

Hluk generovaný větrnými elektrárnami

 mira789.eu/vetrnik/infrazvuk.htm

Tato stránka pojednává o hluku generovaném větrnými elektrárnami a především jedné z jeho součástí - infrazvuku.

Následující informace jsou shrnutím odborné literatury a shrnuté pomocí AI systému ChatGPT.

Frekvenční spektrum zvuku nebo vibrací generované větrnými elektrárnami (VtE) závisí na několika faktorech, ale obecně se dá dobře popsat. U moderních větrných elektráren o výšce kolem 200 m (včetně rotoru) je spektrum rozloženo do dvou hlavních oblastí:

Toto je dominantní část spektra u velkých turbín.

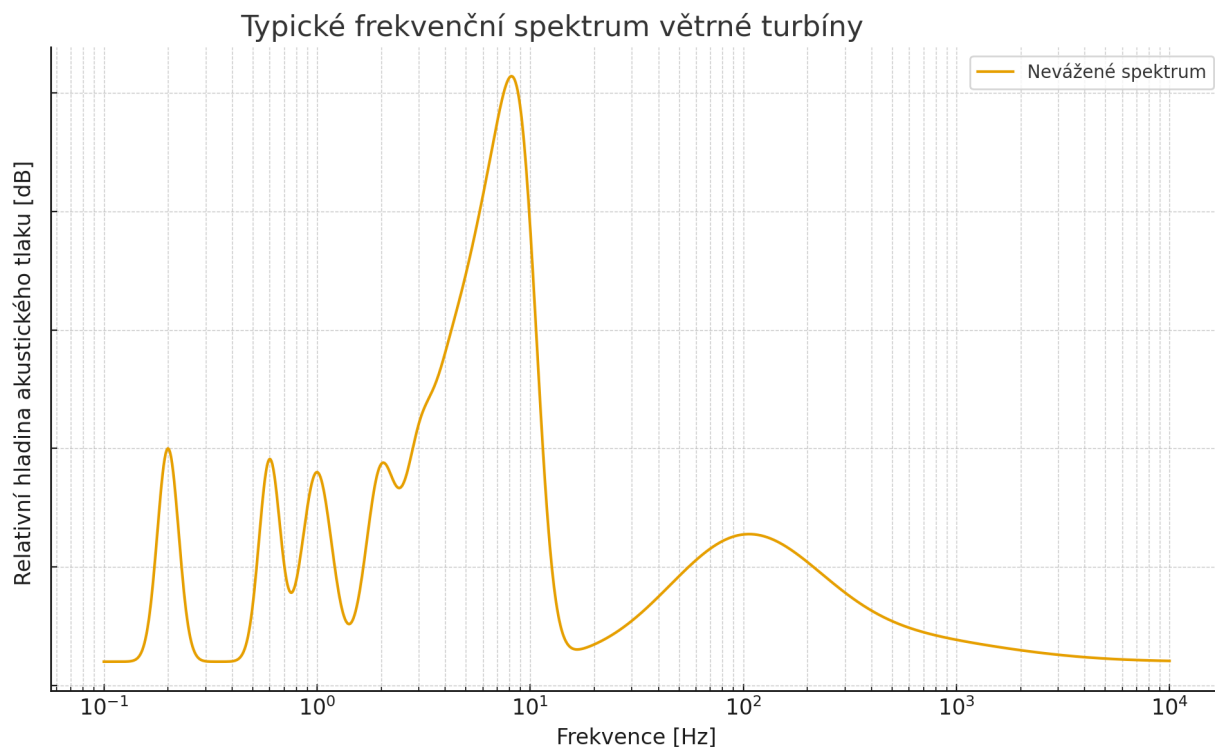
- Rotace lopatek → základní frekvence odpovídá tzv. blade passing frequency (BPF), tj. počet lopatek × otáčky rotoru.
- Aerodynamické pulzace – turbulentní proudění, střídání tlaku za lopatkami.
- Mechanické vibrace převodovky a gondoly.
- základní rotorová frekvence $\approx 0,17\text{--}0,25$ Hz
- BPF (3 lopatky) $\approx 0,5\text{--}0,75$ Hz
- vyšší harmonické až do cca 10–20 Hz

👉 Tyto frekvence často leží pod prahem slyšitelnosti člověka (20 Hz), ale mohou být vnímatelné jako infrazvuk nebo jako nízkofrekvenční tlakové pulzace.

