

VPLYV METEOROLOGICKÝCH PODMIENOK NA ŠÍRENIE ZVUKU

Milan DRAHOŠ¹, Richard Drahoš^{1,2}

¹ D2R engineering, s.r.o., Na letisko 42, 058 01 Poprad, Slovensko, d2r@d2r.sk

² Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky a riadenia procesov, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovensko, richard.drahos@d2r.sk

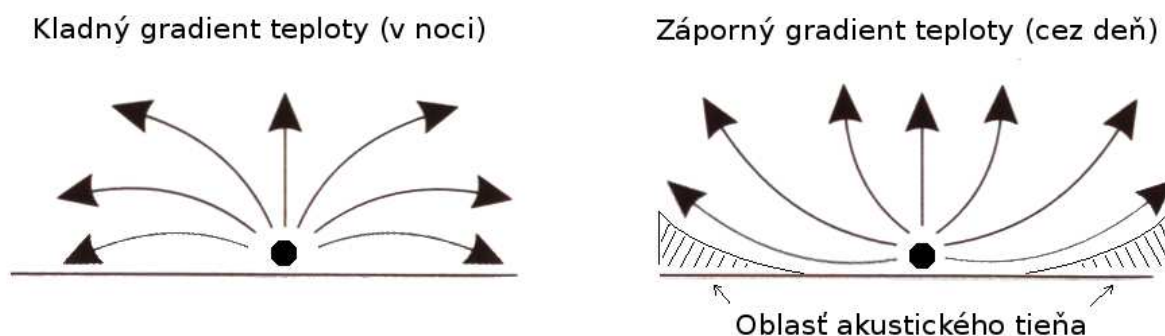
1. ÚVOD

Meteorologické prvky a javy v prízemnej vrstve atmosféry výrazne ovplyvňujú šírenie zvukových vln na väčšie vzdialenosti. Tento vplyv je spôsobený najmä akustickou refrakciou, t.j. vplyvom vertikálnych teplotných a veterných gradientov a atmosférickou absorpciou.

V otvorenom priestore vo vertikálnom smere vždy existujú značné teplotné a veterné gradienty. Teplotné gradienty vznikajú následkom prenosu tepla zo zemského povrchu do atmosféry a veterné gradienty sú spôsobené trením medzi pohybujúcim sa vzduchom a zemským povrchom. Za určitej meteorologickej (poveternostnej) situácie môžu vzniknúť oblasti akustického tieňa. Tieto oblasti však nie sú ostro ohraničené, pretože akustická energia sa láme do oblasti tieňov atmosférickou turbulenciou.

