

Ing. Miroslav KUČERA, Ph.D.¹⁾
 Ing. Jan KRÁLÍČEK^{1), 2)}
 Ing. Karel NOSEK¹⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí
²⁾ AKUSTIPROJEKT s.r.o., Praha

Recenzent
 Ing. Ladislav Mička

Provoz tepelného čerpadla rodinného domu z pohledu potenciálního zdroje hluku ve venkovním prostoru

Heat Pump Operation in a Family House from the Perspective of a Potential Source of Noise Outdoors

Článek se zabývá problematikou hluku spojenou s provozem tepelných čerpadel typu vzduch/voda. Porovnává, jaké hlukové parametry má k dispozici projektant tepelného čerpadla a jaké jsou skutečně naměřené hodnoty hladin akustického tlaku in-situ (na místě) při kolaudačním měření. Pro názornost byly vybrány dvě instalace s typickým umístěním tepelných čerpadel před rodinnými domy. Pro oba případy bylo provedeno měření a výpočet. Technické údaje od výrobců jsou v závěru zhodnoceny a porovnány s naměřenými a vypočítanými hodnotami.

Klíčová slova: tepelná čerpadla, rodinné domy, měření hluku, simulace hluku, návrh úprav

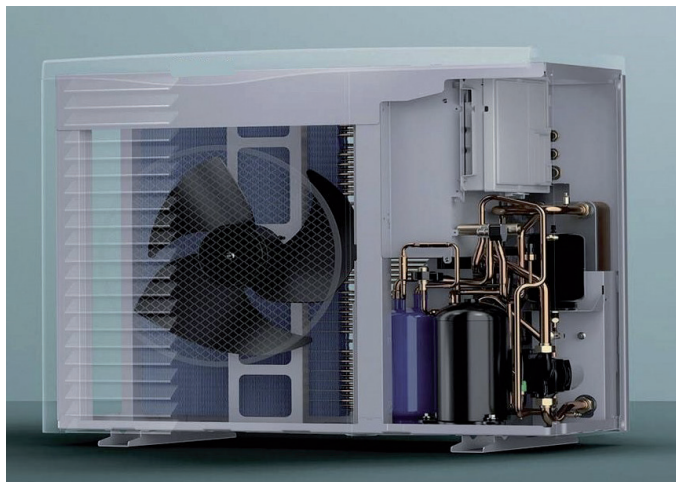
The paper deals with noise issues related to operation of air/water heat pumps. It compares the noise parameters available to designers of systems with heat pumps and the actual measured values of the in-situ sound pressure levels obtained during the house final inspection. For illustration, two installations with a typical location of heat pumps in front of the family houses were selected. Measurement and calculation were performed for both cases. Technical data from manufacturers are evaluated and compared with measured and calculated values in the conclusion of the paper.

Keywords: heat pumps, family houses, noise measurement, noise simulation, design modifications

ÚVOD

Tepelná čerpadla jsou v dnešní době čím dál častěji využívána jako zdroj pro vytápění a ohřev teplé vody rodinných domů. S provozem tepelného čerpadla vzduch/voda je spojen hluk, který vzniká především prouděním vzduchu a mechanickou činností stroje. Teplota venkovního vzduchu, která je zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo, je velmi proměnlivá. V praxi to znamená, že pokud roste teplota venkovního vzduchu, roste také výkon tepelného čerpadla. Hlavním zdrojem hluku venkovní jednotky tepelného čerpadla je axiální ventilátor a kompresor (na obr. 1 umístěn v pravém dolním rohu).

U ventilátoru tepelného čerpadla je zdrojem hluku zejména turbulentní proudění vzduchu ventilátorovým kolem, které je z pohledu frekvenčního spektra zastoupeno zejména ve středních a vyšších frekvencích.



Obr. 1 Venkovní jednotka tepelného čerpadla [5]

Fig. 1 Heat pump outdoor unit [5]

Axiální ventilátory jsou u těchto zařízení používány pro zajištění dostatečného množství vzduchu pro výměník kondenzátoru. Výhodou axiálních ventilátorů oproti radiálním je vyšší průtok vzduchu při nižší hlukosti. Cenou za toto řešení je relativně malý dopravní tlak.

Problém u axiálních ventilátorů nastává v případech, kdy je zapotřebí je dodatečně ztlumit, např. osazením tlumiči hluku. Většina výrobců ventilátorů se proto snaží snížit aerodynamický hluk ventilátoru inovativním řešením lopatkového kola. Mezi již zavedené úpravy patří tvarování odtokové hrany lopatek ve tvaru ptačího křídla, které příznivě ovlivňuje vírové struktury vznikající za lopatkou. Dalšími úpravami jsou mřížkové konstrukce používané na výdechové straně axiálního ventilátoru, které rozbíjejí turbulentní víry na menší, čímž dokážou účinně tlumit hluk zařízení, zejména snížením tónové složky ve spektru hluku, často zapříčiněné lopatkovou frekvencí ventilátoru.

