

# Vyšetřování hluku z větrných elektráren

doc. Ing. Olga Tůmová, CSc, Ing. Eva Vejvodová,  
Fakulta elektrotechniky, Západočeská univerzita, Plzeň

## 1. Úvod

V článku [1] byl uveden přehled o stavu větrné energetiky v Evropě a v ČR s cílem ukázat na nebyvalý rozvoj výstavby nových větrných elektráren (dále VtE). Protože jde o široce diskutované téma, které zajímá odbornou i laickou veřejnost, byly v závěru článku [1] shrnuty i základní postoje, které ilustrují, jak veřejnost často vnímá VtE. Tento příspěvek je zaměřen na jeden z hlavních problémů, který silně souvisí s fenoménem VtE, a to na hluk emitovaný VtE. Cílem článku je uvést základní fakta o vzniku, šíření a vnímání hluku z VtE. Autorky se snaží objasnit, proč hluk z VtE může někdy působit problémy „být slyšet“ při uvažování VtE jako zdroje hluku, šíření hluku atmosférou a pozorovatele žijícího v blízkosti VtE. Tento článek řeší úvod do problematiky šíření a vyšetřování hluku z VtE.

## 2. Problematika hluku z VtE

Komise Evropské unie zabývající se problematikou hluku uvádí, že hluk je největším a nejrychleji rostoucím znečišťovatelem životního prostředí v Evropě. Hluk je neodmyslitelně spojen s každodenními činnostmi člověka, přičemž člověk je vystaven hluku např. při cestě do práce, na pracovišti, v restauraci nebo ve svém vlastním domově. Právě domov je pro člověka místo, kde očekává klid na odpočinek. Je-li narušena jeho akustická pohoda, stává se rozmrzelým a narůstá u něho pocit nespokojenosti z nepohodlí. Klid domova zasáhne občas vnější vlivy, ke kterým v poslední době patří i tolik propagované zdroje alternativní energie – VtE. Při instalování prvních VtE se předpokládalo, že elektrárny budou sice produkovat hluk, ale na frekvencích, které jsou pro člověka neslyšitelné, a že slyšitelný hluk bude maskován okolním hlukem tak, že člověk nebude přítomnost VtE v jeho okolí vnímat. Tento předpoklad se nezměnil. A i když postupným konstrukčním vývojem dochází ke snižování hluku, jenž VtE emitují, stále jde o aktuální a diskutované téma. Když si totiž lidé začnou stěžovat na hlučnost VtE v jejich okolí, stojí proti nim výrobci s názorem, že jejich VtE splňují hygienické limity, a lidé zase tvrdí, že přítomnost VtE negativně ovlivňuje kvalitu jejich životů.

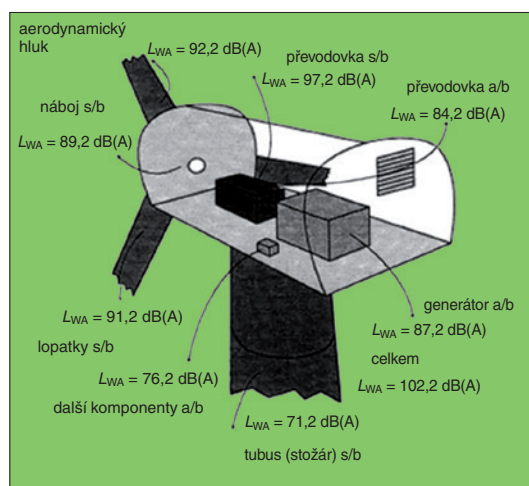
### 2.1 Konstrukce VtE

Starší VtE jsou vysoké přibližně 40 m, moderní VtE mohou přesáhnout výšku 100 m. Nové generace VtE mají dosahovat výšek

100 až 140 m. V tomto článku jsou uvažovány moderní velké elektrárny, které generují elektrický výkon v řádech megawattů. Nejčastěji jde o VtE s horizontální osou rotace, jejichž třílopatkový rotor je orientován proti směru proudění větru.