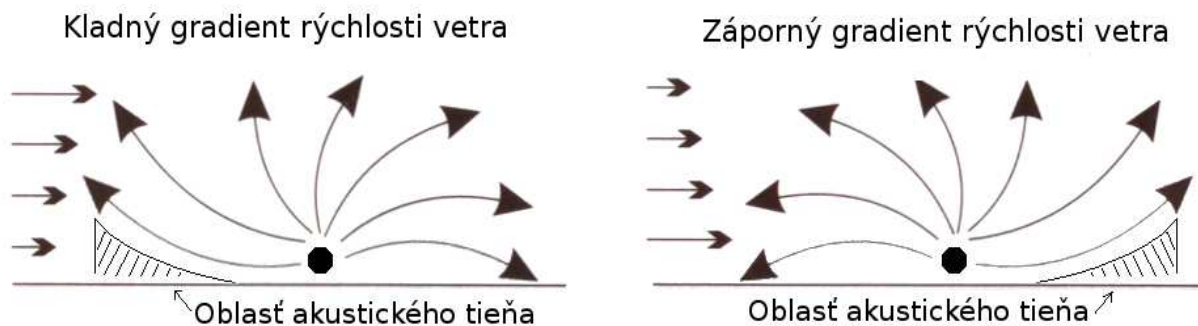
2. ŠÍRENIE ZVUKU NAD POVRCHOM ZEME

Rýchlosť zvuku sa zvyšuje s teplotou a preto pri kladnom gradiente teploty (obvykle v noci, ak je teplota vo vyšších vrstvách atmosféry vyššia ako na zemskom povrchu) sa zvukové vlny ohýbajú smerom k zemskému povrchu a môže nastať zosilnenie prenosu zvuku. Naopak pri zápornom gradiente teploty (cez deň) sú teplejšie vrstvy vzduchu obvykle dole u zahriateho zemského povrchu a zvukové vlny sa ohýbajú od terénu a vytvárajú akustický (zvukový) tieň. Na obrázku 1 je znázornenie vplyvu gradientu teploty na šírenie zvuku za bezvetria.



Obr. 1: Znázornenie vplyvu gradientu teploty na šírenie zvuku za bezvetria

Pri kladnom gradiente vetra, t.j. ak rýchlosť vo vyšších vrstvách atmosféry je vyššia, potom sa v smere proti vetru zvukové vlny ohýbajú od zemského povrchu tak, že nízko nad terénom vzniká akustický tieň. V smere po vetre sa zvukové vlny ohýbajú naopak k zemskému povrchu, čo je príčinou zosilnenia prenosu zvuku. Pri zápornom gradiente vetra je tomu naopak. Na obrázku 2 je znázornený vplyv gradientu vetra na šírenie zvuku.



Obr. 2: Znázornenie vplyvu gradientu vetra na šírenie zvuku

Z ilustratívnych obrázkov je zrejmé, že pomyslený polomer krivky zvukového lúča nad povrchom terénu (do výšky cca 30 m), môže vyjadrovať vplyv meteorologických podmienok na šírenie zvuku vo vonkajšom priestore bez prekážok.

Pohlcovanie zvuku v atmosfére závisí aj na atmosférickej absorpcii, t.j. na okolitej teplote a relatívnej vlhkosti vzduchu a na frekvencii zvuku. Výpočet pohlcovania zvuku v atmosfére je uvedený v norme ISO 9613-1:1993 Akustika. Útlm pri šírení zvuku vo vonkajšom priestore. Časť 1: Výpočet pohlcovania zvuku v atmosfére.

Atmosférická refrakcia a atmosférická absorpcia sú javy závislé na premenlivom stave atmosféry nad zemským povrchom. Útlm zvuku ovplyvňuje aj zmena pohltivosti zemského povrchu meniac sa podľa ročného obdobia.

3. VPLYV ATMOSFÉRICKEJ REFRAKCIE NA ŠÍRENIE ZVUKU

Vplyv atmosférickej refrakcie na zmenu (kolísanie) hladín A akustického tlaku v zodpovedajúcom mieste merania je opísaný v prílohe A normy STN ISO 1996-2:2008 Akustika. Opis, meranie a posudzovanie hluku vo vonkajšom prostredí. Tento vplyv je charakterizovaný polomerom krivky R vytvorenej zvukovým lúčom.

Pri horizontálnom šírení zvuku blízko zeme sa polomer kružnice R , ktorá aproximuje krivku šírenia zvukového lúča vytvorenú atmosférickou refrakciou určí podľa vzťahu:

$$R = \frac{c(\tau)}{k \frac{\partial \tau}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z}}$$

kde $c(\tau) = c_o \sqrt{\tau}$ - fázová rýchlosť zvuku v m.s^{-1} , kde $c_o = 20,05 \frac{\text{m}}{\text{s}\sqrt{K}}$,

u - zložka rýchlosti vetra v smere šírenia zvuku v m.s^{-1} ,

k - konštanta, pričom $k = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}\sqrt{K}}$,

τ - absolútna teplota vzduchu v $^{\circ}\text{K}$,

z - výška nad povrchom zeme v m.