Dle použitých komponent, materiálů a tvarů ventilátorových kol se liší hluk vyzářovaný z těchto technických zařízení od různých výrobců. Nositelem emitovaného hluku točivých strojů jsou otáčky zařízení, hluk zařízení závisí přibližně na 5. mocnině otáček [1]. Z pohledu generovaného hluku to znamená, že hladina akustického výkonu při zdvojnásobení otáček vzroste o 15 dB, viz rovnice (1). Je třeba poznamenat, že se jedná o orientační vztah pro odhad změny akustického výkonu zařízení při změně jeho otáček (za určitých podmínek lze vztah použít i pro změnu hladiny akustického tlaku A v určité vzdálenosti).

$$L_{WA1} = L_{WA2} + 50 \cdot \log \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

kde je:

L_{WA} hladina akustického výkonu A [dB],
 n otáčky.

Hluk tepelných čerpadel závisí na charakteru provozu zařízení a také na dalších dílčích zdrojích hluku, jako je např. kompresor, který u levnějších čerpadel bývá často regulován systémem zapnuto/vypnuto nebo nastavením na určité stupně, a nikoliv plynule frekvenčním měničem jako ventilátory.

Z pohledu aerodynamiky není nic neobvyklého dosáhnout nárůstu hluku o 15 dB se zdvojnásobením otáček zařízení. Je-li zdvojnásobením otáček zvýšen i dvojnásobně průtok ventilátorem, lze u koncových VZT elementů naměřit nárůst hluku i o 20 dB [10]. Je tedy zřejmé, že otáčky, které souvisejí s průtokem či výkonem zařízení, výrazně ovlivňují jeho hlučnost.

Výrobci stále přicházejí s inovativními prostředky, jak hluk těchto zdrojů co nejvíce snížit, a přestože často a rádi ve svých prospektech uvádějí přívlastky „tišší než ostatní“, „nejtišší na trhu“ apod., je nutné se hlukem zabývat (viz dále).

Příkladem může být instalace tepelného čerpadla do hustě obydlené zástavby, kde je nutné s rozvahou vyřešit umístění venkovní jednotky tak, aby okolní chráněné prostory nebyly zatěžovány nadměrným hlukem. Nejčastější umístění venkovní jednotky tepelného čerpadla je před fasádou rodinného domu. Ve výjimečných případech je tepelné čerpadlo umísťováno volně do prostoru (např. na okraj pozemku). V případech, kdy hluk z provozu tepelného čerpadla překračuje hygienické limity, je nutné přistoupit k dodatečným opatřením ve formě protihlukových bariér nebo zakrytování samotných jednotek.

Hluk tepelných čerpadel je tedy možné buď snížit provedením akustických úprav, nebo tepelné čerpadlo instalovat do vhodnějších (zpravidla vzdálenějších) míst. Problém často bývá v tom, že se taková zásadní rozhodnutí řeší až po instalaci tepelného čerpadla a jeho zprovoznění, kdy je zjištěn problém s hlukem prokázán měřením in-situ.

Dodatečná opatření pak mohou být realizovatelná jen s omezením a velmi často s mnohonásobně vyššími náklady, než kdyby tyto úpravy navrhl projektant před realizací díla v rámci projektu [9].

Pro snížení hlukových emisí je také důležité správné provozní nastavení jednotky a její vhodné umístění z hlediska termodynamického proudění vzduchu, což má vliv na otáčky ventilátoru. Tepelné čerpadlo, které si opětovně nasává odpadní vzduch, je nuceno uměle zvyšovat otáčky ventilátoru, aby bylo schopno pokrýt požadavek na tepelný výkon (samozřejmě do chvíle, kdy začne většinu výkonu hradit příkonem z elektrické sítě, ale to je nežádoucí stav).

Při umísťování tepelných čerpadel je tedy třeba zajistit, aby ve venkovním chráněném prostoru staveb (např. byty, rodinné domy apod.) nebo ve venkovním chráněném prostoru (např. areály nemocnic apod.) byla dodržena limitní ekvivalentní hladina akustického tlaku A dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., ve znění pozdějších předpisů [2].

HYGIENICKÉ LIMITY PODLE PLATNÉ LEGISLATIVY

Chráněným venkovním prostorem stavby se rozumí prostor do vzdálenosti 2 m před fasádou, zejména v části před prostorem významným z hlediska pronikání hluku z exteriéru do chráněného vnitřního prostoru stavby. Prostorem významným z hlediska pronikání hluku je dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2] prostor před výplní otvoru obvodového pláště stavby zajišťující přímé přirozené větrání, za níž se nachází chráněný vnitřní prostor stavby, pokud tento chráněný prostor nelze přímo větrat jinak.

Hygienické limity hluku se porovnávají s ekvivalentní hladinou akustického tlaku A (tab. 1). Pro denní dobu (6 až 22 h) se ekvivalentní hladina

Tab. 1 Hygienické limity chráněných venkovních prostor a chráněných venkovních prostor staveb [2]

Tab. 1 Hygiene limits of outdoor protected areas and outdoor protected areas of buildings [2]

Druh chráněného prostoru	Denní doba $L_{Aeq,8h}$ [dB]	Noční doba $L_{Aeq,1h}$ [dB]
Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	45	35
Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	50	40
Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor	50	40

akustického tlaku L_{Aeq} stanovuje pro 8 nejhlučnějších, na sebe navazujících hodin ($L_{Aeq,8h}$) a pro 1 nejhlučnější hodinu ($L_{Aeq,1h}$) v noční době (22 až 6 h). V případě hluku s tónovou složkou se přičte k hygienickým limitům v tab. 1 korekce -5 dB.

