

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

ŠÍŘENÍ ZVUKU VE VENKOVNÍM PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

KAREL NOSEK

8-IB-2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Nosek	Jméno: Karel	Osobní číslo: 397073
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávací katedra/ústav:	Ústav techniky prostředí		
Studijní program:	Inteligentní budovy		
Studijní obor:	bez oboru		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Šíření zvuku ve venkovním prostředí

Název diplomové práce anglicky:

Sound Propagation in Outdoor Environment

Pokyny pro vypracování:

Řešte šíření zvuku od zdrojů techniky prostředí. Proveďte měření hlukové situace na konkrétním objektu, popište jednotlivé zdroje hluku, vytvořte matematický model skutečné situace v dostupných softwarech vhodných pro výpočty hluku ve venkovním prostředí. Výsledky výpočtu porovnejte s provedeným měření.

Seznam doporučené literatury:

Nový, R.: Hluk a chvění. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2000. 389s. ISBN 80-02246- 3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miroslav Kučera, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **24.04.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **24.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Miroslav Kučera, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

_____ _____

Datum převzetí zadání Podpis studenta

SOUHRN

Tato diplomová práce se zabývá problematikou hluku spojenou s provozem tepelných čerpadel typu vzduch/voda. Řeší, jaké hlukové parametry má k dispozici projektant tepelného čerpadla a jaké jsou skutečně naměřené hodnoty hladin akustického tlaku in-situ. Pro účely diplomové práce bylo provedeno několik měření tepelných čerpadel různých výrobců a jejich hladin akustických výkonů, která slouží pro ohřev a vytápění rodinných domů. Pro všechna provedená měření byl vytvořen výpočetní model v programu HLUK+. Dále byly získány technické údaje od výrobců, které jsou v závěru zhodnoceny a porovnány s naměřenými a vypočtenými hodnotami.

SUMMARY

This diploma thesis deals with problems of noise involved in operation of heat pumps – air/water type. The thesis also deals with noise parameters, which are available for designers and concerns to differences with real measured levels of acoustic pressure in-situ. For purposes of this thesis were done several measurements of heat pumps. Measured heat pumps came from different manufacturers and had different levels of power. For all measurements were created mathematic model in HLUK+ software. In the conclusion there is comparison of manufacturer's values, real measured values and calculated values.

PROHLÁŠENÍ O SAMOSTATNÉM VYPRACOVÁNÍ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Šíření zvuku ve venkovním prostředí“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslavem Kučerou, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 24. 6. 2019

Karel Nosek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem majitelům tepelných čerpadel, kteří poskytli přístup na pozemek a součinnost při měření pro účely této diplomové práce. Dále především svému vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Kučerovi Ph.D. za pomoc při měření, odborné vedení, cenné rady a připomínky.

OBSAH

OBSAH	6
SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	8
1 ÚVOD.....	9
2 HLUK A ZDRAVOTNÍ ÚČINKY.....	12
2.1 Základní hlukové údaje.....	13
2.2 Legislativa a hygienické limity	13
2.2.1 Chráněný venkovní prostor	14
2.2.2 Chráněný venkovní prostor stavby	14
2.2.3 Chráněný vnitřní prostor stavby.....	15
2.3 Metody snižování hluku.....	16
2.4 Zjištění hluku z tepelného čerpadla	17
2.4.1 Údaj od výrobce.....	18
2.4.2 Výpočet	19
2.4.3 Akustická studie	19
2.4.4 Akustická měření.....	20
3 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ	21
3.1 Měření č. 1 - IVT AIR X50	25
3.1.1 Naměřená data	25
3.1.2 Výpočetní model	27
3.1.3 Závěr.....	28
3.2 Měření č. 2 - IVT AIR X50	29
3.2.1 Naměřená data	29
3.2.2 Výpočetní model	31
3.2.3 Závěr.....	32
3.3 Měření č. 3 - IVT AIR X50	34
3.3.1 Naměřená data	34
3.3.2 Výpočetní model	36
3.3.3 Závěr.....	37
3.4 Měření č. 4 - IVT AIR X50	38
3.4.1 Naměřená data	38
3.4.2 Výpočetní model	40

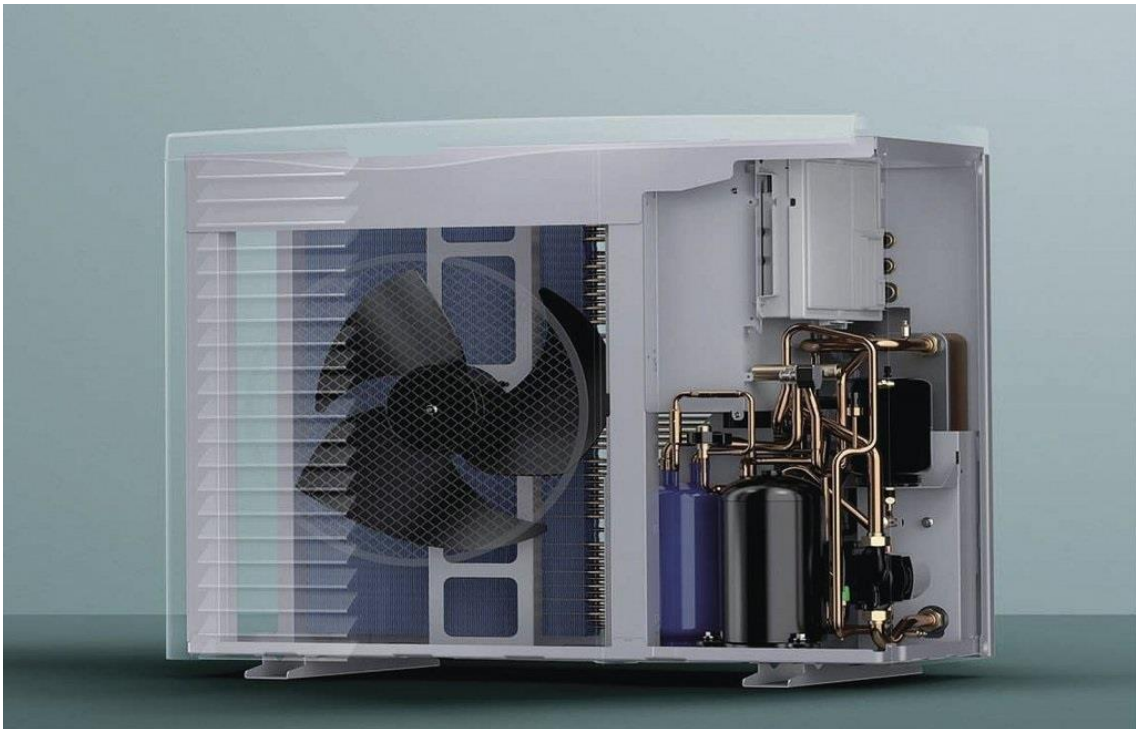
3.4.3	Závěr.....	41
3.5	Měření č. 5 - Panasonic WH-UD07HE5-1	42
3.5.1	Naměřená data	43
3.5.2	Výpočetní model	44
3.5.3	Závěr.....	45
3.6	Měření č. 6 - Panasonic WH-UD07HE5-1	46
3.6.1	Naměřená data	46
3.6.2	Výpočetní model	48
3.6.3	Závěr.....	49
3.7	Měření č. 7 - Panasonic WH-UD07HE5-1	50
3.7.1	Naměřená data	50
3.7.2	Výpočetní model	52
3.7.3	Závěr.....	52
3.8	Měření č. 8 - IVT AIR X90	53
3.8.1	Naměřená data	53
3.8.2	Výpočetní model	55
3.8.3	Závěr.....	55
3.9	Měření č. 9 - Sinclair DC Inverter ASGE-18AIN	57
3.9.1	Naměřená data	57
3.9.2	Výpočetní model	59
3.9.3	Závěr.....	60
3.10	Měření č. 10 - NIBE AMS 10-6	61
3.10.1	Naměřená data	61
3.10.2	Výpočetní model	63
3.10.1	Závěr.....	63
3.11	Měření č. 11 – Schlieger Air Economy 15.....	64
3.11.1	Naměřená data	65
3.11.2	Výpočetní model	66
3.11.3	Závěr.....	69
4	VÝPOČTOVÁ METODA	71
5	ZÁVĚR.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	76
	SEZNAM PŘÍLOH NA PŘILOŽENÉM CD	78

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

<i>D</i>	útlum	[dB]
<i>Q</i>	činitel směrovosti	[-]
<i>L_{Aeq,T}</i>	ekvivalentní hladina akustického tlaku A	[dB]
<i>L_p</i>	celková hladina akustického tlaku	[dB]
<i>L_w</i>	celková hladina akustického výkonu	[dB]
<i>S</i>	měřicí plocha	[m ²]
<i>f</i>	kmitočet	[Hz]
<i>r</i>	vzdálenost mezi zdrojem a kontrolním místem	[m]
<i>n</i>	otáčky stroje	[ot/min]
Indexy		
<i>A</i>	hodnota korigovaná váhovým filtrem A	
max.	maximální hladina	
poz.	hluk pozadí	
1	maximální otáčky	
2	okamžité otáčky	

1 ÚVOD

Tepelné čerpadlo je v dnešní době jedním z nejpoužívanějších zdrojů tepla pro ohřev teplé vody a vytápění rodinných domů. S provozem tepelného čerpadla typu vzduch/voda je také spojen hluk, který vzniká především prouděním vzduchu a mechanickou činností stroje. Zdroj pro tepelné čerpadlo je energie venkovního vzduchu, která je v naší zeměpisné šířce velmi proměnlivá. V praxi to znamená, že pro vyšší výkon tepelného čerpadla je nutné přivádět venkovní vzduch o vyšší teplotě. Primárním zdrojem hluku venkovní jednotky tepelného čerpadla je turbulentní proudění vzduchu ventilátorovým kolem a dále kompresor, který je na Obr. 1 umístěn v pravém dolním rohu. [14]



Obr. 1 Venkovní jednotka tepelného čerpadla [6]

V tepelných čerpadlech jsou axiální ventilátory, které jsou oproti radiálním používány k dostatečnému zajištění množství vzduchu, který prochází ventilátorem pro výměník kondenzátoru za cenu malého dopravního tlaku. Ve frekvenčním spektru je ventilátor zastoupen zejména ve středních a vyšších frekvencích. U axiálního ventilátoru je problém, že ho není možné zatížit dodatečnou tlakovou ztrátou ve formě tlumičů hluku. Pro snižování hluku někteří výrobci provádí tvarování lopatek, např. vytváří na hraně lopatky malé zoubky, které dokáží deformovat vírové struktury vznikající za obtékaným předmětem.

Další možnou úpravou může být mřížková konstrukce na výdechu ventilátoru, která rozbije vírové struktury a dokáže účinně tlumit hluk. Vyzařovaný hluk z těchto tepelných zařízení se zásadně liší zejména podle tvaru kol ventilátoru, zvolených materiálů, motorů a použitých komponent. Z toho vyplývá, že levné tepelné čerpadlo nemůže být tiché. Největším zdrojem hluku točivého zařízení jsou jeho otáčky. V literatuře [1] je možné nalézt vztah (1) pro kvalifikovaný odhad, kdy při dvojnásobném zvýšení otáček ventilátoru vroste hladina akustického výkonu o 15 dB. [14]

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

kde je L_{wA} [dB] hladina akustického výkonu,

n [-] otáčky.