V prípade, že je známy rozdiel teploty vzduchu a rýchlosti vetra vo výške 10 m a 0,5 m nad povrchom zeme, číselná hodnota polomeru R sa môže aproximatívne vypočítať podľa vzťahu:

$$R = \frac{3,2}{0,6\Delta\tau + \Delta u \cos\theta}$$

kde $\Delta\tau$ - číselná hodnota rozdielu medzi teplotami vzduchu v $^{\circ}\text{K}$ vo výške 10 m a 0,5 m nad povrchom zeme,

Δu - číselná hodnota rozdielu medzi rýchlosťami vetra v m.s^{-1} vo výške 10 m a 0,5 m nad povrchom zeme,

θ - uhol medzi smerom vetra a smerom od zdroja k príjemcovi (mikrofónu).

Polomer krivky zvukového lúča R závisí od priemerného gradientu teploty a rýchlosti vetra a je najdôležitejším faktorom určujúcim podmienky šírenia zvuku. Kladná hodnota R zodpovedá krivke zvukového lúča nadol, pri šírení zvuku od zdroja v smere po vetre alebo počas teplotnej inverzie (v noci). Naopak záporná hodnota R zodpovedá vzostupnej krivke, pri šírení zvuku od zdroja v smere proti vetru alebo počas bezveterného dňa v lete. Pri homogénnej atmosfére a za bezvetria dochádza k priamočiaremu šíreniu zvuku a polomer krivky $R = \infty$.

Vplyv atmosférickej refrakcie pri meraní hladín A akustického tlaku za predpokladu pohltnutia povrchu terénu sa nemusí zohľadňovať, ak je splnená podmienka:

$$\frac{h_z + h_m}{d} \geq 0,1$$

kde h_z - výška zdroja nad terénom,

h_m - výška umiestnenia mikrofónu nad terénom,

d - vzdialenosť medzi zdrojom a mikrofónom.

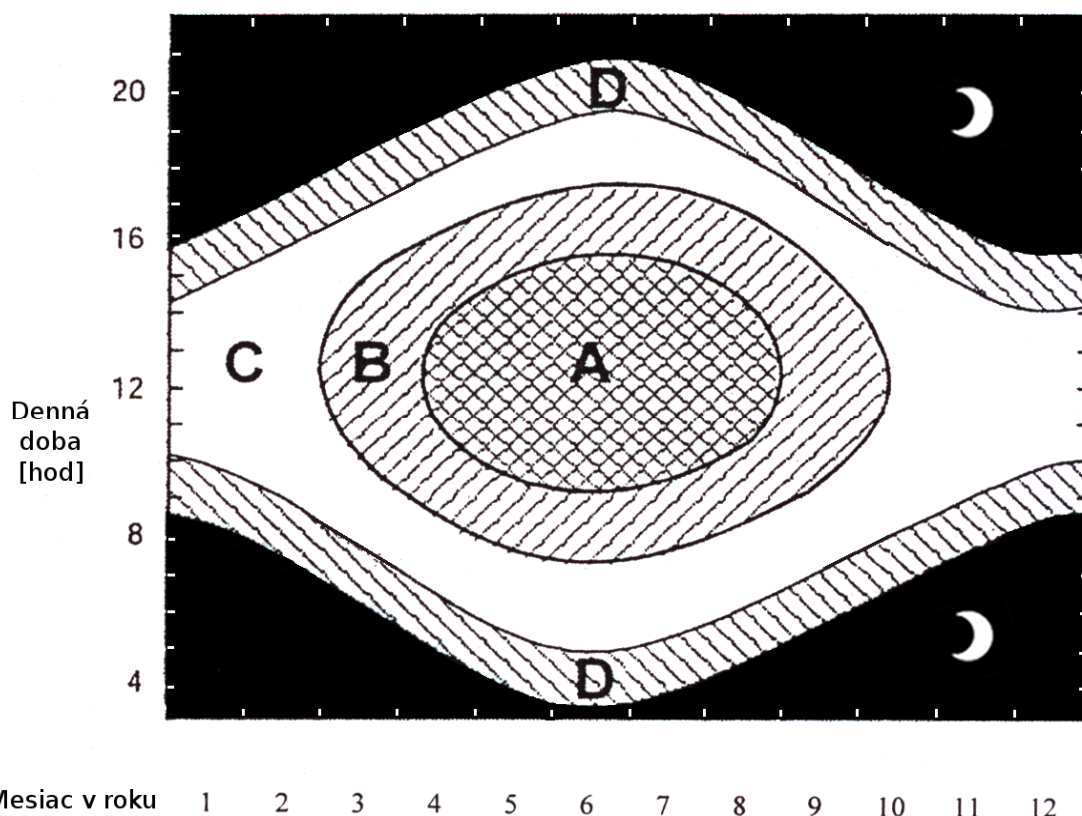
Ak táto podmienka nie je splnená, môže atmosférická refrakcia ovplyvniť výsledky merania. Pre bežné situácie pri meraní sa v bode A.1. prílohy A normy uvádzajú dve polohy:

- a) vysoká poloha: $h_z \geq 1,5 \text{ m}$ a $h_m \geq 1,5 \text{ m}$ alebo $h_z < 1,5 \text{ m}$ a $h_m \geq 4 \text{ m}$,
- b) nízka poloha: $h_z < 1,5 \text{ m}$ a $h_m \leq 1,5 \text{ m}$.

Priaznivé meteorologické podmienky na šírenie zvuku nastávajú vtedy, ak polomer krivky zvukového lúča R je kladný (napr. vietor od zdroja smerom k mikrofónu a ohýbanie lúča je nadol), potom hladina A akustického tlaku do vzdialenosti 400 m je vyššia a jej kolísanie je menšie. Priaznivé podmienky sú akceptovateľné aj pre zápornú hodnotu polomeru krivky zvukového lúča R , ale len v prípade vysokej polohy a to do vzdialenosti 200 m.

4. PODMIENKY OVPLYVŇUJÚCE POLOMER KRIVKY ZVUKOVÉHO LÚČA

Vzhľadom na skutočnosť, že gradient teploty tesne súvisí s polohou (výškou) slnka nad obzorom, na obrázku 3 sú pre 56° severnej zemepisnej šírky a každý mesiac roka zobrazené časové periódy (intervaly) dňa ohraničené plochou A až D, kde gradient teploty je v určitých hraniciach.



Obr. 3: Časové periódy dňa pre slnko nad obzorom pri 56° severnej zemepisnej šírky

Plocha A zodpovedá času, keď slnko je v uhlovom výseku od 40° do 60° nad horizontom, t.j. reprezentuje stred dňa v lete. Plocha B zodpovedá času, keď slnko je v uhlovom výseku od 25° do 40° nad horizontom, t.j. reprezentuje ráno a popoludnie v lete a čas okolo poludnia na jar a v jeseni. Plocha C obsahuje hodiny a deň mimo času označeného v ploche A alebo B. Plocha D udáva čas od východu slnka do 1,5 hodiny po východe slnka a od 1,5 hodiny pred západom slnka až do západu slnka.

5. POŽIADAVKY NA PRIAZNIVÉ PODMIENKY ŠÍRENIA ZVUKU

Aby sa zaručili priaznivé podmienky na šírenie zvuku v zodpovedajúcej časovej perióde dňa, t.j. v ohraničenej ploche A až D, sú požadované aj najnižšie hodnoty zložky rýchlosti vetra vo výške 10 m nad terénom. Keďže zložka rýchlosti vetra závisí aj od charakteru oblačnosti, jej najnižšie hodnoty, ktoré zaručujú požadovaný polomer krivky zvukového lúča R v zodpovedajúcej perióde dňa sú v uvedené tabuľke 1.

