



UPPSALA
UNIVERSITET

Analýza hluku Horná Kráľová - Hájske

Prof. Ken Mattsson

7. august 2025

Z poverenia *Jany Micháľkovej* sme vykonali komplexnú analýzu šírenia hluku v oblasti okolo navrhovanej veternej elektrárne v *Horná Kráľová - Hájske*. Na základe podrobných meraní z viacerých veterných elektrární, ako napríklad Målarberget a Lervik, sme kalibrovali vysoko presný výpočtový nástroj **SoundSim360**, ktorý je schopný simulovať šírenie zvuku v zložitom teréne a v celom frekvenčnom spektre, vrátane infrazvuku (frekvencie pod 20 Hz).

Spôsob šírenia zvuku na veľkých plochách ovplyvňuje celý rad fyzikálnych faktorov, medzi ktoré patria atmosférické podmienky, topografia, vlastnosti povrchu, priestorové rozloženie zdrojov hluku a spektrálne zloženie zvuku. Presné modelovanie musí zohľadňovať kritické fyzikálne javy, ako sú difrakcia, refrakcia, geometrické rozptyľovanie, absorpcia, prenos, odraz a interferencia. Ak nie sú tieto javy správne zohľadnené, nie je možné spoľahlivo simulovať šírenie hluku. SoundSim360 rieši tento problém riešením úplnej 3D vlnovej rovnice, ktorá zahŕňa reálne atmosférické profily a topografiu bez užívateľsky nastaviteľných „voľných parametrov“. Tým sa zaručuje, že presnosť simulácie závisí výlučne od správnosti vstupných údajov.

Za posledné dve desaťročia vyvinula moja výskumná skupina súbor pokročilých numerických metód špecificky určených na modelovanie šírenia zvuku s vysokou vernosťou (pozri napr. [25, 24, 26, 22, 23, 21, 27, 4, 20, 28, 37, 29, 31, 17, 3, 43, 42, 30, 35]). Tieto metódy tvoria základ SoundSim360, ktorý je implementovaný tak, aby efektívne bežal na vysokovýkonných grafických kartách.

Naopak, najpoužívanším modelom na predpovedanie hluku veterných turbín je dnes *Nord2000* [2], ktorý sa používa v softvéri ako SoundPlan a windPRO. Nord2000 je v podstate model sledovania lúčov navrhnutý na základe predpokladu vysokofrekvenčného zvuku. Keďže ide o 2D model, nedokáže presne zohľadniť šírenie nízkofrekvenčného zvuku, ani nemodeluje interferenciu medzi viacerými zdrojmi. Jeho spracovanie difrakcie je tiež obmedzené, čo je obzvlášť problematické v kopcovitom teréne alebo v blízkosti budov a protihlukových bariér. Už skôr sme preukázali, že Nord2000 poskytuje nespoľahlivé výsledky v zložitom teréne [4]. Na riešenie týchto obmedzení Nord2000 zavádza množstvo voľných parametrov, ktoré môžu používatelia upravovať, čím sa výsledky stávajú vysoko závislé od vstupných údajov a predpokladov používateľa. Viacero príkladov ilustruje nezrovnalosti, ktoré vyplývajú z tejto závislosti od používateľa. Podľa viacerých štúdií, vrátane práce Connyho Larssona [14], má Nord2000 tendenciu podhodnocovať hladiny hluku o 5 – 7 dBA vo vzdialenostiach okolo 1 km v porovnaní so skutočnými meraniami. V niektorých prípadoch sa používajú ešte zjednodušenejšie modely, ako napríklad *model ISO 9613-2* [11]. *Model ISO 9613-2* zvyčajne poskytuje podobné výsledky ako Nord2000, ale vo všeobecnosti sa považuje za ešte menej presný. Všetky tieto zjednodušené modely majú ťažkosti so simuláciou nízkofrekvenčného hluku, najmä na veľké vzdialenosti a v nerovnom teréne. Podobne ako Nord2000, vo veľkej miere závisia od nastaviteľných voľných parametrov, čo vedie k výsledkom závislým od používateľa. Neistota v týchto modeloch sa zvyšuje s počtom turbín, zložitou terénom a vzdialenosťou od zdroja hluku. Nízkofrekvenčný hluk, najmä infrazvuk, je menej tlmený vzduchom a zemou, a preto sa môže šíriť na veľké vzdialenosti.

Množstvo štúdií preukázalo, že atmosférické podmienky a vlastnosti pôdy spôsobujú výrazné kolísanie hladín hluku – až do 20 dBA v vzdialenosti 1 km od veterného parku [14, 34, 13]. Dlhodobé merania Connyho Larssona v roku 2014 [14, 34] potvrdili, že tieto kolísania sú najväčšie večer a v noci, najmä pri snehovej prikrývke. Obzvlášť rušivý „šuchotavý“ zvuk – amplitúdovo modulovaný (AM) hluk – sa vyskytuje hlavne večer, v noci a ráno. Počas ročného merania bol AM hluk zaznamenaný v 19 % prípadov vo vzdialenosti 1 km od veternej elektrárne. Výskyt AM hluku závisí vo veľkej miere od podmienok šírenia a interferencie medzi turbínami. AM hluk sa môže šíriť do vzdialenosti viac ako 10 km [33] a je výrazne rušivejší ako nepretržitý zvuk na rovnakej úrovni dBA. Najsilnejší je zvyčajne počas zimných večerov za podmienok atmosférickej inverzie.

Spoločnosť Green Energy Holding (GEH) zadala vypracovanie posúdenia hluku pre veterný park Horná Kráľová – Hájske, ktoré vykonala *spoločnosť Klub ZPS vo vibroakustike, s.r.o.* podľa *modelu ISO 9613-2*. Vyhlásenie GEH o hluku v životnom prostredí je uvedené v dokumente: **priloha_9_hhk_hlukova_studia_red-pdf**. Spoločnosť GEH predstavuje dve rôzne konfigurácie plánovaného veterného parku: Variant 1-2 a Variant 3. Variant 1-2 zahŕňa 8 veterných turbín Vestas V172-7,2 MW s hladinou akustického výkonu 111,1 dBA (*režim PO7200-OS s optimalizovaným výkonom bez použitia zubkovaných odtokových hrán na lopatkách*). Poloha turbín je uvedená v

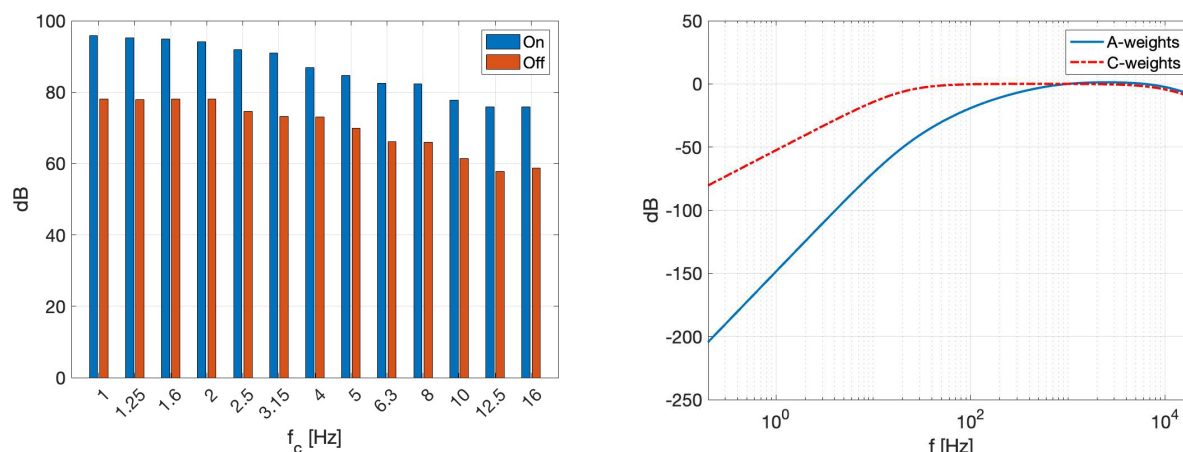
priloha_9_hhk_hlukova_studia_red-pdf a mapy emisií hluku vypracované spoločnosťou GEH pre variant 1-2 sú uvedené na obrázku 6. V prípade variantu 3 sú niektoré (celkovo 7) turbíny nahradené mierne upravenými turbínami Vestas V172-7,2 MW s hladinou akustického výkonu 107,8 dBA (*režim PO7200 optimalizovaný na výkon s použitím zúbkových odtokových na lopatkách*) a mapa emisií hluku od spoločnosti GEH je uvedená na obrázku 7.