### 2.2 Hluk z VtE

Definice hluku je založena na definici zvuku. Podstatou šíření zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí v rozsahu frekvencí 20 až 20 000 kmitů za sekundu, které se šíří konečnou rychlostí určitým prostředím. Zvuk se může šířit v plynech, kapalinách i pevných látkách. Zvuk čili akustické vlnění postupuje od zdroje zvuku ve vlnoplochách.



Obr. 1. Ukázka hlavních součástí stroje VtE a jejich podílů na celkové hladině akustického výkonu z VtE s důrazem na přenosovou cestu: přímou cestou (a/b) nebo konstrukcí (s/b) [2]

Hluk je obvykle definován jako nepříjemný, rušivý zvuk. Tato definice je subjektivní, protože tentýž zvuk může být pro někoho obtěžující a pro jiného přijatelný, nebo dokonce příjemný.

Obecně lze hluk z VtE rozdělit na širokopásmový, impulzní, nízkofrekvenční (1 až 200 Hz) a hluk obsahující tónové složky. Pro účely tohoto článku je hluk popsán podle zdroje vzniku.

Hlavní zdroje hluku z VtE jsou tyto:

- víry (turbulence) vznikající na koncích listů VtE v rozsahu frekvencí 500 až 1 000 Hz,
- převodovka nebo další zdroj mechanického hluku (strojovna VtE) v rozsahu frekvencí 20 až 1 000 Hz,
- malé tlakové pulzy způsobené interakcí listů s proudem vzduchu u stožáru VtE – ten-

to zdroj má základní frekvenci okolo 1 Hz.

Hluk z VtE lze dělit podle původu na hluk aerodynamický nebo mechanický.

### 2.2.1 Hluk mechanického původu

V současné době je již hluk mechanického původu snižen moderními technologiemi pod úroveň aerodynamického hluku. Tento druh hluku se nezvyšuje s rostoucí výškou VtE. Hluk mechanického původu vzniká nejčastěji ve strojovně (gondole) VtE interakcemi mechanických součástí, přičemž mezi nejvýznamnější zdroje hluku patří:

- převodovka,
- generátor,
- servomotory (natáčí gondolu VtE),
- chladicí ventilátory.

Hluk se do okolního prostoru dostává dvěma způsoby, a to přímou cestou (*air borne*) nebo se přenáší konstrukcí (*structure borne*) do jiných částí VtE, které se následně chovají jako zdroje hluku (např. převodovka generuje hluk, který je emitován rovnou do ovzduší a část tohoto hluku je navíc přenášena do pláště gondoly – obr. 1).

Významné omezení mechanického hluku bylo dosaženo odstraněním převodovky. Volba, zda použít, nebo nepoužít převodovku, je jen na výrobci VtE – v současné době jsou vyráběny VtE jak bez převodovky, tak i s např. tzv. planetovou převodovkou, umožňující proměnný převodový poměr.

Při vyšetřování hluku z VtE bývá v některých případech problémem výrazná tónová složka hluku, která je nejčastěji spojena s otá-

čením mechanických částí VtE (čisté tóny jsou dávány do souvislosti s frekvencí otáčení hřídele a generátoru) a s frekvencemi zabírání převodovky. Generování tónových složek hluku se liší nejen podle druhů VtE, ale také podle odlišností mezi stejnými modely VtE. Nicméně, kontrola tónových složek hluku pocházejících z mechanických částí je podobná kontrole tónových složek hluku z jakéhokoliv mechanického stroje a může být dosažena zaměřením na kontrolu zubů převodovky, přidáním tlumičů hluku a akustické izolace do gondoly, používáním vibračních izolátorů a vibračních podložek pro většinu komponent a také navrhováním VtE takovým způsobem, aby byly omezeny přenosové cesty hluku celou konstrukcí VtE.

### 2.2.2 Hluk aerodynamického původu

Aerodynamický hluk, který vzniká turbulentním prouděním vzduchu kolem listů rotoru, je dominantní složkou hluku z moderních VtE. Turbulence mohou vznikat přirozenou cestou v atmosféře (doprovází tedy proud vzduchu) nebo vznikají až při obtékání proudů větru kolem lopatek VtE.