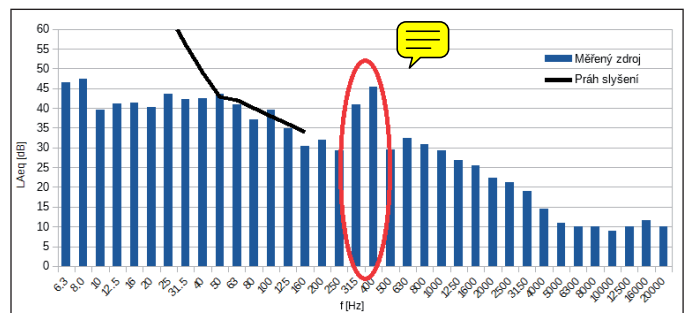
Tónová složka

V nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2] je tónová složka definována jako hluk, v jehož kmitočtovém spektru je hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu, případně i ve dvou bezprostředně sousedících třetinooktávových pásmech, o více než 5 dB vyšší než hladiny akustického tlaku v obou sousedních třetinooktávových pásmech a v pásmu kmitočtu 10 Hz až 160 Hz je ekvivalentní hladina akustického tlaku v tomto třetinooktávovém pásmu vyšší než hladina prahu slyšení stanovená pro toto kmitočtové pásmo [2].

Zjednodušeně řečeno to znamená, že jeden tón je výrazně hlučnější než ostatní a tento výraznější tón hluku lidské ucho vnímá s vyšší citlivostí. Na vyšších kmitočtech se projevuje tónová složka jako nepřijemné pískání, na nízkých jako dunění. Příklad tónové složky při frekvenci 315 a 400 Hz je znázorněn na obr. 2, což je klasický případ lopatkové frekvence točivých strojů. Naopak pískání ve vyšších frekvencích je typickým případem pro aerodynamické zdroje hluku vznikající při obtékání tenkých těles nebo ostrých hran ve vyšších rychlostech, nebo při výtoku tekutiny z úzké štěrby – ventilu (např. regulační nebo pojistné ventily).

PROJEKTOVÁNÍ TEPELNÉHO ČERPADLA Z HLEDISKA JEHO HLUČNOSTI

Pro zjištění hlučnosti tepelného čerpadla má projektant při návrhu k dispozici technický list konkrétního zařízení, ve kterém výrobce uvádí hluk při nominálních podmínkách a pouze při 40% výkonu, např. A7W35, 40 % (z anglického Air 7 °C, Water 35 °C). Dalším zdrojem, kde lze ověřit hlučnost tepelného čerpadla, může být energetický štítek, na kterém je v levém dolním rohu uváděna hladina akustického výkonu L_{WA} ve venkovním prostoru a nad ní hladina akustického výkonu L_{WA} ve vnitřním



Obr. 2 Grafické znázornění tónové složky
Fig. 2 Graphical representation of the tonal component

prostoru. Obě hodnoty jsou většinou udávány pro jmenovité podmínky zařízení a 40% výkon.

Při zhodnocení hlučnosti tepelného čerpadla dle rovnice (1) je zřejmé, že při 100% výkonu lze očekávat u točivých prvků zařízení hluk o cca 15 dB vyšší. Vzhledem k tomu, že se na hluku tepelného čerpadla dominantně podílí ventilátor a kompresor, lze očekávat, že celkové navýšení bude odpovídat předpokladům a hluk při 100% výkonu čerpadla jako celku vzroste o 15 dB nebo více.

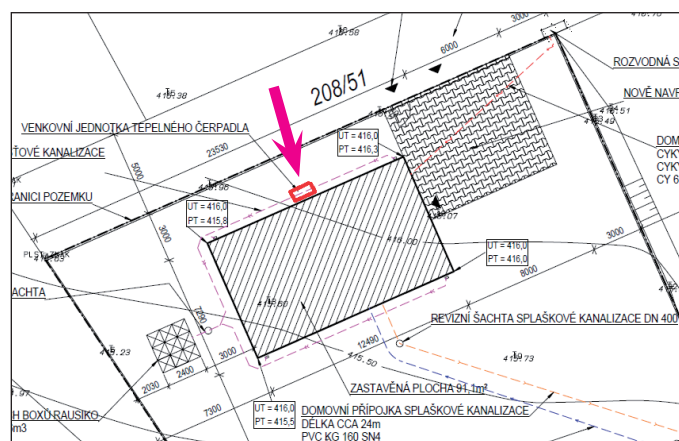
Hluk tepelných čerpadel je výrobcem měřen v laboratorních podmínkách dle normy ČSN EN 12102-1 [4]. Z pohledu měření hluku lze laboratorní podmínky chápat jako idealizované prostředí, ve kterém nedochází k odrazu hluku od okolních ploch. V katalogích výrobců toto bývá často označováno jako „hladina akustického tlaku měřená na volné ploše nad odrazivou rovinou“. V praxi to znamená, že uváděná hladina akustického tlaku bude nižší, než jak tomu bude v reálném prostředí, kde vždy nějaké odrazy jsou.