Hladinu akustického výkonu tepelného čerpadla pro pracovní bod, tj. s nejvyšší účinností, je také možné odhadnout dle vztahu

$$L_{WA} = 100 + 10 \cdot \log(P), \quad (2)$$

kde je L_{wA} [dB] hladina akustického výkonu,

P [W] výkon ventilátoru.

Výrobci tepelných čerpadel se stále více snaží snižovat hluk za pomoci nových výrobních procesů, materiálů apod. Rádi ale také ve svých produktových katalozích uvádějí marketingové formulace, kterými jsou např. „nejtišší tepelné čerpadlo na trhu“, „tišší než obvykle“, apod. Vždy je dobré vybrat typ jednotky konzultovat s odborníkem, který dokáže posoudit, případně vypočítat, zda je tepelné čerpadlo pro vaši potřebu a umístění vhodné a zda bude potřeba řešit další protihluková opatření. Moderní zařízení disponují denním a nočním nebo někdy také nazývaným útlumovým režimem. V praxi to znamená, že tepelné čerpadlo je v noční době nastaveno do režimu nižšího výkonu a hladina akustického výkonu může být o cca 3 dB nižší než pro chod v denní době. Na první pohled je možné z hlediska přenosu hluku rozlišit tepelná čerpadla kvalitní a méně kvalitní. Pro kvalitní tepelné čerpadlo je udávaná hladina akustického výkonu

okolo $L_{WA} = 60$ dB při 100 % výkonu, méně kvalitní tepelná čerpadla dosahují hodnot okolo $L_{WA} = 70$ dB i více.

Tepelná čerpadla se nejvíce používají u rodinných domů, kde je nejčastější umístění jednotky před jednu z fasád. [14]

Pokud se tepelné čerpadlo umísťuje do obydlené lokality, je potřeba zajistit, aby byly u nejbližších chráněných venkovních prostor staveb nebo v chráněných prostor dodrženy limitní ekvivalentní hladiny akustického tlaku A dle Nařízení vlády 272/2011 Sb. [2].

2 HLUK A ZDRAVOTNÍ ÚČINKY

Nejprve je nutné rozlišit pojmy, kterými jsou zvuk a hluk. Zvuk je definován jako mechanické kmitání, které dokáže lidské ucho zaznamenat v rozsahu 16 Hz až 20 000 Hz. Ve vzduchu se zvuk pohybuje rychlostí 340 m/s, ve vodě až 1440 m/s. Avšak hlukem je nazýván zvuk, který vnímá lidské ucho jako rušivý signál. Každým jedincem je vnímání hluku subjektivní. Nadměrný hluk má velmi negativní vliv na lidský organismus, kdy může dojít při dlouhodobém vystavování se nadměrnému hluku k dočasné nebo dokonce trvalé poruše zdraví. Mezi dočasnou poruchu zdraví můžeme zahrnout např. zvýšení krevního tlaku, únavu, poruchy spánku, depresi, apod. V nejhorším případě postupně nastává nevratná sluchová ztráta způsobená poškozením sluchových buněk ve vnitřním uchu, to však u tepelného čerpadla nehrozí.

Účinek na lidské ucho a zdraví je dán především intenzitou hluku. Pro člověka není příjemná příliš nízká ani vysoká intenzita hluku. Expozice hluku je určována hladinou akustického tlaku A. Váhový filtr A zohledňuje vnímání lidského ucha. Pro představu je v následujících řádcích uvedena stupnice citlivosti lidského ucha (L_{pA}):

20 dB – hluboké ticho – lze přirovnat k zasněženému lesu, nahrávacímu studiu – pro některé jedince nepříjemné ticho

30 dB – příjemné ticho – noční klid v přírodě, obytná místnost s uzavřenými okny bez vlivu ruchu ulice

60 dB – mírný hluk – běžný hovor (v 1 m)

85 dB – silný hluk – ve strojírenském provozu – při trvalém pobytu osob nastává trvalá porucha sluchu

130 dB – práh bolesti – start vojenské stíhačky – přichází bolest ucha

160 dB – protržení bubínku

Nadměrný hluk je nebezpečný proto, že lidské ucho není samo o sobě schopno se před nepříznivými účinky hluku bránit. Před světlem se člověk ochrání tím, že zavře oči, ale před hlukem žádná taková obrana neexistuje. Proto je kladen důraz na výrobky generující hluk, aby co nejméně zatěžovaly okolí hlukem. [1], [7], [12]

2.1 Základní hlukové údaje

V praxi je musí projektant vždy rozlišovat hladinu akustického tlaku L_{pA} a hladinu akustického výkonu L_{WA} . Protože dle rovnice (3) je mezi veličinami rozdíl i 10 dB ve vzdálenosti 1 m.

Hladina akustického výkonu

Hodnota hladiny akustického výkonu L_W určuje vlastnost zdroje, tedy akustický výkon generovaný do okolí.

Hladina akustického tlaku

Hodnota hladiny akustického tlaku L_p určuje stav prostředí v daném místě. Tato hodnota je nejčastěji uváděna ve vzdálenostech 1, 3 a 5 metrů. Projektant by tedy měl znát, v jaké vzdálenosti bylo L_p změřeno.

Při řešení šíření zvuku ve venkovním prostředí je možné L_p popsat obecně platný vztahem

$$L_p = L_W - 10 \cdot \log \frac{Q}{4\pi \cdot r^2} [dB], \quad (3)$$

kde je L_p [dB]	hladina akustického tlaku v dané vzdálenosti,
L_W [dB]	hladina akustického výkonu zdroje,
Q [-]	činitel směrovosti,
r [m]	vzdálenost mezi zdrojem a konkrétním místem.

Výše uvedený vztah lze použít pouze v případě, že se mezi sledovaným zdrojem hluku a posuzovaným místem hodnocení nenachází žádná překážka.

2.2 Legislativa a hygienické limity

Ochranu obyvatel před hlukem určuje z legislativního hlediska zákon 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví [3], který pro přenos hluku rozlišuje níže popsané chráněné prostory. K těmto chráněným prostorům jsou určeny přípustné hygienické limity hluku dle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [2].

2.2.1 Chráněný venkovní prostor

Chráněný venkovní prostor je každý nezastavěný pozemek, který je užíván k rekreaci, léčebné péči či výuce. Chráněným venkovním prostorem není lesní a zemědělský pozemek tzn., že zahrada u rodinného domu není chráněný venkovní prostor a nevztahují se tedy pro tento prostor hygienické limity hluku.

2.2.2 Chráněný venkovní prostor stavby

Chráněným venkovním prostorem stavby se rozumí prostor do vzdálenosti 2 metrů 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, konkrétně pro hluk ze stacionárních zdrojů, jsou pro tyto chráněné venkovní prostory uvedeny v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2].

Hygienické limity hluku uvedené v tomto nařízení se porovnávají s vypočítanou nebo změřenou ekvivalentní hladinou akustického tlaku A. Pro denní dobu se ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeq} stanovuje pro 8 nejhlučnějších a na sebe navazujících hodin ($L_{Aeq,8h}$) a 1 nejhlučnější hodinu ($L_{Aeq,1h}$) pro noční dobu.

V případě hluku s výskytem tónové složky se přičte k hygienickým limitům v tabulce korekce -5 dB.

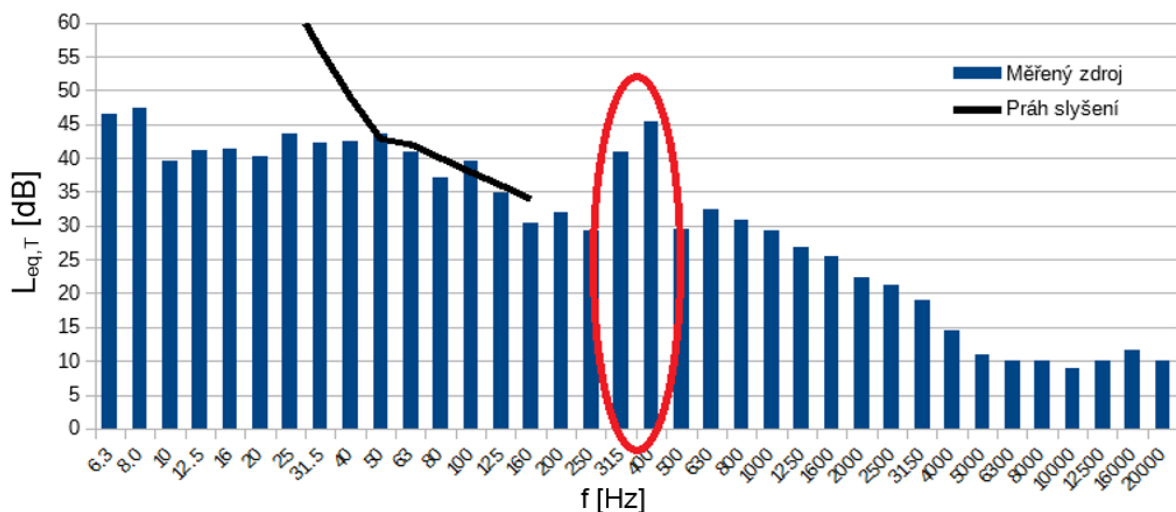
Tab. 1: Hygienické limity hluku – exteriér

Druh chráněného prostoru	Hygienický limit	
	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 ostatní chráněný venkovní prostor	50	40

Tónová složka

V nařízení vlády 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.*“

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 nepříjemné pískání, na nízkých pak jako dunění.



Obr. 2 Grafické znázornění tónové složky

Příklad tónové složky při frekvenci 315 a 400 Hz je znázorněn na předchozím obrázku, jedná se o klasický případ lopatkové frekvence točivých strojů. Naopak pískání ve vyšších frekvencích je typickým případem pro aerodynamické zdroje hluku při obtékání ve vyšších rychlostech, nebo výtok tekutiny z úzké štěrbiny – ventily (škrtecí ventily).

2.2.3 Chráněný vnitřní prostor stavby

Chráněný vnitřní prostor stavby je každá obytná místnost ve všech stavbách, kterými jsou rodinné a bytové domy, apod. Dále jsou to pobytové místnosti ve stavbách vzdělávacích, zdravotnických, sociálních a jim podobných zařízení.

Hygienické limity hluku, konkrétně pro hluk ze stacionárních zdrojů, jsou pro tyto chráněné vnitřní prostory uvedeny v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2], jak uvádí Tab. 2. Tyto limity jsou uvedené jak pro L_{Aeq} , tak i pro L_{max} .