- Aerodynamický hluk na koncích lopatek (tzv. „swish“ efekt)
- Turbulentní šum od proudění kolem věže a listů
- Strojní hluk z gondoly (převodovky, generátoru)
- 20–200 Hz – nízkofrekvenční složky, které mohou být slyšitelné jako hluboké hučení (zvláště za určitých povětrnostních podmínek).
- 200 Hz – 1 kHz – hlavní aerodynamický šum, zejména při vyšších rychlostech větru.
- >1 kHz – klesající spektrum, převažuje šum typu „šustění“ (broadband noise).

Hladiny akustického tlaku u paty turbíny mohou být cca 90–105 dB(A), ale ve vzdálenosti 300–500 m klesají typicky na 35–50 dB(A) (záleží na typu turbíny a počasí).

Zdroj / jev	Frekvenční rozsah	Poznámka
Rotorová otáčková frekvence	0,1 – 0,3 Hz	Infrazvuk
Blade passing frequency (BPF)	0,3 – 1 Hz	3 lopatky × otáčky
Harmonické tóny BPF	1 – 20 Hz	Výrazné v infrazvuku
Mechanické vibrace (převodovka)	10 – 1000 Hz	V závislosti na konstrukci
Aerodynamický šum lopatek	200 Hz – 5 kHz	Hlavní slyšitelná složka



Výška 200 m znamená větší rotor, nižší otáčky $\Rightarrow$ dominantní frekvence jsou ještě nižší než u starších menších turbín.

Infrazvuková složka má relativně malou amplitudu, ale může být periodická a měřitelná i několik km od turbíny.

Spektrum závisí silně na rychlosti větru, nastavení pitch systému, a na terénu (odrazové a interference efekty).

Pro model byly použity zjednodušené předpoklady: bodový zdroj, sférický šíření, jednoduché frekvenční koeficienty atmosférického útlumu. Reálné měření pole může dát jiné tvary spektra (vliv směru větru, terénu, vegetace, odrazy, provozní režim turbíny, tonality atd.).

Vzdálenost [m]	LAeq 0,1–20 Hz [dB(A)]	Lin 0,1–20 Hz [dB]
300	72.05	148.82
500	57.61	134.38
800	38.53	115.30

Zvuk je mechanické vlnění v prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Zvuk si můžeme představit jako uspořádaný kmitavý pohyb částic prostředí, kterým se zvuk šíří - např. molekul plynu, kapaliny nebo atomů pevné látky.

Zvuková vlna je dána periodickým stlačováním a rozpínáním hmotného prostředí, v němž postupuje rychlostí závislou na okamžitých fyzikálních podmínkách (např. tlak, teplota, vlhkost).

Zvuk se šíří v různém prostředí různou rychlostí, ve vzduchu je to rychlost kolem 340 m/sek, ve vodě zhruba 5x vyšší.

Zvuk je charakterizován především svým kmitočtem, tvarem (sinusový, obdélníkový, neperiodický,...) a intenzitou. Vlnová délka je úměrná převrácené hodnotě kmitočtu a je určena délkou jedné periody zvukové vlny. Takže např. zvuku o kmitočtu 100Hz odpovídá vlnová délka ve vzduchu kolem 3,4 metrů.

V tomto článku nás ultrazvuk (kmitočty vyšší než 20 kHz) nezajímá a nebudeme se mu věnovat

Jako slyšitelný zvuk se uvádí kmitočtový rozsah 20Hz až 20kHz, přičemž stárnutím klesá horní hranice slyšitelnosti (ve 40 letech je horní hranice v průměru 15 kHz a v 50 - 60 letech 10 kHz). Lidské ucho je nejcitlivější v rozmezí 1-3kHz.

Hladina akustického tlaku se udává v logaritmických jednotkách - decibelech (dB), které určují poměr měřené intenzity zvuku k prahovému tlaku dolní hranice slyšitelnosti (zjednodušeně řečeno).

Měření zvuku provádí akreditované laboratoře (např. v Ústí nad Orlicí). Měření se provádí nejčastěji s filtrem typu A, který zvýrazňuje kmitočty, kde je ucho nejcitlivější. Někdy se měří i s filtrem typu C, který tolik nepotlačuje nízké frekvence. Pro měření se používají standardní měřicí přístroje a měření hladin akustického tlaku je možno považovat za objektivní.

Pro hladinu akustického tlaku existují hygienické normy, které stanovují maximální povolené hodnoty. Pro větrné elektrárny je to maximálně 50 dB(A) ve dne a 40 dB(A) v noci. Z popisu je vidět, že měření se provádí s váhovým filtrem typu A, který je nejcitlivější mezi 2-3 kHz a nízké i vysoké kmitočty potlačuje.