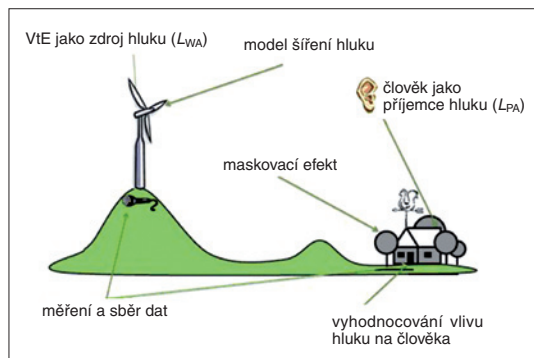
Aerodynamický hluk má širokopásmový charakter (500 až 1 000 Hz); jsou v něm zastoupeny frekvence z celého slyšitelného spektra a je pozorovateli vnímán jako hučení. Na tento hluk je amplitudově modulovaný nízkofrekvenční signál, který odpovídá frekvenci, při které lopatky rotoru míjejí stožár (tzv. lopatková frekvence, nejčastěji v rozmezí 1 až 2 Hz).

Tento amplitudově modulovaný hluk bývá často veřejností popisován jako svištění a patří k typům hluku z VtE, na které si obyvatelé žijící v sousedství VtE stěžují nejvíce. Někdy bývá mylně označován za nízkofrekvenční hluk.

Svištění je ve skutečnosti modulací vyšší frekvence, mající svůj původ v turbulentních vzniklých pohybem špičky listů vrtule, a neobsahuje frekvence patřící do intervalu hluku o nízkých frekvencích (1 až 200 Hz). Vnímání těchto tlakových pulzací se mění s rostoucí vzdáleností od VtE a zvětšuje se v případech, že je více VtE pohromadě (větrné parky).

### 3. Vyšetřování hluku z VtE

Pro zjednodušení případu je uvedena jen solitérní (osamocená) VtE zasazená do krajiny. Předtím, než může být VtE umístěna



Obr. 2. Vyšetřování hluku z větrné elektrárny – z obrázku je patrné, že tato problematika je rozdělena do několika částí: řešení VtE jako zdroje hluku, model šíření hluku atmosférou a vliv hluku na člověka

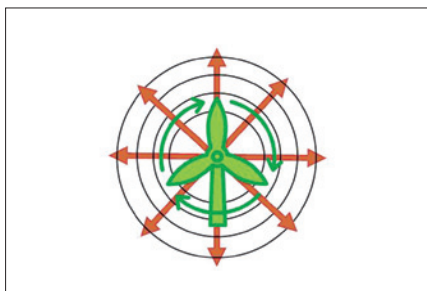
do určité lokality, je výrobce VtE povinen před uvedením výrobku na trh vykonat příslušná technická měření a uvést požadované technické charakteristiky VtE. Z akustických parametrů je uváděna **ekvivalentní hladina akustického tlaku**  $L_{Aeq}$ , naměřená v určité vzdálenosti od VtE jednak za provozu VtE, jednak při její nečinnosti (hluk pozadí VtE). Tyto hodnoty jsou měřeny v závislosti na rychlosti větru měřeném ve výšce

10m nad zemským povrchem. Další významnou specifikací je uvádění **hladiny akustického výkonu VtE**  $L_{WA}$  (dB).

*Poznámka:*

*Rozdíl mezi hladinou akustického výkonu a tlaku je tento:*

- *hladina akustického výkonu  $L_{WA}$  je nezávislá na poloze VtE, okolních podmínkách (atmosférické, topografické) a vzdálenosti od měřeného bodu;*
- *hladina akustického tlaku  $L_{PA}$  je měřítkem zvukové energie emitované zdrojem hluku, měřená v určité vzdálenosti od zdroje hluku (VtE) a je závislá na okolních podmínkách. Produkovaný akustický výkon VtE je tedy příčina a zdroj šíření akustického vlnění, přičemž akustický tlak je účinek.*