Tab. 2: Hygienické limity hluku - interiér

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Hygienický limit [dB]
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	40
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	25
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	35
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	40
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	30
Přednáškové sítě, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	po dobu používání	45

2.3 Metody snižování hluku

V předchozí kapitole byly zmíněny účinky hluku na lidský organismus, je tedy nutné v případě umístování nového zdroje hluku řešit hlukové zatížení na okolí. Proto, aby byly dodrženy předepsané hygienické limity hluku, je v některých případech nutné řešit protihluková opatření. Zda budou tato opatření potřeba, je možné prokázat akustickou studií nebo měřením hluku in-situ.

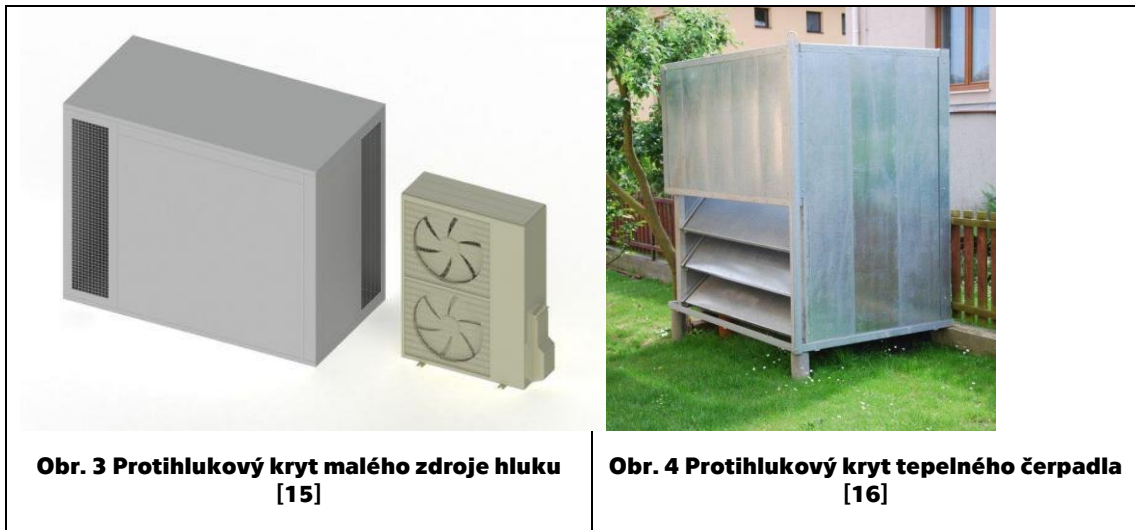
Nejúčinnějším opatřením, ve fázi projektu, je zdroj hluku (v tomto případě tepelné čerpadlo) nahradit jiným, tišším zařízením nebo zdroj provozovat, především v noční době, v tichém nebo útlumovém režimu. Také je vhodné zvolit správný kompromis mezi ekonomickým a technickým řešením situace.

Dalším možným řešením je zvolit vhodné umístění tepelného čerpadla. Správně zvolenou situací můžeme předejít pozdějším problémům a dalším nákladným protihlukovým opatřením. Volba umístění by měla být konzultována s projektantem nebo specialistou v oboru akustika.

Pokud ani jedna z předchozích variant není účinná, přistupuje se k akustickým izolacím tepelného čerpadla. V některých případech je ještě možné před tepelné čerpadlo směrem k chráněnému venkovnímu prostoru umístit protihlukovou clonu. Pokud je tepelné čerpadlo umístěno do problematické lokality tzn., v blízkosti umístovaného zdroje jsou chráněné venkovní prostory, může jím

být například vnitroblok bytové zástavby, je nutné tepelné čerpadlo opatřit protihlukovým krytem. V hlukové studii nebo samotným měřením akustik určí, jaký minimální útlum D [dB] je požadován pro protihlukový kryt. Přesný typ použitého čerpadla a navržený útlum zašle investor výrobci protihlukových krytů, který tento kryt vyrobí na míru.

Na následujících obrázcích jsou vidět dva příklady protihlukových krytů tepelných čerpadel.



2.4 Zjištění hluku z tepelného čerpadla

Akustické parametry technického zdroje musí vždy uvádět výrobce ve svém technické listu. Z těchto údajů je možné několika způsoby provést vyhodnocení přenosu hluku v posuzovaném místě. Jednou z možných variant zjištění hlučnosti je prostý výpočet. Tento způsob posouzení je možný pouze v případě, kdy se hluk šíří ve volném prostoru bez stínících a odrazivých prvků. Jestliže je situace členitá a jedná se např. o hustou zástavbu, kterou může být soubor rodinných domů, je nutné přenechat výpočet odborníkovi, který za pomoci výpočetního softwaru provede výpočet. Předchozí dvě varianty se nejčastěji uplatňují před samotným návrhem a realizací tepelného čerpadla. V případě stávající jednotky je nejjednodušším způsobem emitující hluk změřit in-situ. Měření mohou být akreditovaná, vhodná např. jako podklad pro hygienickou stanici při kolaudaci objektu, nebo orientační, která jsou bez zápisu a akreditovaného protokolu o měření slouží projektantovi k návrhu úprav.

2.4.1 Údaj od výrobce

Hluk tepelných čerpadel je výrobcem měřen v laboratorních podmínkách dle normy ČSN EN 12102. [5] Měření probíhá za nominálních podmínek tepelného čerpadla, proto je velice obtížné určit přesnou hlučnost stroje, kdy nevíme, jaké jsou maximální otáčky zdroje a při jakých otáčkách je provedeno měření. Při těchto nominálních hodnotách, např. A7W35 je v technickém listu konkrétního tepelného čerpadla uvedena hladina akustického tlaku v určité vzdálenosti $L_{pA,r}$, zpravidla to bývá 1, 3 nebo 5 m od zdroje hluku nebo hladina akustického výkonu zdroje L_{WA} . S těmito hodnotami dále pracují projektanti nebo akustici, kterým slouží jako vstupní data k vypracování akustické studie pro účely stavebního úřadu nebo příslušné hygienické stanice.

Typický technický list tepelného čerpadla je vyobrazen na následujícím obrázku.

Tepelné čerpadlo – venkovní jednotka		AIR X 50	AIR X 70	AIR X 90	AIR X 130	AIR X 170
Energetická třída - produkt		A++	A++	A++	A++	A++
Topný výkon při 7°C/35°C ¹⁾ 100%	kW	5,0	7,0	9,0	13,0	17,0
Topný výkon při 7°C/35°C ¹⁾ 40%	kW	2,15	2,98	3,43	5,11	6,20
Topný faktor při 7°C/35°C ¹⁾ 40%		4,88	4,84	5,08	4,90	4,99
Topný výkon při 2°C/35°C ¹⁾ 100%	kW	4,0	6,0	8,0	11,0	14,0
Topný výkon při 2°C/35°C ¹⁾ 60%	kW	2,94	3,90	5,11	7,11	7,40
Topný faktor při 2°C/35°C ¹⁾ 60%		4,02	4,13	4,22	4,05	4,03
Topný výkon při -7°C/35°C ¹⁾ 100%	kW	4,67	6,18	8,43	10,99	12,45
Topný faktor při -7°C/35°C ¹⁾ 100%		2,89	2,82	2,92	2,85	2,65
SCOP ²⁾		4,69	4,72	4,65	4,84	4,81
Chladicí výkon při 35/18°C		5,9	6,7	9,3	11,1	11,9
EER		4,23	3,65	3,64	3,23	3,28
Elektrické napájení		230 V, 1N, AC, 50 Hz			400 V, 3N, AC, 50 Hz	
Účinnost pro tepelné čerpadlo	A	10	16	16	13	13
Max. el. příkon	kW	2,3	3,2	3,6	7,2	7,2
Množství chladiva R 410A ³⁾	kg	1,7	1,75	2,35	3,3	4,0
Nominální průtok topným systémem	l/s	0,32	0,33	0,43	0,62	0,81
Interní tlaková ztráta TČ	kPa	9,7	7,8	10,5	15,8	22,9
Ventilátor (DO Inverter), max. příkon	W	180			280	
Hladina akustického tlaku v 1 m ⁴⁾	dB(A)	40			43	
Hladina akustického výkonu ⁴⁾	dB(A)	53			57	
Maximální teplota topné vody	°C	60°C (do -5°C), 52°C (do -15°C)				
Rozměry (šířka x výška x hloubka)	mm	930 x 1370 x 440			1200 x 1680 x 580	
Hmotnost	kg	67	71	75	130	132
Připojení topného okruhu		G1" vnější závit				
Připojení odvodu kondenzátu		Plast 32 mm				
Odtávání		Horčím plynem přes čtyřcestný ventil				
Kompresor		Dvojitý rotační frekvenčně řízený, Mitsubishi Electric				
Provozní rozsah v režimu ohřevu	°C	-20°C / +35°C				
Funkce chlazení		ANO				
Číttek hermeticky těsný okruh		ANO				

1) Hodnoty dle EN 14511. 2) Hodnoty dle EN 14825. 3) GWP100 = 1980. 4) EN 12102 (7/35°C, 40%).

Obr. 5 technický list výrobce [8]

Na Obr. 5 je vidět hodnota jak hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m $L_{pA,1m}$, tak hladina akustického výkonu L_{WA} tepelného čerpadla. Ovšem pod tabulkou je uvedena vysvětlivka, pro jaké nominální hodnoty tepelného čerpadla jsou akustické parametry uvažovány. V tomto případě je na Obr. 5 Obr. 5 technický list

výrobce [8] pro typ tepelného čerpadla AIR X 50 hladina akustického výkonu $L_{WA} = 40$ dB, ale ve vysvětlivce je uvedeno, že se jedná o nominální podmínky při $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ vzduchu, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ vody a především při 40 % výkonu. V technickém listu se akustik nedozví, jaká hladina akustické výkonu L_{WA} může nastat při 100 % výkonu a tedy při nejvyšších otáčkách tepelného zařízení. Po realizaci a následném měření ke kolaudaci je nutné provádět měření pro 100 % výkon zdroje. Pokud je tedy v blízkosti chráněný venkovní prostor, zvyšuje se pravděpodobnost, že měření budou překročeny přípustné hygienické limity. V takovém případě bude majitel nucen provozovat tepelné čerpadlo maximálně na 40 % výkonu, což nezajistí požadované výkonové parametry, nebo musí zajistit jiné protihlukové opatření ve formě krytu, clony nebo změny pozice venkovní jednotky.

2.4.2 Výpočet

Výpočtovou metodu použije projektant v případě, že bezpečně rozeznává pojmy mezi hladinou akustického výkonu a hladinou akustického tlaku. Dále je nutné, aby se hluk šíří volně v prostoru bez změn terénu či překážek. V případě, že jsou splněny veškeré náležitosti a od výrobce je k dispozici pouze L_p , je možné použít rovnici (3) uvedenou v literatuře [1].

$$L_2 - L_1 = 20 \cdot \log\left(\frac{r_1}{r_2}\right) \quad (4)$$

ze které vyplývá, že při zdvojnásobení vzdálenosti klesne hladina akustického tlaku o 6 dB.

2.4.3 Akustická studie

Akustické posouzení navrhovaných zdrojů hluku je nedílnou součástí každé projektové dokumentace. Pro případ, že situace nedovoluje použít výše zmíněný výpočet, protože jsou mezi tepelným čerpadlem a chráněným prostorem malé odstupové vzdálenosti/odrazy nebo překážky, přichází na řadu akustická studie.