Poznámka: Existujú rastúce obavy týkajúce sa seizmických vibrácií generovaných veternými turbínami (VT). Seizmické vlny sa na rozdiel od akustických vln šíria cez zem a môžu prekonať vzdialenosť niekoľkých kilometrov v závislosti od miestnych geologických podmienok. Tieto nízkofrekvenčné vibrácie zeme môžu interagovať s akustickými vlnami šíriacimi sa vzduchom, čo môže viesť ku kombinovaným rušivým účinkom, ktoré ešte nie sú úplne pochopené. Napriek významu tohto javu sú empirické údaje o seizmických emisiách z veterných turbín stále obmedzené. Touto otázkou sa však zaoberala aspoň jedna štúdia, ktorá sa zamerala na nízkofrekvenčné vibrácie a ich šírenie [11] a zahŕňala merania nízkofrekvenčných vibrácií. Závety tejto štúdie sú nasledovné: (i) *väčšina seizmických vln generovaných vibráciami VT sa šíri ako Rayleighove vlny*; (ii) *generované mikrooseizmické vlny ovplyvňujú merania seizmologických centier umiestnených až 15 km od parku VT*; (iii) *väčšie poruchy sa vyskytujú vo frekvenčnom rozsahu 5–10 Hz a* (iv) *prevádzka veternej turbíny pri silnom vetre generuje mikrooseizmické vlny, ktoré by mohli spôsobiť obťažovanie susedov*. Na úplné pochopenie vplyvu seizmických vibrácií generovaných veternými turbínami je potrebný ďalší výskum. Je dôležité najmä vykonávať vnútorné merania nízkofrekvenčných vibrácií, pretože tieto sa môžu prenášať do ľudského tela ako zvuk vedený telom, čo sa efektívne prejavuje ako vnímaný infrazvuk. Dokument **priloha_10_hhk_vibracie_red-pdf** sa zaoberá fenoménmi seizmických vln vo všeobecnosti, ale neobsahuje žiadnu validáciu na základe meraní z reálnych veterných turbín. Presné simulovanie skutočného vplyvu seizmických vln generovaných veternými elektrárnami by si vyžadovalo použitie pokročilých numerických metód, ako je modelovanie plných vlnových foriem alebo techniky konečných diferencií alebo konečných prvkov, v kombinácii so seizmickými meraniami s vysokým rozlíšením vykonanými za kontrolovaných a dobre charakterizovaných podmienok. Podľa našich vedomostí takáto komplexná štúdia ešte nebola vykonaná. Naďalej zostáva dôležitým smerom pre budúci výskum. Naša súčasná správa sa naopak obmedzuje na štúdium vzduchových akustických vln a nezaobrá sa zemnými seizmickými vibráciami ani ich potenciálnymi kopulačnými účinkami.

Pri meraní hladín akustického tlaku (dB) z veterných turbín sa širokopásmové spektrum zvuku často delí na tretinové oktávové pásma, ideálne medzi 0,1 Hz a 20 000 Hz. V skutočnosti sa v priemysle najčastejšie uvádzajú oktávové pásma medzi 31 a 10 000 Hz. V [33, 42] sa ukazuje, že relatívny podiel nízkofrekvenčného hluku (všetko pod 100 Hz) je vyšší u veľkých turbín v porovnaní s menšími turbínami. Rozdiel možno vyjadriť aj ako posun spektra smerom nadol u väčších turbín. To znamená, že väčšie turbíny majú vyššie hladiny dB nízkofrekvenčného zvuku, a to najmä infrazvuku.

Hluk z veterných turbín je svojou povahou prevažne nízkofrekvenčný, s najvyššími úrovňami pod 5 Hz. Absolútne najvyššie úrovne sú pod 1 Hz a očakáva sa, že s rastúcou veľkosťou turbín budú stúpať. Pokusy o meranie infrazvuku s váhou A (dBA) sú podľa mňa a mnohých ďalších odborníkov absurdné. Niektorí obhajujú váhu C, čo je zlepšenie, ale táto váha tiež veľmi málo zohľadňuje infrazvuk. Na obrázku 1 ukazujeme vplyv váženia A a C, t. j. koľko je potrebné odpočítať pre každé frekvenčné pásmo. Vo veternom parku Målarberget sme 23. októbra 2024 vykonali meranie infrazvuku, keď boli turbíny v prevádzke a krátko potom, keď boli všetky turbíny vypnuté z dôvodu negatívnych cien elektrickej energie, pozri obrázok 1.

To dokazuje, že veterné turbíny sú príčinou vysokej hladiny infrazvuku v okolí veterného parku, keďže hladina v pozadí je približne o 18 dB nižšia ako hladina pri zapnutých turbínach. Rovnaký výsledok (t. j. o 18 dB vyšší infrazvuk pri zapnutých turbínach) sme zaznamenali 21. mája 2024 vo veternom parku Lervik. Ak zosumarizujete všetky frekvenčné pásma v rozsahu infrazvuku (z merania na obrázku 1) pri zapnutých turbínach, dostanete hodnotu 102,7 dB, čo zodpovedá 25,6 dBA a 73,9 dBC. Keď sú turbíny vypnuté, dostanete zodpovedajúce hodnoty 85,9 dB, 7,7 dBA a 56,8 dBC. Ide teda o efektívne hladiny infrazvuku v dB, dBA a dBC (pod 20 Hz). Zároveň by sme chceli zdôrazniť, že sem nezahŕňame frekvencie pod 1 Hz, pretože tie nie je možné pomocou súčasných meracích zariadení presne zmerať. Očakávame, že hladiny dosiahnu maximum okolo 0,2 alebo 0,4 Hz. Existuje aj niekoľko meraní, ktoré ukazujú vyššie hladiny (asi 5 dB) infrazvuku v interiéri [13, 5, 6, 8]. Hodnoty, ktoré uvádzame, pochádzajú z meraní v exteriéri.



Obrázok 1: Presné meranie infrazvuku s turbínami a bez turbín (vľavo). Váha A a C (vpravo).

Vplyv infrazvuku na ľudí

Existujú štúdie, ktoré niektorí ľudia uvádzajú ako *dôkaz*, že infrazvuk z veterných turbín nemá negatívne účinky na ľudí, pričom tieto dve správy [20, 19] sú tie, ktoré sa v poslednej dobe často citujú. Po prečítaní týchto a nespočetných predchádzajúcich správ (ktoré údajne dokazujú, že infrazvuk z veterných turbín nemá žiadne negatívne účinky, napr. [7]) môžeme konštatovať, že žiadna z nich neskúmala dávky, ktoré meriame v blízkosti veterných turbín. Na žiadnej z týchto štúdií sa nezúčastnil neurofyziológ. Existujú štúdie, ktoré spájajú vystavenie infrazvuku (pri intenzite 80–90 dB) s mozgovou činnosťou [47, 10]. Podľa odborníkov v oblasti otoneurológie, ako sú Håkan Enbom a profesor Alec N. Salt [39, 40, 41], existujú silné náznaky, že nepočuteľný infrazvuk môže vyvolať migrénu u 30 % populácie, čo je podiel ľudí, u ktorých sa preukázala vysoká citlivosť nervového systému [16, 37]. Podľa odborníkov v tejto oblasti je vplyv veľmi individuálny. Môžeme potvrdiť, že ja a ďalší člen tímu, ktorý meria infrazvuk, sme mali problémy so spánkom (až týždeň) a migrény deň po každom meraní v blízkosti veterných turbín (keď sme dokázali namerať aspoň 95 dB pri 1 Hz). V týchto prípadoch sme boli vystavení infrazvuku s úrovňou tesne nad 95 dB v frekvenčnom pásme 1 Hz po dobu najmenej 4 hodín (čo zodpovedá približne 103 dB, ak zahrnieme všetky frekvencie v rozmedzí 1–20 Hz, pozri príklad na obrázku 1). Podobné symptómy počas merania infrazvuku hlásili aj iní, ktorí predtým merali infrazvuk z veterných elektrární [5], keď bola dávka výrazne nižšia ako 95 dB pri 1 Hz. Už v roku 1985 Danielsson a Landström [9] preukázali, že infrazvuk na úrovni 95 dB počas 1 hodiny vystavenia spôsobuje zvýšenie diastolického krvného tlaku a zníženie systolického krvného tlaku a pulzovej frekvencie. Najnovšie štúdie tiež ukazujú, že mnoho zvierat sa vzdiali od veterných turbín viac ako 5 km, najmä jelene a vtáky [45]. Ľudia, ktorí žijú v blízkosti veterných elektrární, tiež svedčia o tom, že divoká zver je tam pomerne zriedkavá.

Pri meraniach, ktoré sme vykonali v období od 26. októbra 2023 do 16. decembra 2024, sme namerali hladiny medzi 92 a 115 dB pri 1 Hz v okolí veterných elektrární vo vzdialenosti 500 až 1000 m od najbližšej turbíny. Pre porovnanie, vo fínskej štúdii [19] bol menší počet subjektov vystavený infrazvuku s intenzitou 73 dB pri 1 Hz (čo zodpovedalo celkovej intenzite infrazvuku 89 dB) počas 10 minút. V austrálskej štúdii [20] bol menší počet subjektov vystavený infrazvuku s intenzitou 87 dB počas 3 dní. **Navrhujeme, aby sa vplyv infrazvuku na zdravie čo najskôr preskúmal dobrovoľným vystavením štatistického vzorku populácie (približne 1000 ľudí) najmenej 95 dB pri vybraných frekvenciách v rozsahu infrazvuku počas niekoľkých hodín. Ideálne pulzujúci infrazvuk. Vzorka by mala ideálne zahŕňať subjekty s preukázanou citlivosťou na migrénu. Na tento experiment by mal byť prizvaný odborník na otoneurológiu. Do vykonania takejto štúdie odporúčam pozastaviť rozširovanie veterných elektrární.**

Meranie infrazvuku

Presné meranie infrazvuku až do 1 Hz vyžaduje meracie prístroje, ktoré sú preukázateľne kalibrované. Kalibráciu v rozsahu 1 Hz je možné vykonať v spoločnosti NORSAR (pozn. prekl. Norwegian Seismic Array – Nórska seizmická sieť) oproti ich zariadeniu Hyperion na meracej stanici v Elverume (pozn. prekl. v Nórsku). Stanica je certifikovaná organizáciou CTBTO (pozn. prekl. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization – Organizácia Zmluvy o všeobecnom zákaze jadrových skúšok so sídlom vo Viedni) ako infrazvuková stanica. Použili sme štyri infrazvukové mikrofóny Lidström, ktoré sú popísané v [17]. Mikrofóny Lidström sme kalibrovali v spoločnosti NORSAR. Mikrofóny Lidström boli vyvinuté na začiatku 80. rokov vo Švédsku na detekciu vrtníkov. Sú mimoriadne citlivé, ale zároveň dobre prispôsobené náročnému poveternostným podmienkam. Mikrofóny Lidström

boli v minulosti používané Švédskou agentúrou pre obranný výskum (FOI) (pozn. prekl. Totalförsvarets forskningsinstitut) a KTH (prof. Thomas Lindblad) (pozn. prekl. Kungliga Tekniska högskolan - švédsky Kráľovský technologický inštitút) a v súčasnosti ich používa výskumná skupina v Inštitúte pre fyzikálne výskum vesmíru (IRF) v Kirune (pozn. prekl. Institutet för rymdfysik - Inštitút pre výskum vesmíru so sídlom na severe Švédska za polárnym kruhom v Kirune, v Laponsku) pod vedením Johana Kera [46], ktorý nám láskavo zapožičal tri z týchto mikrofónov.