Při těchto nominálních hodnotách, které de facto výrobce určuje sám, tj. dle normy A7W35 (pro nízkoteplotní tepelná čerpadla), viz výše, nebo pro jiné, výrobcem stanovené výkonové parametry stroje, při kterých bylo měření prováděno, je pak v technickém listu konkrétního tepelného čerpadla uvedena hladina akustického tlaku v určité vzdálenosti $L_{pA,r}$ zpravidla 1, 3 nebo 5 m (i více) od zdroje hluku, nebo hladina akustického výkonu zdroje L_{WA} . Většina jednotek umí ohřívat vodu i na vyšší teplotu, takže se hladina akustického tlaku uvádí pro A7W55, ale v principu je to totéž.

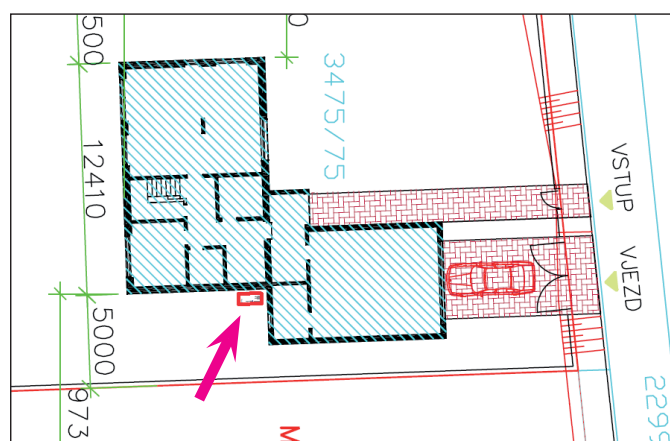
Tyto hodnoty pak používají projektanti k výpočtu šíření hluku v reálném prostředí. Hladina akustického výkonu A spolu s rozměrem jednotky charakterizuje zařízení jako celek, tedy odpovídá skutečné hlučnosti stroje, naopak hladina akustického tlaku A v určité vzdálenosti udávaná výrobcem je téměř vždy idealizovaná – z laboratoře, nebo změřená z té strany zařízení, kde není hluk vyzařován dominantně.

Z těchto důvodů je třeba si uvědomit, jak důležité je rozlišovat význam hladiny akustického výkonu nebo tlaku. Pokud projektant zamění tyto veličiny ve svých výpočtech, dopustí se značných chyb. Ze vztahu (3.11) lit. [1] je patrné, že pokud budeme srovnávat hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od stroje a hladinu akustického výkonu, bude jejich rozdíl přibližně 12 dB (pokud je zařízení malé). U rozměrnějších tepelných čerpadel to může být 15 dB i více.

Například v Německu je vždy udávána hlučnost při 100% výkonu tepelného čerpadla (www.waermepumpe.de).



a)



b)

Obr. 3 Situace s umístěním tepelného čerpadla: a) před fasádou rodinného domu; b) v rohu mezi dvěma fasádami rodinného domu

Fig. 3 Layout with the location of the heat pump: a) in front of the family house facade; b) in a corner between two facades of the family house

Obecně můžeme tvrdit, že venkovní jednotka dobrého tepelného čerpadla průměrně velkého rodinného domu vytváří ve vzdálenosti 1 m při plném výkonu hladinu akustického tlaku okolo $L_{pA,1m} = 50$ dB.

MĚŘENÍ IN-SITU

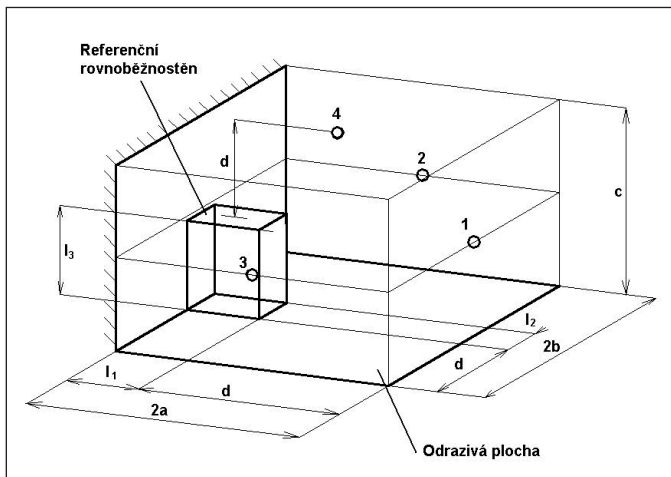
Pro porovnání katalogových a skutečných akustických parametrů tepelných čerpadel bylo provedeno měření ve dvou konkrétních případech. V prvním případě bylo tepelné čerpadlo umístěné před fasádou rodinného domu, viz obr. 3a. Ve druhém případě bylo tepelné čerpadlo umístěno v rohu mezi dvěma fasádami rodinného domu, viz obr. 3b.

Vzhledem k tomu, že výkon tepelného čerpadla nelze v některých případech jednoznačně zjistit, byla pro účely měření vždy majitelem přenastavena vnitřní požadovaná teplota vzduchu na 30 °C, kterou se docílil větší výkon zdroje. Přesný výkon tepelných čerpadel nebylo možné při měření jednoduše zjistit, neboť tyto typy čerpadel neukazovaly aktuální otáčky ani procentuální výkon.

