých 18 vzorkách „pokojnej“ epizódy, sa považujú za akustickú signatúru PVT s frekvenciou priechodu lopatiek 0,75 Hz. Akustická signatúra generovaná PVT je sled tlakových impulzov s periódou rovnajúcou sa recipročnej frekvencii priechodu lopatiek PVT. Prejavuje sa ako harmonický rad špičiek v infrazvukovej oblasti spektrogramu, ktorý je viditeľný na **obrázkoch č. 5B, 7B a 8**, zatiaľ čo na **obrázku č. 6B** chýba. Na sonogramoch je prítomná akustická signatúra PVT zobrazená ako súvislé horizontálne čiary, vid' **obrázky č. 5A a 7A**, zatiaľ čo na **obrázku č. 6A** chýba.

Túto novú metodiku s vysokým rozlíšením na hodnotenie infrazvukového prostredia je možné prirovnať prechodu od lupy k mikroskopu. Predtým nezistené akustické udalosti sú teraz identifikovateľné a dokonca aj kvantifikovateľné (pozri časti 5.2 a 5.3 nižšie). To, čo bolo pri použití klasických metodík hodnotenia hluku (segmentácia 1/3-oktávového pásma v 10-minútových priemeroch a s hladinami akustického tlaku meranými v dBA alebo dBG) nezistiteľné – a teda sa predpokladalo, že neexistuje, čo pravdepodobne odôvodňovalo psychosomatický pôvod sťažností obyvateľov, sa pri pozorovaniach s vysokým rozlíšením stalo viditeľným.



Obrázok č. 7.
(A) Sonogram zobrazujúci zvukové prostredie v podkrovnej spálni domu č. 3 počas 600 sekúnd s rozlíšením pásma 1/36 oktávy, časovým rozlíšením 1 sekunda a úrovňami tlaku v dB, ako je uvedené na farebnej stupnici. Pri frekvenciách pod prahom počuteľnosti sú ľahko pozorovateľné súvislé horizontálne čiary, ktoré odrážajú existenciu akustických signatúr PVT. (B) Spektrogram zobrazujúci dva najvýraznejšie harmonické rady so základnými frekvenciami 0,67 Hz a 0,99 Hz, ktoré odrážajú akustické signatúry PVT z rôznych modelov PVT s rôznymi frekvenciami priepustnosti lopatiek.

Napriek tomu, že ide o frekvencie a hladiny akustického tlaku, ktoré sa klasicky považujú za „pod prahom ľudského sluchu“, sa preukázala veľmi jasná korelácia medzi existenciou týchto špičiek vo frekvenčných spektrách a narušením normálnej biologickej funkcie – poruchou spánku, po ktorej nasleduje potreba samoliečby benzodiazepínmi. Napriek tomu, hoci je korelácia veľmi jasná, jej dôveryhodnosť znižuje relatívne malý časový rámec. Zvýšená



Obrázok č. 8.

Spektrogram zobrazujúci zvukové prostredie v spálni na poschodí domu č. 2 v priebehu 600 sekúnd s rozlíšením pásma 1/36 oktávy a časovým rozlíšením 1 sekunda. Dva najvýraznejšie harmonické rady so základnými frekvenciami 0,67 Hz a 0,99 Hz, ktoré odrážajú akustické podpisy PVT z rôznych modelov PVT s rôznymi frekvenciami priechodu lopatiek, sú ľahko identifikovateľné.

dôvera môže vyplynúť len z ďalšej práce na rozšírení použitia tohto opatrenia na mnoho ďalších prípadov (prebiehajúce úsilie týchto autorov).

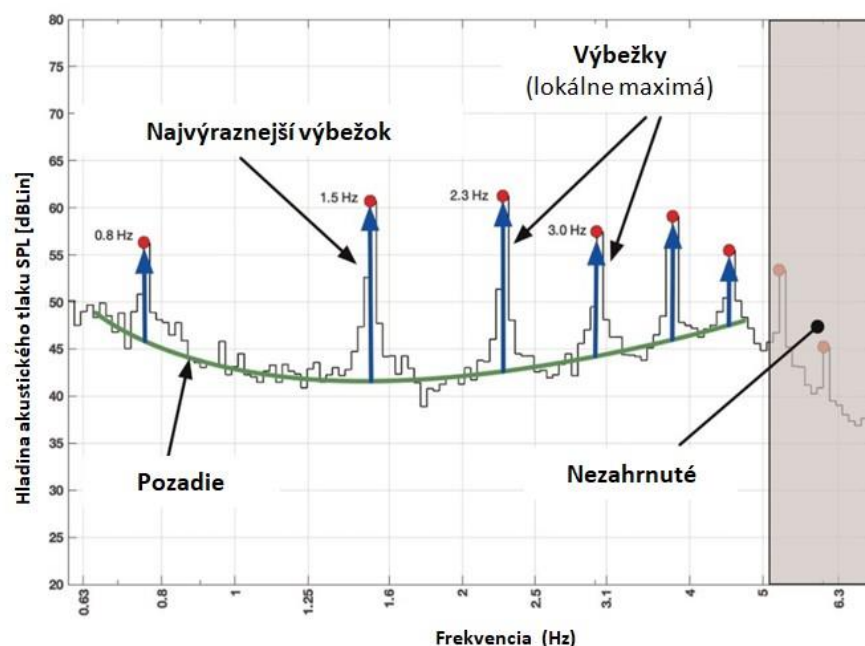
Otázka, ako môžu tieto infrazvukové akustické udalosti spôsobiť biologické narušenie, je stále nejasná. Štúdie nemeckých vedcov využívajúce funkčnú magnetickú rezonanciu – pri vystavení subjektov infrazvuku – však možno odhalili významné vodítko: okrem aktivácie klasicky identifikovaných audiálnych dráh infrazvukové podnety aktivujú aj oblasti mozgu, o ktorých sa predpokladá, že sú zodpovedné za emocionálne a autonómne reakcie [22].

4.2 Výraznosť harmonických špičiek – nová metrika?

Zdá sa, že výbežok týchto harmonických špičiek nad hlukom pozadia má veľký význam pre otázky súvisiace so zdravím. Na **obrázku č. 9** je znázornený harmonický rad identifikovaný v akustickej signatúre PVT, vzdušný sled impulzov vyskytujúcich sa v oblasti 0,5 – 5 Hz. Všimnite si, že trvalá alebo nepretržitá existencia tohto typu harmonického radu spája tento akustický jav s ľudskými zdrojmi, pretože prejavy takýchto harmonických radov z prírodných zdrojov sú mimoriadne zriedkavé. Neexistuje žiadna zavedená metodika na kvantifikáciu výskytu týchto špičiek.

V tomto dokumente sa navrhuje nová metrika, ktorá môže presnejšie poskytnúť mieru „dávky“ tohto pulzného pôvodcu ochorenia. Túto mieru sme nazvali *harmonický výbežok*, H_p , a je definovaná ako najväčší výbežok ktorejkoľvek harmonickej frekvencie ktoréhokoľvek harmonického radu v rámci frekvenčnej oblasti 0,5 – 5 Hz. Na **obrázku č. 9** je $H_p = 17$ dB pri frekvencii 1,5 Hz. V konkrétnom prípade PVT sa uvažuje len s harmonickými radmi so základnou frekvenciou rovnajúcou sa frekvencii priechodu lopatiek PVT. V špecifickom prípade metodiky získavania údajov, ktorá je podrobne opísaná vyššie, sa najvyššia výbežok harmonických radov určuje v časových úsekoch 600 sekúnd.

Existuje celý rad matematických definícií, metodík a softvérových balíkov spojených s kvantifikáciou maximálneho výbežku nad pozadím pre takmer všetky typy vlnových javov.



Obrázok č. 9.

Určenie úrovne výbežku na základe 1/36-oktávových frekvenčných pásiem. Najväčší výbežok H_p (pozri text) v tomto rade je približne 17 dB nad pozadím. (Číselné údaje pre tento obrázok boli získané v dome č. 1 počas „závažnej“ epizódy).

Autori tejto správy sa držali formálnych definícií výbežku vo frekvenčnom spektrograme stanovenej programom MATLAB, ktorý má hrubú definíciu výbežku v zmysle výšky špičky a lokálnej úrovne pozadia [23].

Parameter H_p nemeria celkovú energiu impulzov vo vláčiku impulzov, ktoré vychádzajú z PVT. Táto energia je rozložená na všetky harmonické zložky impulzov – špičky v spektrograme, pričom táto miera sa zaoberá len špičkou s najväčším výbežkom. Preto sa H_p nemôže považovať za mieru energie.

Ďalším prístupom by bolo hľadanie v časovej oblasti a nie vo frekvenčnej oblasti. V tomto prípade by sa na získanie miery „špičkovosti“ impulzov mohla použiť miera, ako je napríklad faktor výkyvu, pomocou ich celkovej energie. Tieto ďalšie možnosti výskumu sú predmetom ďalšieho skúmania týchto autorov a ich spolupracovníkov [17].

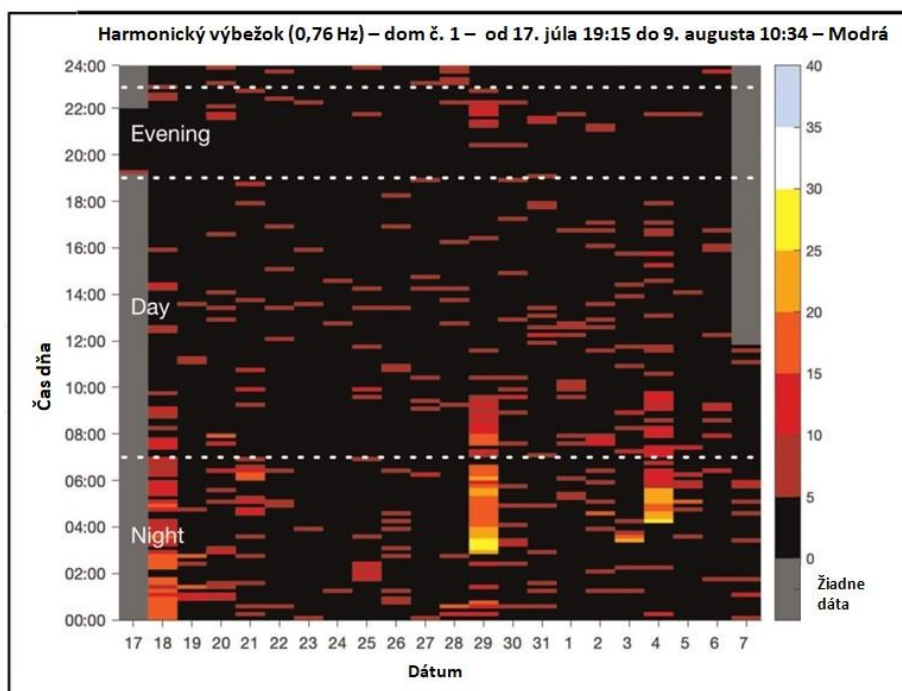
4.3 Denné grafy – hodnotenie dlhodobého vystavenia infrazvuku

Parameter H_p môže poskytnúť vedcom v oblasti zdravia základný ukazovateľ najväčšieho výskytu nad pozadím, ktorý existuje v rámci 10-minútového merania.