Jako infrazvuk se uvádí zvuk s kmitočty pod 20 Hz (Někdy je jako spodní hranice zvuku uváděn kmitočet 16Hz.). Aparát lidského ucha (kladívko, třmínek a kovádlíka) a jeho detekční část (hlemýžď) včetně nervů vedoucích do mozku jsou uzpůsobeny tak, že mozek infrazvuk **vědomě neslyší**. To ale neznamená, že je nevnímá. Na vnímání se podílejí jak další součásti lidského ucha (vestibulární systém pro rovnováhu), tak čidla vibrací a tlaku v lidském těle (klouby, dlouhé kosti, bránice). Při šíření vzduchem se na infrazvuk (a zvuk obecně) můžeme dívat jako na lokální rymické zvyšování a snižování tlaku vzduchu, dané kmitočtem zvuku.

Z tohoto důvodu infrazvuk neslyšíme (neuvědomujeme si ho), ale přitom nás ovlivňuje, a to při vyšších hladinách i značně. Z výzkumů ale vyplývá, že i infrazvuk o relativně nízké intenzivně má vliv na člověka.

V diskuzích o škodlivých vlivech větrných elektráren (VtE) se dodavatelské firmy většinou odvolávají na měření slyšitelného zvuku a uvádějí, že dnešní VtE vyhovují současným hygienickým normám. Což je většinou pravda. Problém infrazvuku je však silně bagatelizován, pokud je vůbec zmíněn.

Bohužel, pro limity infrazvuku neexistují hygienické normy, a to, pokud vím, ani u nás, ani jinde ve světě. Dalším problémem je, že se infrazvuk obtížně měří a pokud se měří, tak většinou jen v třetinooktávovém pásmu, pro podrobnější měření nejsou laboratoře běžně vybaveny.

V poslední době se konečně začíná měřit v podrobnějším než třetinooktávovém pásmu. Tato měření provedla např. portugalská vědkyně Mariana Alves-Pereira s kolektivem (měřeno v 36-oktávovém pásmu), ve kterém zcela jasně prokázala generování infrazvuku větrnými elektrárnami, a to ve značně vysokých hladinách akustického tlaku ([Infrasound Exposure: High-Resolution Measurements Near Wind Power Plants](#)).

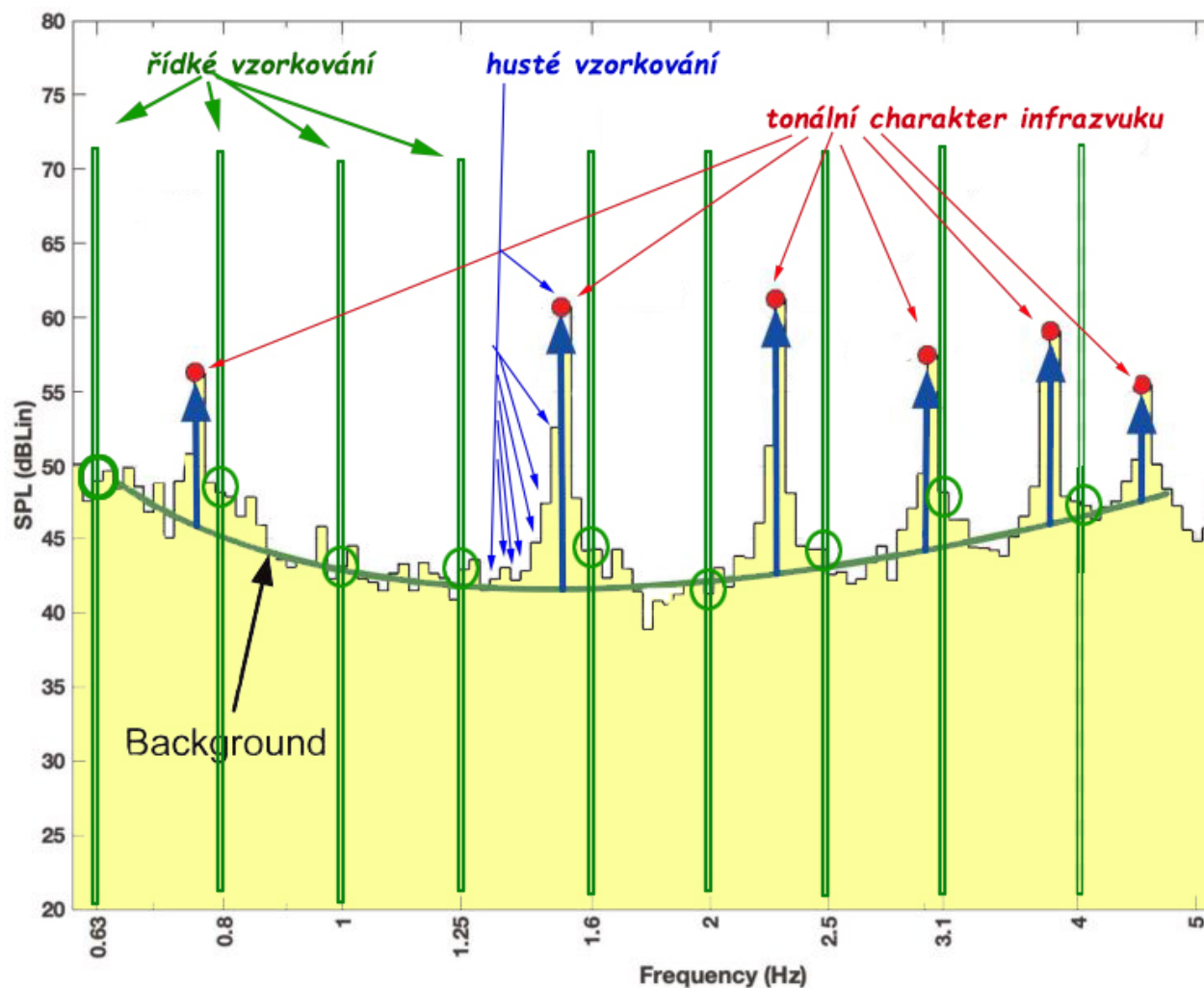
V následujícím grafu si ukážeme, jaký vliv na měření má jemnost vzorkování. Obrázek může na první pohled vypadat složitě, ale je to vcelku jednoduché:

Na vodorovné ose je vynesena kmitočet, na svislé ose pak úroveň infrazvukového signálu. Skutečná hodnota signálu je žlutě vybarvena.

Zelené svislé čáry znázorňují kmitočty měření při řídkém vzorkování, "hradby" kreslené tmavě šedou barvou pak hodnoty měřené při hustém vzorkování.

Průběh signálu je převzat ze skutečného měření VtE, viz [1]. Z grafu je vidět, že signál má výrazně tonální charakter, takže některé kmitočty mají podstatně vyšší úroveň než je zprůměrovaná hodnota úrovně infrazvuku (znázorněná tmavě zelenou křivkou).

V případě, že se měří s řídkým vzorkováním (což je dnes obvyklý způsob měření), tak se vůbec nezjistí maxima úrovně signálu (v grafu označena červeným kroužkem), jednoduše řečeno, měření se "netrefí" do kmitočtů s vysokou úrovní a ty zůstanou nedetekovány. Výsledky měření pak vypadají podstatně příznivěji, než je skutečnost.



Vliv infrazvuku na lidský organizmus nebyl ještě do nedávna znám.

Britská vědecká asociace vydala závěry experimentu, uskutečněného na návštěvnících hudebního koncertu. Vybrané části hudby byly vysílány speciálním reproduktorem o frekvenci 17 hertzů. 750 návštěvníků koncertu popsalo zvláštní pocity při vysílání hudby na těchto frekvencích. Výzkumníkům se potvrdilo, že infrazvuk magicky zesiluje aktuální citový stav, což považují za možné vysvětlení stavů, kdy mohutná varhanní hudba o nízkých frekvencích vyvolává v lidech návaly emocí. Při podobném pokusu byl návštěvníkům hororu v kině přimíchán k normálnímu zvuku infrazvukový signál. Diváci pak uváděli intenzivní pocit hrůzy v místech, kdy byl infrazvuk přimíchán.

Známé jsou studie firmy Bruel & Kjaer z oblasti letiště Heathrow. Byly konstatovány tyto důsledky:

- ovlivnění psychiky obyvatel přilehlých sídlišť
- sklon k sebevraždám
- rozladěnost
- nevolnost
- dezorientace
- zvýšená unavitelnost
- poruchy spánku

- ztráta rovnováhy
- snížená zraková ostrost
- obtíže při soustředění
- kinetóza (stav organismu vzniklý působením rychlosti)
- vazoneuróza (cévohybné funkční onemocnění z poruchy nervové činnosti)
- potíže při dýchání

Problémy popsané na této stránce se týkají jednotlivých VtE.

