

# ÚČINKY HLUKU Z VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN NA ZDRAVÍ

## EFFECTS OF WIND TURBINE NOISE ON HEALTH

ZDEŇKA VANDASOVÁ

*Státní zdravotní ústav, Ústředí monitoringu zdravotního stavu obyvatelstva, Praha, Česká republika*

### SOUHRN

Literární přehled věnovaný zdravotním účinkům větrných elektráren byl zpracován pro účely použití v hygienické praxi. Rešerše literatury za použití databáze MEDLINE byla provedena za období 2020–2023. Zařazeny byly systematické přehledy, originální studie, terénní a laboratorní pokusy zkoumající vlivy slyšitelného i nízkofrekvenčního zvuku, infrazvuku a vizuálních aspektů větrných elektráren na zdraví a životní pohodu lidí. Shrnutí poznatků je provedeno v závěru článku.

*Klíčová slova:* větrné elektrárny, hluk – vliv na zdraví

### SUMMARY

The literature review on the health effects of wind turbines has been prepared for use in public health practice. Literature research using the MEDLINE database was carried out for the period 2020–2023. Systematic reviews, original studies, field and laboratory experiments investigating the effects of audible and low-frequency sound, infrasound and visual aspects of wind turbines on human health and well-being were included. The summary of the findings is provided in the article conclusion.

*Key words:* wind turbines, noise health effects

<https://doi.org/10.21101/hygiena.a1844>

### Úvod

Tento literární přehled je věnovaný účinkům větrných elektráren (dále jen VE) na zdraví, hlavně působení hluku. Shrnuje poznatky publikované v období 2020–2023. Vychází z literárních přehledů provedených v zahraničí, především ze systematického přehledu autorů van Kampové a van den Berga z roku 2021 (1), který vychází z analýzy literatury publikované do června 2020. Poznátka jsou doplněny o výstupy z nověji publikovaných článků s danou tematikou. Cílem je vytvořit souhrn aktuálních poznatků a literárních pramenů.

### Metodika

Byla provedena rešerše literatury vydané od roku 2020 (včetně) do června 2023. Byla použita databáze MEDLINE, což je bibliografická databáze literatury v oboru biomedicíny provozovaná National Library of Medicine's v Bethesda v USA a přístupná na internetu prostřednictvím PubMed prohlížeče. Pro rešerši byla použita klíčová slova *wind turbine(s)*, *wind farm*, *health*, *annoyance*, *sleep*, *noise*, *sound*, *infrasound*.

Z literárních zdrojů získaných rešerší byly vyřazeny články, které se netýkaly daného tématu, především články týkající se technického stavu a údržby větrných elektráren a vlivu VE na ekosystémy a jiné živočišné dru-

hy. Také nebyly vyhodnocovány literární přehledy založené na literatuře starší než z června 2020, protože tato literatura je již zahrnutá v literárním přehledu Kampové a Berga (1). U ostatních zdrojů zařazených do vyhodnocení (celkem 31 zdrojů) byl prostudován souhrn a u vybraných též plný text.

### Systematické přehledy

Široce pojatý systematický přehled Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update (1) byl publikován Kampovou a Bergem v roce 2021. Vychází z literárních zdrojů z období mezi rokem 2017 a červnem 2020. Autoři vyhodnotili 24 literárních zdrojů, jde o předchozí systematické přehledy, originální studie, terénní a laboratorní pokusy. Přehled se zabývá působením hluku z větrných elektráren (slyšitelný, nízkofrekvenční zvuk i infrazvuk) a dalšími efekty (pohyb světla a stínů, vizuální rušení) a jejich vlivem na zdraví a životní pohodu lidí. Hodnocenými účinky jsou: obtěžování, rušení spánku, kardiovaskulární účinky, metabolické účinky, účinky na mentální zdraví, kognitivní funkce a ostatní zdravotní účinky. Dále jsou popisovány stížnosti nezdavatního charakteru, jako je estetické rušení, vlivy na vzhled krajiny, obavy o bezpečnost, vlivy na ceny nemovitostí apod. Obsaženy jsou také laboratorní pokusy, které se zabývají slyšitelností nízkofrekvenčního zvuku a infrazvuku.