Keď sa kontinuálne merania udržiavajú počas niekoľkých dní (alebo týždňov), odhalí sa jasnejší obraz týkajúci sa dlhodobých zmien expozície týmto vlakom impulzov.

Na **obrázku č. 10** je znázornený graf denného času pre údaje zozbierané v dome č. 1 v období 18. júla – 9. augusta 2020. H_p je tu vykreslený ako plocha s dátumom ako abscisou a denným časom ako ordinátou. Pre každé 24-hodinové obdobie je 144 desaťminútových vzoriek. Hodnoty H_p sa určili pre každú desaťminútovú vzorku a potom sa rozdelili do binov (mierka: <5 dB, 5 – 10 dB, 10 – 15 dB, 15 – 20 dB, 20 – 25 dB a > 25 dB), ako sa odráža na farebnej škále na **obrázku č. 10**.

Podobné denné grafy boli vytvorené pre domy č. 2 a 3, ako je znázornené na **obrázkoch č. 11 a 12**. Hoci tieto typy grafov sú informatívne, pokiaľ ide o čas a



Obrázok 10.

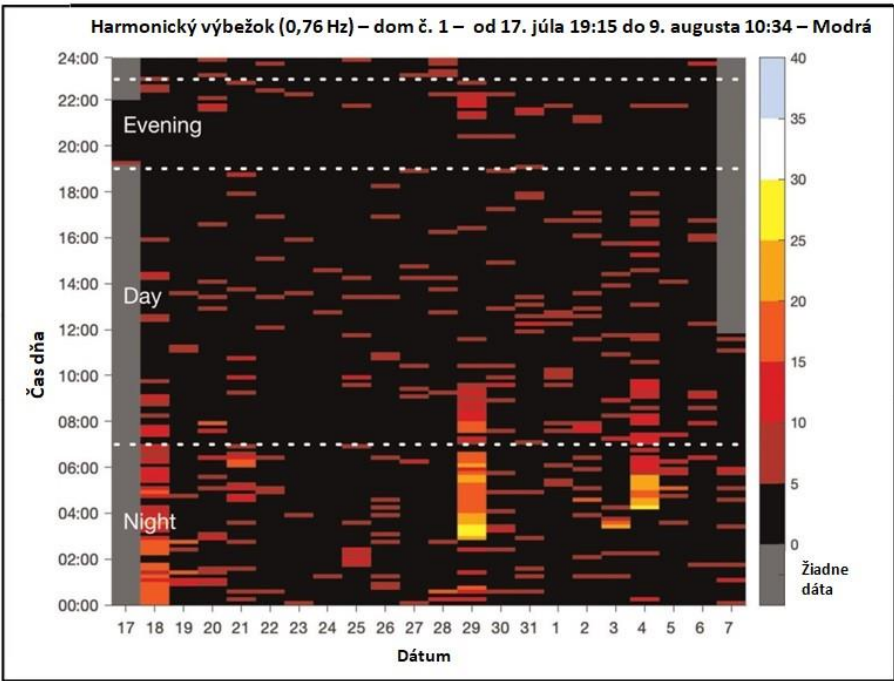
Denný rozpis pre dom č. 1. Ťažká epizóda sa odohrala 29. júla, zatiaľ čo „pokojná“ epizóda sa odohrala 22. júla. Noci 18. júla a 4. augusta tiež ukazujú prítomnosť protuberancií. „Pokojné“ ráno (22. júla) má len jednu 10-minútovú vzorku s významnou úrovňou H_p . Zdá sa, že nasledujúce dve rána tiež nemajú žiadne významné vzorky H_p , ale v denníku obyvateľov neboli zaznamenané ani ako pokojné, ani ako rušivé. „Ťažké“ ráno (29. júla) od 3.00 h do približne 9.00 h sa ukazuje v ostrom kontraste s ostatnými ranami, čo naznačuje nielen to, že hladiny H_p boli vysoké, ale aj to, že boli najvyššie v celej dĺžke záznamu. Noc zo 4. 8. tiež vykazuje interval 10-minútových vzoriek so silnými hladinami H_p . Keďže denník obyvateľov sa končí 31. júla, ich skúsenosti v tento deň neboli zaznamenané. Napokon noc z 18. júla vykazuje zvýšené hladiny H_p od polnoci, hoci nedosiahli rovnaké hodnoty ako 29. júla alebo 4. augusta. V denníkovom zázname rodiny E. z 18. júla o 4:00 sa uvádza, že „hluk bol neznesiteľný“ a „znel ako vykoľajený vlak“.

trvanie, počas ktorého sú ľudia vystavení vyšším alebo nižším hladinám H_p , je stále dôležité prezerat' sonogramy, aby sme získali skutočnú predstavu o povahe zvukového prostredia v danom čase. Napríklad len z tohto grafu nie je možné určiť, či sú nižšie hladiny H_p pozorované v dome č. 2 ráno 27. januára (**obrázok č. 11**) sú spôsobené prítomnosťou vyššej hladiny hluku pozadia, alebo či sa hladiny H_p skutočne znížili.

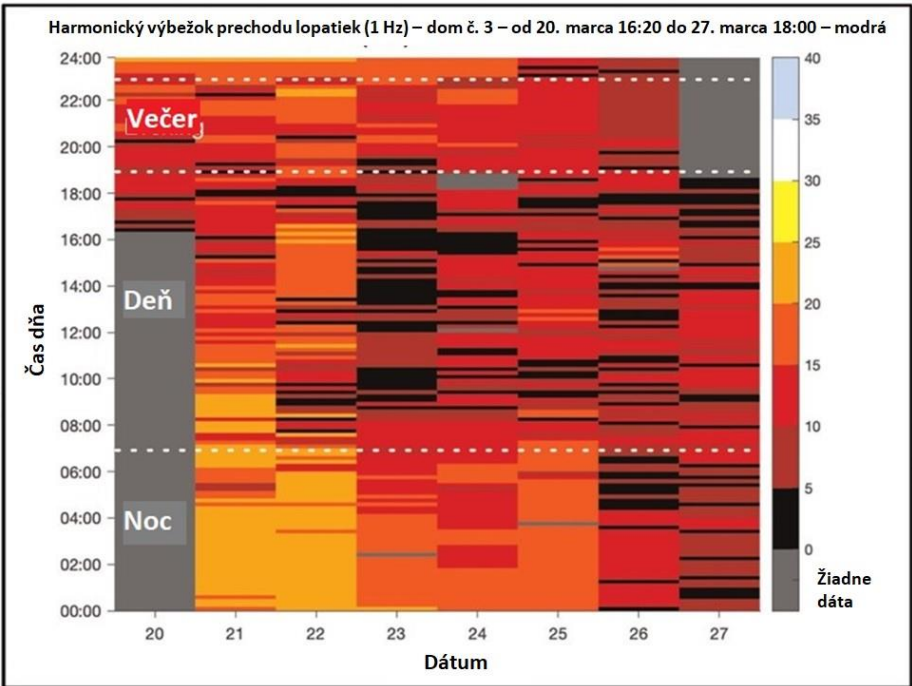
Všimnite si, že nie všetky 10-minútové intervaly, v ktorých je H_p zobrazený ako 0 (čierna farba), sú v skutočnosti 0. Impulzívny zvuk spôsobený takými udalosťami, ako je chôdza ľudí po podlahe alebo zatváranie dverí, môže kontaminovať celý 10-minútový záznam, pretože impulz sa rozkladá na čoraz dlhšie časové intervaly s klesajúcou frekvenciou 1/36-oktávových pásiem.

Ak chcete použiť mieru H_p ako súčasť metriky dávky a odozvy, najjednoduchšou metódou by bolo integrovať ju v čase, t. j. vynásobiť každú hodnotu 10 minútami a zrátať ju pre metriku v decibeloch v minútach. Dlhodobé vystavenie by sa mohlo merať v decibel-rokoch. V rámci budúceho výskumu by sa dokonca mohli vyvinúť infrazvukové dozimetre pre pracovníkov, podobné tým, ktoré sa používajú pri vystavení žiareniu.

Pri porovnaní infrazvukového prostredia v dome č. 1 s prostredím v domoch č. 2 a 3 je zrejmý hlavný rozdiel: v týchto dvoch domoch sa obdobia oddychu (čierne oblasti v denných grafoch) takmer nevyskytujú. Obdobia oddychu sa chápu ako čas biologickej regenerácie, počas ktorého nie je prítomný pôvodca choroby a fyziologická obnova buniek môže prebiehať bez zásahu akustického agresora. V dome č. 1 je možnosť porovnania období



Obrázok č. 11.
Denný rozpis pre dom č. 2. Vizualna kontrola ukazuje, že H_p bol najdominantnejší od 2. do 6. dňa ráno a dosiahol najvyššiu hodnotu okolo 15.00 hod. 3. dňa, pričom H_p sa pohyboval medzi 25 a 30 dB nad pozadím.



Obrázok č. 13.
Denný rozpis pre dom č. 3. Najdominantnejšie epizódy, t. j. najvyššia úroveň H_p , boli v noci. Ráno 21. a 22. dňa boli zaznamenané najsilnejšie H_p (20 – 25 dB), zatiaľ čo ráno 27. dňa boli najslabšie.

kedy je akustická signatúra PVT prítomná a kedy chýba. Je zrejmé, že v prípade domovov č. 2 a 3, kde úroveň H_p naznačuje, že akustické podpisy PVT sú takmer vždy prítomné vo väčšej alebo menšej miere (farebná škála), je to oveľa zložitejšie.