Obr. 3. Větrná elektrárna jako bodový zdroj hluku, šíření hluku v ideálním prostředí – zelená šipka znázorňuje směr otáčení lopatek, červená šipka demonstruje směr šíření hluku do okolního prostředí, černé kružnice symbolizují zvukové vlnoplochy, spojnice míst se stejným akustickým tlakem

Údaje, které poskytne výrobce VtE, jsou následně zpracovávány do hlukových studií, přičemž je nutné zohlednit terénní, atmosférické a lokální podmínky. Výsledkem studie (při pomnutí hluku vzniklým v souvislosti s výstavou VtE jako stavebním procesem) je tvrzení, zda provozování VtE nepovede (nebo povede) k překročení požadavků nařízení vlády č. 148/2006 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Hluková studie by měla být podpořena konkrétním hygienickým měřením.

Na základě těchto výsledků jsou výrobci VtE i ekologičtí aktivisté oprávněně zastánci faktu, že VtE emituje hluk o určité hladině (dB). Nicméně v určité vzdálenosti od VtE, která je považována za bezpečnou, je hluk z VtE maskován okolním hlukem v takové míře, že je lidským uchem nepostřehnutelný, tzn. že hluk z VtE nebude způsobovat problémy obyvatelům žijícím v blízkosti VtE.

Při dodržení všech předchozích bodů by se mohlo zdát, že žádný problém s hlukem VtE nemůže nastat, čemuž ale odporují některé protesty a stížnosti obyvatel žijících v blízkosti VtE (viz zahraniční údaje). Při hledání

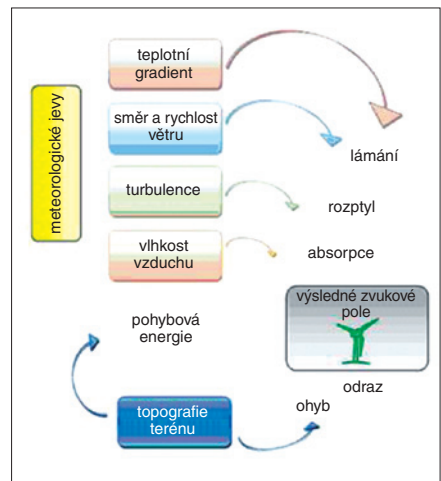
odpovědi na otázku, proč hluk z VtE může způsobovat v některých případech problémy, je vhodné analyzovat tuto problematiku ze širšího pohledu (obr. 2).

### 3.1 Větrná elektrárna jako zdroj hluku

V odstavci o typech hluku z VtE je uvedeno, že současným problémem je především hluk aerodynamického původu. Z tohoto důvodu je v tomto odstavci řešen způsob jeho vzniku.

Výkon VtE souvisí s rychlostí proudění větru. Hladinu emitovaného hluku zde utvářejí tyto skutečnosti:

- **Výška VtE.** Čím vyšší VtE, tím větší rozptíl lopatek, tím vyšší hladina emitované



Obr. 4. Šíření hluku atmosférou – přehled nejdůležitějších atmosférických vlivů

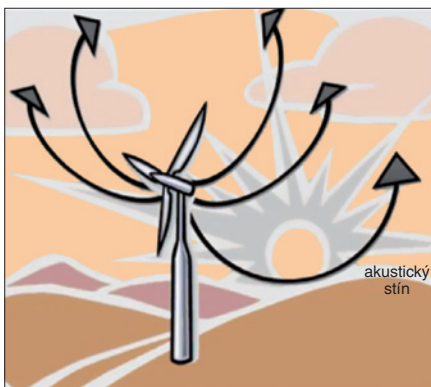
ho hluku. Se zvyšujícím se výkonem VtE roste i průměr lopatek rotoru (až na 80 m) a navíc stožáry VtE nové generace měřící 100 až 140m budou zasahovat do výšek, kde je předpokládán zvýšený vliv atmosférických jevů na proudění vzduchové hmoty.