Akustická studie, někdy také pod pojmem hluková studie, je vytvářena na základě dodaných podkladů od objednatele. Objednatel, většinou majitel tepelného čerpadla nebo projektant, dodá situaci s umístěním a přesným typem tepelného čerpadla. Tyto akustické studie jsou prováděny většinou ve fázi projektu, kdy je potřeba zjistit hlukovou expozice po přidání dalšího zdroje hluku (v našem případě

tepelného čerpadla) do lokality. Hlukovou studií se prokáže splnění či překročení výše uvedených hygienických limitů (kapitola 2.2). Pro případ, že hygienické limity nebudou splněny, jsou akustikem navržena dodatečná protihluková opatření. Opatření jsou vždy konzultována se zákazníkem, se kterým je společně vybrána ekonomicky a technicky nejvhodnější varianta řešení. Typickým opatřením může být výměna tepelného čerpadla za tišší, změna umístění venkovní jednotky, protihluková clona mezi čerpadlem a zatíženým prostorem nebo protihlukový kryt. Ve fázi projektu je většinou nejjednodušším řešením přemístění venkovní jednotky před jinou fasádu rodinného domu. Pokud prostorové možnosti neumožňují přesunout venkovní jednotku, volí se dostavba protihlukové clony. Z finančního hlediska se až v poslední variantě navrhuje protihlukový kryt. Takový kryt se může pohybovat i kolem poloviny pořizovací ceny venkovní jednotky tepelného čerpadla a tím se oddaluje finanční návratnost investice.

Cena akustické studie se pohybuje v přibližně mezi 7 – 15 tisíci korun bez DPH.

2.4.4 Akustická měření

Měření hluku se převážně provádí ke kolaudaci objektu na vyžádání příslušné hygienické stanice nebo stavebního úřadu. Dalším, ale už méně obvyklým případem může být měření na základě stížnosti souseda. Měření je provedeno před nejbližším chráněným venkovním prostorem nebo chráněných venkovním prostorem stavby, nejčastěji tedy ve vzdálenosti 2 m před nejbližším oknem do obytné místnosti. Pokud není možné provést měření na dotčeném pozemku, zvolí se místo měření na hranici s předmětnými pozemky. V případě, že hygienický limit je dodržen na hranici pozemku, lze konstatovat, že hygienický limit bude dodržen ve vzdálenějším bodě v chráněném venkovním prostoru stavby, i když na pozemku zatím žádný objekt nestojí. V případě, že se měřením prokáže nedodržení hygienických limitů hluku, může toto měření sloužit k reklamaci nebo jako podklad pro návrh protihlukových opatření. V takové případě se musí stěžovatel obrátit na soud.

Oprávnění pro měření hluku a vydávání protokolu o měření mají pouze akreditované laboratoře. Pro akreditované měření hluku je nutné mít všechny použité přístroje pravidelně v intervalu každých 2 let ověřené Českým metrologickým institutem.

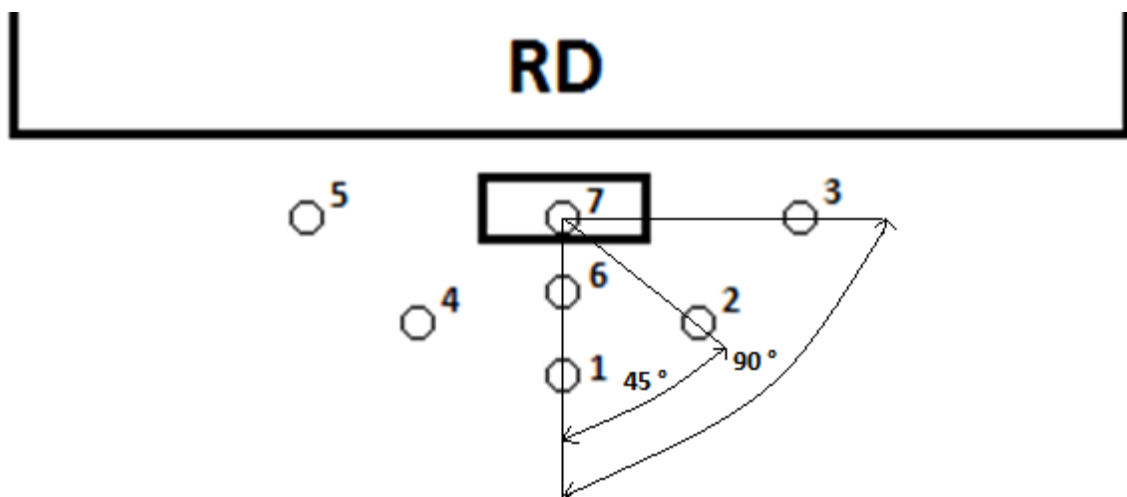
Měření hluku z tepelného čerpadla je cenově srovnatelné s hlukovou studií.

3 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ

Cílem této diplomové práce je provést měření tepelných čerpadel při provozu v reálných podmínkách, které budou následně vymodelovány ve výpočtovém softwaru HLUK+ a porovnány s hodnotami udávanými výrobcí. Dále bude proveden výpočet dle výše uvedených vztahů a výsledky opět porovnány s naměřenými hodnotami.

Před měřením byli osloveni majitelé tepelných čerpadel, kteří souhlasili s provedením měření za účelem této diplomové práce, umožnili přístup na pozemek a součinnost s ovládáním jejich tepelných zařízení. Pro ochranu soukromí nebude v diplomové práci uváděna přesná lokalita měřených zdrojů, uváděn bude pouze výrobce a přesný typ zdroje tepla. Všechna měření probíhala ve středočeském kraji v období od listopadu 2018 do dubna 2019.

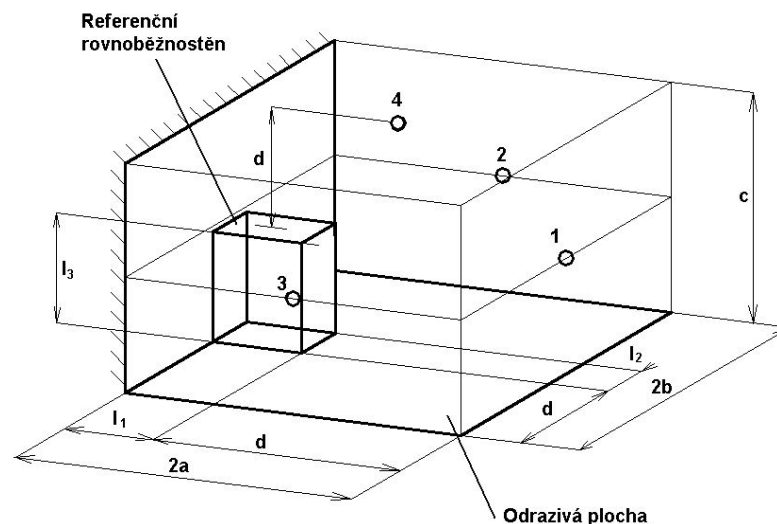
V každém měření je vždy v první části popsán zdroj tepla, znázorněna situace s umístěním tepelného čerpadla před rodinným domem a popis bodů, ve kterých bylo prováděno měření a následné vyhodnocování. K výpočtu hladiny akustické výkonu L_{WA} tepelného čerpadla bylo provedeno měření dle následujícího schématu. Pro každé měření byl mikrofون umístěn na teleskopickém stativu v úrovni osy ventilátoru (převážně cca 1 m nad terénem). V případě měření v jiných nebo vynechaných bodech bude tato změna stavu popsána v konkrétním případě.



Obr. 6 Schéma bodů pro měření

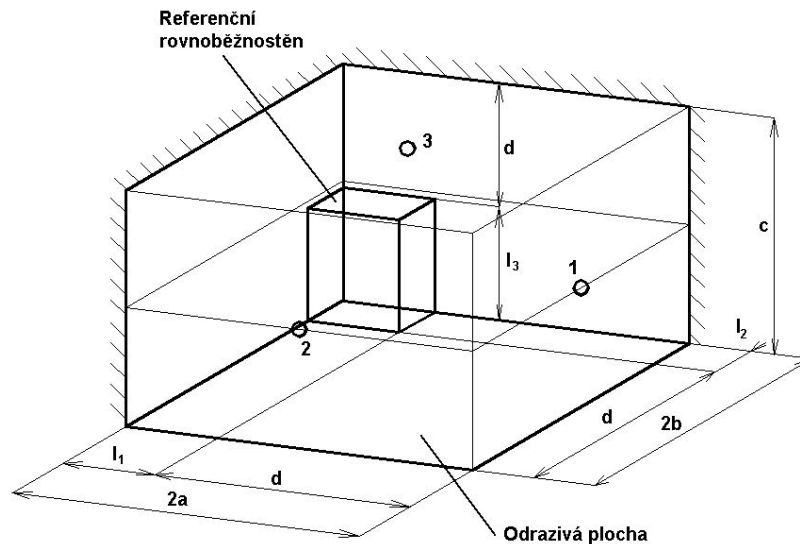
Poznámka: všechny body jsou ve vzdálenosti 1 m od pláště tepelného čerpadla a body 1 – 5 ve výšce osy ventilátoru, bod č. 1 se nachází v ose ventilátoru před čerpadlem, bod č. 2 pod úhlem 45°, bod č. 3 pod úhlem 90°, bod č. 4 pod úhlem -45°, bod č. 5 pod úhlem -90°, bod č. 6 pod úhlem 45° vertikálně od osy ventilátoru a bod č. 7 nad tepelným čerpadlem.

Při jednotlivých měření nastaly pouze dva případy umístění tepelné čerpadla, tj. před fasádou a v rohu mezi dvěma fasádami. V případě umístění tepelného čerpadla před fasádou rodinného domu, byla změřena hladina akustického tlaku A při provozu zdroje hluku v sedmi výše uvedených bodech. Měřicí body se nachází ve vzdálenosti 1,0 m od zdroje na pomyslné ploše tvaru rovnoběžnostěnu, dle nomy ČSN EN ISO 3744 [4], Obr. 7. Jedná se o plochu, kterou projde do okolního prostředí vyzářený hluk ze zdroje. Pro přepočet změřené hladiny akustického tlaku na hladinu akustického výkonu je potřeba na základě rozměrů zdroje, podle výše uvedené normy, stanovit velikost měřicí plochy S . Ze změřených údajů v jednotlivých měřicích místech byla vypočtena průměrná hladina akustického tlaku A . S využitím hodnoty měřicí plochy pak vypočtena hladina akustického výkonu L_{WA} .