4.4 Veterné ružice harmonických výbežkov

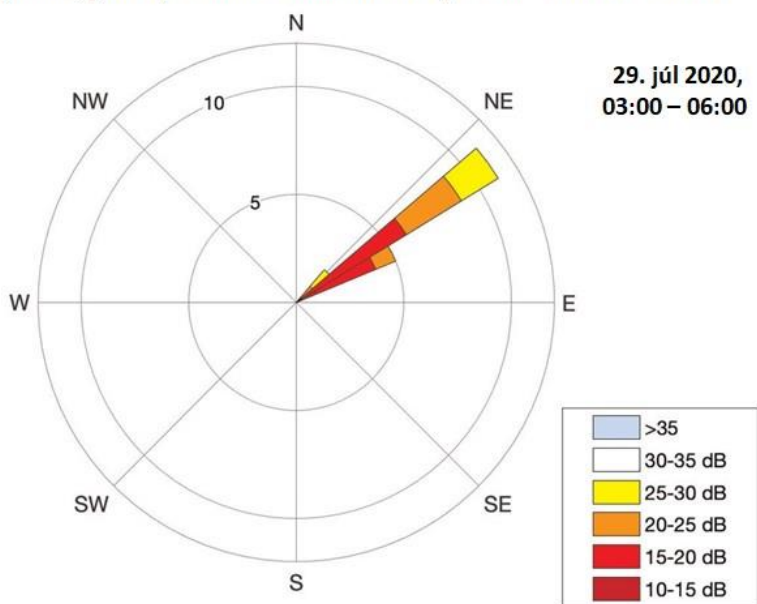
Šírenie zvuku vzduchom ovplyvňuje vietor a poveternostné podmienky. Okrem zrejmeho faktu, že vietor „nesie zvuk“, a tým znižuje útlm pri vetre, môžu šírenie aj útlm zvuku výrazne zmeniť aj iné vlastnosti atmosféry. Napríklad zvyšujúca sa vlhkosť vzduchu zlepšuje šírenie, zatiaľ čo atmosférické inverzné vrstvy môžu vytvárať „mŕtve zóny“, v ktorých zvuk nebude počuť napriek blízkosti zdroja. Okrem týchto účinkov sa šírenie a útlm infrazvuku v niektorých dôležitých ohľadoch líši od šírenia zvuku s vyššími frekvenciami. Zatiaľ čo zvuk vyšších frekvencií sa znižuje o 6 dB na zdvojnásobenie vzdialenosti – inverzný štvorcový zákon – infrazvuk sa znižuje len o 3 dB. Infrazvuk je tiež náchylnejší na lom okolo veľkých objektov, ako sú kopce, a na stekanie do údolí.

Zlúčenie meteorologických údajov (smer vetra) a akustických údajov (H_p) môže poskytnúť pohľad na tieto rozdiely spôsobené počasím a terénom, ktoré môžu významne ovplyvniť úrovne H_p . Toto zlúčenie údajov je pomenované ako *veterná ružica harmonického výbežku*, ktorá je inšpirovaná bežnou veternou ružicou. Príklad možno vidieť na **obrázku č. 13**, ktorý odráža údaje získané v dome č. 1.

Veterná ružica H_p je poskladaný frekvenčný histogram vynesný v polárnych súradniciach. Zobrazuje počet 10-minútových vzoriek s H_p v každom bine úrovne dB v smere vtedy prevládajúceho vetra. Každý bin je označený farbou a počet vzoriek je uvedený dĺžkou každého segmentu v radiálnom smere. To poskytuje dôležité informácie napríklad vtedy, kedy sa najsilnejšie úrovne H_p zhodujú s daným smerom vetra.

Ak v mieste zvukových záznamov nie je k dispozícii certifikovaná meteorologická stanica, na poskytnutie údajov o vetre sa musia použiť najbližšie národné meteorologické stanice. To môže byť problematické, pretože mnohé meteorologické služby neposkytujú údaje na najbližších meteorologických

Prechod lopatiek (0,76 Hz) – Ružica harmonického výbežku – dom č.1 – Modrá



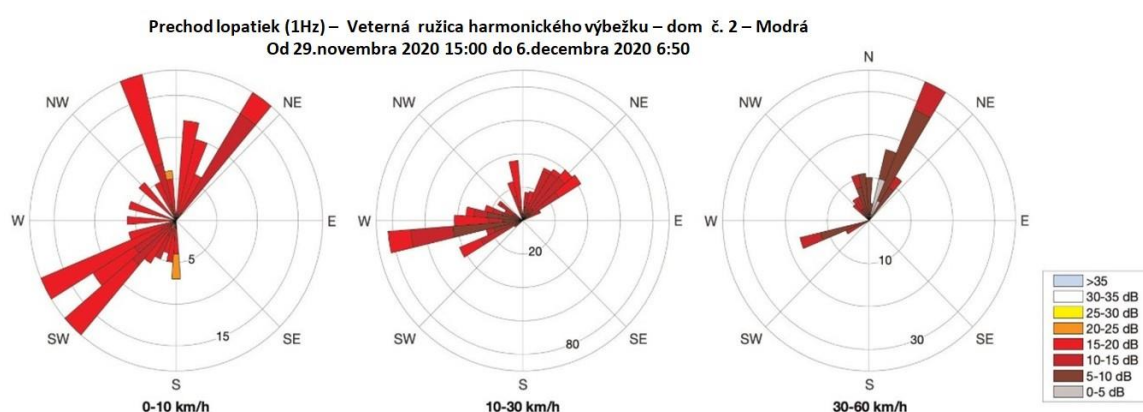
Obrázok č. 13.

Veterná ružica harmonického výbežku pre dom č. 1. Údaje sa týkajú 18 vzoriek skúmaných počas „závažnej“ epizódy. Najvyššie hladiny H_p (žltá farba) boli zaznamenané, keď vietor fúkal zo severovýchodného kvadrantu. (Údaje o vetre z meteorologickej stanice vzdialenej 12,5 km od domu č. 1).

staniciach, ale skôr syntetizované informácie o počasí pomocou vlastných modelov počasia. Poskytnutý smer vetra preto nemusí byť nevyhnutne rovnaký ako na mieste záznamu. Okrem toho smer vetra vo výške rotora PVT nemusí byť rovnaký ako vo výške meteorologickej stanice alebo domu. Preto sa nedá povedať, že smer vetra udáva smer zdroja akustickej signatúry PVT vo vzťahu k domu.

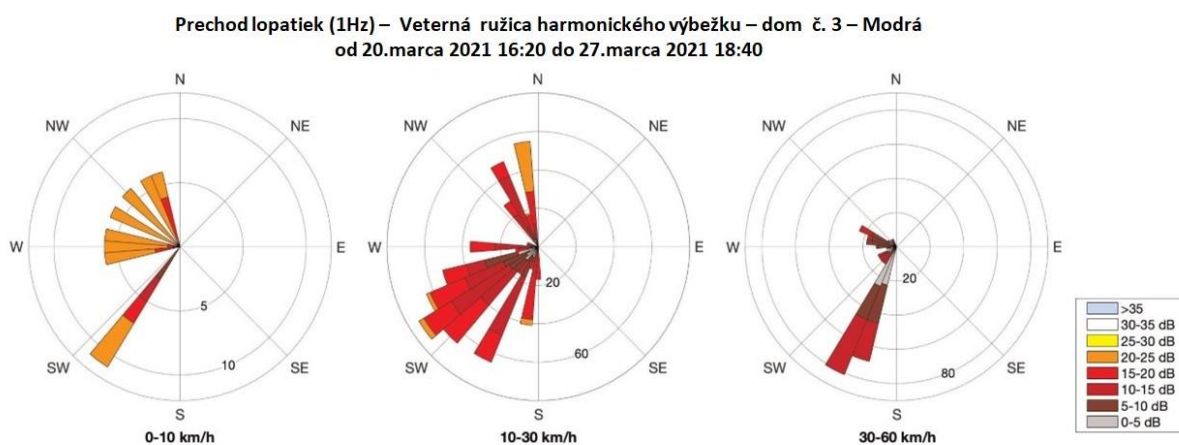
Smer vetra môže poskytnúť určité informácie, no rovnako dôležitá je aj rýchlosť vetra. To vedie k vykresleniu veterných ružíc H_p pre údaje v rozsahu rýchlosti vetra. Príklady sú uvedené na **obrázkoch č. 14 a 15** pre tri rozsahy. Ľavý graf je ružica vetra H_p pre všetky 10-minútové obdobia v intervale záznamu, kedy vietor fúkal rýchlosťou 0 až 10 km/h, stredný graf je pre rýchlosť vetra 10 až 30 km/h a pravý graf je pre rýchlosť vetra 30 až 60 km/h.

Skutočnosť, že viacdnový záznam domu č. 3 nezahŕňa vietor z východnej polovice kompasu, zdôrazňuje fakt, že primeraná vzorka veterných podmienok bude zahŕňať záznamy z celého roka, aby sa pokryli všetky ročné obdobia.



Obrázok 14.

Veterné ružice harmonického výbežku pre tri rozsahy rýchlosti vetra pre dom č. 2. *Najsilnejšia H_p je pri najnižšej rýchlosti vetra, ktorá je najdôslednejšie dominantná pri juhozápadnom a severoseverovýchodnom vetre; t. j. sektory veternej ruže v týchto smeroch sú takmer úplne tvorené 10-minútovými intervalmi, v ktorých H_p bola medzi 15 a 20 dB (červená farba). Na porovnanie, tam, kde vietor fúkal zo severovýchodu, má túto úroveň len približne 15 % zvukových súborov. Pri najvyšších rýchlostiach vetra nemožno pozorovať žiadne prípady s H_p 15 – 20 dB.*



Obrázok 15.