- **Konstrukce VtE.** Rotor orientovaný po směru větru produkuje výrazně vyšší hladiny nízkofrekvenčního hluku z důvodu interakce lopatek rotoru s větším výskytem vírů vzniklých vlivem turbulentního proudění kolem gondoly. V Evropě jsou v současné době instalovány jen VtE s rotorem natáčeným proti směru větru, který významně omezil generování nízkofrekvenčního hluku.
- **Konstrukční parametry listů rotoru** (tvar a zakončení lopatek).
- **Způsob regulace otáček VtE.** Je-li rotor VtE navržen s konstantními otáčkami, je jednou z možností regulace otáček rotoru vychýlení gondoly z přímého proudu větru buď natočením gondoly, nebo i natočením lopatek (možné jsou i oba způsoby regulace současně). V tomto případě neobtéká proud větru lopatky rotoru pod ideálním úhlem. Lopatka nesvírá s proudem vzduchu optimální úhel, pro který byla navržena, čímž dochází

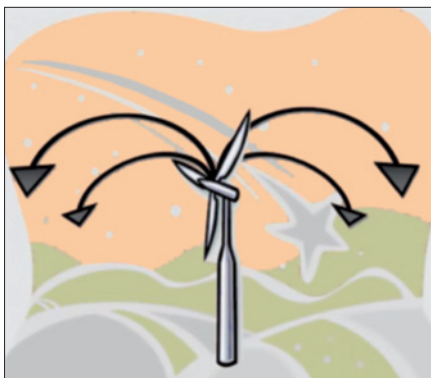


ke zvýšenému vzniku turbulencí, a tedy ke zvýšení hladiny hluku aerodynamického původu.

Z předchozích bodů vyplývá, že hladina hluku z VtE v průběhu dne kolísá a při pomínutí konstrukčních parametrů, které jsou sice pro vznik hluku aerodynamického původu důležité, ale nelze je v průběhu provozu VtE měnit, jsou nejdůležitějšími sledovanými parametry směr a rychlost větru.



Obr. 5. Šíření hluku z větrné elektrárny při běžném teplotním rozvrstvení atmosféry (teplota vzduchu klesá s nadmořskou výškou) – na obrázku znázorněn akustický stín, místo se zhoršenou slyšitelností hluku šířícího se od větrné elektrárny



Obr. 6. Šíření hluku z větrné elektrárny při inverzním teplotním rozvrstvení atmosféry (teplota vzduchu roste s nadmořskou výškou)

Dále je třeba se zaměřit na způsob měření hluku z VtE. V některých zemích EU je platná norma ČSN EN 61400-11:2004 (Větrné elektrárny – Část 11: Metodika měření hluku). Podle této normy by měření hlukových emisí mělo probíhat za přesně definovaných atmosférických podmínek. Hladina akustického tlaku  $L_{PA}$  je současně měřena s rychlostí větru, přičemž naměřené rychlosti větru se přepočítávají na rychlost větru, jež odpovídá referenční výšce 10 m a referenční drsnosti povrchu 0,005 m. Hladiny hluku jsou určovány pro rychlosti větru 6, 7, 8, 9, 10  $m \cdot s^{-1}$  a tyto hodnoty jsou následně použity pro výpočet hladin akustického výkonu  $L_{WA}$ . Hladina hluku je měřena v rozmezí frekvencí 50 Hz až 10 kHz; při přidavných opatření lze měřit i od 20 Hz.

Je zde tedy zřejmé omezení měření hladiny hluku na nízkých frekvencích v pásmu 1 až 50 Hz. V současné době je problematika hluku o nízkých frekvencích velmi aktuální a v Evropě (především v Dánsku, Španělsku a ve Švédsku) probíhá několik projektů, jež mají za úkol stanovit metodiku měření hluku o nízkých frekvencích z VtE, metodiku měření hluku o nízkých frekvencích v obytných prostorách a metodiku hodnocení vlivu hluku z VtE na člověka.