Časová perióda dňa	Oblačnosť (v osminách pokrytia oblohy oblakmi)	Najmenšia hodnota zložky rýchlosti vetra vo výške 10 m v m.s ⁻¹	
		$R < - 10$ km poloha vysoká $d > 50$ m	$R < 10$ km nízka poloha $d > 25$ m
A	(8/8) zamračené - nízka oblačnosť	0,4	1,3
	(6/8 až 8/8) zamračené	1,2	2,0
	(< 6/8) polooblačno	2,0	2,7
B	(8/8 zamračené - nízka oblačnosť	0,2	1,2
	(6/8 až 8/8) zamračené	0,9	1,7

	(< 6/8) polooblačno	1,6	2,3
C	(8/8) zamračené - nízka oblačnosť	0	0,9
	(6/8 až 8/8) zamračené	0,3	1,3
	(< 4/8) polooblačno	0,8	1,7
	(6/8 až 8/8) zamračené	0,1	> 0,5
Noc	(< 6/8) polooblačno	Rýchlosť vetra $\geq 2 \text{ m.s}^{-1}$	
D	Meranie len v blízkosti zdroja		

Tab.1: Požadované najnižšie hodnoty zložky rýchlosti vetra, ktoré zaručujú požadovaný polomer krivky R v závislosti na perióde dňa a oblačnosti

Napríklad, na splnenie požiadavky $R < 10 \text{ km}$ pri nízkej polohe zdroj / mikrofón a vzdialenosti $d > 25 \text{ m}$ sa v časovej perióde dňa označenej:

- plochou A, pri zamračenej oblohe s úplnými a hustými oblakmi vyžaduje, aby zložka rýchlosti vetra v smere zvukového lúča bola $1,3 \text{ m.s}^{-1}$ a viac. Pri polooblačnom alebo jasnom počasí je nevyhnutné, aby zložka rýchlosti vetra v smere zvukového lúča bola $2,7 \text{ m.s}^{-1}$ a viac,
- plochou B, pri oblačnosti menšej ako 6/8 (polooblačno) vyžaduje, aby zložka rýchlosti vetra v smere zvukového lúča bola $2,3 \text{ m.s}^{-1}$ a viac,
- plochou C, pri oblačnosti menšej ako 4/8 (polooblačno) vyžaduje, aby zložka rýchlosti vetra v smere zvukového lúča bola $1,7 \text{ m.s}^{-1}$ a viac.

V hodinách označených plochou D, sa môžu vyskytnúť veľké lokálne zmeny teploty a preto sa neodporúča vykonávať merania vo väčších vzdialenostiach od zdroja zvuku. V prípade, že to metodika merania vyžaduje, je nutné upozorniť na možný vplyv meteorologických podmienok.

Počas noci, ak oblačnosť je väčšia ako 6/8 sa po vetre v smere zvukového lúča vyžaduje len malá zložka rýchlosti vetra. Ak je oblačnosť počas noci menšia ako 6/8, (polooblačno) môžu sa vyskytnúť veľké lokálne teplotné gradienty, a preto sa vyžaduje zložka rýchlosti vetra po vetre v smere zvukového lúča 2 m.s^{-1} a viac, aby sa vylúčili špeciálne vplyvy šírenia zvuku napr. v dôsledku inverzných podmienok.

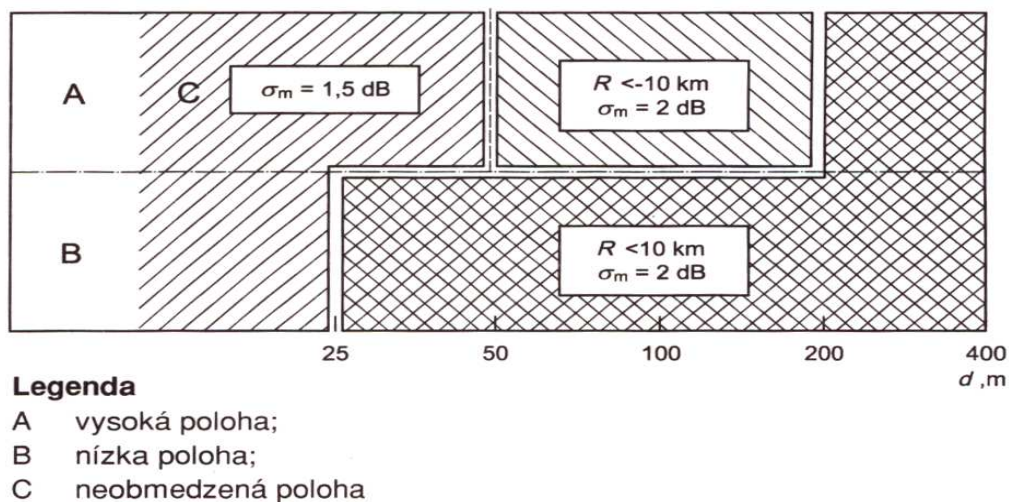
V prípade jedného dominantného zdroja zvuku (hľuku) je požiadavka $R < 10 \text{ km}$ splnená ak:

- smer vetra je v rozsahu $\pm 60^\circ$ od smeru zdroj / mikrofónu a zvuk sa šíri po vetre,
- rýchlosť vetra meraná vo výške od 3 m do 11 m nad terénom je 2 až 5 m.s^{-1} počas dňa alebo viac ako $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ počas noci,
- v blízkosti zdroja sa nevyskytuje väčší negatívny teplotný gradient (lokálna teplotná inverzia).

6. NEISTOTA VPLYVOM ATMOSFÉRICKEJ REFRAKCIE

Príspevok k neistote výsledkov merania hladín A akustického tlaku vplyvom atmosférickej refrakcie je v norme vyjadrený štandardnou neistotou – smerodajnou odchýlkou σ_m . Hodnota σ_m sa mení v závislosti od polohy zdroj / mikrofón, ich vzdialenosti a od existujúcej meteorologickej situácie v časovom intervale merania.

Pri priaznivých podmienkach na šírenie zvuku nad netieneným, rovným a poréznym povrchom je v predmetnej norme uvedená odhadovaná hodnota smerodajnej odchýlky v závislosti na polohe zdroj / mikrofón do vzdialenosti 400 m. (obrázok 4).



Obr. 4: Odhadovaná smerodajná odchýlka σ_m vplyvom priaznivých podmienok nad poréznym terénom

Pri vzdialenostiach väčších ako 400 m, ak polomer krivky zvukového lúča $R < 10$ km smerodajná odchýlka $\sigma_m = 1 + d/400$.

V prípade, že povrch terénu medzi zdrojom a mikrofónom je akusticky tvrdý, smerodajná odchýlka môže byť zanedbaná až do vzdialenosti, pokiaľ sa nevytvorí akustický tieň.

7. ZÁVER

Aby výsledky meraní hladín A akustického tlaku vo vonkajšom priestore boli porovnateľné, je vhodné realizovať merania za priaznivých meteorologických podmienok na šírenie zvuku.

Pre zaručenie priaznivých podmienok na šírenie zvuku nad terénom bez prekážok v časovej perióde dňa a v zodpovedajúcom mesiaci roka sú stanovené požiadavky súvisiace s polohou zdroja a mikrofónu, ich vzájomnou vzdialenosťou, oblačnosťou (stupňom pokrytia oblohy oblakmi) a najmenšou hodnotou zložky rýchlosti vetra v smere zvukového lúča.

Otázkou zostáva uplatnenie zložky neistoty σ_m vplyvom atmosférickej refrakcie pri celkovej bilancii zdrojov neistôt merania vo vonkajšom priestore a to z dôvodu, že táto zložka neistoty sa mení s výškou zdroja a mikrofónu, ich vzdialenosťou a závisí aj od existujúcich meteorologických prvkov (počasie) najmä pri dlhodobých meraniach.

ODKAZY

- [1] Kaňka J.: Akustika stavebných objektov, Brno 2009
- [2] STN ISO 1996-2:2008 Akustika. Opis, meranie a posudzovanie hluku vo vonkajšom prostredí. Časť 2: Určovanie hladín hluku

- [3] STN ISO 9613-2:2006 Akustika. Útlm pri šírení zvuku vo vonkajšom priestore.
Časť 2: Všeobecná metóda výpočtu
- [4] Vestník MZ ČR, Částka 1, 2002 Metodický návod pro měření a hodnocení hluku
v mimopracovnom prostředí