Veterné ružice harmonických výbežkov pre tri rozsahy rýchlosti vetra pre dom č. 3. *Najsilnejšia H_p je pri najnižšej rýchlosti vetra, ktorá je najpravidelnejšie dominantná pri západnom až severozápadnom vetre. To znamená, že sektory veternej ruže v týchto smeroch sú takmer úplne tvorené 10-minútovými intervalmi, v ktorých H_p bola medzi 20 a 25 dB (oranžová farba). Na porovnanie, tam, kde vietor fúkal z juhozápadu, má túto úroveň len približne 1/3 zvukových súborov. Pri najvyšších rýchlostiach vetra nemožno pozorovať žiadne prípady, v ktorých by H_p dosahovalo aj 15 – 20 dB.*

Inverzná závislosť H_p od rýchlosti vetra je spôsobená tým, že hluk vetra sa zvyšuje s rastúcou rýchlosťou vetra, čím sa zvyšuje aj úroveň hluku pozadia – vrátane infrazvukovej oblasti. Hladiny akustického tlaku impulzov PVT však zostávajú konštantné, preto bude mať H_p nižšie hodnoty (pozri **obrázok č. 9**). Nezodpovedanou otázkou je, či ľudský mozog spracúva informácie o akustických signatúrach PVT, keď sa tieto javia ako zakryté alebo vložené do zvýšeného hluku pozadia, meraného prístrojom.

4.5 Stanovisko iných autorov

Pri tomto type vedeckého úsilia sa zvyčajne očakáva, že sa predstavia aj práce iných autorov, aby sa vytvoril kontext a umožnila sa porovnávacia analýza dosiahnutých výsledkov a/alebo použitých metodík. Bohužiaľ, väčšina, ak nie všetky práce o infrazvuku sa vykonávajú s rozlíšením $\frac{1}{3}$ oktávy, čo okamžite vylučuje akékoľvek porovnanie údajov s údajmi, ktoré sú tu uvedené. V dôsledku rôznych podmieňujúcich faktorov, ktoré platia už desaťročia, hladinometry ľahko dostupné na trhu nedisponujú technickými možnosťami na tento typ získavania údajov a čiastkových analýz. Zároveň sa mnohé zdravotné aspekty, ktoré sa skúmajú v kontexte vnútrozemskej lodnej dopravy, obmedzujú na meranie „obťažnosti“ (neklinický a veľmi subjektívny parameter) alebo na počuteľnosť zvuku, z ktorých ani jeden nie je veľmi relevantný pre tu prezentované výsledky.

V roku 2018 Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) uverejnila dokument s názvom: *Usmernenia o hluku v životnom prostredí pre európsky región* [24]. Slovo „infrazvuk“ má jeden jediný záznam, a to na strane 85 v časti s názvom *Hluk veterných turbín*:

„Veterné turbíny môžu generovať infrazvuk alebo nižšie frekvencie zvuku ako dopravné zdroje. Je však k dispozícii len málo štúdií, ktoré by sa týkali vystavenia takémuto hluku z veterných turbín a účinkov na zdravie. Nie je tiež známe, či sú nižšie frekvencie zvuku generovaného vonku počuteľné v interiéri, najmä pri zatvorených oknách.“

Tieto a ďalšie tvrdenia odrážajú hlboké nepochopenie významu časového profilu vystavenia zvuku, ktorý súvisí s biologickými reakciami (napr. doprava nevytvára harmonické špičky s jednosekundovou frekvenciou impulzov). Na obhajobu tohto stanoviska WHO však treba uznať, že metódy, ktoré používa na hodnotenie zvuku, nevyhnutne vylučujú pozorovanie a identifikáciu harmonických radov spojených s vnútrozemskou dopravou. Návrh, že počuteľnosť hladín infrazvuku (čo je samo o sebe oxymoron podľa klasických definícií) možno zmierniť zatvorenými oknami, jasne poukazuje na hlboký nedostatok poznatkov o fyzikálnych vlastnostiach šíriacich sa tlakových vln vo vzduchu v infrazvukovom rozsahu [25 - 27].

5. Závery

Táto kapitola poskytuje odlišný prístup k meraniu a analýze infrazvuku v domoch a v okolí domov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti veterných elektrární.

Príklady ukazujú, ako sa pomocou vyšších časových a spektrálnych rozlíšení (1 sekunda a $1/36$ oktávy) a bez akéhokoľvek frekvenčného váhania dajú odhaliť akustické vlastnosti v infrazvukovom rozsahu, ktoré môžu naznačovať príčinnú súvislosť so zdravotnými symptómami hlásenými samotnými pacientmi. Táto možnosť sa zvyčajne považuje za neexistujúcu, pretože infrazvukové pásmo sa všeobecne považuje za nepočuteľné, a teda pre človeka neškodné.

Vzniká teda podozrenie, že súčasné postupy ochrany pred hlukom nie sú dostatočné na ochranu verejného zdravia a ochranu zdravia pri práci. Prístup použitý autormi tejto správy ponúka pevnejší rámec, na základe ktorého je možné pokračovať v stanovovaní vzťahov medzi dávkou a odozvou v prípade vystavenia infrazvuku. Budúce štúdie sa rozširujú na hlučné pracovné prostredia a rôzne environmentálne podmienky, kde zdrojom hluku nie je veterná energia.

Pod'akovanie

Radi by sme poďakovali Susan Crosthwaite (Citizen's Initiative UK a Independent Noise Working Group – INWG) a Melvinovi Grosvenorovi (Grosvenor Consultancy a Independent Noise Working Group – INWG) za neoceniteľnú pomoc. Takisto by sme radi poďakovali všetkým rodinám, ktoré prispeli a naďalej prispievajú k tejto občiansko-vedeckej iniciatíve zameranej na akustickú charakterizáciu ľudského prostredia. Na záver by sme radi vyjadrili naše hlboké uznanie za základné znalosti a dlhodobú podporu, ktorú nám poskytli Dr. Bruce I. Rapley a Soundscape Analytics.

Tento projekt získal etické schválenie od Etickej komisie Nového Zélandu (pozri www.nzethics.com), číslo žiadosti NZEC19_12.

Konflikt záujmov

HHCB vyvinul softvér na zaznamenávanie a analýzu zvukových súborov pre systém SAM bez finančného záujmu. MAP bez konfliktu záujmov. RM bez konfliktu záujmov. RS prispela k vývoju systému SAM bez finančného záujmu. PD bez konfliktu záujmov.

Autori

Huub Bakker ¹, Mariana Alves-Pereira ^{2*}, Richard Mann ³, Rachel Summers¹ a Philip Dickinson ¹

1. Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky (International Acoustics Research Organization, IARO), Palmerston North, Nový Zéland

2. Lusófona University, Lisabon, Portugalsko

3. University of Waterloo, Ontário, Kanada

*E-mailová adresa: m.alvespereira@gmail.com

IntechOpen

© 2022 Autor(i). Licencovaný používateľ IntechOpen. Táto kapitola je distribuovaná v súlade s podmienkami licencie Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>), ktorá povoľuje neobmedzené používanie, distribúciu a reprodukciu v akomkoľvek médiu za predpokladu, že pôvodné dielo bude správne citované.

Použitá literatúra

- [1] Pimorov L, editor. Les Infra-Sons. Francúzsko: CNRS Publishing; 1974
- [2] Stepanov V. Biologické účinky nízkofrekvenčných akustických oscilácií a ich hygienická regulácia. Moskva: Štátne výskumné centrum Ruskej federácie; 2000
- [3] Kaeding EF. Preklatie repoweringu – Dlhý zostup. Die Tageszeitung. 2014. [V nemčine] <https://www.taz.de/Archiv-Suche/?5032786&s=hogeeven/>
- [4] Wetzel D. [Energetická dánska debata – spôsobuje infrazvuk veterných turbín ochorenie?] Die Welt. 2015. [V nemčine] <https://www.welt.de/wirtschaft/energie/article137970641/Macht-der-Infraschall-von-Windkraftanlagen-krank.html>.
- [5] Dumbrille A, McMurtry RY, Krogh CM. Wind turbines and adverse health effects: Applying Bradford Hill's criteria for causation (Veterné turbíny a nepriaznivé účinky na zdravie: Uplatnenie kritérií Bradforda Hilla pre príčinnú súvislosť). Environmental Disease. 2021;6:65-87
- [6] Zajamsek B, Micic G, Hansen K, Catcheside DPN. Wind farm infrasound detectability and its effects on the perception of wind farm noise amplitude modulation (Detekovateľnosť infrazvuku veterných elektrární a jeho vplyv na vnímanie amplitúdovej modulácie hluku veterných elektrární). In: Proceedings of the Annual Conference of the Australian Acoustical Society; 10-13 November 2019. Cape Schanck, Victoria, Austrália; 2019. s. 487-494
- [7] Maijala P, Turunen A, Kurki I, Vainio L, Pakarinen S, et al. Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines (Infrazvuk nevysvetľuje symptómy súvisiace s veternými turbínami). Helsinki, Fínsko: Sériá publikácií vlády. Study and Research Activities; 2020. s. 34
- [8] Ratzel U, Bayer O, Brachat P, Hoffmann M, Janke K et al. Low frequency noise including infrasound from wind turbines and other sources: Report on results of the measurement project 2013-2015 (Nízkofrekvenčný hluk vrátane infrazvuku z veterných turbín a iných zdrojov: Správa o výsledkoch projektu merania 2013-2015). Štátny úrad pre životné prostredie, meranie a ochranu prírody spolkovej krajiny Bádensko-Württembersko, Karlsruhe, Nemecko. 2020. https://pudi.lubw.de/de/tailseite/-/publication/13796-Report_on_results_of_the_measurement_project_2013-2015.pdf
- [9] Crichton F, Chapman S, Cundy T, Petrie KJ. The link between health complaints and wind turbines: Support for the nocebo expectations hypothesis (Súvislosť medzi zdravotnými sťažnosťami a veternými turbínami: Podpora hypotézy nocebo očakávaní). Frontiers of Public Health (Hranice verejného zdravia). 2014;2:Článok 220
- [10] Pedersen E, van den Berg F, Bakker R, Bouma J. Response to noise from modern wind farms in the Netherlands (Reakcia na hluk z moderných veterných fariem v Holandsku). Journal of the Acoustical Society of America. 2009;126:634-643. DOI: 10.1121/1.3160293
- [11] Agnew RCN, Smith VJ, Fowkes RC. Wind turbines cause chronic stress in badgers (meles meles) in Great Britain (Veterné turbíny spôsobujú chronický stres u jazvecov lesných (Meles meles) vo Veľkej Británii). Journal of Wildlife Diseases. 2016;53: 459-467
- [12] Zou LH, Shi YJ, He H, Jiang SM, Huo FF, et al. Effects of FGF2/FGFR1 pathway on expression of A1 astrocytes after infrasound exposure (Účinky cesty FGF2/FGFR1 na prejav astrocytov A1 po vystavení infrazvuku) Frontiers in Neuroscience. 2019;13:429. DOI: 10.3389/fnins.2019.00429
- [13] Zhao JH, Wang JH, Luo JY, Guo XY, Wang Y, et al. Effects of infrasound on gastric motility, gastric morphology and expression of nitric oxide synthase in rat (Účinky infrazvuku na žalúdočnú motilitu, morfológiu žalúdka a expresiu syntázy oxidu dusnatého u potkanov). Biomedical and Environmental Sciences. 2018;31:399-402. DOI: 10.3967/bes2018.052
- [14] ISO1996-2:2007(E). Acoustics. Description, Measurement and Assessment

of Environmental Noise. Part 2: Determination of Environmental Noise Levels (Posudzovanie hluku v životnom prostredí. Časť 2: Určovanie hladín hluku v prostredí). Ženeva, Švajčiarsko: ISO; 2007