Počas našich meraní sme tiež otestovali meracie prístroje Nor140 a Nor145 (ktoré sú obľúbené u akustických konzultantov). Podľa špecifikácie by mal prístroj Nor145 byť schopný merať až do 0,4 Hz, ale v skutočnosti nie je kalibrovaný na také nízke frekvencie a jasne sme zistili, že meria o približne 20 dB menej v prípade infrazvuku pod 3 Hz. Zhrnutie. Ak nie je infrazvukový merač kalibrovaný na 1 Hz, nemožno ho použiť na meranie infrazvuku z veterných turbín. Ak chcete presne merať infrazvuk, mali by ste použiť kalibrované profesionálne zariadenia. Medzi popredných výrobcov profesionálnych zariadení na meranie infrazvuku patria Hyperion a Chaparall (pozn. prekl. americká firma Chaparral Physics), ktoré dokážu presne merať v rozsahu od 0,01 do 200 Hz. Prednedávnom sme dostali 2 mikrofóny Hyperion na presné meranie úrovne infrazvuku pod 1 Hz. Dôležité je tiež merať úroveň infrazvuku v interiéri, pretože sa často ukazuje, že je vyššia ako v exteriéri.

Merania, ktoré sme vykonali a použili na kalibráciu nášho výpočtového kódu a súčasne na inverzné modelovanie intenzity zdroja veterných turbín v infrazvukovom režime, sa uskutočnili 21. mája 2024 a 10. septembra 2024 vo veternom parku Lervik a 26. októbra 2023, 23. októbra 2024 a 16. decembra 2024 vo veternom parku Målarberget. Merania sme vykonali na oboch farmách v niekoľkých (3–4) meraciach bodoch a v rôznych denných hodinách, aby sme získali kvalitné štatistické údaje. Pri každom meraní sme zozbierali aktuálne atmosférické údaje, ktoré sme použili pri inverznom modelovaní. Dôležité je tiež, aby sme počas merania dostali od prevádzkovateľa údaje (napr. ktoré turbíny sú neaktívne). V Lerviku a Målarberget to nikdy nebol problém. 14. februára sme predložili vedecký článok, ktorý podrobnejšie opisuje merania, meracie údaje a kalibráciu. Meracie údaje je možné na požiadanie zdieľať. Turbíny v Målarberget sú modelu Vestas V150-4,3 MW. V Lerviku sú turbíny väčšie, s výkonom 6,6 MW (model SG170-6,6). Pomocou starostlivých meraní a inverzného modelovania v programe SoundSim360 môžeme vypočítať intenzitu zdroja (SPL) pri 1 Hz na 154, 158 a 177 dB pre tri merania v okolí Målarberget. V Lerviku sme pri dvoch meraniach dosiahli intenzitu zdroja (SPL) 159 a 168 dB. To znamená, že existuje veľká variabilita intenzity zdroja, ktorá do veľkej miery súvisí s prevládajúcou atmosférou. Priemerná hodnota z piatich rôznych dní merania je 163 dB intenzity zdroja (SPL) pri 1 Hz, čo je hodnota, ktorú sme vypočítali v grafoch 4 (variant 1-2) a 5 (variant 3) pre typickú rannú atmosféru s protivetrom 8 m/s. Plánované turbíny vo veternom parku v *Horná Kráľová - Hájske* sú typu Vestas V172-7,2 MW s výškou náboja 164 metrov a priemerom rotora 172 m. Sú väčšie ako turbíny, ktoré sme namerali v Målarberget a Lerviku, ktoré majú výšku náboja 115 a 125 metrov a výkon 4,3 a 6,6 MW.

Výpočty infrazvuku v Horná Kráľová - Hájske

Pri výpočtoch sme použili reprezentatívnu atmosféru z 31. marca 2023 (údaje o počasi stiahnuté z THREDDs Data Server) a výpočty sme vykonali pre ráno (o 4:00) s vetrom v chrbte rýchlosťou 8 m/s (vo výške 10 m). Typ povrchu je nastavený ako bežný povrch (trieda impedancie E) podľa [2]. Atmosférický útlm je prevzatý z [1]. Na výpočet šírenia infrazvuku (v tomto prípade 1 Hz) v okolí Horná Kráľová – Hájske sme použili intenzitu zdroja (SPL) 163 dB. Výsledky pre variantu 1-2 sú uvedené na obrázku 4 a pre variantu 3 na obrázku 5. Poloha turbín je prevzatá z dokumentu **priloha_9_hhk_hlukova_studia_red-pdf**.

Keď prezentujeme mapy infrazvuku na obrázkoch 4 a 5, uvádzame oblasti s určitými úrovňami dB vrátane neistoty. Červená oblasť je napríklad oblasť, kde je hladina zvuku $95 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}$ (teda v rozmedzí 93,5–96,5 dB). Je to spôsobené neistotami v parametroch modelu, ako sú tlmenie zeme, atmosférický útlm a interferenčný obrazec. Všetko v červenej oblasti považujem za 95 dB a všetko vo vnútornom okraji červenej oblasti za vyššie ako 95 dB. Všetko mimo vonkajšieho okraja červenej oblasti je menej ako 95 dB.

V tabuľke 1 sú uvedené hodnoty dBA v citlivých bodoch (domy). Príslušné hodnoty dB pri infrazvuku 1 Hz sú uvedené v tabuľke 2. Odhadujeme, že úroveň infrazvuku pri 1 Hz bude kolísať medzi vypočítanými hodnotami $\pm 15 \text{ dB}$ v závislosti od poveternostných podmienok, ktoré majú veľký vplyv na SPL. **Ide o vysoké úrovne a vzhľadom na dostupné výskumy, ktoré jasne preukazujú vplyv na krvný tlak a mozog pri úrovniach infrazvuku okolo 90-95 dB [9, 47, 10], považujem umiestnenie tejto veterné farmy tak blízko Horná Kráľová - Hájske za vysoko nevhodné (ohrozujúce zdravie).** Je dôležité poznamenať, že infrazvuk 95 dB okolo 1 Hz zodpovedá celkovej úrovni infrazvuku (1-20 Hz) približne 103 dB.

Výpočty hladín dBA v lokalite Horná Kráľová – Hájske

Pomocou programu SoundSim360 sme tiež vypočítali šírenie hluku pre všetky tretie októvové pásma v okolí Horná Kráľová – Hájske v dBA. V dokumente **priloha_9_hhk_hlukova_studia_red-pdf** od GEH predpokladáme polohu a intenzitu zdroja (SPL), kde sa na výpočet map emisií hluku v dBA používa *model ISO 9613-2*, uvedené na obrázkoch 6 a 7. V výpočtoch programu SoundSim360 sme použili reprezentatívnu atmosféru z 31. marca 2023 (stiahnuté údaje o počasi z THREDDs Data Server) a

vykonali výpočty pre rannú atmosféru (o 4:00) s vetrom v chrbte rýchlosťou 8 m/s (vo výške 10 m). Typ povrchu je nastavený ako bežný povrch (trieda impedancie E) podľa [2]. Atmosférický útlm je prevzatý z [1]. Výsledky pre variant 1-2 a variant 3 sú uvedené na obrázkoch 2 a 3. V tabuľke 1 sú uvedené hodnoty dBA v citlivých bodoch (domy). Príslušné výsledky z modelu ISO 9613-2 sú uvedené na obrázku 8.

Keď prezentujeme mapy dBA na obrázkoch 2 a 3, uvádzame oblasti s určitými úrovňami dB vrátane neistoty. Červená oblasť je napríklad oblasť, kde je hladina hluku 40 dBA $\pm$ 1,5 dBA (teda v rozmedzí 38,5–41,5 dB). Je to spôsobené neistotami v parametroch modelu, ako je tlmenie zeme, atmosférický útlm a interferenčný obrazec. Všetko v červenej oblasti považujem za 40 dB a všetko vo vnútornom okraji červenej oblasti za vyššie ako 40 dB. Všetko mimo vonkajšieho okraja červenej oblasti je menej ako 40 dB. Aby ste dosiahli konzervatívnejšie meranie, mali by ste použiť 1,5 dBA na akýkoľvek konkrétny bod na mapách.