Literární přehled A systematic review and meta-analysis of wind turbine noise effects on sleep using validated objective and subjective sleep assessments (2), autorů Liebichová a kol., byl vydán v roce 2021. Vyhodnocuje poznatky o vlivu hluku větrných elektráren na objektivní a validované subjektivní ukazatele spánku. Vychází z literárních zdrojů publikovaných v období mezi rokem 2000 a červnem 2020. Vyhodnocuje publikace, které pro hodnocení kvality spánku využívají ukazatele latence nástupu spánku, celkového času spánku, probuzení po usnutí a efektivitu spánku. Tyto ukazatele jsou zjišťovány pomocí vyšetřovacích metod elektroencefalografie (dále jen EEG), polysomnografie (záznam a vyhodnocení elektrické aktivity mozku) a aktigrafie (záznam tělesných pohybů pomocí senzoru nošeného na zápěstí umožňující vyhodnotit spánkový a bdělý stav). Dále přehled vyhodnocuje články o subjektivně hodnocené kvalitě spánku, které používají některou z validovaných metod hodnocení. Zařazeno bylo celkem 9 studií.

Kromě výše uvedených byly nalezeny další dva literární přehledy. Systematický přehled Clarkové a kol. (3) měl široké zaměření na více zdrojů a účinků hluku. Hluku z větrných elektráren se týkal jen okrajově. Literární přehled autorů Kochové a kol. (4) zkoumal účinky infrazvuku z VE a jejich vztah k objektivním ukazatelům spánku, medikaci léky na spánek, diabetu, infarktu myokardu, cévní mozkové příhodě a užívání antihypertenziv.

#### Originální studie

Celkem bylo vyhodnoceno 27 originálních prací (studie, terénní a laboratorní pokusy), které se zabývaly slyšitelným i nízkofrekvenčním zvukem, infrazvukem, tónovou složkou a amplitudovou modulací zvuku\* a hodnotily řadu účinků na zdraví i kvalitu života. V následujících kapitolách jsou literární prameny rozděleny podle hodnocených účinků hluku z VE.

#### Obtěžování

Obtěžování bylo zkoumáno jako součást systematického přehledu autorů van Kampové a van den Berga (1) a studií Turunenové a kol. (5) a Qu a Tsuchiyové (6) zaměřených na více zdravotních účinků. Uvedené studie potvrdily existenci vztahu mezi hlukem VE a obtěžováním. Studie Qu a Tsuchiyové (6) obsahuje také informaci o vztahu dávka-účinek, viz níže. Další studie Liao a kol. (7) se zabývala faktory, které ovlivňují well-being (subjektivní názor na větrnou energetiku, možnost kontroly schvalovacího procesu).

Vlivem nízkofrekvenčního zvuku, infrazvuku a amplitudové modulace u hluku VE na obtěžování a well-being se zabývaly laboratorní pokusy publikované autory Majala a kol. (8), Malecki a kol. (9), Zajamsek a kol. (10). Vliv sledovaných faktorů se však buď neprokázal, nebo byly výsledky nekonzistentní. Přítomností tónové složky v hluku VE se zabýval Yonemura a kol. (11)

a prokázal vliv na obtěžování. Vliv rychlosti nárůstu zvuku na krátkodobé obtěžování zkoumala Ruaudová a kol. (12), vztah nebyl prokázán.

#### Rušení spánku

Vliv hluku z VE na rušení spánku byl součástí hodnocení v systematických přehledech autorů van Kampové a van den Berga (1), Liebichové a kol. (2) a Kochové a kol. (4). Rušením spánku se zabývá také řada originálních prací. Spolu s jinými zdravotními účinky bylo rušení spánku zkoumáno ve studiích autorů Turunenna a kol. (5), Qu a Tsuchiyové (6). Dále byl vliv hluku VE na spánek zkoumán v řadě laboratorních a terénních pokusů založených na polysomnografii, EEG a aktigrafii: Liebichová a Lack (13, 14), Michaud a kol. (15), Dunbarová a kol. (16), Smith a kol. (17). Výsledky jsou nekonzistentní, vztah byl prokázán přibližně v polovině těchto prací. Zdravotní závažnost změn sledovaných parametrů není zřejmá. Studie Sharmanové a kol. (18) prokazuje vliv předspánkového rozrušení na kvalitu spánku.