### 3.2 Přenosová cesta

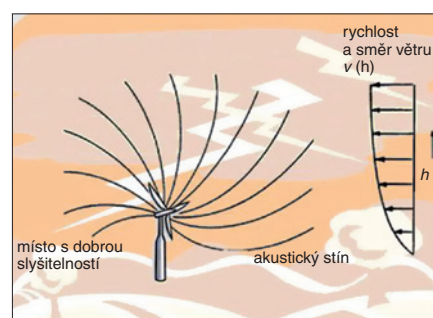
Soliterní VtE je zasazena do konkrétní krajiny a je nezbytné analyzovat způsob šíření hluku (cesta: VtE–nejbližší obydlí). V ideálním případě se VtE chová jako bodový zdroj hluku, přičemž veškerá akustická energie se šíří od zdroje v rovnoměrných kulových vlnoplochách (obr. 3). Platí zásada, že se zdvojnásobením vzdáleností od zdroje klesá hodnota akustické intenzity o 6 dB. Při zasazení VtE do reálného prostředí působí na šíření akustického vlnění mnoho vnějších vlivů, jako např.:

- vzdálenost VtE od zdroje,
- rychlost a směr větru,
- teplotní gradient,
- tlakový gradient,
- atmosférická pohltivost,
- vlhkost,
- denní/noční doba,
- roční doba,
- tvar terénu (rovinatý, zvlněný, horský),
- pohltivost terénu,
- překážky.

Tyto vlivy jsou příčinou toho, že se akustické vlnění může ohnout, rozptýlit, zlomit, odrazit nebo být pohlceno atmosférou (obr. 4). Vlastnosti terénu jsou většinou neměnné (překážky, drsnost povrchu, rovinatost, akustická pohltivost), proměnné jsou především atmosférické podmínky. Z atmosférických jevů je nejvýznamnější teplotní gradient, přičemž v základní úvaze je nezbytné rozlišovat mezi nestabilní (teplota vzduchu klesá s nadmořskou výškou) a stabilní atmosférou (teplota vzduchu roste s nadmořskou výškou). V nestabilní atmosféře (situace během dne – obr. 5) se akustický paprsek šíří od zdroje nahoru, přičemž v nestabilní atmosféře (typická situace pro noční dobu nebo inverzi – obr. 6) vystoupá sice akustický paprsek do určité výšky, ale pak se ohýbá a dopadá na zem, kde může být i několikanásobně odražen. Do této situace lze postupně dosadit další jmenované vlivy, např. vliv rychlosti a směru větru (obr. 7), které někdy působí proti sobě (např. nestabilní atmosféra a silný vítr proudící od VtE k pozorovateli). Důsledkem těchto jevů je, že dochází na určitých místech v určité vzdálenosti od zdroje hluku VtE ke zředování nebo zhušťování vlnoploch, tedy v těchto místech je rozdílná hladina akustického tlaku. V konečném důsledku mohou tak vznikat místa, kde je hluk z VtE velmi dobře slyšitelný, a místa, tzv. akustické stíny, která se vy-

značují zhoršenou slyšitelností šířícího se hluku. Je tedy zřejmé, že určit výslednou hladinu hluku, které jsou vystaveni obyvatelé žijící v blízkosti VtE, není snadné. Obecně lze konstatovat, že za slunečného dne, kdy vítr vane směrem k VtE (myšleno z pozice pozorovatele), nebude hluk z VtE způsobovat problémy. Naopak v případě pozdního podvečera/noci/inverze, popř. větru vanoucího od VtE k pozorovateli, může být hluk z VtE slyšitelný na kilometry daleko.

Pro výpočet výsledné hladiny hluku je sestaven model šíření hluku za použití komerčně dostupného softwaru. Legislativa a metodika v EU není pro výpočet hlukových emisí z VtE jednotná. Navíc každá země má i jiné hlukové hygienické limity, které ve většině případů vycházejí z předpisů pro průmyslo-



Obr. 7. Šíření hluku vlivem rychlosti větru (rychlost větru v stoupá s nadmořskou výškou h)

vé zdroje (hluk z dopravy apod.). Právě model šíření zvuku je nejslabším článkem řetězce. V České republice je hladina akustických emisí počítána podle [5]. Výpočet ekvivalentních hladin akustického tlaku ( $L_{PA}$ ) v myšleném bodě venkovního prostoru vychází ve vztahu k VtE z této rovnice:

$$L_{PA} = L_{WA} + D - A,$$

kde

$L_{WA}$  je hladina akustického výkonu VtE (dB),  
 $D$  korekce na směrovost (dB), popisuje míru, o níž se ekvivalentní hladina akustického tlaku z bodového zdroje zvuku odchyluje ve stanoveném směru od  $L_{WA}$ ,

$A$  je součet útlumů způsobených geometrickou divergencí, pohlcováním zvuku v atmosféře, povrchem země, bariérou a různými jinými vlivy.