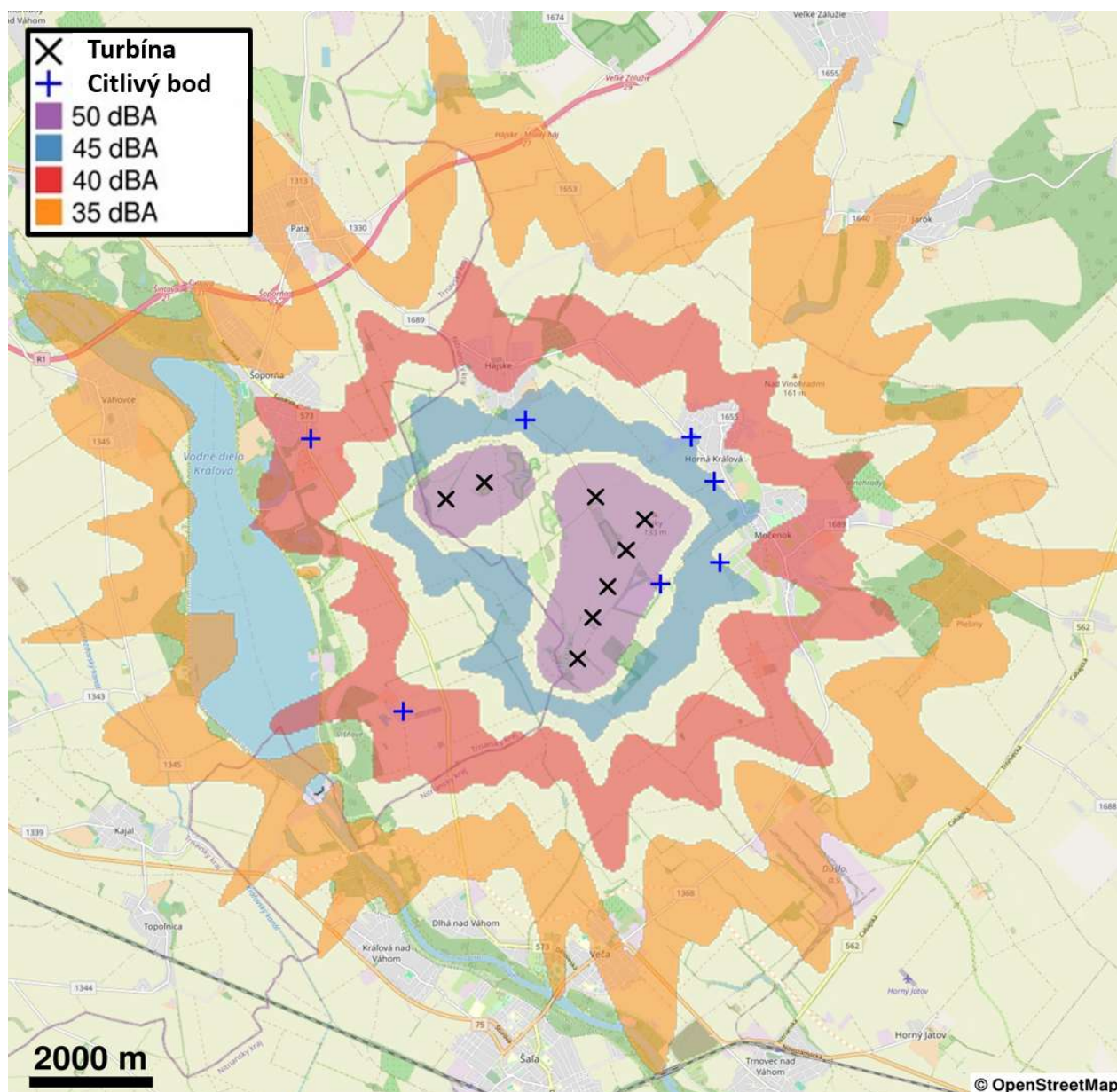
Naše simulácie ukazujú, že limity dBA sú prekročené najmenej v dvoch citlivých bodoch (v tabuľke 1 sú vyznačené tučným písmom). Tieto simulácie dBA vychádzajú zo špecifikovaných hodnôt SPL uvedených v dokumente **priloha 9_hhk_hlukova_studia_red-pdf**. Podľa mojich skúseností nie sú tieto hodnoty spoľahlivé. Najmä vo večerných hodinách môže dochádzať k amplitúdovo modulovanému (AM) hluku [15], ktorý je mimoriadne rušivým počuteľným (šumivým) hlukom, ktorý sa môže šíriť na vzdialenosť viac ako 10 km. Keď dochádza k AM hluku, hladina hluku v dBA sa výrazne zvyšuje (v porovnaní s hladinami dBA uvedenými v hlásených mapách hluku sa môže zvýšiť o viac ako 10 dBA v dôsledku zvýšenej SPL).

Citlivé miesto	Súradnice	dBA (variant 3)	dBA (variant 1-2)	Neistota
V01/MH1	[-513398.888882,-1275473.546844]	39,827430	43,63055	± 1
V02	[-513090.313031,-1276237.538947]	40,667235	43,448592	$\pm 1,5$
V03	[-513123.646749,-1277591.218530]	40,604253	43,456899	$\pm 1,5$
V04	[-514115.555148,-1277856.915670]	43,510348	48,250709	$\pm 1,5$
V05	[-518461.395741,-1279597.078113]	37,976000	39,934603	$\pm 1,5$
V06	[-519543.415235,-1274940.275709]	38,438855	40,400653	$\pm 1,5$
V07	[-516047.015653,-1274947.137539]	44,038629	45,237051	$\pm 1,5$

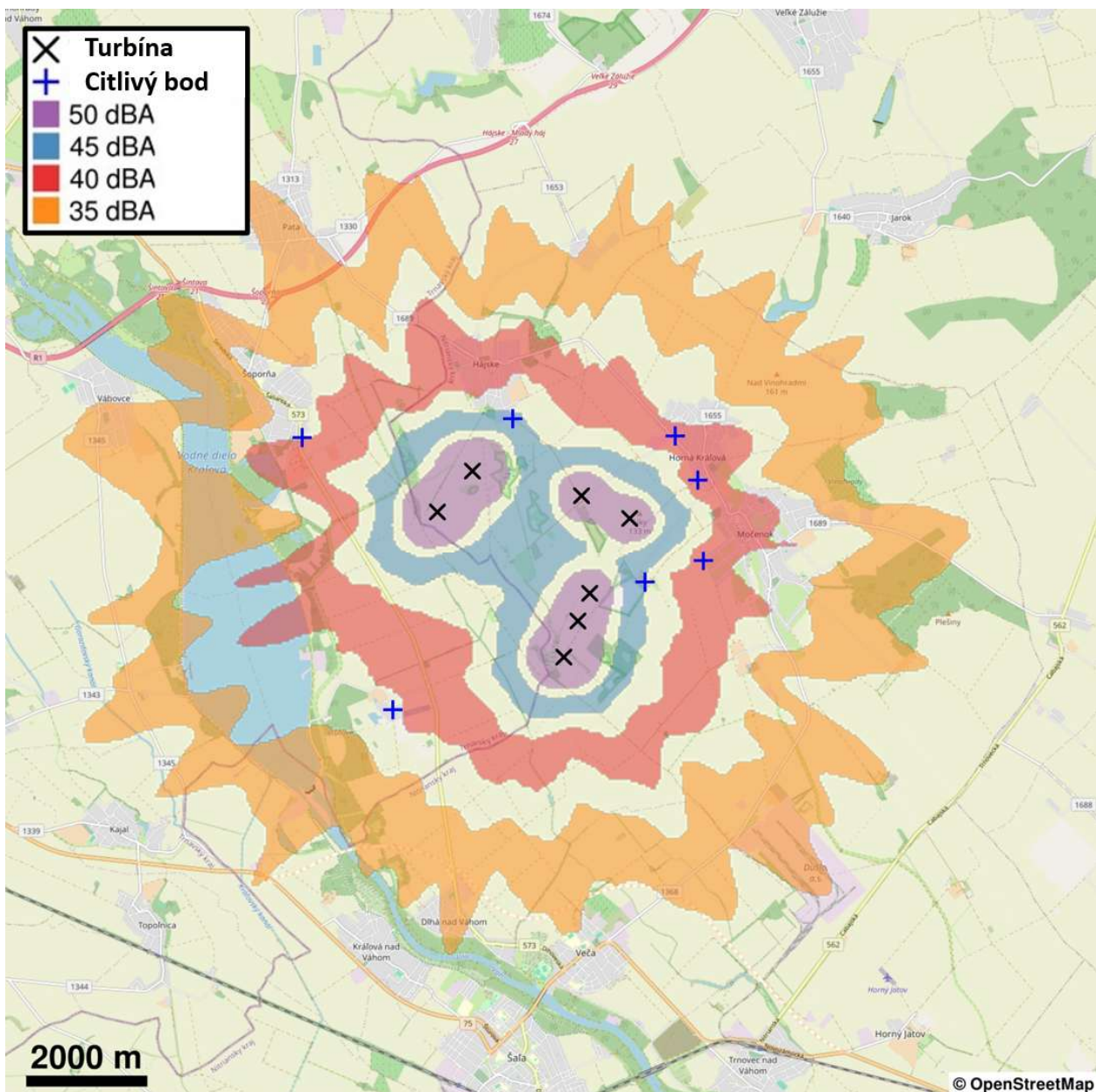
Tabuľka 1: Hladiny dBA podľa normy „ pri vetre zozadu s rýchlosťou 8 m/s (vo výške 10 m) v citlivých bodoch (rovnaké miesta a označenie ako v dokumente od GEH) vypočítané pomocou SoundSim360. Týka sa variantov 1-2 a variantu 3. Mapy hluku, ktoré zohľadňujú neistotu $\pm 1,5$ dBA vo výpočtoch SoundSim360, sú uvedené na obrázkoch 2 a 3. Dve miesta, kde sú hladiny dBA vyššie ako povolené (tučným písmom).