Vliv nízkofrekvenčního zvuku a infrazvuku z VE na rušení spánku byl zkoumán ve studii autorů Laata a kol. (19) a v laboratorním pokusu Marshalla a kol. (20). Výsledky jsou opět nejednoznačné, první uvedený pramen vztah s rušením spánku potvrdil, druhý ne.

#### Kardiovaskulární účinky

Kardiovaskulární účinky byly zkoumány jako součást systematických přehledů van Kampové a van den Berga (1) a Kochové a kol. (4). V originální studii Turunenové a kol. (5) byl kromě jiných zdravotních účinků zkoumán také vliv hluku z VE na hypertenzi, léčbu pro hypertenzi a na srdeční insuficienci, vztah nebyl prokázán.

Vliv nízkofrekvenčního zvuku a infrazvuku z VE na zdraví včetně měření kardiovaskulárních výstupů (např. tepová frekvence, elektrokardiografie – EKG) byl zkoumán ve studii Chiu a kol. (21) a v laboratorních pokusech Marshalla a kol. (20), Majala a kol. (8), Lechata a kol. (22). Výsledky jsou nekonzistentní, polovina prací vliv prokazuje, polovina ne. Zdravotní závažnost u těchto změn fyziologických parametrů není zřejmá.

#### Ostatní

Studie Turunenové a kol. (23) popisuje symptomy, které lidé intuitivně spojují s infrazvukem VE, neřeší ale jejich skutečnou příčinu. Článek Nguyen a kol. (24) se věnuje vibracím v souvislosti s VE. Články autorů Malec a kol. (25), Boczar a kol. (26), Wszolek a kol. (27) a Chiu (28) se zabývají měřením a analýzou hluku VE, nejčastěji v souvislosti s přítomností nízkofrekvenčního zvuku a infrazvuku. Další články autorek Argüellové a kol. a Nyborgové a kol. (29, 30) se věnují použití matematického modelování při umisťování VE a říze-

\*Amplitudová modulace je periodicky se opakující kolísání amplitudy (zvukového) signálu, které je posluchači vnímáno jako pravidelné kolísání intenzity zvuku. U větrných elektráren je tento charakter zvuku způsobený turbulentním prouděním při průchodu listů rotoru kolem stožáru. Posluchači zvuk obvykle popisují jako periodický se opakující svištění.

ní jejich provozu a také EEG diagnostice v souvislosti s vnímáním hluku (Lechat a kol.) (34).

### Vztah dávka-účinek pro obtěžování

Systematický přehled van Kampové a van den Berga (1) se v otázce vztahu dávka-účinek pro obtěžování odkazuje na WHO směrnici Environmental Noise Guidelines for the European Region (31) (dále jen WHO ENG). Tato směrnice při stanovení vztahu vychází z dříve provedených metaanalýz Janssenové a kol. (32) a Kuwana a kol. (33). Z práce Janssenové a kol. (32) je použit vztah pro procento vysoce obtěžovaných (dále jen HA) ve venkovním prostředí vyjádřený vzorcem:

$$\% \text{ HA} = -97,94 + 9,627 L_{\text{dvn}} - 0,3175 L_{\text{dvn}}^2 + 0,003522 L_{\text{dvn}}^3$$

kde % HA je procento vysoce obtěžovaných (percentage of highly annoyed) a

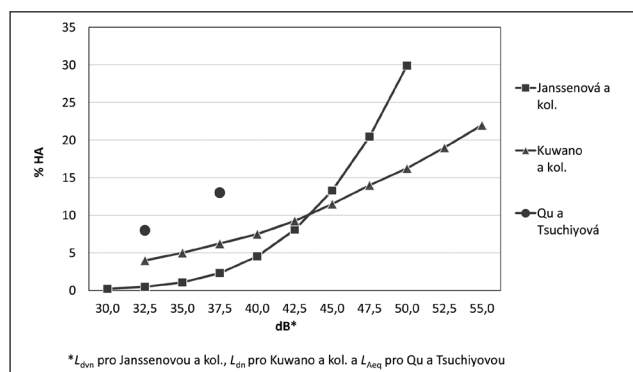
$L_{\text{dvn}}$  je hlukový ukazatel pro den-večer-noc (anglicky též  $L_{\text{den}}$ ).