[15] ISO 7196:1995(E). Acoustics. Frequency-weighting Characteristic for Infrasound Measurements (Akustika. Frekvenčná váhová charakteristika pre merania infrazvuku). Ženeva, Švajčiarsko: ISO; 1995

[16] Agentúra na ochranu zdravia (Spojené kráľovstvo). Health Effect of Exposure to Ultrasound and Infrasound-Report of the Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation (Zdravotný vplyv vystavenia ultrazvuku a infrazvuku – správa nezávislej poradnej skupiny pre neionizujúce žiarenie). Londýn: Health Protection Agency; 2010

[17] IARO – International Acoustics Research Organization (Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky) – predstavuje skupinu vedcov, ktorí majú spoločne viac ako 200 rokov vedeckých skúseností v oblasti infrazvuku a nízkofrekvenčného hluku a jeho účinkov na ľudské zdravie. Od roku 2016 naši výskumníci zaznamenávajú a analyzujú akustické údaje v domoch a v okolí domov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti pobrežných veterných elektrární v nasledujúcich krajinách (v abecednom poradí): Anglicko, Austrália, Dánsko, Francúzsko, Holandsko, Írsko, Kanada, Nemecko, Nový Zéland, Portugalsko, Severné Írsko, Slovinsko a Škótsko. Pred rokom 2016 už všetci vedci z IARO pracovali buď len v oblasti akustiky, alebo v oblasti akustiky a zdravia. Všetok výskum, ktorý vykonáva IARO, je súčasťou občiansko-vedeckej iniciatívy pre akustickú charakteristiku ľudského prostredia (CSI-ACHE), ktorej výskumné protokoly schválila novozélandská etická komisia (číslo žiadosti NZEC19_12). www.iaro.org.nz

[18] Bakker HHC, Rapley BI, Summers SR, Alves-Pereira M, Dickinson PJ. An affordable recording instrument for the acoustical characterisation of human environments (Cenovo dostupný záznamový prístroj na akustickú charakterizáciu ľudského

Prostredia). In: Proceedings International Conference Biological Effects of Noise (ICBEN). Zürich, Švajčiarsko; 2017

[19] Číslo modelu: EM246 ASSY, Primo Co, Ltd, Tokio, Japonsko. Dostupné z: <https://www.primo.com.sg/componen ts/>

[20] IPMA [Portugalský národný inštitút pre more a atmosféru]. www.ipma.pt

[21] Open Weather, Londýn, Spojené kráľovstvo, 2022. <http://www.openweathermap.org>

[22] Weichenberger M, Bauer M, Kuhler R, Hensel J, Forlim CG, et al. Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI (Zmenená kortikálna a subkortikálna konektivita v dôsledku infrazvuku podávaného blízko prahu sluchu: Dôkazy z fMRI). PLoS One. 2017;12:e0174420. DOI: 10.1371/journal.pone.0174420

[23] The Mathworks, Natick, USA, v2020b. Treba poznamenať, že funkcia Matlab findpeaks môže niekedy zobrazit' výrazne vyššie výbežky, než umožňuje ich definícia. Na odvodenie vhodnej úrovne výbežku bola vyvinutá iná metóda: IARO21-3. Biela kniha o meraní harmonických výbežkov. IARO, Palmerston North, Nový Zéland. Dostupné z: <https://iaro.org.nz/wp-content/uploads/2022/01/IARO21-3- White-Paper-on-the-Harmonic-Prominence-Measure-v6.pdf>.

[24] Svetová zdravotnícka organizácia. Usmernenia o environmentálnom hluku pre európsky región. 2018. ISBN 978 92 890 5356 3. Dostupné z: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>.

[25] Alves-Pereira M, Bakker HHC. Occupational and residential exposures to infrasound and low frequency noise in aerospace professionals: Flawed assumptions, inappropriate quantification of acoustic environments, and the inability to determine dose–response (Vystavenie infrazvuku a nízkofrekvenčnému hluku pri práci a v obydlíach u profesionálov v leteckom priemysle: Chybné predpoklady, nevhodná kvantifikácia akustického prostredia a neschopnosť určiť odozvu na dávku). *Vedecký časopis o leteckom inžinierstve a mechanike*. 2017;1(2): 83-98

[26] Alves-Pereira M, Krough C, HHC B, Summers R, Rapley B. Infrasound and low frequency noise guidelines – Antiquated and irrelevant for protecting populations (Usmernenia o infrazvuku a nízkofrekvenčnom hluku – zastarané a nepodstatné pre ochranu obyvateľstva). In: *Hluk a infrazvuk v Európe: Zborník príspevkov z konferencie 26. medzinárodnej konferencie o zvuku a vibráciách*. Montreal, Kanada; 2019

[27] Alves-Pereira M, Rapley B, Bakker HHC, Summers R. Acoustics and biological structures. (Akustika a biologické štruktúry). In: Abiddine ZE, Ogam E, editors. *Acoustics of Materials*. London: IntechOpen; 2019

A RELAÇÃO DOSE-RESPOSTA NA EXPOSIÇÃO A RUÍDO OCUPACIONAL: A DISTORÇÃO NA QUANTIFICAÇÃO DA DOSE QUE INDUZ A COMUNIDADE MÉDICA EM ERRO

VZŤAH DÁVKA-ODOZVA PRI EXPOZÍCII HLUKU PRI PRÁCI: SKRESLENÁ KVANTIFIKÁCIA DÁVKY, KTORÁ DEZINFORMUJE LEKÁRSKU KOMUNITU

Paulo Sousa-Pereira¹, Huub H. C. Bakker², Mariana Alves-Pereira³

¹Fakulta inžinierstva, Univerzita v Porte, Portugalsko; up202010586@edu.fe.up.pt; ORCID 0000-0002-8105-2907

²International Acoustics Research Organization, Nový Zéland; HuubBakker@smart-technologies.co.nz; ORCID 0000-0001-5393-5115.

³Univerzita Lusófona, Lisabon, Portugalsko; m.alvespereira@gmail.com; ORCID 0000-0002-3416-0630 (Korešpondujúci autor)

Abstrakt

Pozadie: Jedným zo základných princípov lekárskeho poznania je vzťah dávky a odozvy. Keď sa meria hluk pri práci, zodpovedá to kvantifikácii dávky. V Portugalsku je hluk regulovaný nariadením DL 9/2006 (RGR), ktoré opisuje metodiky, ktoré sa majú používať pri kvantifikácii hladín hluku. **Cieľ:** Ukázať, ako metodiky stanovené v RGR zavádzajú lekársku komunitu, pokiaľ ide o veľkosť prijatej dávky, a následne ohrozujú vyšetrenie a hodnotenie klinickej odozvy. **Metódy:** Merania hluku s vysokým rozlíšením sa nepretržite získavali na pracovisku počas 7 dní. Údaje sa analyzovali pomocou metodík RGR a porovnávali sa s modernejšími a vedecky spoľahlivejšími metodikami. **Výsledky:** Celkovo bolo zozbieraných 2022 10-minútových záznamov, z ktorých dva boli vybrané na prezentáciu v tomto dokumente. Podľa metodík stanovených RGR tieto dve vzorky odrážajú podobné akustické prostredie, keďže obe vykazujú celkovú počutelnú hladinu hluku 28 dBA. Fyzická realita však ukazuje, že tieto dve vzorky majú výrazne odlišné akustické prostredie, jedna 89 dB a druhá 47 dB. **Záver:** RGR nesprávne informuje lekársku komunitu o výške dávky, ktorú dostávajú pracovníci. V dôsledku toho sa vyšetrenie novej klinickej odozvy (zdravotných ťažkostí) často považuje (chybne) za zbytočné.

Kľúčové slová: Infrazvuk, nízkofrekvenčný hluk, A-váženie, patológia spôsobená hlukom, zdravotné ťažkosti.

Resumo

Introdução: Um dos princípios fundamentais das Ciências Médicas é a relação Dose-Resposta. A medição do ruído ocupacional corresponde à quantificação da Dose. Em Portugal, o ruído é legislado pelo DL 9/2006 (RGR) que descreve as metodologias para a quantificação do ruído. **Objetivo:** Demonstrar como as metodologias impostas pelo RGR estão a induzir a comunidade médica em erro quanto à quantidade de Dose recebida e, consequentemente, comprometendo a investigação e avaliação da Resposta clínica. **Métodos:** Foram efetuadas medições contínuas de ruído em alta resolução durante 7 dias num local de trabalho. Os dados foram analisados com as metodologias RGR e comparados com metodologias cientificamente mais robustas. **Resultados:** Das 2022 gravações de 10-minutos recolhidas, duas foram selecionadas para apresentação. De acordo com as metodologias impostas pela RGR, os dois ambientes acústicos são iguais porque ambos apresentam um nível de ruído global audível de 28 dBA. A realidade física, no entanto, demonstra que estes ambientes acústicos são significativamente diferentes, apresentando um 89 dB e o outro 47 dB. **Conclusão:** A comunidade médica está a ser mal informada pelo RGR relativamente à quantidade de Dose que os trabalhadores recebem. Como consequência, a investigação da potencial Resposta clínica (queixas de saúde) é frequentemente considerada desnecessária.

Palavras-Chave: Infrassons, Ruído de baixa frequência, Ponderação A, Patologia, Queixas de saúde.