Citlivé miesto	Súradnice	dB (variant 3)	dB (variant 1-2)	Neistota
V01/MH1	[-513398.888882,-1275473.546844]	98,370526	99,808696	± 1
V02	[-513090.313031,-1276237.538947]	99,094640	98,912892	$\pm 1,5$
V03	[-513123.646749,-1277591.218530]	98,729975	99,410581	± 1
V04	[-514115.555148,-1277856.915670]	101,236761	102,762220	$\pm 1,5$
V05	[-518461.395741,-1279597.078113]	96,020028	97,726993	$\pm 1,5$
V06	[-519543.415235,-1274940.275709]	96,769899	97,669590	± 1
V07	[-516047.015653,-1274947.137539]	99,779962	100,680142	$\pm 1,5$

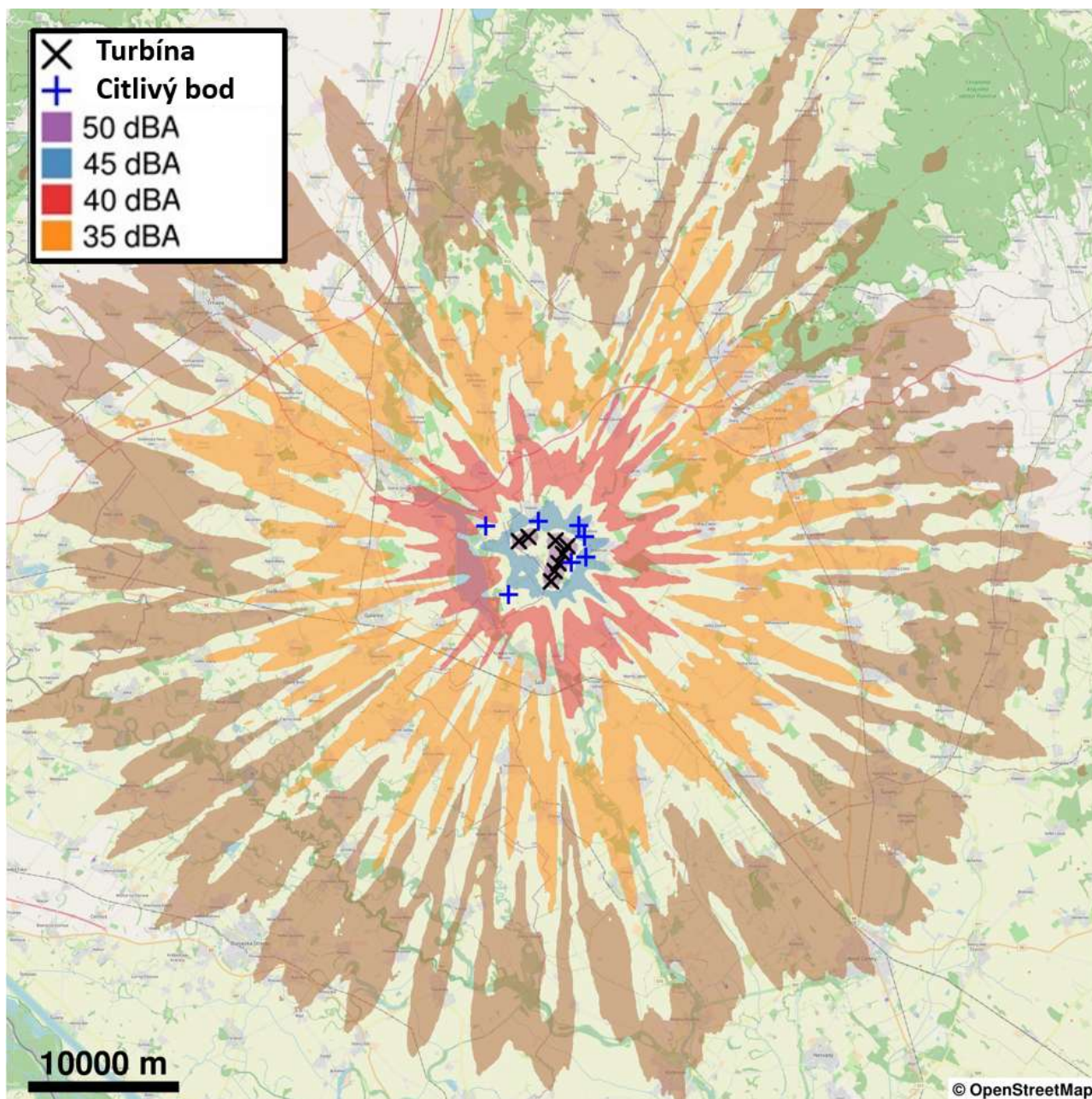
Tabuľka 2: Hladiny infrazvuku (1 Hz) podľa pri zadnom vetre 8 m/s (vo výške 10 m) v citlivých bodoch (rovnaké miesta a označenia ako v dokumente od GEH) vypočítané pomocou SoundSim360. Ide o variant 1-2 a variant 3. Mapy hluku, ktoré zohľadňujú neistotu $\pm 1,5$ dB vo výpočtoch SoundSim360, sú uvedené na obrázkoch 4 a 5. Všetky citlivé body majú infrazvuk vyšší ako 95 dB.



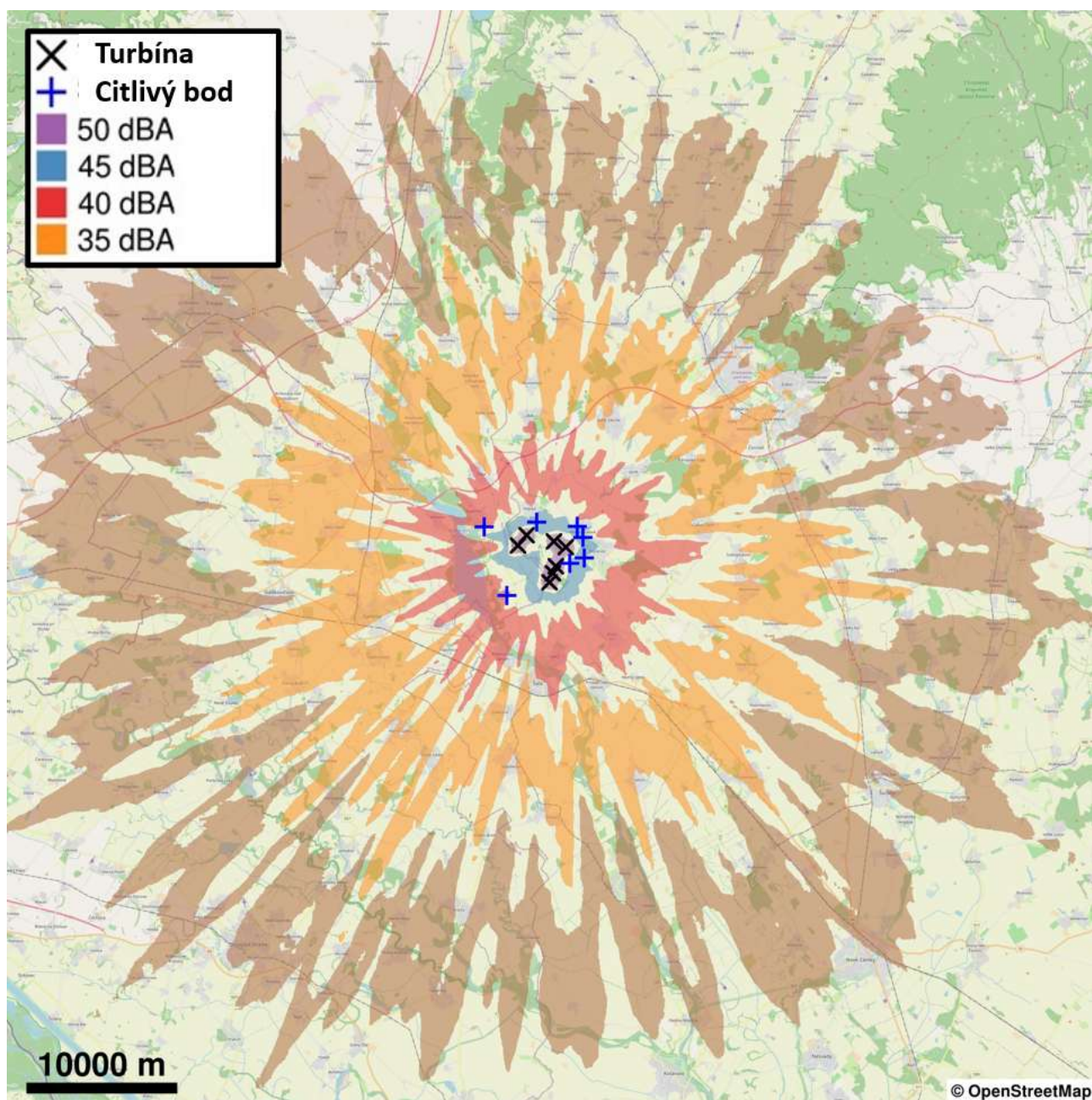
Obrázok 2: Výpočet hladiny hluku (dBA) pomocou SoundSim360 pre veterný park Horná Kráľová – Hájske, tu variant 1-2. 8 m/s zadný vietor. Oblasť označená červenou farbou vykazuje 40 dBA s neistotou $\pm 1,5$ dBA.