Vztah dávka-účinek je v publikaci Kuwana a kol. (33) vyjádřený graficky, odečítání číselných hodnot z grafu je zdrojem nepřesnosti. Navíc je použit hlukový ukazatel pro den-noc ( $L_{\text{dn}}$ ), na rozdíl od předchozího vztahu, který užívá ukazatel pro den-večer-noc ( $L_{\text{dvn}}$ ). Podle WHO ENG (31) se obě tyto analýzy metodicky liší a proto nemohly být kombinovány a nebyla vytvořena jednotná křivka dávka-účinek.

Z novějších publikací se ke vztahu dávka-účinek vyjadřují autoři Qu a Tsuchiyová (6). Expozice hluku je vyjádřena jako ekvivalentní hladina akustického tlaku ( $L_{\text{Aeq}}$ ) na nejvíce exponované fasádě obydlí. Obrázek 1 znázorňuje porovnání výše uvedených vztahů dávka-účinek. Vztah publikovaný autory Qu a Tsuchiyová (6) je vyjádřený tabulkou pro intervaly o šířce 5 dB, při zanesení do obr. 1 byl použit střed tohoto intervalu. Jejich kombinování do jednotného vztahu nadále není možné.

### Hlavní zjištění

Hlavním zdrojem aktuálních informací o vlivu větrných elektráren na zdraví jsou systematické přehledy autorů van Kampové a van den Berga (1), Liebichové a kol. (2), okrajově se tohoto tématu dotýká také systematický přehled Clarkové a kol. (3). Pozdější literární prameny potvrzují závěry těchto literárních přehle-



Obr. 1: Vztahy dávka-účinek pro hluk z větrných elektráren [dB] a procento vysoce obtěžovaných [% HA].

dů nebo nejsou dostatečně jednoznačné, aby mohly tyto závěry změnit. Nejdůležitější závěry z uvedených systematických přehledů a pozdějších studií jsou uvedeny v následujících bodech:

- Při hladinách akustického tlaku obvykle pod 45 dB je zvuk větrných elektráren mírnější ve srovnání s ostatními zdroji jako doprava (silniční, železniční a letecká) nebo průmysl. Přesto, při stejných hladinách akustického tlaku, je zvuk z VE vnímán jako více obtěžující než z mnoha jiných zdrojů. Bydlení blízko VE nebo slyšitelnost zvuku VE může vést ke chronickému obtěžování obyvatel (1).
- Existuje silný vztah mezi hladinou zvuku z VE a obtěžováním. Procento HA stoupá se zvyšujícím se akustickým tlakem (1).
- Dosavadní poznatky nejsou dostatečně konzistentní, aby bylo možné vytvořit jednotnou křivku dávka-účinek mezi hladinou hluku z VE a obtěžováním (6, 31).
- Sluchové a vizuální působení vysvětluje značnou část obtěžování obyvatel. Další významné prediktory obtěžování jsou senzitivita na hluk, postoje proti VE, zdravotní obavy a aspekty související s procedurou před umístěním větrné farmy a s možností účasti veřejnosti na ní (1).
- Obtěžování také může zvyšovat amplitudová modulační a interakce s vizuálními efekty (1).
- Vliv na obtěžování má hluková senzitivita, postoj vůči větrným elektrárnám, vizuální aspekty a ekonomické benefity. Důležitým předpokladem pro akceptování VE se jeví spoluúčast v rozhodovacím procesu, spoluvlastnictví a využívání energie lokálně, místo aby byla exportována (1).
- Byla zjištěna asociace mezi celkovým obtěžováním a stížnostmi na zdraví, ale nelze udělat závěr o směru působení tohoto vztahu (1).
- Pro ostatní zdravotní účinky, jako je rušení spánku, nespavost, kardiovaskulární a metabolické účinky, jsou nálezy nekonzistentní nebo nedostatečné. Rušení spánku je asociováno s obtěžováním spíše než se zvukem VE (1).
- Klíčové objektivně měřené ukazatele struktury spánku (tj. latence spánku, celkový čas strávený spánkem a bděním) nejsou signifikantně ovlivněny hlukem z VE (2).
- Signifikantní změny byly zjištěny v detailnějších měřeních kortikální aktivity a stadií spánku (2). Není ale zřejmá klinická závažnost změn těchto ukazatelů.
- Jen málo studií používalo psychometricky validovanou subjektivní měřítka spánku (2). Dostupná data naznačují, že závažnost nespavosti, kvalita spánku a ospalost ve dne jsou ovlivněny expozicí hluku z VE, zatímco latence počátku spánku, celkový čas spánku, probuzení po upadnutí do spánku a efektivita spánku ukazují méně konzistentní nálezy (2). Ani výsledky později provedených studií nejsou konzistentní.
- Byl zjištěn důkaz velmi nízké kvality pro to, že neexistuje vliv hluku z větrných elektráren na subjektivní hodnocení kvality života nebo zdraví (3).
- Nebyly nalezeny signifikantní vztahy mezi hlukem z VE a ischemickou chorobou srdeční, cévní mozkovou příhodou a medikací pro hypertenzi (1, 4).
- Výsledky později provedených studií na kardiovaskulární účinky nízkofrekvenčního zvuku VE nejsou konzistentní.