Obr. 7 Schéma měřicí plochy pro přepočet hladiny akustického tlaku na hladinu akustického výkonu pro zařízení na terénu u jedné stěny [4]

Druhým případem je tepelné čerpadlo umístěné v rohu mezi fasádami. Měření a výpočet byl proveden stejným způsobem jako v předchozím případě. Polohy měřicích bodů a velikost měřicí plochy byly stanoveny podle schématu na Obr. 8. [14]



Obr. 8 Schéma měřicí plochy pro přepočítání hladiny akustického tlaku na hladinu akustického výkonu pro zařízení na terénu u dvou stěn [4]

Před každým měřením byla majitelem tepelného čerpadla skokově nastavena teplota vzduchu v interiéru na $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, popřípadě zvýšen odběr teplé vody v domě dokud venkovní jednotka nevykazovala nejvyšší možné otáčky. Většina tepelných čerpadel, která byla měřena, nezobrazují na jaký výkon nebo otáčky venkovní jednotka pracuje, proto se výsledky jednotlivých měření u stejných tepelných zdrojů mohou lišit.

Nejprve bylo provedeno měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}$ při provozu tepelného čerpadla v intervalu 10 sekund. Měření bylo provedeno ve všech polohách, které jsou uvedeny na Obr. 6. Další body měření, ve větších vzdálenostech, jsou uvedeny a popsány u jednotlivých měření. Na závěr měření bylo majitelem vypnuto tepelné čerpadlo a po dobu 10 sekund změřena ekvivalentní hladina akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}$ pozadí v lokalitě.

V dalším kroku je vyhodnocena z třetinooktákové analýzy přítomnost tónové složky. Z důvodu velkého počtu bodů, bude tónová složka hodnocena vždy 1 m před tepelným čerpadlem a v nejdále měřeném bodě, nebo nejbliže k chráněnému venkovnímu prostoru. Rozhodující pro určení přítomnosti tónové složky je měřený bod nejbliže k chráněnému venkovnímu prostoru.

Po výčtu naměřených hodnot a stanovení hladiny akustického výkonu tepelného čerpadla bude stejná situace vymodelována ve výpočtovém programu HLUK+.

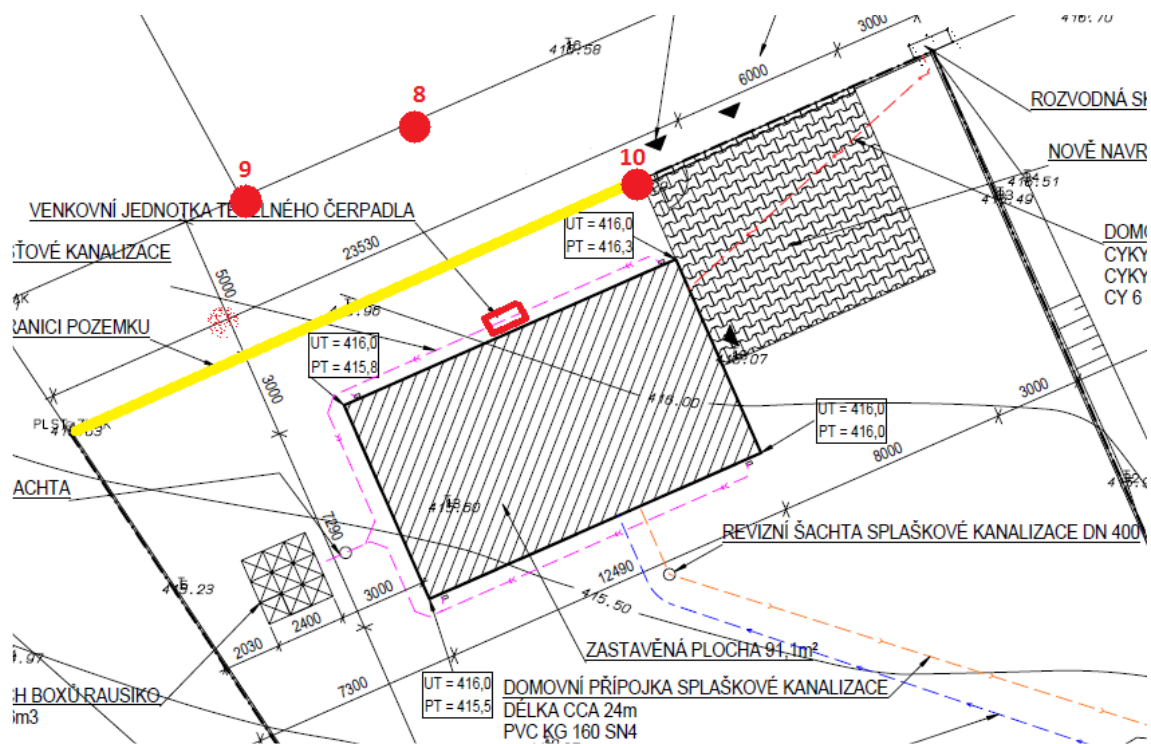
Zdroj hluku bude zadáván jako bodový zdroj s vypočtenou hladinou akustického výkonu L_{WA} .

Pro všechna uskutečněná měření byl vyhotoven zápis o měření, ve kterém jsou uvedeny použité přístroje a meteorologické podmínky, při kterých bylo prováděno měření. Jednotlivé zápisy jsou uloženy v příloze na přiloženém CD.

3.1 Měření č. 1 - IVT AIR X50

První měření tepelného čerpadla bylo provedeno dne 2. 11. 2018 v čase od 18 do 19 hodin. Tepelné čerpadlo IVT AIR X50 bylo umístěno volně na terénu před severní fasádou rodinného domu. Ve vzdálenosti 2,8 m od tepelného čerpadla byl umístěn dřevěný plot o výšce 1,6 m, viz Obr. 9. Měření pro výpočet hladiny akustického výkonu tepelného čerpadla probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, dále bylo provedeno měření pro větší odstupy od tepelného čerpadla, konkrétně vždy 4,0 m nad úrovní terénu a to v bodě č. 8 v půdorysné vzdálenosti 7,7 m, v bodě č. 9 ve vzdálenosti 14,8 m a 9,7 m v bodě č. 10.

Mezi tepelným čerpadlem a dřevěným plotem byl zatravněný terén, za plotem se nachází komunikace s asfaltovým povrchem. Hluk pozadí byl tvořen běžným ruchem obce a zvuky zvířat.



Obr. 9 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla před severní fasádou a měřících bodů – žlutě vyznačený dřevěný plot

3.1.1 Naměřená data

V Tab. 3 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1,0 m do všech směrů tepelného čerpadla. Vypočtená průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A je

$L_{pA,eq} = 56,3$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $18,0$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 68,8$ dB, Výrobce udává v katalogovém listu $L_{WA} = 53,0$ dB pro výkon 40 % a $L_{WA} = 64,0$ dB pro 100% výkon zdroje. Tento rozdíl může být dán odrazem od plotu před tepelným čerpadlem.

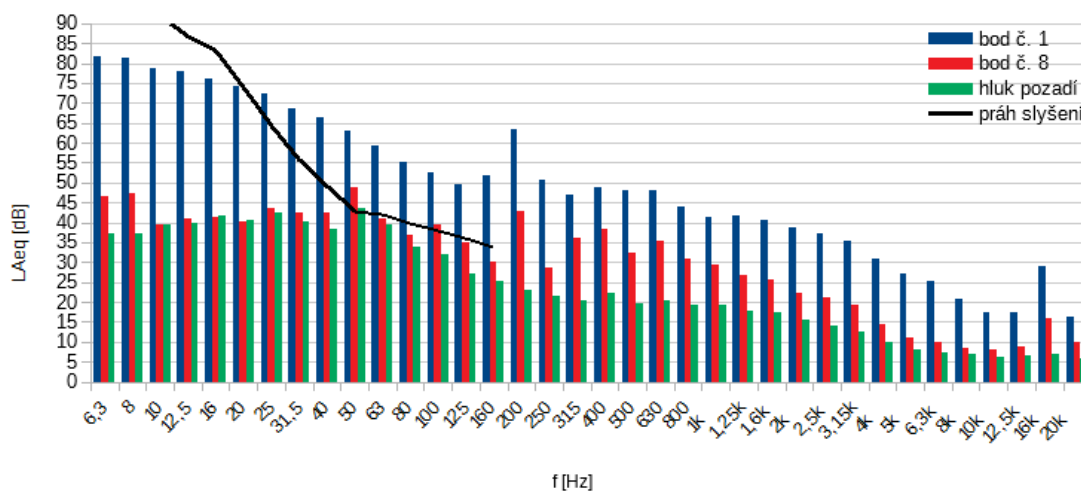
Všechny tyto body (8 - 10) jsou znázorněny na Obr. 9 a výsledky měření uvedeny v Tab. 3.

Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 3: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	58,6	28,9	0,0	58,6	68,8
2	56,5	28,9	0,0	56,5	
3	55,4	28,9	0,0	55,4	
4	57,4	28,9	0,0	57,4	
5	54,0	28,9	0,0	54,0	
6	55,4	28,9	0,0	55,4	
7	54,8	28,9	0,0	54,8	
8	40,6	28,9	0,0	40,6	
9	40,8	28,9	0,0	40,8	
10	45,3	28,9	0,0	45,3	

Třetinookrácená analýza byla provedena v osově vzdálenosti 1,0 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na hranici pozemku (bod č. 8), tj. ve vzdálenosti 7,7 m od tepelného čerpadla. Následující grafu znázorňuje, že jak v bodě č. 1, tak v bodě č. 8 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 200 Hz a 1,6 kHz. Hygienický limit pro hodnocení před nejbližším chráněným venkovním prostorem stavby bude tedy $L_{Aeq,8h} = 45$ dB v denní době a $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době.



Obr. 10 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo IVT AIR X 50 ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

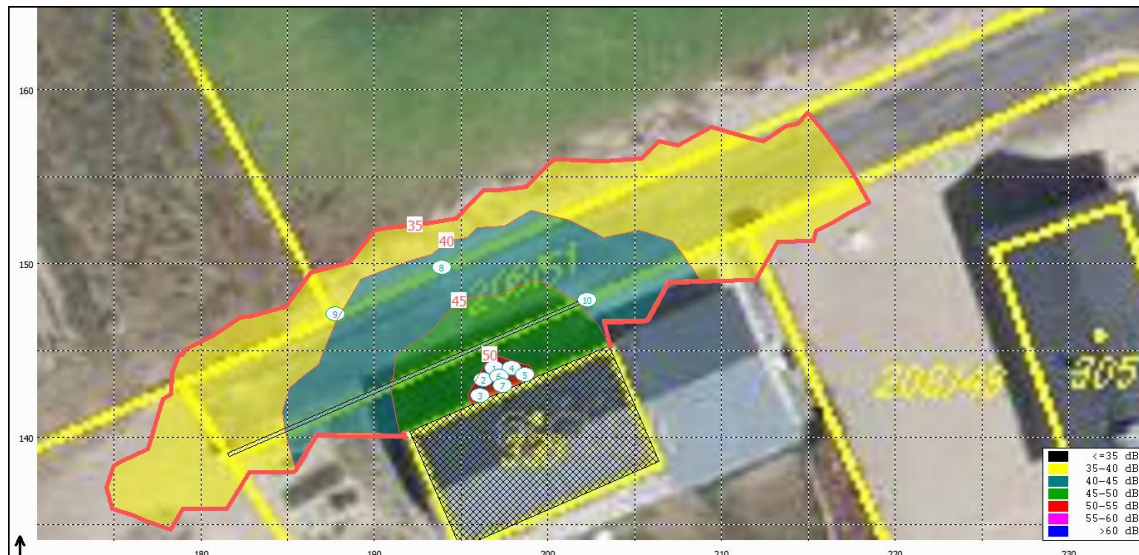
3.1.2 Výpočetní model

Před objektem k bydlení se nachází polopropustný dřevěný plot, který není možné namodelovat ve výpočetním programu HLUK+. Lze použít pouze plná překážka, která byla i v tomto případě využita.

Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 - 10 jsou uvedeny v Tab. 4 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami. Z tabulky je patrné, že modelová situace je v tomto případě adekvátní k naměřeným hodnotám i přes použití plné překážky místo dřevěného polopropustného oplocení. Dále budou na Obr. 11 znázorněny izofony ve výšce naměřených hodnot s červeně vyznačenou rozhodující limitní izofonou pro noční dobu.

Tab. 4: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 1

Bod [-]	L_{Aeq,naměřená} [dB]	L_{Aeq,vypočtená} [dB]	Rozdíl [dB]
8	40,6	42,1	-1,5
9	40,8	39,8	+1,0
10	45,3	44,5	+0,8



Obr. 11 Izofony ve výšce hodnocení 4 m nad úrovní terénu

Z Obr. 11 je zřejmé, že limitní izofona pro noční dobu $L_{Aeq,1h} = 35$ dB zasahuje do hloubky cca 2 m pozemku, kde je plánovaná výstavba rodinného domu. V takto blízké hranici pozemku se nepředpokládá umístění chráněného venkovního prostoru stavby. Tento stav lze považovat za akceptovatelný. Tepelné čerpadlo s parametry hluku naměřenými pro reálný provoz je vhodně umístěno.

3.1.3 Závěr

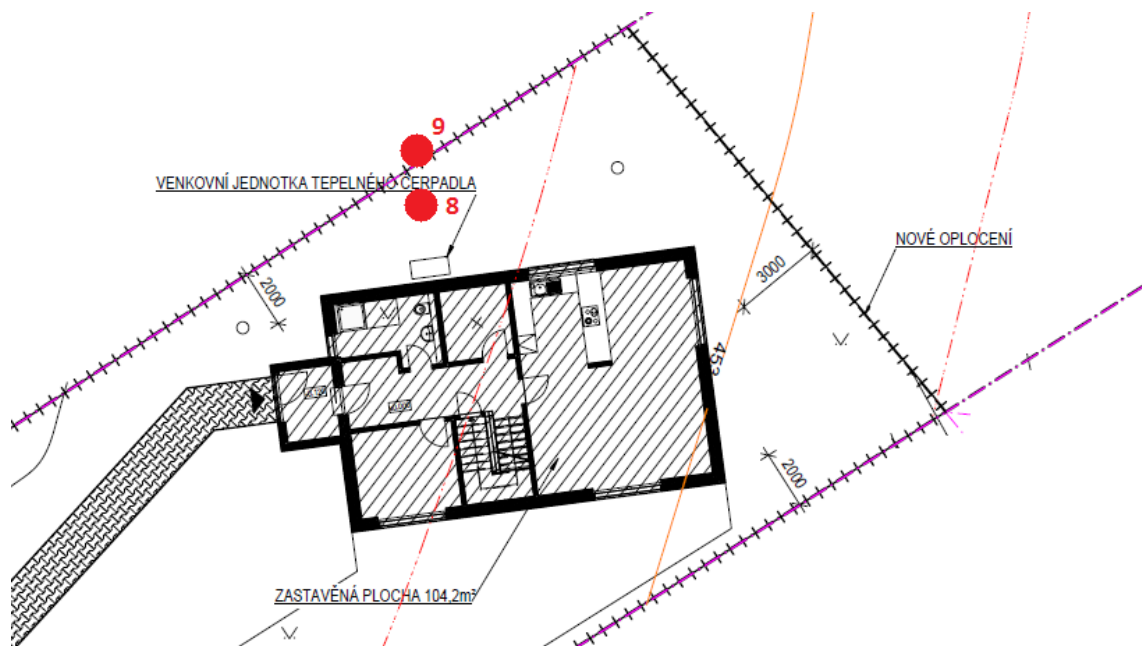
Bylo provedeno měření tepelného čerpadla, které je umístěno před fasádou rodinného domu. Z naměřených hodnot byla vypočtena hladina akustického výkonu $L_{WA} = 68,8$ dB, ovšem výrobce ve svém oficiálním katalogovém listu uvádí hodnotu $L_{WA} = 53,0$ dB, která je určena pro 40 % výkonu tepelného čerpadla. Po kontaktování technického oddělení společnosti byla emailem poskytnuta hladina akustického výkonu $L_{WA} = 64,0$ dB pro 100% výkon zdroje. Tato hodnota je o cca 5 dB nižší, než která byla naměřena in-situ, proto je nutné při návrhu tepelného čerpadla uvažovat s dostatečnou rezervou.

3.2 Měření č. 2 - IVT AIR X50

Druhé měření tepelného čerpadla bylo provedeno o tři dny později, tedy 5. 11. 2018 v čase od 18 do 19 hodin. Tepelné čerpadlo IVT AIR X50 bylo umístěno volně na terénu před severní fasádou rodinného domu. Měření pro výpočet hladiny akustického výkonu tepelného čerpadla probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, další měřicí body č. 8 a 9 byly zvoleny ve vzdálenosti 2,0 a 3,0 m v úrovni osy ventilátoru tepelného čerpadla.

Terén mezi tepelným čerpadlem a body měření byl zatravněn, v okolí byl uložen zbytkový stavební materiál.

Dominantní zdroj hluk pozadí tvořil souvislý silniční provoz po přilehlé dálnici, dalším zdrojem hluku byl běžný ruch obce.



Obr. 12 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla před severní fasádou a měřících bodů

3.2.1 Naměřená data

V Tab. 5 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1,0 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A $L_{pA,eq} = 51,0$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $18,0$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 63,6 \text{ dB}$, Výrobce ve svém katalogovém listu udává $L_{WA} = 53,0 \text{ dB}$ pro výkon 40 % a $L_{WA} = 64,0 \text{ dB}$ pro 100% výkon zdroje. Měření probíhalo při maximálním možném provozu tepelného čerpadla.

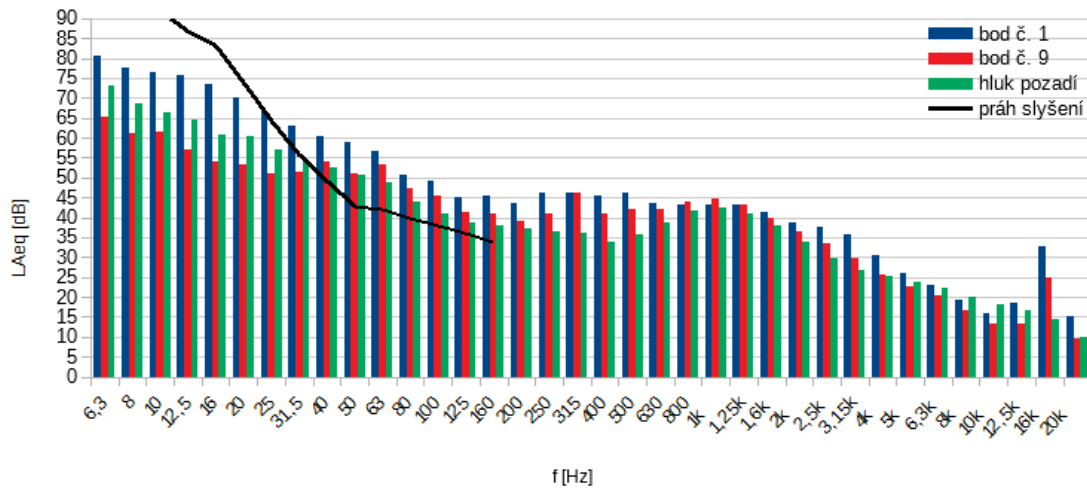
Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	53,6	48,3	1,5	52,1	63,6
2	53,2	48,3	1,7	51,5	
3	51,8	48,3	2,6	49,2	
4	53,8	48,3	1,4	52,4	
5	51,1	48,3	3,0	48,1	
6	53,8	48,3	1,4	52,4	
7	51,9	48,3	2,5	49,4	
8	53,0	48,3	1,8	51,2	
9	51,3	48,3	3,0	48,3	

Dále bylo provedeno měření ve větších vzdálenostech, konkrétně 2,0 a 3,0 m od osy tepelného čerpadla. Tyto naměřené body (č. 8 a 9) jsou znázorněny na Obr. 12 a uvedeny v Tab. 5.

Třetinookrávová analýza byla provedena v měřených bodech ve vzdálenosti 1,0 a 3,0 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1 a 9). Na následujícím grafu je vidět, že jak v bodě č. 1, tak v bodě č. 9 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 1,6 kHz. Hygienický limit pro hodnocení před nejbližším chráněným venkovním prostorem stavby je tedy $L_{Aeq,8h} = 45 \text{ dB}$ v denní době a $L_{Aeq,1h} = 35 \text{ dB}$ v noční době.



Obr. 13 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo IVT AIR X 50 ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.2.2 Výpočetní model

Měření bylo ovlivněno souvislým dopravním ruchem z nedaleké dálnice, proto mohou být, především ve větších vzdálenostech od zdroje, výsledky výpočetního modelu ve srovnání s naměřenými odlišné.

Výsledky výpočetního modelu v bodech č. 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 6 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami. Z tabulky je patrné, že naměřené hodnoty jsou i po zahrnutí korekce na hluk pozadí vyšší, než naměřené. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je maximálně 2,0 dB, to je stále přípustný rozdíl pro nejistotu měření a výpočetního modelu, která bývá obvykle 2,0 dB. Dále budou na Obr. 14 znázorněny izofony ve výšce 2,0 m nad úrovní terénu, což je typická výška pro hodnocení před chráněným venkovním prostorem stavby.