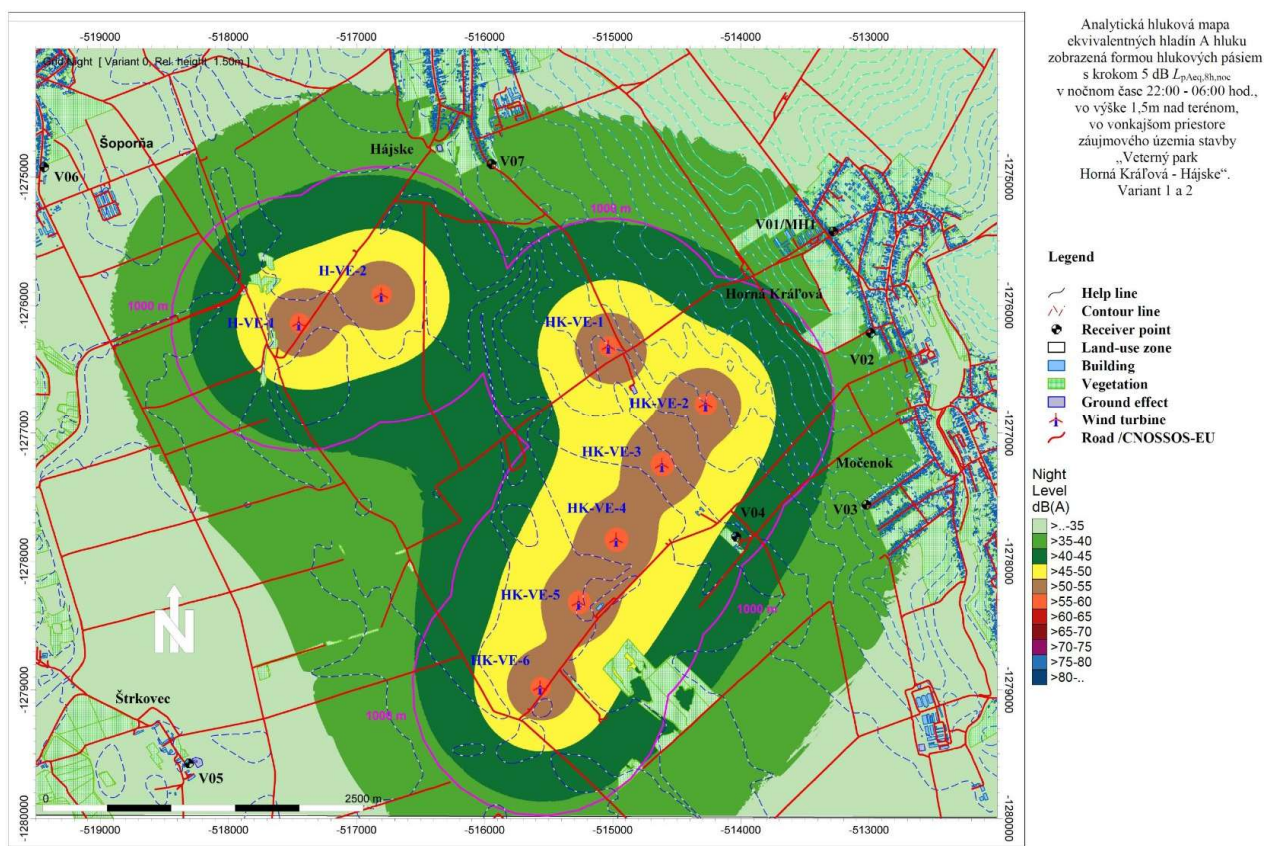
Obrázok 3: Výpočet hladiny hluku (dBA) pomocou SoundSim360 pre veterný park Horná Kráľová – Hájske, tu variant 3. 8 m/s zadný vietor. Oblasť s červeným označením 40 dBA s neistotou $\pm 1,5$ dBA.



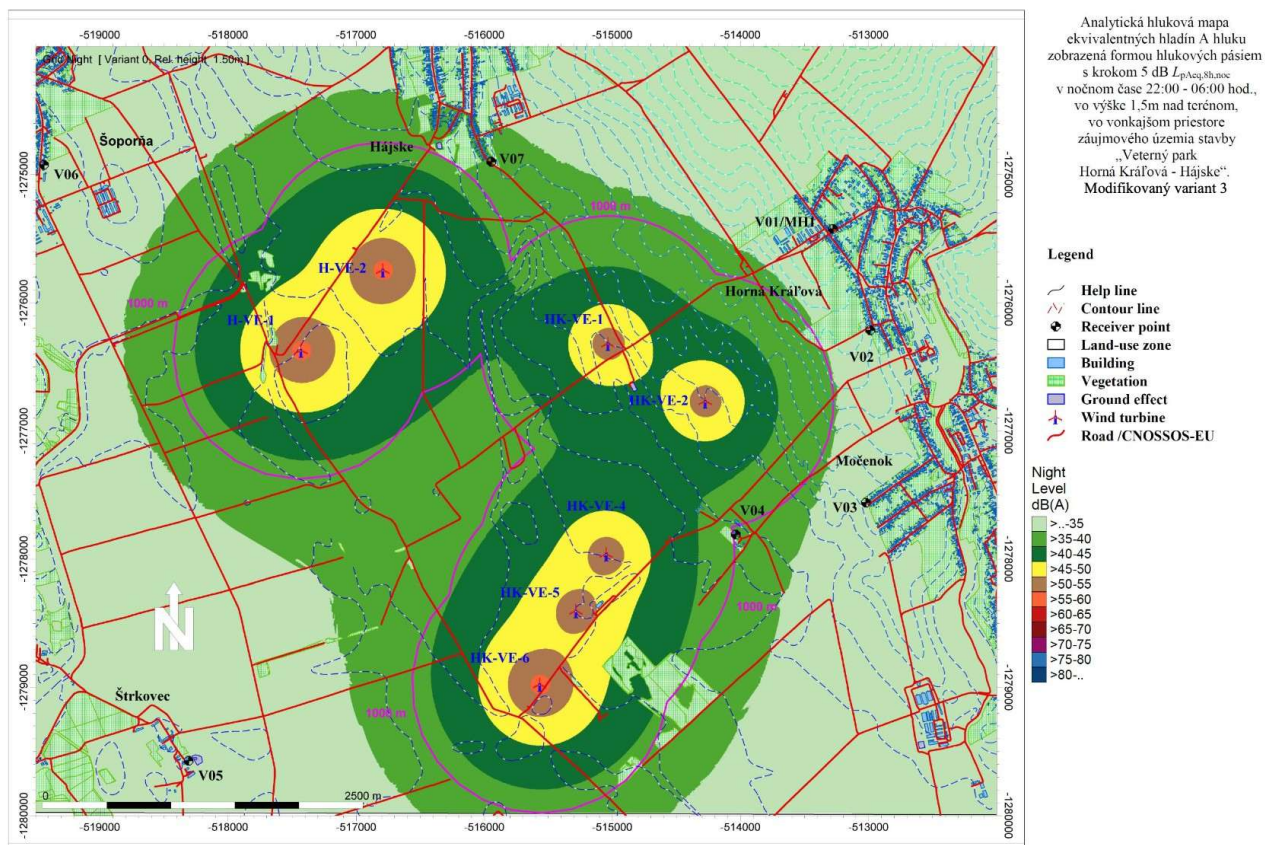
Obrázok 4: Výpočet hladiny infrazvuku (pri 1 Hz) (dB) pomocou SoundSim360 pre variantu 1-2, veterný park Horná Kráľová – Hájske. Rýchlosť vetra je 8 m/s. Oblasť označená červenou farbou vykazuje 95 dB s neistotou $\pm 1,5$ dB. Všetko vo vnútornom okraji červenej farby je vyššie ako 95 dB pri 1 Hz.



Obrázok 5: Výpočet hladiny infrazvuku (pri 1 Hz) (dB) pomocou SoundSim360 pre variantu 3, veterný park Horná Kráľová – Hájske. Rýchlosť vetra je 8 m/s. Oblasť označená červenou farbou predstavuje 95 dB s neistotou 1,5 dB podľa $\pm$. Všetky hodnoty vnútri červeného okraja sú vyššie ako 95 dB pri 1 Hz.

Grafická vizualizácia hladín akustického tlaku $L_{pAeq,T}$, program IMMI - výpočtová metodika CNOSSOS - EU a ISO 9613-2

Obrázok 6: Výpočet hladín hluku (dBA) podľa normy ISO 9613-2 pre variant 1-2, veterný park Horná Kráľová - Hájske, predložené spoločnosťou GEH.

Grafická vizualizácia hladín akustického tlaku $L_{pAeq,T}$, program IMMI - výpočtová metodika CNOSSOS - EU a ISO 9613-2

Obrázok 7: Výpočet hladín hluku (dBA) podľa modelu ISO 9613-2 pre variantu 3, veterný park Horná Kráľová - Hájske, predložené spoločnosťou GEH.

Tab. 6.2 Predikované hodnoty hluku od posudzovaného zámeru „veterný park Horná Kráľová - Hájske“

Imisný bod / Lokalita		Výška bodu [m]	Variant	Hladina hluku z iných zdrojov iba od posudzovaného zámeru „veterný park Horná Kráľová - Hájske“		
				$L_{Aeq,T}$ [dB]		
				deň (06:00-18:00)	večer (18:00-22:00)	noc (22:00-06:00)
V01/MH1	Horná Kráľová	3,0	1,2	36,6	36,6	36,6
			3	32,6	32,6	32,6
V02	Horná Kráľová	1,5	1,2	36,5	36,5	36,5
			3	37,0	37,0	37,0
V03	Močenok	1,5	1,2	37,4	37,4	37,4
			3	37,9	37,9	37,9
V04	Majer Siky	1,5	1,2	43,8	43,8	43,8
			3	32,6	32,6	32,6
V05	Štrkovec	1,5	1,2	30,8	30,8	30,8
			3	28,8	28,8	28,8
V06	Šoporňa	1,5	1,2	30,4	30,4	30,4
			3	32,1	32,1	32,1
V07	Hájske	1,5	1,2	37,8	37,8	37,8
			3	29,4	29,4	29,4

Obrázok 8: Výpočet hladín hluku (dBA) podľa modelu ISO 9613-2 pre variant 1-2 a variant 3, veterný park Horná Kráľová - Hájske, predložený spoločnosťou GEH.

Záver

Naše výpočty pomocou SoundSim360 ukazujú, že hladiny infrazvuku pre obyvateľov nachádzajúcich sa vo vnútri vonkajšej hranice červenou farbou označenej oblasti na obrázkoch 4 a 5 presahujú 95 dB pri 1 Hz. Pri zohľadnení všetkých subpásiev medzi 1 a 20 Hz to zodpovedá približne 103 dB infrazvuku. Oblasť s úrovňou aspoň 95 dB pri 1 Hz sa rozprestiera na niekoľko kilometrov a môže ovplyvniť veľký počet obyvateľov. Na základe zistení v recenzovanej literatúre [9, 39, 40, 41, 47, 10, 16, 37] je takáto expozícia infrazvuku pravdepodobne škodlivá pre až 30 % obyvateľstva.