- Žádný vztah nebyl potvrzen pro metabolické účinky (diabetes) (1, 4). Nebyly provedeny studie na obezitě (1).
- Nejsou dostatečné důkazy pro přímý vztah mezi hladinou akustického tlaku hluku z VE a mentálním zdravím, resp. kvalitou života. Kognitivní účinky nebyly studovány ve vztahu se zvukem VE (1).
- Nízkofrekvenční zvuk je součástí celkového zvuku VE, stejně tak jako zvuků z dalších zdrojů, např. ze silniční, železniční a letecké dopravy. Kvůli nízkému útlumu jsou nízké frekvence relativně důležitější na větší vzdálenosti a uvnitř obydlí. Infrazvuk se tlumí ještě méně, ale při obvyklé vzdálenosti VE od obydlí je příliš slabý pro lidské vnímání (1).
- Nejsou známky, že by nízkofrekvenční komponenta měla jiné účinky na obyvatele než normální zvuk, ani že by infrazvuk pod prahem slyšení mohl mít nějaké účinky. Hladina zvuku větrných elektráren a amplitudová modulace jsou hlavními příčinami vzestupu obtěžování spíše než nízkofrekvenční zvuk nebo infrazvuk (1).
- Jsme exponováni infrazvukem z různých zdrojů, mezi kterými větrné elektrárny nepředstavují vysokou emisi. Nebyla nalezena asociace mezi hlukem VE a výskytem diabetu, infarktu myokardu, cévní mozkové příhody a užíváním antihypertenziv, ale byla zjištěna častější medikace léky na spánek (4).

*Poděkování:*

*Děkuji za provedení rešerše Ing. Miroslavě Fridrichové, Středisko vědeckých informací SZÚ.*