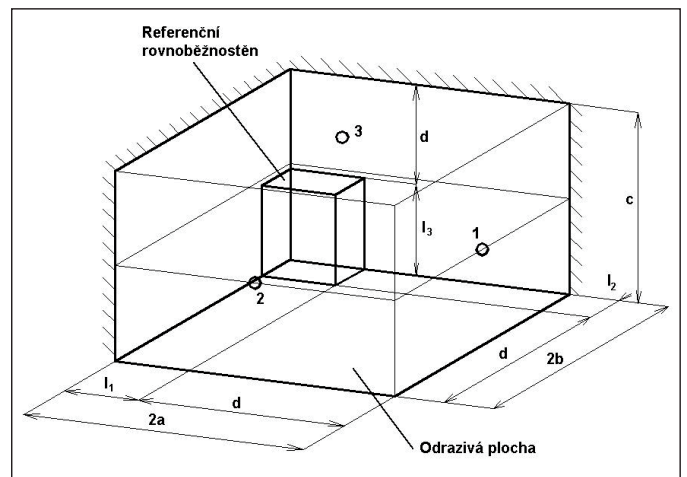
V případě tepelného čerpadla umístěného před fasádou rodinného domu (obr. 3a), byla při provozu tepelného čerpadla změřena hladina akustického tlaku A v sedmi předem určených bodech. Měřicí body se nacházely na pomyslné ploše ve tvaru rovnoběžnostěnu vzdáleného od povrchu zdroje hluku $d = 1$ m. Tvar měřicí plochy S byl určen normou ČSN EN ISO 3744 [3], viz obr. 4a. Touto plochou projde prakticky veškerý hluk vyzářený zdrojem do okolního prostředí (zanedbáváme pohltivost terénu a fasády a prostup části akustické energie dovnitř objektu konečnou neprůzvučností fasády). Pro přepočítání změřené hladiny akustického tlaku na hladinu akustického výkonu bylo potřeba na základě rozměrů zdroje (l_1 , l_2 a l_3) stanovit podle výše uvedené normy velikost měřicí plochy S . V našem případě byla vypočítána plocha o velikosti $S = 18$ m². Ze změřených údajů v jednotlivých měřicích místech byla vypočítána průměrná hladina akustického tlaku $L_{pA} = 56,4$ dB. S využitím velikosti měřicí plochy pak byla vypočítána hladina akustického výkonu $L_{WA} = 69$ dB.

Ve druhém případě byl měřen stejný typ tepelného čerpadla, avšak umístěný v rohu mezi dvěma fasádami rodinného domu. Měření a výpočet byly provedeny stejným způsobem jako v předchozím případě. Polohy měřicích bodů a velikost měřicí plochy byly stanoveny podle schématu na obr. 4b. V tomto případě byla stanovena průměrná hladina akustického tlaku $L_{pA} = 54,0$ dB a velikost měřicí plochy $S = 14,6$ m². Hladina akustického výkonu byla vypočítána $L_{WA} = 65,6$ dB.

V obou případech byla průměrná hladina akustického tlaku na měřicí ploše S stanovena jako logaritmický průměr naměřených hodnot, ko-



a)



b)

Obr. 4 Schéma měřicí plochy pro přepočet hladiny akustického tlaku na hladinu akustického výkonu pro zařízení na terénu: a) u jedné stěny; b) u dvou stěn [3]
 Fig. 4 Schematic diagram of measuring surface for conversion of sound pressure level to sound power level for device on the ground: a) adjacent to one wall; b) adjacent to two walls [3]

rigovaných na hluk pozadí. Z měření byly vyloučeny nahodilé události, které nesouvisely s předmětem měření. Podrobné údaje o podmínkách měření a frekvenční charakteristiky měřených tepelných čerpadel jsou k dispozici u autorů tohoto článku.

V rámci komplexního posouzení hlučnosti tepelných čerpadel bylo provedeno měření hluku na hranici sousedního pozemku za účelem zjištění tónové složky. V obou případech byla v hlukovém spektru zdroje hluku identifikována tónová složka. V případě měření tepelného čerpadla umístěného před fasádou rodinného domu byla na hranici pozemku zjištěna tónová složka ve frekvenčních pásmech 50 a 200 Hz, ve druhém případě pak ve frekvenčních pásmech 80, 100 a 16 000 Hz. V obou případech je tedy nutné dodržet přísnější hygienické limity hluku s použitím korekce -5 dB dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2].

PŘEPOČET HLADINY AKUSTICKÉHO VÝKONU SE VZDÁLENOSTÍ

Hladinu akustického tlaku A lze při šíření hluku od tepelného čerpadla umístěného ve venkovním prostoru vypočítat dle vzorce:

$$L_{pA} = L_{WA} + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right) \quad \text{[dB]} \quad (2)$$

kde je:

- L_{pA} hladina akustického tlaku [dB] ve vzdálenosti r [m],
- L_{WA} hladina akustického výkonu zdroje [dB],
- Q činitel směrovosti [-].

V prvním případě, kdy je tepelné čerpadlo umístěné na terénu před rovinou fasády, je činitel směrovosti roven hodnotě 4. Ve druhém případě, kdy je čerpadlo umístěné v rohu mezi dvěma fasádami, nabývá činitel směrovosti hodnoty 8.

Při použití hladiny akustického výkonu uváděné výrobcem $L_{WA} = 53,0$ dB (odečteno z technického listu), bude dodržen hygienický limit dle [2] pro $n=1$ obou $L_{pA} = 35,0$ dB (s uvažováním tónové složky) ve vzdálenosti 4 metry od zdroje.