Pravděpodobně žádný z komerčně dostupných softwarů nebyl zatím ověřen pro tak velké zdroje hluku, jakými jsou v současné době moderní VtE. Navíc při výpočetních metodách se VtE řadí mezi klasické průmyslové zdroje hluku, i když mají jinou charakteristiku vyzařování akustického vlnění než většina jiných průmyslových zdrojů (elektrárny, továrny apod.). Komerčně dostupné SW dosahují dobrých výsledků především pro rovinatý terén, krátké vzdálenosti (přibližně do 1 km) a při uvažování nestabilní atmosféry (teplota vzduchu klesá s nadmořskou výškou). V současné době probíhá ve spolupráci s dánskou spo-

*Wind power has overcome an extensive growth over last years leading in increasing of a number of built-in wind turbines which may cause disturbance for people living close to the turbines. This paper deals with wind turbine noise as it is considered as one of serious problems of wind energy development. Main sources of noise generated by wind turbines are discussed with the main focus on aerodynamical and mechanical noise. In order to predict the sound pressure level at a certain distance from a source (a wind turbine) with a known power level, this paper also gives a short summary of atmospheric effects which influence a wind turbine noise propagation to determine how the sound waves propagate. In general this paper is aimed to an explanation why wind turbine noise can be easily perceived and noticeable despite the fact that wind turbines are often installed in rural areas with low background noise.*

lečností Delta (výrobce SW Nord2000) projekt *Optimisation of noise and energy in wind farms* (optimalizace hluku a energie v parcích VtE), který má za cíl pomocí SW Windpro ověřit kvality výpočtů provedených SW Nord2000 pro stanovení hluku moderních VtE.

Závěrem lze říci, že porovnání akustických emisí s limitními hodnotami hluku je založeno na modelu šíření hluku. A právě model šíření hluku může být nejslabším článkem celého vyhodnocení. Proto jedním z vysvětlení, proč v některých případech lidé slyší a proč si stěžují na hluk z VtE, může být situace, kdy při umístění VtE v členitém terénu může dojít vlivem působení atmosférických a terénních podmínek k několikanásobnému odrazu akustického vlnění. Vlivem výpočetních metod může dojít k podcenění výpočtu akustických emisí, kterými budou obyvatelé žijící v blízkosti VtE exponováni.

### 3.3 Obydlí pozorovatele

Akustické vlnění dopadá na obydlí pozorovatele. Jak již bylo uvedeno, závisí šíření hluku na mnoha parametrech – konstrukci VtE, rychlosti a směru větru, stabilitě atmosféry apod. Je tedy zřejmé, že hladina akustických emisí je velmi proměnná. Hygienickým limitem pro instalaci VtE je hladina hluku naměřená u nejbližšího obydlí. Hlukové limity však nevypovídají nic o tom, jak lidé vnímají hluk z VtE.

### 4. Závěr

Snahou autorek tohoto článku bylo především upozornit na způsob šíření hluku z VtE. Příspěvek by měl dokumentovat, že vyhodnocování hluku z VtE není snadnou záležitostí, neboť při provozu VtE dochází ke komplexnímu působení mnoha faktorů, které mohou v některých případech významným způsobem ovlivnit výslednou hladinu hluku VtE v blízkosti obytné zóny pozorovatele. Autorky chtějí tuto problematiku uzavřít posledním článkem, který bude zaměřen na vnímání hluku VtE lidmi žijícími v jejich blízkosti.