*Střet zájmů: žádný*

## ORCID:

Zdeňka Vandasová <https://orcid.org/0009-0002-3392-6080>

## LITERATURA

1. van Kamp I, van den Berg F. Health effects related to wind turbine sound: an update. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Aug 30;18(17):9133. doi: 10.3390/ijerph18179133.
2. Liebich T, Lack L, Hansen K, Zajamsek B, Lovato N, Catcheside P, et al. A systematic review and meta-analysis of wind turbine noise effects on sleep using validated objective and subjective sleep assessments. *J Sleep Res*. 2021 Aug;30(4):e13228. doi: 10.1111/jsr.13228.
3. Clark C, Crumpler C, Notley AH. Evidence for environmental noise effects on health for the United Kingdom policy context: a systematic review of the effects of environmental noise on mental health, wellbeing, quality of life, cancer, dementia, birth, reproductive outcomes, and cognition. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jan 7;17(2):393. doi: 10.3390/ijerph17020393.
4. Koch S, Holzhau S, Hundhausen M. Wind turbine and infrasound: No evidence for health-related impairment - a physical, medical and social report. *Dtsch Med Wochenschr*. 2022 Jan;147(3):112-8. (In German.)
5. Turunen AW, Tiittanen P, Yli-Tuomi T, Taimisto P, Lanki T. Self-reported health in the vicinity of five wind power production areas in Finland. *Environ Int*. 2021 Jun;151:106419. doi: 10.1016/j.envint.2021.106419.
6. Qu F, Tsuchiya A. Perceptions of wind turbine noise and self-reported health in suburban residential areas. *Front Psychol*. 2021 Aug 30;12:736231. doi: 10.3389/fpsyg.2021.736231.
7. Liao L, Ling Y, Huang B, Zhou X, Luo H, Xi P, et al. Toward a survey-based assessment of wind turbine noise: the impacts on wellbeing of local residents. *Energies*. 2020;13(21):5845. doi:10.3390/en13215845.
8. Majjala PP, Kurki I, Vainio L, Pakarinen S, Kuuramo C, Lukander K, et al. Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound. *J Acoust Soc Am*. 2021 Apr;149(4):2238. doi: 10.1121/10.0003509.
9. Malecki P, Pawlaczyk-Luszczynska M, Wszolek T, Preis A, Klaczyński M, Dudarewicz A, et al. Does stochastic and modulated wind turbine infrasound affect human mental performance compared to steady signals without modulation? Results of a pilot study. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 26;20(3):2223. doi: 10.3390/ijerph20032223.
10. Zajamsek B, Hansen K, Lechat B, Liebich T, Dunbar C, Micic G, et al. Annoyance due to amplitude modulated low-frequency wind farm noise: a laboratory study. *J Acoust Soc Am*. 2022 Dec;152(6):3410. doi: 10.1121/10.0016499.
11. Yonemura M, Lee H, Sakamoto S. Subjective evaluation on the annoyance of environmental noise containing low-frequency tonal components. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jul 3;18(13):7127. doi: 10.3390/ijerph18137127.
12. Ruud E, Dutilleul G. Sound emergence as a predictor of short-term annoyance from wind turbine noise. *J Acoust Soc Am*. 2023 Feb;153(2):925. doi: 10.1121/10.0017112.
13. Liebich T, Lack L, Hansen K, Zajamsek B, Micic G, Lechat B, et al. An experimental investigation on the impact of wind turbine noise on polysomnography-measured and sleep diary-determined sleep outcomes. *Sleep*. 2022 Aug 11;45(8):zsac085. doi: 10.1093/sleep/zsac085.
14. Liebich T, Lack L, Micic G, Hansen K, Zajamsek B, Dunbar C, et al. The effect of wind turbine noise on polysomnographically measured and self-reported sleep latency in wind turbine noise naïve participants. *Sleep*. 2022 Jan 11;45(1):zsab283. doi: 10.1093/sleep/zsab283.
15. Michaud DS, Keith SE, Guay M, Voicescu S, Denning A, McNamee JP. Sleep actigraphy time-synchronized with wind turbine output. *Sleep*. 2021 Sep 13;44(9):zsab070. doi: 10.1093/sleep/zsab070.
16. Dunbar C, Catcheside P, Lechat B, Hansen K, Zajamsek B, Liebich T, et al. EEG power spectral responses to wind farm compared with road traffic noise during sleep: a laboratory study. *J Sleep Res*. 2022 Jun;31(3):e13517. doi: 10.1111/jsr.13517.
17. Smith MG, Ögren M, Thorsson P, Hussain-Alkhateeb L, Pedersen E, Forssén J, et al. A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: results of the polysomnographic WiTNEs study. *Sleep*. 2020 Sep 14;43(9):zsaa046. doi: 10.1093/sleep/zsaa046.
18. Sharman RL, Perlis ML, Bastien CH, Barclay NL, Ellis JG, Elder GJ. Pre-Sleep cognitive arousal is negatively associated with sleep misperception in healthy sleepers during habitual environmental noise exposure: an actigraphy study. *Clocks Sleep*. 2022 Feb 24;4(1):88-99.
19. de Laat JAPM, Altevèer W, Maas AJJ, van Manen S, Feenstra L. Industrial wind turbine noise: the association with human health. *Ned Tijdschr Geneesk*. 2021 Dec 2;165:D5999. (In Dutch.)
20. Marshall NS, Cho G, Toelle BG, Tonin R, Bartlett DJ, D'Rozario AL, et al. The health effects of 72 hours of simulated wind turbine infrasound: a double-blind randomized crossover study in noise-sensitive, healthy adults. *Environ Health Perspect*. 2023 Mar;131(3):37012. doi: 10.1289/EHP10757.
21. Chiu CH, Lung SC, Chen N, Hwang JS, Tsou MM. Effects of low-frequency noise from wind turbines on heart rate variability in healthy individuals. *Sci Rep*. 2021 Sep 8;11(1):17817. doi: 10.1038/s41598-021-97107-8.
22. Lechat B, Scott H, Decup F, Hansen KL, Micic G, Dunbar C, Liebich T, Catcheside P, Zajamsek B. Environmental noi-