Při použití akustického výkonu $L_{WA} = 69$ dB vypočítaného na základě

skutečně naměřených hodnot bude hygienický limit hluku chráněný venkovní prostor stavby dle [2] dodržen ve vzdálenosti až 20 m.

Rozdíl vzdáleností potřebných pro splnění hygienických limitů pro chráněný venkovní prostor staveb stanovený z hodnoty udávané výrobcem (pro jmenovité podmínky a 40% výkon tepelného čerpadla) a hodnoty reálně naměřené je pětinašobný.

Pro lepší představu o šíření hluku jsou v tab. 2 a 3 vypočítány hladiny akustických tlaků L_{pA} ve vybraných vzdálenostech pro oba případy.

Tab. 2 Porovnání výsledků (první případ – tepelné čerpadlo před fasádou RD) L_{pA} při použití hodnoty L_{WA} naměřené při 100% chodu tepelného čerpadla a udávané výrobcem při 40% chodu tepelného čerpadla

Tab. 2 Results comparison (first case – heat pump in front of the FH facade) of the L_{pA} with use of the L_{WA} values measured at 100 % heat pump operation and declared by the manufacturer at 40 % heat pump operation

Vzdálenost od zdroje r [m]	1	2	3	4	5	15	20	29
L_{pA} [dB] (pro změřenou hodnotu $L_{WA} = 69$ dB)	64,0	58,0	54,5	52,0	50,0	40,5	38	34,8
L_{pA} [dB] (pro hodnotu udávanou výrobcem $L_{WA} = 53,0$ dB)	48,0	42,0	38,5	36,0	34,0	24,5	22,0	18,8

Tab. 3 Porovnání výsledků (druhý případ – tepelné čerpadlo v rohu mezi fasádami RD) L_{pA} při použití hodnoty L_{WA} naměřené při 100% chodu tepelného čerpadla a udávané výrobcem při 40% chodu tepelného čerpadla

Tab. 3 Results comparison (second case – heat pump in a corner of two FH facades) of the L_{pA} with use of the L_{WA} values measured at 100 % heat pump operation and declared by the manufacturer at 40 % heat pump operation

Vzdálenost od zdroje r [m]	1	2	3	4	7	15	20	27
L_{pA} [dB] (pro změřenou hodnotu $L_{WA} = 65,6$ dB)	63,6	57,6	54,1	51,6	46,7	40,1	37,6	35,0
L_{pA} [dB] (pro hodnotu udávanou výrobcem $L_{WA} = 53,0$ dB)	51,0	45,0	41,5	39,0	34,1	27,5	25,0	22,4

Z tab. 2 a 3 je zřejmé, že hluk naměřený při 100% výkonu tepelného čerpadla (tedy při maximálních otáčkách) je řádově vyšší než při 40% výkonu (téměř polovičních otáčkách), který uvádí výrobce. Charakteristickou vlastností ventilátorů je totiž jejich lineární závislost dopravovaného množství na otáčkách. Dopravní tlak ventilátorů je pak funkcí druhé mocniny otáček. Hladina akustického výkonu ventilátoru bude tedy narůstat dle funkční závislosti ve vztahu (1), viz výše.

V praxi to znamená, že pokud zvýšíme u ventilátoru otáčky dvojnásobně, zvýší se celková hladina akustického výkonu o 15 dB.

Z tab. 2 je patrné, že tepelné čerpadlo vykazuje při 100% výkonu hladinu akustického výkonu o cca 16 dB vyšší, než udává výrobce, tedy při provozu na 40 %.

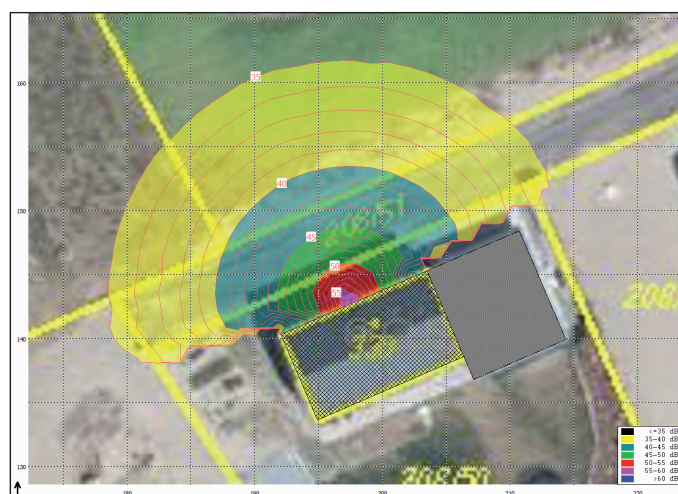
V tab. 3 je rozdíl mezi hladinou akustického výkonu udávanou výrobcem a naměřenou pouze 12,6 dB, což dokazuje, že venkovní jednotka pravděpodobně neběžela při měření na maximální možné otáčky.

Pro představu, jak se šíří hluk od tepelného čerpadla, jsou na obr. 5 znázorněny izofony (křivky s konstantní hladinou akustického tlaku) pro oba případy umístění tepelného čerpadla.