Pokud je však instalováno více VtE, mohou se přidat další problémy, způsobené [interferencí zvuku](#) jednotlivých VtE, takže mohou ještě vznikat sekundární infrazvuky, opět v oblasti neslyšitelného zvuku.

Účinky infrazvuku generovaného větrnými elektrárnami podrobně zkoumala americká profesorka z Princeton University [Nina Pierpont, MD, Ph.D.](#)

Z historie objevování účinků infrazvuku

Příběh z anglické laboratoře

Každý Angličan je připraven k setkání s přízrakem, ale nikdy to nepřizná. Tak i Viktor Tendi, počítačový odborník z univerzity v Coventry. V ten večer on, tak, jako jindy, pracoval ve své laboratoři, když jej ovanul chlad a naskočil studený pot. Náhle dostal pocit, jakoby jej někdo pozoroval, a tento pohled přináší cosi zlověstného. Potom se onen zlověstný pocit zmaterializoval v cosi neforemného, popelavé barvy, proplulo po místnosti a plynule se přiblížilo k vědci. Daly se vystihnout obrysy rukou, nohou a na místě hlavy se vytvořil oblak, jehož centru byla tmavá skvrna. Vypadalo to jako rty. V jediném okamžiku se přízrak beze stopy rozplynul ve vzduchu.

Ke cti vědce je nutno říci, že když přečkal první strach a šok, začal uvažovat a jednat jako vědec - chtěl zjistit příčinu zvláštního jevu. Narkotika neužíval, ani nepil alkohol. A co se týká neznámých sil, v ty vědec kategoricky nevěřil.

Ne, je třeba hledat obyčejné fyzikální faktory, našel je, jak už to bývá, úplně náhodou. Vědci přichází na mysl rezonační chvění, podobné tomu, které vydávají zvukové vlny. Tak, jako nádobí v kredenci začíná znít, když v místnosti naplno hraje hudba. Ovšem to nejzajímavější na tom je, že v době zjevení přízraku bylo v laboratoři ticho. Skutečně ticho?

Když si položil tuto otázku, Tendi na ni odpověděl takto: změřil zvukové pozadí speciální aparaturou. A ukázalo se, že je zde zvláštní šum, ale zvukové vlny mají nízkou frekvenci, kterou lidské ucho není schopno vnímat. Jde o infrazvuk.

A po pátrání byl zdroj nalezen - nedávno nainstalovaný nový ventilátor, umístěný do šachty, která díky svým rozměrům infrazvuk zesilovala. Měření intenzity infrazvuku v laboratoři ukázalo hodnotu 18,98 Hz, a to je přesně ta intenzita, při které lidská oční bulva začíná vibrovat. A tak, podle všeho, zvukové vlny rozechvěly oční pozadí a vyvolaly oklamání smyslů - uviděl postavu, která neexistovala.

Zde jsou posbírané zkušenosti lidí, kteří žijí v blízkosti elektráren.

Na [Youtube](#) je svědectví lidí z Německa, kteří mají kolem bydliště 16 VtE. Je to bohužel v němčině, ale se zapnutými titulky tomu lze porozumět.

Vnímám infrazvuk. Pro každého, kdo to neslyší: Zní to, jako by soused měl novou pračku, která poměrně hlasitě běží na cyklus odstředování – hodiny, dny, noci, nonstop – i tady jsou větrné turbíny, ale přístav s velkou průmyslovou oblastí na kanálu není daleko. Pracovně hodně cestuji, a proto mám vždy čas si odpočinout na místech bez nebo s menším infrazvukem.

Už se necítím dobře ve svém vlastním domě. Bohužel jsme s manželem onemocněli. Intenzivně slyšíme a cítíme infrazvuk. Nemůžeme spát celou noc a cítíme se, jako bychom byli zasaženi elektrickým proudem. Je to prostě hrůza.

Ve větrné farmě Ospeldijk v obci Nederweert v provincii Limburg v Nizozemsku jsou obyvatelé do vzdálenosti 1600 metrů zatíženi hlukem ze zdrojů, jako je infrazvuk. Účinky pociťují také domácí zvířata a hospodářská zvířata. Turbíny jsou vysoké 209,5 metru s lopatkami širokými 149,1 metru. Je to strašné pro lidi i zvířata! Poruchy spánku, potíže se soustředěním, bolesti hlavy, zhoršení stávajícího zdravotního stavu a tak dále.

Nedávno jsem byl na dovolené v oblasti s větrnými turbínami a neustále jsem to slyšel, takže je těžké spát.