#### Poděkování

**Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru MSM 4977751310 – Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice – řešení na pracovišti autorek.**

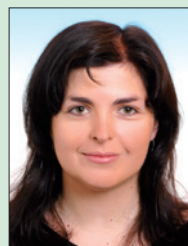
#### Literatura:

- [1] Tůmová, O. –Vejvodová, E.: *Stav větrné energetiky v Evropě a České republice*. Časopis Elektro, 1/2009, s. 40–43.
- [2] Wagner, S. – et al.: *Wind Turbine Noise*. Stuttgart: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1996, ISBN 3-540-60592-4.
- [3] Pedersen, E.: *Human Response to Wind Turbine Noise*. Doctoral thesis. Gothenburg: Occupational and Environmental Medicine, Department of Public Health and Community Medicine, The Sahlgrenska Academy, 2007.
- [4] Berg, G. P.: *The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise*. Doctoral thesis, Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Groningen, the Netherlands, 2006.
- [5] ČSN ISO 9613-2 Akustika – Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru – Část 2: Obecná metoda výpočtu.
- [6] ČSN EN 61400-11 Větrné elektrárny – Část 11: Metodika měření hluku.
- [7] Rogers, A. – et al.: *Wind Turbine Acoustic Noise*. A white paper. Amherst, MA 01003: Renewable Energy Research Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Massachusetts at Amherst, 2002.
- [8] Leventhall, G.: *How the Mythology of Infrasound and Low Frequency Noise Related to Wind Turbines Might Have Developed*. Berlin: s. n., 2005. Wind Turbine Noise 2007.
- [9] Ducosson, L.: *Wind turbine noise propagation over flat ground*. Measurements and predictions using a parabolic equation method. Göteborg: Chalmers University of Technology – Department of Civil and Environmental Engineering, 2006.
- [10] Vejvodová, E.: *Analysis of Wind Turbine Noise Propagation*. 73 stran, ZČU v Plzni, Plzeň, 2008.
- [11] Stewart, J.: *Location, Location, Location – An investigation into wind farms and noise by The Noise Association*. <http://www.countryguardian.net> (on-line) 6. 2006, (cited: 3. 4. 2008), <http://www.countryguardian.net/Location.pdf>.



**Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.**, získala v roce 1972 inženýrský titul v oboru silnoproudá elektrotechnika na Elektrotechnické fakultě (FEL) Vysoké školy strojní a elektrotechnické (VŠSE)

v Plzni. V letech 1977 až 1996 byla zaměstnána jako odborná asistentka, přičemž v roce 1991 získala titul kandidát věd (CSc.) v oboru měřicí technika na FEL Českého vysokého učení technického v Praze (ČVUT). Od roku 1997 je docentkou na FEL Západočeské univerzity v Plzni (ZČU), kde se věnuje pedagogické a výzkumné činnosti. Garantuje předměty zabývající se měřením elektrických a neelektrických veličin, metrologií, teorií měření a navrhování experimentů, teorií chyb a nejistot, statistického zpracování dat a nástroji řízení jakosti. Je členkou týmu výzkumného záměru MSM 4977751310 Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice. Publikuje v České republice i v zahraničí. V rámci univerzity také zastává funkci manažerky kvality akreditované laboratoře ETL. Je členkou mezinárodní komise TC7 IMEKO, výkonného výboru Českého národního komitétu IMEKO, TNK-4 při ÚNMZ, České společnosti pro jakost, České metrologické společnosti a České akustické společnosti. V současné době pracuje na monografii Teoretické aspekty měření.



**Ing. Eva Vejvodová** vystudovala obor technická ekologie na FEL ZČU. V roce 2006 byla přijata do navazujícího čtyřletého postgraduálního studijního programu Elektrotechnika.

V rámci doktorského studia řeší akustickou, tepelnou a světelnou pohodu v obytném a pracovním prostředí člověka, přičemž převážnou část věnuje studiu hluku z větrných elektráren. Její studium bylo podpořeno zahraničními stážemi v celkové délce třináct měsíců na oddělení akustiky univerzity v Aalborgu (Dánsko).