Naše simulácie ukazujú, že limity dBA sú prekročené najmenej v dvoch citlivých bodoch (v tabuľke 1 sú vyznačené tučným písmom), pričom sa zohľadňuje neistota $\pm 1,5$ dBA vo výpočtoch SoundSim360. Mapy emisií hluku v dBA sa opierajú výlučne o údaje o spektre akustického výkonu poskytnuté výrobcom, o ktorých sme zistili, že nie sú spoľahlivé. Osobitnú pozornosť si vyžaduje výskyt amplitúdovo modulovaného (AM) hluku [15], najmä v noci a v skorých ranných hodinách. Tento počuteľný šum je veľmi rušivý a môže sa šíriť na vzdialenosti väčšie ako 10 km. Keď sa vyskytne AM hluk, môže zvýšiť hladinu dBA o viac ako 10 dBA v porovnaní s hladinami uvedenými v štandardných mapách hluku.

Dlhodobé merania z predchádzajúcich štúdií [35, 14] ukázali, že hladiny hluku sa môžu v závislosti od poveternostných a pôdných podmienok kolísať až o 20 dBA vo vzdialenosti približne 1 km od najbližšej turbíny. Mnohé citlivé miesta (pozri tabuľku 1) sa nachádzajú v rámci 3 dBA od zákonných limitov, ak sa použije SPL uvedený výrobcom. Tieto miesta sú preto vystavené značnému riziku nepriaznivého vplyvu zvýšených hladín AM hluku, najmä v noci a v skorých ranných hodinách.

Referencie

- [1] ISO9613 1996b. Acoustics-attenuation of sound during propagation outdoors, 1996. (Akustika – tlmenie zvuku pri šírení vo voľnom priestore).
- [2] Nina Aguilera, Henrik Naglitsch a Katrin Olofsson. Beräkningsmanual Nord2000 : för bullerberäkningar i väg-och järnvägsplaner. Technical report 2024:033, Efterklang, 2024. (Výpočtová príručka Nord2000: pre výpočty hluku v cestných a železničných plánoch. Technická správa)

- [3] Martin Almquist a Eric M. Dunham. Non-stiff boundary and interface penalties for narrow-stencils finite difference approximations of the laplacian on curvilinear multiblock grids. *Journal of Computational Physics*, 408:109294, 2020. (Nestuhnuté penalizácie okrajov a rozhraní pre úzkostopové metódy konečných diferencií pri aproximácii Laplaciánu na zakrivených multiblokových mriežkach.)
- [4] Martin Almquist, Ilkka Karasalo a Ken Mattsson. Atmospheric sound propagation over large-scale irregular terrain. *Journal of Scientific Computing*, 61(2):369–397, 2014. (Šírenie zvuku v atmosfére nad rozsiahlym nepravidelným terénom.)
- [5] Stephen E. Ambrose, Robert W. Rand a Carmen M. E. Krogh. Wind turbine acoustic investigation: Infrasound and low-frequency noise – a case study. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 32(2):128–141, 2012. (Akustické vyšetrovanie veterných turbín: Infrazvuk a nízkofrekvenčný hluk – prípadová štúdia.)
- [6] Walker B, Hessler G, Hessler D, Rand R a Schomer P. *Cooperative Measurement Survey and Analysis of Low Frequency and Infrasound at the Shirley Wind Farm in Brown County, Wisconsin*. Správa č. 122412-1, 2012. (Spoločné meranie a analýza nízkofrekvenčného a infrazvuku vo veternom parku Shirley v okrese Brown County, Wisconsin.)
- [7] K. Bolin, G. Bluhm, G. Eriksson a M. E. Nilsson. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environmental Research Letters*, 6(3):035103, 2011. (Infrazvuk a nízkofrekvenčný hluk z veterných turbín: expozícia a vplyvy na zdravie.)
- [8] Richard A Carman. Measurement procedure for wind turbine infrasound. V *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, zväzok 250, strany 6143–6153. Institute of Noise Control Engineering, 2015. (Postup merania infrazvuku veterných turbín.)
- [9] Åke Danielsson a Ulf Landström. Blood pressure changes in man during infrasonic exposure. *Acta Medica Scandinavica*, 217(5):531–535, 1985. (Zmeny krvného tlaku u človeka počas vystavenia infrazvuku.)
- [10] Caroline Garcia Forlim, Leonie Ascone, Christian Koch a Simone Kühn. Resting state network changes induced by experimental inaudible infrasound exposure and associations with self-reported noise sensitivity and annoyance. *Scientific Reports*, 14(1):24555, 2024. (Zmeny v sieťach mozgových oblastí v pokojovom stave vyvolané experimentálnym vystavením nepočuteľnému infrazvuku a ich súvislosti so subjektívne udávanou citlivosťou na hluk a obťažovaním hlukom.)
- [11] Theodore V. Gortsas, Theodoros Triantafyllidis, Stylianos Chrisopoulos a Demosthenes Polyzos. Numerical modelling of micro-seismic and infrasound noise radiated by a wind turbine.. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 99:108–123, 2017. (Numerické modelovanie mikroseizmického a infrazvukového hluku vyžarovaného veternou turbínou.)
- [12] ISO9613-2:2024. Acoustics - attenuation of sound during propagation outdoors - part 2: General method of calculation, 2024. (Akustika – tlmenie zvuku pri šírení vonku – časť 2: Všeobecná metóda výpočtu)
- [13] N D Kelley, H E McKenna, R R Hemphill, C L Etter, R L Garrelts a N C Linn. Acoustic noise associated with the mod-1 wind turbine: its source, impact, and control. Technical report, Solar Energy Research Inst. (SERI), Golden, CO (Spojené štáty), 02 1985. (Akustický hluk spojený s veternou turbínou mod-1: jeho zdroj, vplyv a kontrola. Technická správa)
- [14] Thomas Lagö a Bertil Persson. Wind turbine measurements in Sweden. V *INTER-NOISE a NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, zväzok 259, strany 8151–8164. Institute of Noise Control Engineering, 2019. (Merania veterných turbín vo Švédsku)
- [15] Conny Larsson. Ljud från vindkraftverk, modell-validering-mätning : Slutrapport Energimyndighetens projekt 32437-1. Technical report, Uppsala University, LUVAL, 2014. (Hluk z veterných turbín, validácia a meranie modelu: Záverečná správa projektu 32437-1 Švédskej energetickej agentúry. Technická správa.)
- [16] Francesca Lionetti, Arthur Aron, Elaine N. Aron, G. Leonard Burns, Jadzia Jagiellowicz a Michael Pluess. Dandelions, tulips and orchids: evidence for the existence of low-sensitive, medium-sensitive and high-sensitive individuals. *Translational Psychiatry*, 8(1):24, 2018. (Púpavy, tulipány a orchidey: dôkazy o existencii jedincov s nízkou, strednou a vysokou citlivosťou.)
- [17] L. Liszka. Summary of 35 Years of Infrasound Research. *IRF scientific report*. Swedish Institute of Space Physics, 2008. (Infrazvuk: Súhrn 35 rokov výskumu infrazvuku. Vedecká správa IRF)
- [18] Lukas Lundgren a Ken Mattsson. An efficient finite difference method for the shallow water equations. *Journal of Computational Physics*, 422:109784, 2020. Efektívna metóda konečných diferencií pre rovnice plytkej vody.
- [19] Panu P. Majjala, Ilmari Kurki, Lari Vainio, Satu Pakarinen, Crista Kuuramo, Kristian Lukander, Jussi Virkkala, Kaisa Tiippana, Emma A. Stickler a Markku Sainio. Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 149(4):2238–2248, 04 2021. (Obťažovanie,

- [20] Nathaniel S. Marshall, Garry Cho, Brett G. Toelle, Renzo Tonin, Delwyn J. Bartlett, Angela L. D Rozario, Carla A. Evans, Christine T. Cowie, Oliver Janev, Christopher R. Whitfeld, Nick Glozier, Bruce E. Walker, Roo Killick, Miriam S. Welgampola, Craig L. Phillips, Guy B. Marks a Ronald R. Grunstein. The health effects of 72 hours of simulated wind turbine infrasound: A double-blind randomized crossover study in noise-sensitive, healthy adults. *Environmental Health Perspectives*, 131(3):037012, 2023. (Vplyv 72 hodín simulovaného infrazvuku veterných turbín na zdravie: Dvojito zaslepená randomizovaná krížová štúdia u zdravých dospelých citlivých na hluk.)