Úvod

V rámci lekárskeho poznania sa hluk klasifikuje ako *fyzikálny* pôvodca ochorenia, na rozdiel od biologických, chemických alebo psychosociálnych pôvodcov ochorenia. Expozícia hluku ako taká je porovnateľná s vystavením iným fyzikálnym pôvodcom ochorenia, ako sú vibrácie a elektromagnetické žiarenie. Vzťah medzi dávkou a odozvou v lekárskeho poznania má základný význam, ktorý sa vzťahuje na vystavenie jedom, liekom a akémukoľvek

druhu činiteľa, ktorý môže ovplyvniť ľudské zdravie. V prípade vystavenia hluku bol vzťah dávka – odozva definovaný pred mnohými desaťročiami, aby sa predišlo poškodeniu sluchu a hluchote u pracovníkov vystavených hluku (napríklad OSHA, 2025 a EASHW, 2025). V súčasnosti je vystavenie hluku pri práci obmedzené hodnotami vyjadrenými v dBA (A-vážené decibely).

Jednotka dBA je miera počuteľného hluku v prostredí, ktorý môže potenciálne spôsobiť poškodenie sluchu v závislosti od času vystavenia. Označenie „A“ sa vzťahuje na použitie frekvenčného váhového filtra A alebo váhového filtra A, ktorý sa používa, pretože simuluje variabilitu ľudského sluchu. Keď sa hluk meria lineárne (t. j. bez filtra alebo bez váženia), hladiny hluku sa vyjadrujú v dB. Metrika dBA sa odvtedy rozšírila do oblasti verejného zdravia v kontexte vystavenia hluku v životnom prostredí, napríklad z mestských, rekreačných alebo priemyselných zdrojov.

V pracovnom prostredí je akt merania hluku rovnocenný s kvantifikáciou dávky pôvodcu ochorenia. Zodpovedajúca klinická reakcia sa zvyčajne hodnotí prostredníctvom audiogramov, ktoré hodnotia sluchové funkcie u pracovníkov vystavených hluku. Profesionálna hluchota sa zo zákona stanovuje v pásme 4000 Hz (alebo zárez) audiogramu.

V Portugalsku sa v legislatívnom dokumente DL 9/2007 (Ministério do Ambiente, 2007), známom aj ako *Regulamento Geral do Ruído* (RGR), stanovujú metodiky, ktoré sa musia používať pri meraní hladín hluku v pracovnom aj environmentálnom prostredí. Ustanovenia v tomto legislatívnom dokumente sú podobné ustanoveniam, ktoré sa nachádzajú vo väčšine ostatných krajín EÚ a krajín mimo EÚ. Napríklad na Novom Zélande sa tento dokument nazýva SR1995/167 (Ministerstvo práce Nového Zélandu, 1995); v Spojenom kráľovstve je známy ako UKSI 1989 č. 1790 (HSE, 1989) a v Estónsku je to RTI, 05.12.2018, 12 (Ministerstvo sociálnych vecí Estónska, 2007). Tieto metodiky, ktoré sú založené prevažne na metrike dBA, v skutočnosti vylučujú veľkú časť akustického prostredia, ktorá nespôsobuje klasické poškodenie sluchu (merané prostredníctvom audiogramov). Túto vylúčenú časť akustického prostredia tvoria najmä infrazvukové (pod 20 Hz) a nízkofrekvenčné zložky (pod 200 Hz), o ktorých sa predpokladá (mylne - pozri napríklad Stepanov (2000)), že nemajú žiadny vplyv na ľudské zdravie.

Cieľom tohto článku je preukázať, že metodiky merania hluku stanovené v RGR sú v kontexte lekárskeho vied nedostatočné na správne charakterizovanie dávky hluku, ktorej sú pracovníci vystavení. Tento cieľ sa dosiahne porovnaním legislatívou uloženej metodiky váženej podľa A s aktualizovanejšou a vedecky kvalitnejšou metodikou, ktorá používa nevážené hodnoty a zvýšené časové a spektrálne rozlíšenie.

Materiály a metódy

V rámci výskumného projektu sa vykonávajú akustické merania s vysokým rozlíšením v niekoľkých pracovných prostrediach. Metodika a protokoly použité v tomto výskumnom projekte sa už predtým použili pri kvantifikácii infrazvuku a nízkofrekvenčného hluku v prostredí (Bakker *a kol.*, 2022; IARO 2024). Len jedna predchádzajúca štúdia v pracovnom prostredí bola vykonaná s použitím tejto metodiky (Stefuryn *et al.*, 2024).

V júli 2024 sa pani S. (verejnosť s bydliskom v Lisabone, Portugalsko) obrátila na týchto autorov a vysvetlila, že spolu s manželom pracovali posledné dva roky na diaľku z domu. Mali pocit, že sú vystavení nadmernému množstvu nízkofrekvenčného hluku vychádzajúceho z veľkého supermarketu, ktorý sa nachádza pod ich bytovým domom. Vyjadrila obavy o ich zhoršujúci sa zdravotný stav a obzvlášť ju znepokojovala symptomatológia zistená u ich trojročnej dcéry. Akustické záznamy sa nahrávali na pracovisku/v obydlí rodiny S. nepretržite počas 7 dní, od 12. júla (18:47) do 19. júla (19:04). Akustické nahrávky boli získané pomocou prístroja SAM Scribe FS (Full Spectrum) (model Mk2, Soundscape Analytics, Palmerston North, Nový Zéland) (Atkinson & Rapley Consulting, 2016; Bakker *et al.*, 2017), ktorý umožňuje kontinuálne získavanie údajov o zvuku s frekvenciou až 0,1 Hz počas niekoľkých dní, týždňov alebo mesiacov. Tento systém je vybavený dvoma kanálmi (modrými a červenými mikrofónmi) a poskytuje zvukové údaje prostredníctvom USB do počítača so systémom Windows so vzorkovacou frekvenciou až 44,1 kHz. Záznamy sa ukladajú na pevný disk v nekomprimovanej podobe vo formáte .wav.

V metadátach súboru sa zaznamenávajú aj informácie GPS o polohe s príslušným digitálnym podpisom. Krivka frekvenčnej odozvy mikrofónu je prakticky lineárna v rozsahu 1 - 1 000 Hz (0,5 - 1 000 Hz: $\pm 0,5$ dB, 1 - 10 kHz: ± 2 dB; 10 - 20 kHz: ± 4 dB) (Primo, 2016).

Údaje boli spracované v programe Matlab (The MathWorks, USA) pomocou úzkopásmovej banky filtrov triedy 0 v súlade s normami ANSI® S1.11-2004 a IEC 61260:1995. Údaje sa získali so vzorkovacou frekvenciou 11,025 kHz vrátane kalibračného signálu na referenciu (kalibrátor typu I, tón 1000 Hz/94 dB). Kalibrácia sa vykonala na začiatku a na konci každého záznamu. Oba mikrofóny boli nainštalované na statívoch vo výške približne 1,5 m nad zemou a počas celého obdobia nahrávania boli vybavené veternými štítmami. Modrý mikrofón bol umiestnený v detskej izbe a červený v pracovnom priestore/obývačke.

Po získaní údajov sa vykonali vedecké analýzy s vysokým rozlíšením pomocou:

- časovým rozlíšením 1 sekunda,
- spektrálne rozlíšenie 1/36 oktávy a
- hladina akustického tlaku (SPL) vyjadrená v dB bez váženia.

Metodika opísaná v RGR bola tiež neformálne použitá na účely porovnania a objasnenia s použitím:

- časové rozlíšenie 10 minút,
- spektrálne rozlíšenie 1/3 oktávy a
- SPL vyjadrené v dBA.

Výsledky

Celkovo bolo získaných 169 hodín údajov, čo zodpovedá 2022 10-minútovým záznamom (oba mikrofóny). V tabuľke č. 1 je zhrnutý počet vzoriek získaných pre každý rozsah SPL vyjadrený v dBA.

Tabuľka č. 1. Počet a percentuálny podiel vzoriek na mikrofón v rámci konkrétnych rozsahov SPL vyjadrených v dBA.

	Modrá	%	Červená	%
<30 dBA	524	52	611	60
30 - 40 dBA	375	37	254	25
40 - 50 dBA	70	7	110	11
>50 dBA	42	4	36	4

V tabuľke č. 2 sú uvedené rovnaké údaje, ale pre SPL vyjadrené v dB.

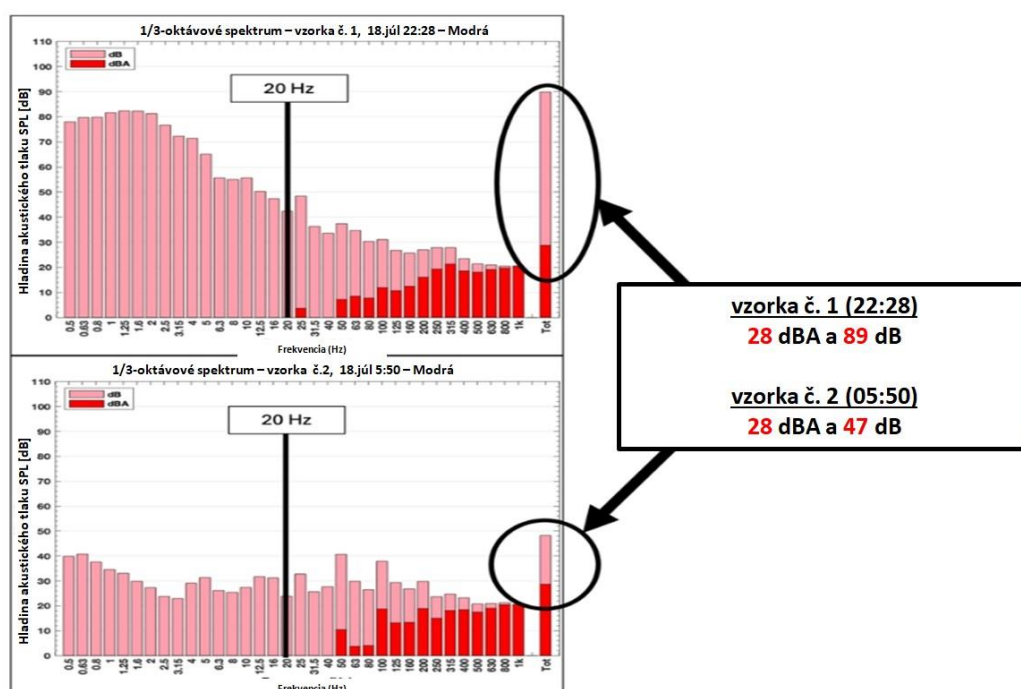
Tabuľka č. 2. Počet a percentuálny podiel vzoriek na mikrofón v rámci špecifických rozsahov SPL vyjadrených v dB.