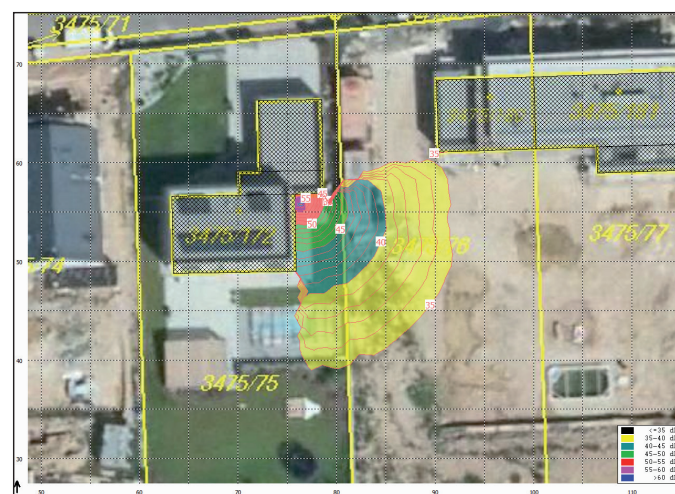
Jak bylo výše uvedeno, v praxi je velmi obtížné nastavit pro měření požadované parametry tepelného čerpadla (obvykle 100% provozní stav), zvláště má-li to provést uživatel (majitel) objektu. Dalšími překážkami jsou pak odběrové a klimatické podmínky.

MODEL

Obě situace byly vymodelovány v programu HLUK+ verze 12.52 profilX. Obecně je pro výpočty uváděné v hlukových studiích pro zdroj hluku, kterým je například tepelné čerpadlo, použit bodový zdroj, což je nejjednodušší matematické nahrazení reálných zdrojů. Toto zjednodušení je možné použít v případech, kdy požadujeme výpočet hladiny akustického tlaku pro několikanásobně větší vzdálenosti, než jsou rozměry zdroje. Často je však nutné zdroj hluku popsat věrohodněji, např. kombinací bodových, plošných nebo objemových zdrojů hluku. Teoretickému zdroji se přiřadí hladina akustického výkonu L_{WA} nebo hladina akustického tlaku L_{pA} udávaná výrobcem a hodnota činitele směrovosti Q podle toho, kde je jednotka umístěna. Dále se vytipují body před nejbližším chráněným venkovním prostorem nebo chráněným venkovním prostorem stavby a provede se porovnání výsledků výpočtu s hygienickými limity hluku [2].



a)



b)

Obr. 5 Vykreslené izofony ve výšce 2 m nad úrovní terénu s umístěním tepelného čerpadla: a) u jedné stěny $Q = 4$; b) u dvou stěn $Q = 8$ [3]

Fig. 5 Rendered isophones at the height of 2 m above ground level for the heat pump: a) adjacent to one wall $Q = 4$; b) adjacent to two walls $Q = 8$ [3]

Tab. 4 Kalibrace výsledků modelu s naměřenými hodnotami

Tab. 4 Calibration of the model results with measured values

Bod		L_{pA} [dB]						
		1	2	3	4	5	6	7
TČ1	Změřeno	58,6	56,5	55,4	57,4	54,0	55,4	54,8
	Model HLUK+	58,4	57,7	55,3	58,4	54,8	57,2	53,9
	Rozdíl	0,2	1,2	0,1	1,0	0,8	1,8	0,9
TČ2	Změřeno	55,4	-	-	54,2	52,3	54,5	52,9
	Model HLUK+	55,8	-	-	55,3	52,8	55,2	53,6
	Rozdíl	0,4	-	-	1,1	0,5	0,7	0,7

Pro účely kalibrace naměřených a vypočítaných údajů byl sestaven model vycházející z hladin akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zařízení. Tyto údaje jsou dostupné jak dle katalogu (metodika dle ČSN EN 12102-1), tak dle měření skutečného stavu dle metodiky pro stanovení akustického výkonu ČSN EN ISO 3744 [3].

Zdroj hluku, kterým je tepelné čerpadlo, nemůžeme v takto malých vzdálenostech modelovat jako bodový zdroj, a proto byl vymodelován kvádr o skutečných rozměrech, na jehož stěny byly přiřazeny odpovídající plošné zdroje hluku. Pro porovnání naměřených hodnot s vypočítanými ve stejných bodech slouží tab. 4. První řešený případ s tepelným čerpadlem u fasády rodinného domu je v tabulce označen jako TČ1, druhý případ s tepelným čerpadlem v rohu mezi fasádami jako TČ2.

Z tab. 4 je patrné, že se modely podařilo nakalibrovat pro jednotlivé body ve vzdálenosti 1 m od zdroje s přesností do 2,0 dB. Takový rozdíl je při běžném měření na úrovni nejistoty měření a zpravidla se další zpřesňování kalibrace neprovádí.

V dalším kroku byl stejný model použit pro zhodnocení hluku na hranici pozemků. V prvním případě (TČ1), kde se hranice pozemku nacházela ve vzdálenosti 7 m od zdroje, byla vypočítána hladina akustického tlaku $L_{pA} = 39,6$ dB, následně změřena $L_{pA} = 40,6$ dB. Ve druhém případě (TČ2), kde byla hranice pozemku ve vzdálenosti 4,1 m od zdroje, byla vypočítána hladina akustického tlaku $L_{pA} = 46,0$ dB a poté změřena $L_{pA} = 47,5$ dB.

V obou variantách je možné konstatovat, že byl opět dodržen rozdíl max. 2 dB, který je dán nejistotou jak měření, tak výpočtového modelu.