- [21] K. Mattsson, M. Almquist a M. H. Carpenter. Optimal diagonal-norm SBP operators. *J. Comput. Phys.*, 264:91–111, 2014. (Optimálne operátory typu *summation-by-parts* s diagonálnou normou.)
- [22] K. Mattsson a M. H. Carpenter. Stable and accurate interpolation operators for high-order multi-block finite-difference methods. *SIAM J. Sci Comput.*, 32(4):2298–2320, 2010. (Stabilné a presné interpolačné operátory pre viacblokové metódy konečných diferencií vyššieho rádu.)
- [23] K. Mattsson, F. Ham a G. Iaccarino. Stable and accurate wave propagation in discontinuous media. *J. Comput. Phys.*, 227:8753–8767, 2008. (Stabilné a presné šírenie vln v nespojitých médiách.)
- [24] K. Mattsson, F. Ham a G. Iaccarino. Stable boundary treatment for the wave equation on second-order form. *Journal of Scientific Computing*, 41:366–383, 2009. (Stabilné riešenie okrajových podmienok pre vlnovú rovnicu druhého rádu.)
- [25] K. Mattsson a J. Nordström. High order finite difference methods for wave propagation in discontinuous media. *J. Comput. Phys.*, 220:249–269, 2006. (Metódy konečných diferencií vyššieho rádu pre šírenie vlnenia v nespojitých médiách.)
- [26] K. Mattsson, M. Svärd, M.H. Carpenter a J. Nordström. High-order accurate computations for unsteady aerodynamics. *Computers & Fluids*, 36:636–649, 2006. (Výpočty s presnosťou vyššieho rádu pre nestacionárnu aerodynamiku.)
- [27] K. Mattsson, M. Svärd a M. Shoenberger. Stable and accurate schemes for the compressible navier-stokes equations. *J. Comput. Phys.*, 227(4):2293–2316, 2008. (Stabilné a presné schémy pre stlačiteľné Navier-Stokesove rovnice.)
- [28] Ken Mattsson. Summation by parts operators for finite difference approximations of second-derivatives with variable coefficients. *Journal of Scientific Computing*, 51:650–682, 2012. (Operátory SBP (sčítania po častiach) pre aproximácie druhých derivácií metódou konečných diferencií s premennými koeficientmi.)
- [29] Ken Mattsson. Diagonal-norm upwind SBP operators. *Journal of Computational Physics*, 335:283 – 310, 2017. (Operátory SBP typu upwind (po smere prúdenia) s diagonálnou normou.)
- [30] Ken Mattsson, Martin Almquist a Edwin van der Weide. Boundary optimized diagonal-norm SBP operators. *Journal of Computational Physics*, 2018. (Operátory SBP s diagonálnou normou optimalizované pre hranice.)
- [31] Ken Mattsson a Ylva Ljungberg Rydin. Implicit summation by parts operators for finite difference approximations of first and second derivatives. Implicitné sčítanie pomocou operátorov častí pre aproximácie prvých a druhých derivácií s konečnými rozdielmi. *Journal of Computational Physics*, 473:111743, 2023. (Implicitné operátory SBP pre aproximácie prvých a druhých derivácií metódou konečných diferencií.)
- [32] Ken Mattsson a Pelle Olsson. An improved projection method. *Journal of Computational Physics*, 372:349 – 372, 2018. (Vylepšená metóda projekcie.)
- [33] Henrik Möller a Christian Sejer Pedersen. Low-frequency noise from large wind turbines. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6):3727–3744, 2011. (Nízko frekvenčný hluk z veľkých veterných turbín.)
- [34] Phuc D. Nguyen, Kristy L. Hansen, Bastien Lechat, Colin Hansen, Peter Catchside a Branko Zajamsek. Audibility of wind farm infrasound and amplitude modulated tonal noise at long-range locations. *Applied Acoustics*, 201:109106, 2022. (Počuteľnosť infrazvuku zveterých elektrární a amplitúdovo modulovaného tónového hluku na veľké vzdialenosti.)
- [35] Olof Öhlund a Conny Larsson. Meteorological effects on wind turbine sound propagation.. *Applied Acoustics*, 89:34–41, 2015. (Vplyvy meteorologických podmienok na šírenie zvuku veterných turbín.)
- [36] Pelle Olsson, Gustav Eriksson a Ken Mattsson. Projection based summation-by-parts methods, embeddings and pseudoinverse. Metódy sumácie podľa častí založené na projekcii, vloženie a pseudoinverzia. *Journal of Computational Physics*, 524:113689, 2025. (Projekčné metódy sčítania po častiach (SBD), zapustenia a pseudoinverzia.)
- [37] M. Pluess, E. Assary, F. Lionetti, K. J. Lester, E. Krapohl, E. N. Aron a A. Aron. Environmental sensitivity in children: Development of the highly sensitive child scale and identification of sensitivity groups. *Translational Psychiatry*, 54(1):51–70, 2018. (Citlivosť detí na prostredie: Vytvorenie stupnice vysoko citlivých detí a identifikácia citlivých skupín.)
- [38] Ylva Rydin, Ken Mattsson a Jonatan Werpers. High-fidelity sound propagation in a varying 3D atmosphere. Vysoko verné šírenie zvuku v meniacej sa 3D atmosfére. *Journal of Scientific Computing*, 77(2):1278–1302, 2018. (Presné modelovanie šírenia zvuku v premenlivej trojrozmernej atmosfére)
- [39] Alec N. Salt a Timothy E. Hullar. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*, 268(1):12–21, 2010. (Reakcie ucha na nízkofrekvenčné zvuky, infrazvuk a veterné turbíny.)

- [40] Alec N. Salt a James A. Kaltenbach. Infrasound from wind turbines could affect humans. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 31(4):296–302, 2011. (Infrazvuk z veterných turbín môže ovplyvňovať ľudí.)
- [41] Alec N Salt a Jeffery T Lichtenhan. How does wind turbine noise affect people. *Acoustics Today*, 10(1):20–28, 2014. (Ako hluk veterných turbín ovplyvňuje ľudí.)
- [42] Bo Søndergaard. Low frequency noise from wind turbines: Do the danish regulations have any impact? An analysis of noise measurements. *International Journal of Aeroacoustics*, 14(5-6):909–915, 2015. (Nízko frekvenčný hluk z veterných turbín: Majú dánske predpisy nejaký vplyv? Analýza meraní hluku.)

- [43] Vidar Stiernström, Martin Almquist a Ken Mattsson. Boundary-optimized summation-by-parts operators for finite difference approximations of second derivatives with variable coefficients. *Journal of Computational Physics*, 491:112376, 2023. (Operátory SBP optimalizované pre hranice pre aproximácie druhých derivácií metódou konečných diferencií s premennými koeficientmi.)
- [44] Vidar Stiernström, Lukas Lundgren, Murtazo Nazarov a Ken Mattsson. *Journal of Computational Physics*, 430:110100, 2021. (Metóda konečných diferencií založená na reziduách s umelou viskozitou pre skalárne zákony zachovania.)
- [45] Anne Tolvanen, Henri Routavaara, Mika Jokikokko a Parvez Rana. How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? – systematický prehľad. *Biological Conservation*, 288:110382, 2023. (Ako ďaleko sú vtáky, netopiere a suchozemské cicavce vytlačené od pobrežných veterných elektrární? – systematický prehľad.)
- [46] Antoine Turquet, Quentin Brissaud, Celso Alvizuri, Sven Peter Näsholm, Alexis Le Pichon a Johan Kero. Retrieving seismic source characteristics using seismic and infrasound data: The 2020 ml 4.1 Kiruna minequake, Sweden. *Geophysical Research Letters*, 51(12):e2024GL109276, 2024. e2024GL109276 2024GL109276. (Získavanie charakteristík seizmického zdroja pomocou seizmických a infrazvukových údajov: Seizmická udalosť spôsobená banskými prácami v Kirune vo Švédsku v roku 2020 s magnitúdou 4,1.)
- [47] Markus Weichenberger, Martin Bauer, Robert Kühler, Johannes Hensel, Caroline Garcia Forlim, Albrecht Ihlenfeld, Bernd Ittermann, Jürgen Gallinat, Christian Koch a Simone Kühn. Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold - evidence from fmri. *PLOS ONE*, 12(4):1–19, 04 2017. (Zmenená kortikálna a subkortikálna konektivita v dôsledku vystavenia infrazvuku v blízkosti prahu počuteľnosti – dôkazy z funkčnej magnetickej rezonancie).

O autorovi štúdie

Ken Mattsson – Profesor vedeckého výpočtového modelovania, Univerzita v Uppsale (Švédsko)

Pozícia a pôsobenie: Profesor na Katedre informačných technológií, divízia vedeckého výpočtového modelovania (Scientific Computing) na Univerzite v Uppsale. Dlhodobu pôsobí ako výskumník a pedagóg v oblasti numerickej matematiky a simulácií fyzikálnych javov.

Vzdelanie a kariéra: Magisterský titul z astronómie (1996), doktorát (PhD) zo vedeckého výpočtového modelovania (2003), oboje na Univerzite v Uppsale. Pracoval aj na Stanford University, v Švédskej agentúre pre obranný výskum (FOI) a vo firme Vattenfall.

Výskumné zameranie - Špecialista na: Vysoko-presné numerické metódy, najmä tzv. "summation-by-parts" (SBP) schémy. Riešenie parciálnych diferenciálnych rovníc pre simuláciu fyzikálnych javov. Šírenie vln (wave propagation) – najmä infrazvuk, akustika, dynamika tekutín a geofyzika.

Infrazvuk a jeho modelovanie: Známy výskumom v oblasti infrazvuku z veterných turbín a sopiek. Spoluvyvinul softvér SoundSim360 – výpočtový nástroj na simuláciu šírenia infrazvuk v krajine, s ohľadom na terén, vietor, teplotné vrstvy a atmosférické podmienky.

Bol ocenený v súťaži Uppsala VentureChallenge 2024 za túto inováciu spolu s kolegom Gustavom Erikssonom.

Publikácie a vedecký vplyv: Autor viac ako **60 vedeckých článkov v oblasti numerických metód a simulácie vln**. Na Google Scholar má vyše 2 700 citácií, h-index ~27, čo svedčí o jeho vedeckom význame a fundovanosti.

Zhrnutie: Ken Mattsson je popredný svetový expert na numerické modelovanie šírenia infrazvuku, najmä v súvislosti s veternými turbínami. Vyvíja pokročilé výpočtové metódy a praktické simulačné nástroje (napr. SoundSim360), ktoré umožňujú presne modelovať, ako sa infrazvuk šíri cez krajinu. Je významnou osobnosťou vo vedeckom aj praktickom vývoji v tejto oblasti.