	Modrá	%	Červená	%
<40 dB	0	0	0	0
40 - 50 dB	31	3	24	2
50 - 60 dB	195	19	186	18
60 - 70 dB	254	25	252	25
70 - 80 dB	372	37	372	37
>80 dB	159	16	177	18

Na prezentáciu v tomto dokumente boli vybrané dve 10-minútové ukážky, reprezentatívne z týchto nahrávok, obe zachytené modrým mikrofónom v detskej izbe v rôznych denných hodinách: Vzorka 1 začína o 22:28 a vzorka 2 o 05:50. Tieto vzorky sú zobrazené na obrázku č. 1, čiastočne v súlade s metodikami RGR: Priemer 10 minút, spektrálne rozlíšenie 1/3 oktávy, SPL vyjadrené v dBA (červené stĺpce) a s váhou A, ktorá zabezpečuje, že

frekvencie pod 20 Hz merateľne nezmenia hodnotu SPL. Pri výraznom prekročení požiadaviek RGR sú na obrázku 1 zobrazené aj hodnoty SPL vyjadrené v nevážených dB (ružové stĺpce), pričom spodná hraničná frekvencia je 0,1 Hz. Tieto hodnoty odrážajú fyzikálnu realitu, t. j. počuteľnú aj nepočuteľnú časť spektra.

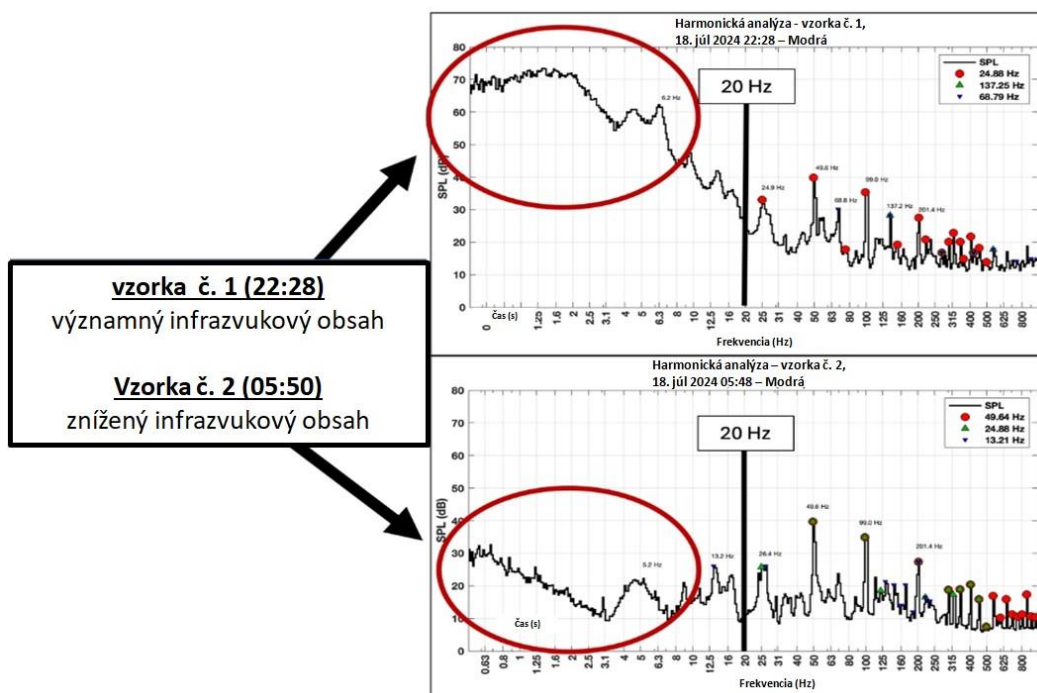
Podľa metodiky stanovenej RGR boli v oboch vzorkách zaznamenané hodnoty SPL 28 dBA. To znamená, že podľa metodiky RGR je akustické prostredie v oboch vzorkách rovnaké. Metodika RGR teda stanovuje, že tieto dve vzorky odrážajú rovnaké prostredie. V dôsledku toho je lekárska obec informovaná, že v týchto prostrediach nie je žiadny akustický rozdiel, a preto sa očakáva, že klinická odozva pracovníkov (v dôsledku ich vystavenia hluku) z týchto dvoch prostredí bude podobná.



Obrázok č. 1. Analýzy frekvenčného rozloženia dvoch akustických prostredí, znázornené ako 10-minútový priemer, so spektrálnym rozlíšením 1/3 oktávy. Červené stĺpce sú SPL vyjadrené v dBA, zatiaľ čo ružové stĺpce sú vyjadrené v dB. Stĺpce v čiernych kruhoch predstavujú celkovú hladinu hluku vyjadrenú v dBA (červené) a v nevážených dB (ružové).

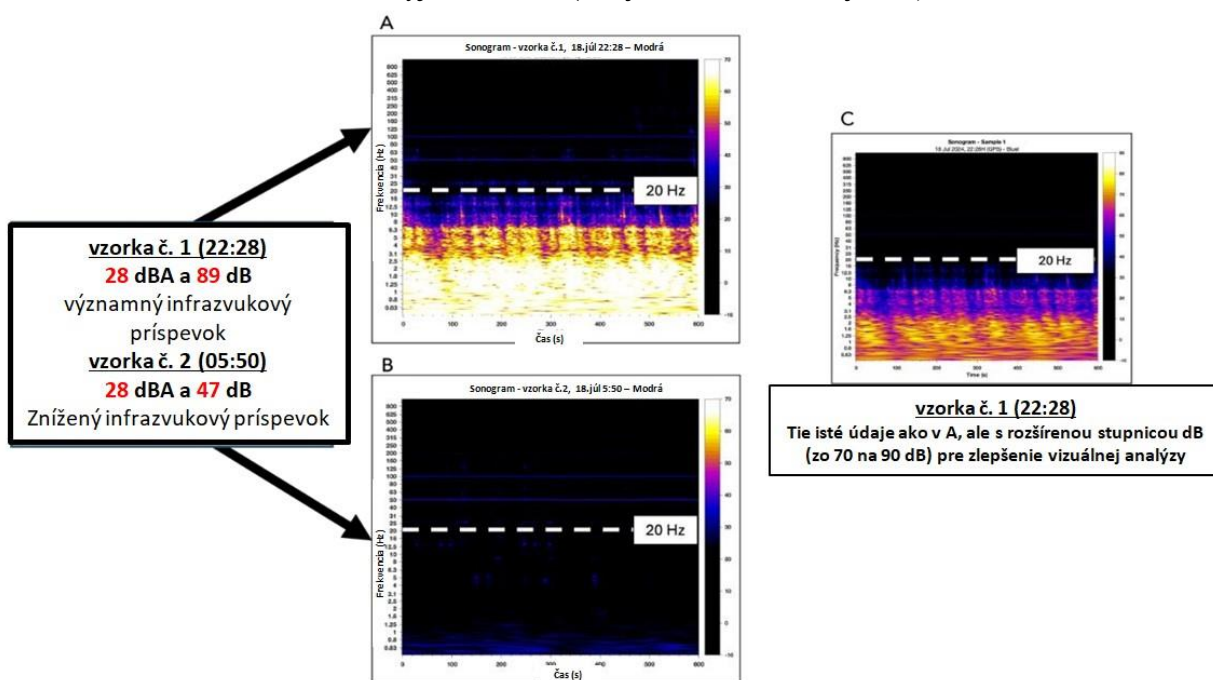
Keď sa však zohľadní celé fyzické zvukové prostredie (ružové pruhy na obrázku č. 1) prostredníctvom odstránenia váhy A (čo znamená nedodržanie metodík RGR), vzorka č. 1 zaznamená hladinu hluku 89 dB, zatiaľ čo vzorka č. 2 zaznamená 47 dB. Z vedeckého hľadiska sa teda tieto akustické prostredia výrazne líšia. Dávka nie je rovnaká. Dá sa odôvodnene očakávať, že klinická odozva pracovníkov v týchto dvoch prostrediach, výlučne v dôsledku ich odlišného vystavenia hluku, bude podstatne odlišná.

Zvýšením spektrálneho rozlíšenia z 1/3 na 1/36 oktávy a vyjadrením všetkých SPL v nevážených dB sa na obrázku č. 2 zobrazujú ďalšie akustické informácie obsiahnuté v týchto dvoch Ukázkach vrátane analýzy harmonických radov.



Obrázok č. 2. Analýzy frekvenčného rozloženia tých istých dvoch akustických prostredí zobrazených na obrázku č. 1, znázornené ako 10-minútové priemery so spektrálnym rozlíšením 1/36 oktávy a všetky SPL vyjadrené v nevážených dB. Legenda v pravom hornom štvorci označuje základné frekvencie troch najvýraznejších harmonických radov identifikovaných v každej vzorke.

Na obrázku č. 3 sú znázornené sonogramy zodpovedajúce každej zo vzoriek. Tu je spektrálne rozlíšenie 1/36 oktávy, časové rozlíšenie 1 sekunda a SPL sú vyjadrené v dB (ako je vidieť na farebnej škále).



Obrázok č. 3. Zväčšené sonogramy zodpovedajúce vzorke č. 1 (A) a vzorke č. 2 (B) a vzorke č. 1 (C).

Podľa očakávania sa väčšina akustických porúch vyskytuje pod 20-hercovým pásmom. Vzorka č. 1 vykazuje sýtosť farieb, a preto je uvedený druhý sonogram (C), kde bola zväčšená mierka na zlepšenie vizuálnych detailov. Zdroje zodpovedné za tieto akustické poruchy zatiaľ neboli v rámci tohto prebiehajúceho výskumného projektu identifikované.

Diskusia

Použitím analýzy akustických záznamov s vysokým rozlíšením z pracovného prostredia na porovnanie sa ukázalo, že metodiky uložené RGR sú nedostatočné na kvantifikáciu dávky pôvodcu ochorenia, ktorému sú jednotlivci vystavení. Metodiky RGR totiž považujú dve veľmi odlišné a výrazne odlišné akustické prostredia za *rovnaké*. Lekárskej komunite je potom odovzdaný tento vedecký omyl a tá bude očakávať, že u pracovníkov z týchto výrazne odlišných prostredí sa prejaví *rovnaká* odozva.