- se-induced cardiovascular responses during sleep. *Sleep*. 2022 Mar 14;45(3):zsab302. doi: 10.1093/sleep/zsab302.
23. Turunen AW, Tiittanen P, Yli-Tuomi T, Taimisto P, Lanki T. Symptoms intuitively associated with wind turbine infrasound. *Environ Res*. 2021 Jan;192:110360. doi: 10.1016/j.envres.2020.110360.
  24. Nguyen D-P, Hansen K, Zajamsek B. Human perception of wind farm vibration. *J Low Freq Noise Vib Act Control*. 2020;39(1):17-27.
  25. Malec T, Boczar T, Wotzka D, Koziol M. Measurement and analysis of infrasound signals generated by operation of high-power wind turbines. *Energies*. 2021;14(20):6544. doi: 10.3390/en14206544.
  26. Boczar T, Zmarzly D, Koziol M, Nagi Ł, Wotzka D, Nadolny Z. Measurement of infrasound components contained in the noise emitted during a working wind turbine. *Energies*. 2022;15(2):597. doi: 10.3390/en15020597.
  27. Wszolek T, Pawlik P, Klaczyński M, Stępień B, Mleczko D, Malecki P, et al. Experimental verification of windshields in the measurement of low frequency noise from wind turbines. *Energies*. 2022;15(20):7499. doi: 10.3390/en15207499.
  28. Chiu CH, Lung SC. Assessment of low-frequency noise from wind turbines under different weather conditions. *J Environ Health Sci Eng*. 2020 May 21;18(2):505-14.
  29. Argüelles Díaz KM, Velarde-Suárez S, Fernandez Oro JM, Gonzalez Perez J. Simplified assessment on the wind farm noise impact of the E2O Experimental Offshore Station in the Asturian coast. *Energies*. 2020;13(21):5788. doi: 10.3390/en13215788.
  30. Nyborg CM, Fischer A, Réthoré PE, Feng J. Optimization of wind farm operation with a noise constraint. *Wind Energy Sci*. 2023;8(2):255-76.
  31. World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018.
  32. Janssen SA, Vos H, Eisses AR, Pedersen E. A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J Acoust Soc Am*. 2011 Dec;130(6):3746-53.
  33. Kuwano S, Yano T, Kageyama T, Sueoka S, Tachibana H. Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Eng J*. 2014 Nov-Dec;62(6):503-20.
  34. Lechat B, Hansen K, Micic G, Decup F, Dunbar C, Liebhich T, et al. K-complexes are a sensitive marker of noise-related sensory processing during sleep: a pilot study. *Sleep*. 2021 Sep 13;44(9):zsab065. doi: 10.1093/sleep/zsab065.

*Došlo do redakce: 31. 10. 2023*

*Přijato k tisku: 29. 11. 2023*

*MUDr. Zdeňka Vandasová  
Státní zdravotní ústav  
Ústředí monitoringu zdravotního stavu obyvatelstva  
Šrobárova 49/48  
100 00 Praha 10  
Česká republika  
E-mail: zdenka.vandasova@szu.cz*