ZÁVĚR

Hladiny akustického tlaku změřené při maximálním provozním režimu tepelného čerpadla, což odpovídá podmínkám kolaudačního měření, se podstatně liší od těch, které uvádí výrobce tepelného čerpadla ve svém technickém listu. V technickém listu je převážně uváděna hladina akustického tlaku L_{pA} nebo hladina akustického výkonu L_{WA} při jmenovitých podmínkách dle normy ČSN EN 12102 [4], tedy při 40% výkonu.

Při kolaudačním měření není možné, aby uživatel tepelného čerpadla nastavil jmenovité podmínky určené výrobcem, a z pohledu ověření hygienických limitů hluku to není ani žádoucí. Proto se pro měření hluku tepelného čerpadla využívá metoda, kdy je uživatelem skokově navýšena teplota na regulátoru v interiéru nebo zvýšena teplota v zásobníku teplé vody, což vede ke zvýšení výkonu tepelného čerpadla na maximum. U tepelných čerpadel není většinou známo, při jakém výkonostním režimu v daném okamžiku pracují.

Dalším hlavním vstupním parametrem pro chod tepelného čerpadla, který se nedá při měření ovlivnit, je teplota venkovního vzduchu, která de facto určuje maximální provozní výkon čerpadla v době měření. To znamená, že se hluk tepelného čerpadla při požadavku na maximální výkon může s roční dobou mírně lišit.

Z měření je patrné, že výrobcem udávaná hladina akustického výkonu L_{WA} je přibližně o 15 dB nižší, než která byla skutečně naměřená při 100% výkonu. Je to dáno tím, že výrobce udává hlukové parametry pro 40% výkon tepelného čerpadla, což není z hlediska ověření hygienických limitů vyžadovaných legislativou [2] použitelné. Jak bylo výše ověřeno, zvýšením otáček na dvojnásobek se hladina akustického tlaku L_{pA} zvýší o 15 dB. Ve druhém případě byl rozdíl pouze cca 13 dB, což je přisuzováno tomu, že tepelné čerpadlo nebylo pravděpodobně v provozu na maximální možný výkon. Každopádně oba případy prokázaly propastný rozdíl mezi daty deklarovanými výrobcem a provozním stavem požadovaným hygienickým předpisem.

Pro projektanta to znamená, že se v prvním případě pětinašobně zvětšila vzdálenost, ve které je možné umístit chráněný venkovní prostor stavby (plánovaný objekt), před kterým budou dodrženy hygienické limity hluku [2].

Při určování zátěže hluku před nejbližším chráněným venkovním prostorem je nutné při výpočtu používat hladinu akustického výkonu L_{WA} při maximálním výkonu tepelného čerpadla, které udávají např. <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/schallrechner/>.

V případě, že tato hodnota není výrobcem uvedena, lze na základě poznatků uvedených v tomto článku maximální hodnotu odhadnout. Uvedený odhad sice nebude 100% přesný, ale bude s větší pravděpodobností reprezentovat realitu ověřovanou při kolaudačním měření. Projektant tím dosáhne značných úspor při řešení nevyhovující situace, která poměrně často nastává po spuštění tepelného čerpadla, u kterého je provozní hluk takto silně podhodnocen.

Na závěr je potřeba si uvědomit, že z hlediska tepelně technického je právě 40% jmenovitý výkon tou reprezentativní provozní hodnotou, která slouží pro porovnávání hlučnosti tepelných čerpadel mezi sebou. Nicméně projektant, který umísťuje tepelné čerpadlo do blízkosti prostor vyžadující ochranu před hlukem, si musí být těchto závěrů vědom, neboť je to právě on, kdo za návrh nese odpovědnost.

Kontakt na autory: miroslav.kucera@fs.cvut.cz; jan.kralicek@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] NOVÝ, R. Hluk a chvění. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2009. 400 s. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [2] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění novely č. 217/2016 Sb.
- [3] ČSN EN ISO 3744. Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technická metoda pro přibližně volné pole nad odrazivou rovinou. Český normalizační institut. 1996.
- [4] ČSN EN 12102-1. Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla, procesní chladiče a odvlhčovače s elektricky poháněnými kompresory – Stanovení hladiny akustického výkonu – Část 1: Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla pro ohřívání a chlazení prostoru, odvlhčovače a procesní chladiče. Úřad pro normalizaci, měření a státní zkušebnictví. 2018.
- [5] <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky> [online]
- [6] <https://www.stiebel-eltron.cz> [online]
- [7] <https://www.cerpadla-ivt.cz> [online]
- [8] www.waermepumpe.de [online]
- [9] KRÁLÍČEK, J., KUČERA, M., KRÁLÍČEK, J. Acoustic design of noise protection and noise mapping for heat pumps in the courtyard of a residential building. In: *The 25th International Congress on Sound and Vibration*. ISSN 2329-3675. ISBN 978-83-7880-552-6. Hiroshima, Japan, 2018.
- [10] KRÁLÍČEK, J., KUČERA, M. Experimental evaluation of aerodynamic noise and fluctuations of turbulent flow over a terminal diffuser of a ventilation system. In: *The 25th International Congress on Sound and Vibration*. ISSN 2329-3675. ISBN 978-83-7880-552-6. Hiroshima, Japan, 2018.