Ešte závažnejšia je konkrétna situácia, ktorá je tu uvedená: dávka 28 dBA by nevyvolala žiadne podozrenie na nadmerné vystavenie hluku, ani by nevyvolala žiadne obavy týkajúce sa rizika poškodenia sluchu. Preto by lekárska komunita nevidela žiadnu potrebu klinicky vyšetrovať hlásené zdravotné ťažkosti v súvislosti s nadmerným vystavením akusticky agresívnemu prostrediu, ako to predstavuje vzorka č. 1. V skutočnosti väčšina vedcov v tejto oblasti stále vychádza z vedeckého omylu, že „čo nepočuješ, to ti nemôže ublížiť“. Metodiky RGR sú skutočne založené presne na tomto falošnom predpoklade.

Mnohé legislatívne dokumenty sa snažili „vysporiadať“ s problematikou vystavenia infrazvuku a nižším frekvenciám (napríklad Ministerstvo životného prostredia Dánska, 2019; Pracovná skupina pre hluk (Spojené kráľovstvo), 1997; Ministerstvo sociálnych vecí Estónska, 2002), hoci doposiaľ, podľa vedomostí autorov tejto správy, iba Ruská federácia riadne legislatívne upravila prípustné úrovne vystavenia infrazvuku, a to v pracovnom aj environmentálnom prostredí (Stepanov, 2000). Na hodnotenie rozsahu týchto nízkofrekvenčných zložiek, ktoré môžu byť prítomné v prostredí, bola navrhnutá miera dBC-dBA (SPL v dBC mínus SPL v dBA). Váha C však zachováva nulovú váhu len do 100 Hz. Pod týmto rozsahom váhovanie C tiež zavádza rastúce znehodnotenie SPL (ISO, 2007). Ďalším pokusom „vysporiadať“ sa s týmto typom akustického znečistenia bolo zavedenie G-váhy. Tento filter poskytuje iba nevážené hodnoty SPL v dvoch diskretných bodoch spektra: pri 10 Hz a pri 31,5 Hz (ISO, 1995). Mnohé, ak nie všetky frekvenčné váhové filtre sú založené na (chybnej) predstave, že akustické prostredie musí byť „počut“ alebo sa dať „vnímať“, aby bolo škodlivé. Ich konečným cieľom je znížiť význam číselných hodnôt SPL podľa ľudského vnímania. Ak sa na akustické údaje neuplatňuje žiadne váženie, potom možno dosiahnuť realistejšie chápanie fyzikálneho prostredia - číselné hodnoty SPL sa berú tak, ako existujú v zvukovej krajine, a nie sú zmenené alebo skreslené systémami váženia.

Zvýšenie spektrálneho rozlíšenia z 1/3 oktávy na 1/36 oktávy umožňuje hlbšie pochopenie zvukového prostredia. Je to podobné ako rozdelenie metrovej tyče z decimetrov na milimetre, čo zase umožňuje meranie menších objektov. To isté sa dosiahne, keď sa segmentácia spektra zvýši na 1/36 oktávy. Bez hrubej segmentácie 1/3 oktávy je možná podrobnejšia analýza prostredia a v dôsledku toho sa dosiahne vernejší obraz akustických udalostí. Akustici by sa pri podozrení na tonalitu uchýlili k použitiu (rýchlej) Fourierovej transformácie (FFT), aby poskytli podrobnú analýzu, ale aj tu sa spektrálne rozlíšenie zriedkavo volí tak, aby zodpovedalo rozlíšeniu 1/36 oktávy, úzkopásmovej filtrácii na najnižších frekvenciách, ako to ukazujú tu uvedené analýzy.

Okrem zohľadnenia nevážených hodnôt SPL so zvýšeným spektrálnym rozlíšením - od 1/3 do 1/36 oktávy - sa zvýšilo aj časové rozlíšenie týchto meraní. Sonogramy zachytávajú 1-sekundové priemery namiesto 10 minútových priemerov uvedených v 1/3 oktávových spektrách. Zvýšené spektrálne rozlíšenie a časové rozlíšenie umožňuje identifikovať harmonické rady, ktorých základná frekvencia môže byť často obsiahnutá v infrazvukových pásmach. Tie by boli vylúčené zo zachytenia, ak by sa použili filtre A- C- alebo G-. Boli by zriedené časovým rozlíšením 10-minútových priemerov a boli by neviditeľné, ak by sa použilo rozlíšenie 1/3 oktávy.

Záver

Metodiky, ktoré zaviedlo RGR v Portugalsku (a iné podobné právne predpisy v iných krajinách), zodpovedajú špecifikáciám, ktoré boli dobre definované na základe obmedzení technológie pred takmer sto rokmi. V súčasnosti je možná oveľa sofistikovanejšia charakterizácia akustického prostredia na vedeckej úrovni. Je načase, aby sa tieto nové pokroky začlenili do právnych predpisov, ktoré sú určené na ochranu ľudskej populácie pred nadmernými

akustickými agresormi. Autori tejto správy vyzývajú lekársku komunitu, aby prehodnotila svoj postoj k akceptovaniu hladín hluku (t. j. kvantifikácii dávky) získaných prostredníctvom metodík, ktoré sú mnoho desaťročí zastarané a nie sú v súlade s vedeckou metódou.

Pod'akovanie a zverejnenie finančných údajov

Chceli by sme sa poďakovať rodine S. za ich príspevok k tejto práci. Autori tejto správy nemajú žiadny finančný záujem v systéme SAM.

Literatúra

- Atkinson & Rapley Consulting Ltd. (2017). Špecifikačný list systému SAM Scribe FS Mk 1. www.smart-technologies.co.nz.
- Bakker, H.H.C., Alves-Pereira, M., Mann, R., Summers, R., Dickinson, P. (2022). Infrazvuková expozícia: Merania s vysokým rozlíšením v blízkosti veterných elektrární. In: Vplyv na životné prostredie v oblasti veterných elektrární: Suhanek, M., Kevin Summers, J. (eds). Management of Noise Pollution (Riadenie hlukového znečistenia). IntechOpen, Londýn. DOI: 10.5772/intechopen.109047
- Bakker, H.H.C., Rapley, B.I., Summers, S.R., Alves-Pereira, M., Dickinson, P.J. (2017). Cenovo dostupný záznamový prístroj na akustickú charakteristiku ľudského prostredia. Zborník z medzinárodnej konferencie o biologických účinkoch hluku (ICBEN), Zürich, Švajčiarsko, 18. 22. júna. https://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea05_Bakker_P40_3654.pdf
- EASHW-Európska agentúra pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci. (2025). Smernica 2003/10/ES - Hluk. <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/82>
- HSE-Health & Safety Executive (Výkonný orgán pre zdravie a bezpečnosť). (1989). Zákonné nástroje Spojeného kráľovstva 1989 č. 1790. Predpisy o hluku pri práci. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/1989/1790/contents/made?view=plain>
- IARO-International Acoustics Research Organization (Medzinárodná organizácia pre výskum akustiky). (2023). Report on the High-Resolution Infrasonic and Low-Frequency Sound Recordings conducted at Arncliffe Farm, Glenbarr, Tarbert, Argyll, Scotland in 2022 and 2023 (Správa o infrazvukových a nízkofrekvenčných záznamoch s vysokým rozlíšením vykonaných na farme Arncliffe, Glenbarr, Tarbert, Argyll, Škótsko v rokoch 2022 a 2023). Dokument č. IARO23-C1. <https://iaro.org.nz/wp-content/uploads/2024/04/Rural-Farm-Report-Scotland-2023-FINAL-Apr-2024.pdf>.
- ISO - Medzinárodná organizácia pre normalizáciu. (2007). ISO1996-2:2007(E). Akustika. Opis, meranie a posudzovanie hluku v prostredí. Časť 2: Určovanie hladín hluku v prostredí. Medzinárodná organizácia pre normalizáciu, Ženeva, Švajčiarsko.
- ISO - Medzinárodná organizácia pre normalizáciu. (1995). ISO 7196:1995(E). Akustika. Frekvenčná váhová charakteristika na meranie infrazvuku. Ženeva, Švajčiarsko.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2007). Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, Diário da República n.º 12/2007, Série I de 2007-01-17, páginas 389 - 398. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/9-2007-522807>.
- Ministerstvo životného prostredia Dánska. (2019). Vykonávacie nariadenie o hluku z veterných turbín. BEK č. 135 zo 7. 2. 2019. Dostupné na: <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2019/135>.
- Ministerstvo sociálnych vecí Estónska. (2002). Štandardné hladiny hluku v obytných a rekreačných oblastiach, v obytných a spoločných budovách a metódy merania hladín hluku. RTL 2002, 38, 511. <https://www.riigiteataja.ee/akt/163756>
- Ministerstvo sociálnych vecí Estónska. (2007). Zdravotné a bezpečnostné požiadavky na pracovné prostredie ovplyvnené hlukom, limitné hodnoty hluku pre pracovné prostredie a postupy merania hluku. RTI, 05.12.2018, 12. <https://www.riigiteataja.ee/akt/12819460?leiaKehtiv>.
- Ministerstvo práce Nového Zélandu. (1995). Zdravie a Bezpečnosť Zamestnanosť Predpisy. 1995/167. <https://www.legislation.govt.nz/regulation/public/1995/0167/latest/whole.html#whole>
- Pracovná skupina pre hluk (Spojené kráľovstvo). (1997). Posudzovanie a hodnotenie hluku z veterných elektrární. ETSU-R-97. The Working Group on Noise from Wind Turbines, Final Report September 1996. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/49869/ETSU_Full_copy_Searchable_.pdf
- OSHA-Occupational Safety and Health Administration (Úrad pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci) (USA). (2025). Expozícia hluku pri práci - normy. <https://www.osha.gov/noise/standards>
- Primo Co, Ltd. (2017). Elektretový kondenzátorový mikrofón EM246ASS'Y. Primo Co, Tokio, Japonsko.

- Stefuryn, R., Simões, H., Alves-Pereira, M., Bakker, H.H.C., Matos, M.L. (2024). Meranie infrazvuku a nízkofrekvenčného hluku s vysokým rozlíšením v priestore pre vodičov metra. In: Arezes, P.M. *et al.* (Eds). Occupational and Environmental Safety and Health V. Studies in Systems, Decision and Control, vol 492. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38277-2_29
- Stepanov V. (2000). Biologické účinky nízkofrekvenčných akustických oscilácií a ich hygienická regulácia. Štátne výskumné centrum Ruska, Moskva. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a423963.pdf>