Tab. 6: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 2

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	51,2	49,3	+1,9
9	48,3	46,3	+2,0



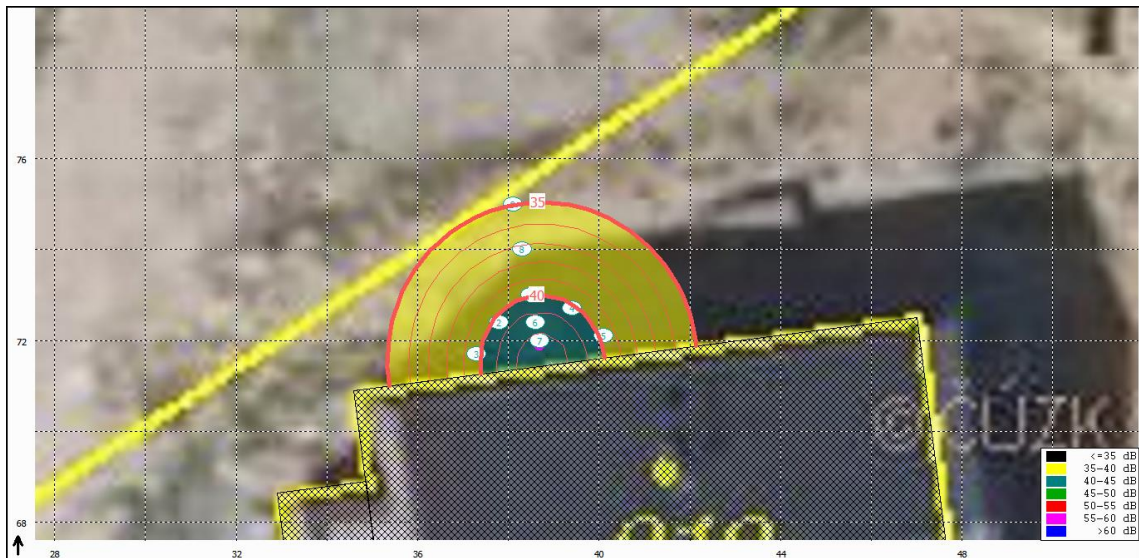
Obr. 14 Izofony ve výšce 2 m nad úrovní terénu

Z Obr. 14 lze vidět, že limitní izofona pro noční dobu $L_{Aeq,1h} = 35$ dB výrazně zasahuje do sousedního pozemku (do hloubky cca 7,0 m). Za předpokladu, že bychom chtěli dodržet hygienické limity na hranici sousedního pozemku, muselo by tepelné čerpadlo být provozováno pouze v denní době.

3.2.3 Závěr

Stejně jako v předchozím případě bylo měřeno tepelné čerpadlo od společnosti IVT typu Air X50. Z naměřených hodnot byla vypočtena hladina akustického výkonu $L_{WA} = 63,6$ dB. Stejně jako v předchozím případě je dle výrobce hladina akustického výkonu zdroje $L_{WA} = 64,0$ dB.

Tepelné čerpadlo nespĺňuje na hranici sousedního pozemku hygienické limity hluku $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době. V tomto případě byla pravděpodobně použita ve studii hladina akustického výkonu udávaná v technickém listu pro 40 % výkon zdroje. Pro potvrzení domněnky je na Obr. 15 přidělena zdroji hluku hladina akustického výkonu $L_{WA} = 53$ dB a jsou znovu vykresleny izofony ve výšce 2,0 m.



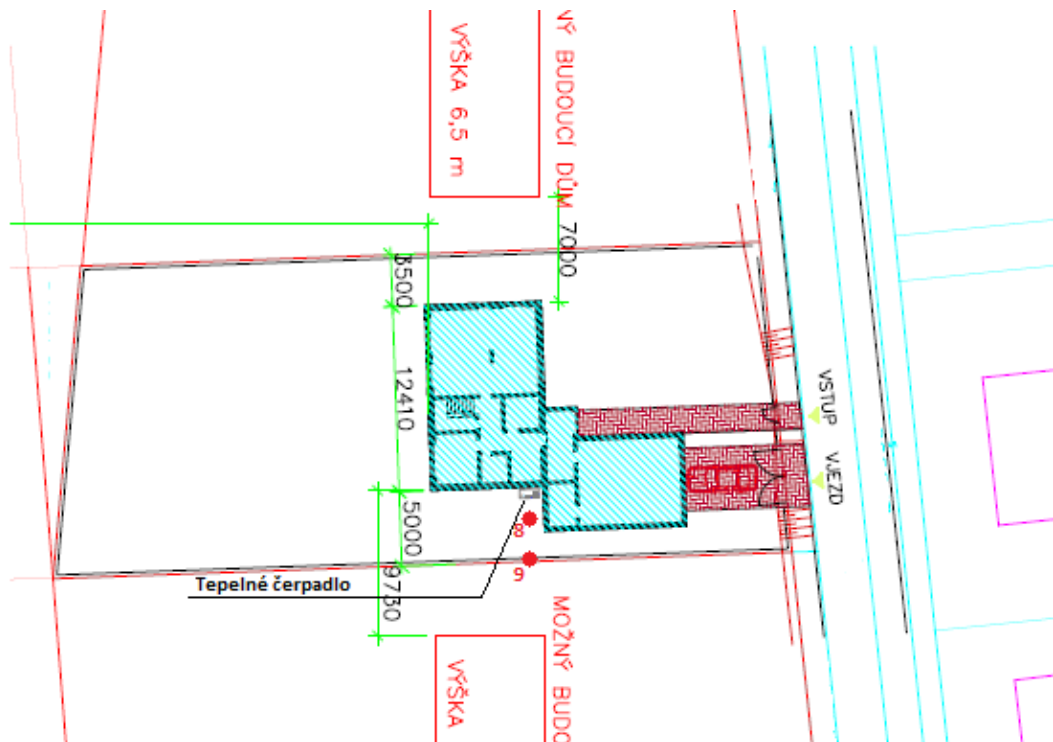
Obr. 15 Izofony ve výšce 2 m nad úrovní terénu při uvažování zdroje s $L_{WA} = 53$ dB

Z obrázku je patrné, že při uvažování hladiny akustického výkonu $L_{WA} = 53$ dB je hygienický limit $L_{Aeq,1h} = 35$ dB na hranici pozemku dodržen.

3.3 Měření č. 3 - IVT AIR X50

Měření tepelného čerpadla bylo provedeno 12. 11. 2018 v čase od 19.30 do 20.30 hodin. Tepelné čerpadlo IVT AIR X50 bylo umístěno volně na terénu v rohu mezi dvěma fasádami rodinného domu, viz Obr. 16. Měření pro výpočet hladiny akustického výkonu tepelného čerpadla probíhalo dle popisu měření v kapitole 3 a Obr. 8, kde body č. 2 a 3 nemohly být pro toto umístění tepelného čerpadla naměřeny. Dále byly naměřeny body č. 8 a 9 ve vzdálenosti 2,0 a 4,1 m (hranice se sousedním pozemkem) v úrovni osy ventilátoru tepelného čerpadla.

Do vzdálenosti cca 2,0 m (měřicí bod č. 8) od tepelného čerpadla byla položena venkovní dlažba, ve větší vzdálenosti byl terén zatravněn. Při měření byl hluk pozadí tvořen zvuky zvířat a běžným ruchem obce.



Obr. 16 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla v rohu mezi dvěma fasádami a měřících bodů

3.3.1 Naměřená data

V Tab. 7 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 a 4 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1,0 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A $L_{pA,eq} = 54,0$ dB. Pro zjištění hladiny akustického výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $10,2$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 64,1 \text{ dB}$, výrobce udává v katalogovém listu $L_{WA} = 53,0 \text{ dB}$ pro výkon 40 % a $L_{WA} = 64,0 \text{ dB}$ pro 100% výkon zdroje.

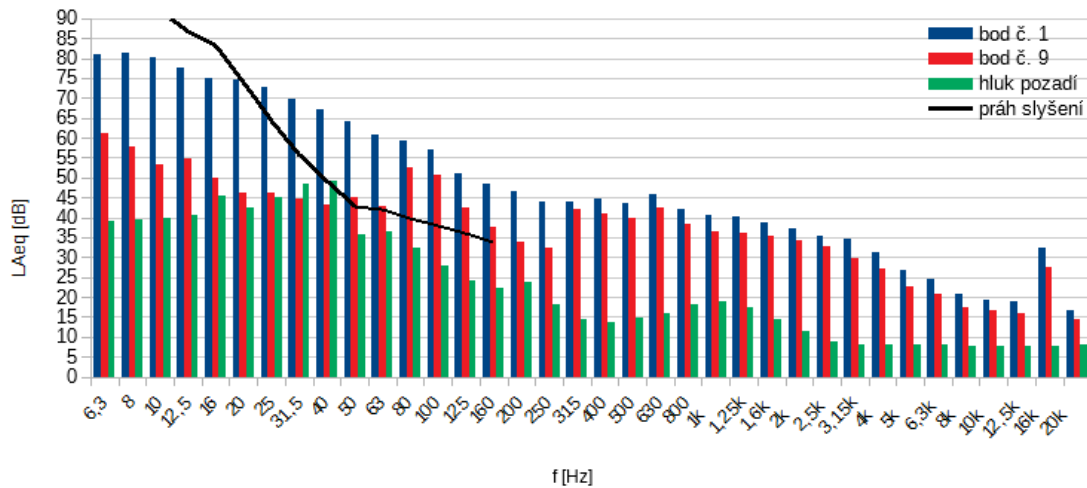
Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	55,4	26,7	0,0	55,4	64,1
2	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	
4	54,2	26,7	0,0	54,2	
5	52,3	26,7	0,0	52,3	
6	54,5	26,7	0,0	54,5	
7	52,9	26,7	0,0	52,9	
8	51,2	26,7	0,0	51,2	
9	47,5	26,7	0,0	47,5	

Dále bylo provedeno měření ve větších vzdálenostech, konkrétně 2,0 a 4,1 metry od osy tepelného čerpadla. Oba tyto naměřené body (8 a 9) jsou zobrazeny na Obr. 16 a naměřené hodnoty zaznamenány v Tab. 7.

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na hranici pozemku (v bodě č. 9). Na následujícím grafu je vidět, že jak v bodě č. 1, tak v bodě č. 9 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 1,6 kHz. Hygienický limit pro hodnocení před nejbližším chráněným venkovním prostorem stavby je tedy $L_{Aeq,8h} = 45 \text{ dB}$ v denní době a $L_{Aeq,1h} = 35 \text{ dB}$ v noční době.



Obr. 17 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo IVT AIR X 50 ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.3.2 Výpočetní model

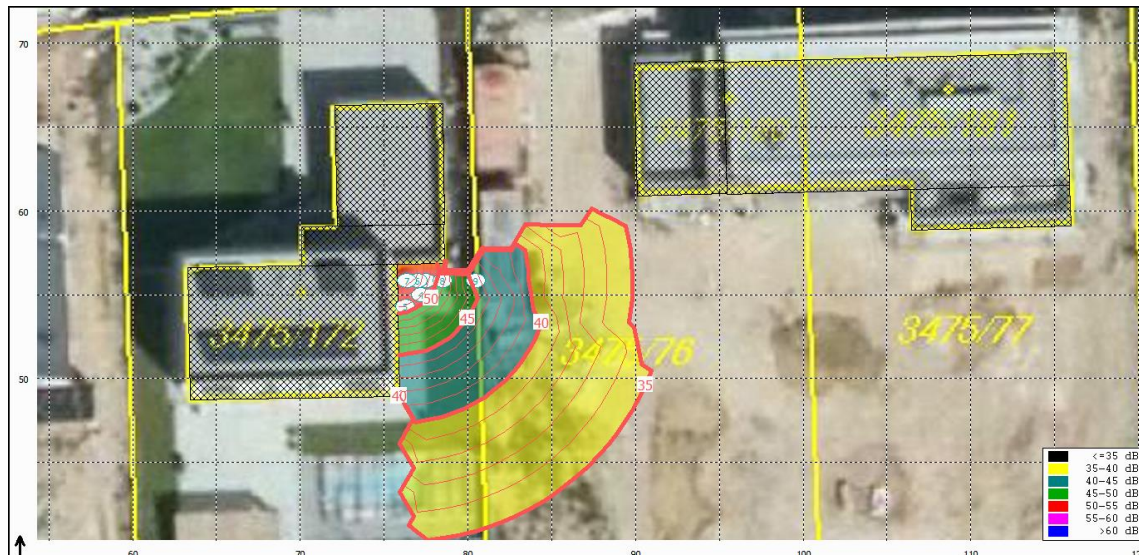
Byl vymodelován výpočetní model pro jediné měřené tepelné čerpadlo, které bylo umístěno v rohu mezi dvěma fasádami. Výpočetní software si sám zhodnotí činitel směrovosti, takže uživatel jej nezadá. Výjimka je při zadávání bodového zdroje na střechu budovy, kdy se do programu volí činitel směrovosti $Q = 2$. V ostatních případech zůstává $Q = 1$. Proto bylo zajímavé, jak přesně si program s odrazy a umístěním umí poradit.

Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 8 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami. Z tabulky je patrné, že vypočtené hodnoty se blíží k naměřeným, rozdíl je maximálně 1,5 dB, což je na úrovni nejistoty.

Tab. 8: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 3

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	51,2	50,6	+0,6
9	47,5	46,0	+1,5

Dále budou na následujícím Obr. 18 izofony ve výšce 2,0 m nad rovinným terénem, výška pro hodnocení před chráněným venkovním prostorem stavby.



Obr. 18 Izofony ve výšce 2 m nad úrovní terénu

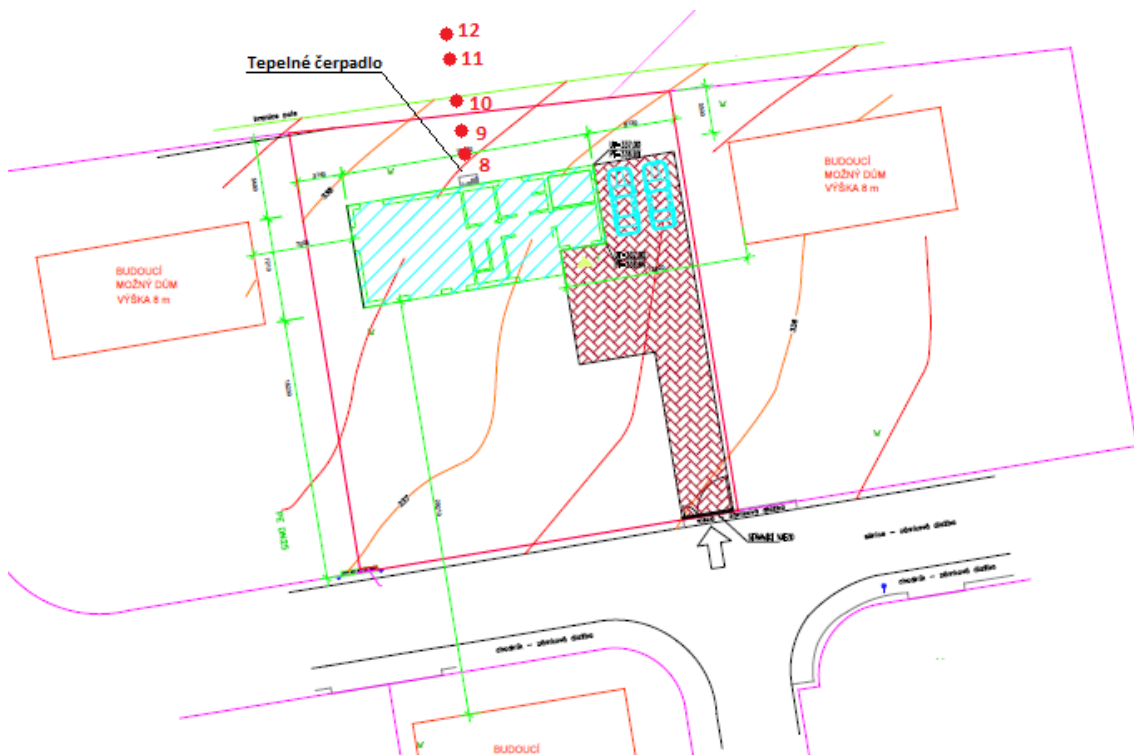
3.3.3 Závěr

Z naměřených hodnot je patrné, že měření probíhalo při plném výkonu tepelného čerpadla. Z měření byla vypočtena hladina akustického výkonu $L_{WA} = 64,1$ dB oproti deklarované $L_{WA} = 64,0$ dB výrobcem. Ve větších vzdálenostech se měření od výpočtu také téměř nelišilo. Zajímavostí na tomto umístění je poloha rodinného domu na vedlejším pozemku. Bylo by dobré znát, v jakém pořadí proběhla výstavba obou rodinných domů. Pokud by jako první bylo vydáno stavební povolení pro rodinný dům s posuzovaným tepelným čerpadlem, potom by nebyly na hranici sousedního pozemku dle Obr. 18 dodrženy hygienické limity hluku $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době. Pokud bylo stavební povolení vydáno v opačném pořadí, bylo by vše v pořádku, protože nejbližší chráněný venkovní prostor se nachází za limitní izofonou $L_{Aeq,1h} = 35$ dB.

3.4 Měření č. 4 - IVT AIR X50

Posledním měření tepelného čerpadla typu IVT AIR X50 bylo provedeno dne 13. 11. 2018 v čase od 19 do 20 hodin. Tepelné čerpadlo bylo umístěno volně na terénu před severní fasádou rodinného domu. Během chodu tepelného čerpadla byla slyšitelná porucha ložiska ventilátoru, která může mít za následek vyšší hluchnost. Majitel byl na tuto závadu upozorněn a sjedná co nejdříve servis. Měření probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, další měřicí body č. 8 - 12 byly ve vzdálenosti 2,0, 3,0, 5,0, 8,0 a 10,0 m v úrovni osy ventilátoru tepelného čerpadla.

Mezi tepelným čerpadlem a místy pro měření byl terén zatravněn. Do měřících vzdáleností 8,0 m od tepelného čerpadla tvořil hluk pozadí běžný ruch obce a zvuky zvířat, ve větších vzdálenostech byl hluk pozadí souvislý silniční provoz po přilehlé dálnici.



Obr. 19 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla před severní fasádou rodinného domu a měřících bodů

3.4.1 Naměřená data

V Tab. 9 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1,0 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina

akustické tlaku A $L_{pA,eq} = 56,6$ dB v 1 m. Pro zjištění hladiny akustického výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $18,0$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 69,2$ dB, výrobce udává $L_{WA} = 64,0$ dB. Přepočtem a porovnáním hladin akustických výkonů je zřejmé, že vypočtená hladina je o cca 5 dB vyšší než udávaná výrobcem. Tato odchylka má za následek z největší pravděpodobnosti závada tepelného čerpadla.

Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

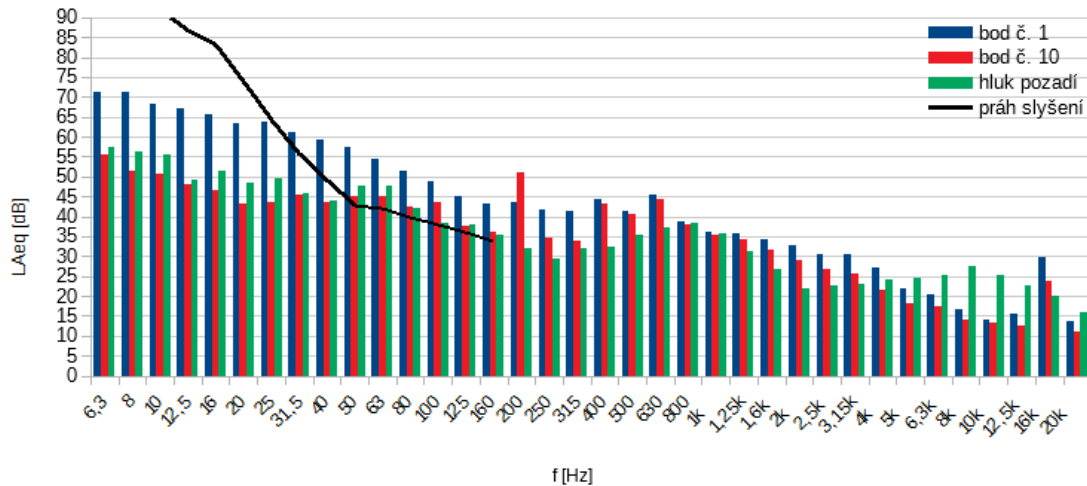
Tab. 9: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	56,1	40,3	0,0	56,1	69,2
2	56,7	40,3	0,0	56,7	
3	56,7	40,3	0,0	56,7	
4	57,1	40,3	0,0	57,1	
5	57,8	40,3	0,0	57,8	
6	57,1	40,3	0,0	57,1	
7	53,9	40,3	0,0	53,9	
8	53,7	40,3	0,0	53,7	
9	50,5	40,3	0,0	50,5	
10	47,5	40,3	0,9	46,6	
11	43,4	40,3	0,0	43,4	
12	42,2	40,3	0,0	42,2	

Dále bylo provedeno měření ve větších vzdálenostech, konkrétně ve vzdálenosti 2,0, 3,0, 5,0, 8,0 a 10,0 m v úrovni osy ventilátoru tepelného čerpadla terénu. Všechny tyto body (8 - 12) jsou znázorněny na Obr. 19 a naměřené hodnoty zaznamenány v Tab. 9.

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na hranici pozemku (v bodě č. 10). Hluk pozadí měl být změřen v blízkosti tepelného čerpadla i v posledním měřicím bodě. To se bohužel nestalo a hluk pozadí je naměřen pouze ve vzdálenosti, kde byl ovlivněn dopravou po dálnici. Proto je na následujícím grafu vidět, že při vyšších frekvencích je hluk pozadí vyšší než hluk zdroje. Předpokládáme však, že je to stejný typ tepelného čerpadla, proto můžeme konstatovat, že se tónová složka vyskytuje při frekvenci 1,6 kHz.

Hygienický limit pro hodnocení před nejbližším chráněným venkovním prostorem stavby je tedy $L_{Aeq,8h} = 45$ dB v denní době a $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době.



Obr. 20 Třetinooktávová analýza tepelné čerpadlo IVT AIR X 50 hluku ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.4.2 Výpočetní model

Model byl vymodelován pro všechny naměřené body. Výsledky pro výpočtové body 8 – 12 jsou uvedeny v Tab. 10, ve které je také porovnání s naměřenými hodnotami ve stejných bodech. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je maximálně 2 dB, to je stále přípustný rozdíl pro nejistotu měření a výpočetního modelu.

Tab. 10: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 4

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	53,7	55,1	-1,4
9	50,5	52,2	-1,7
10	46,6	48,3	-1,7
11	43,4	44,5	-1,1
12	42,2	42,6	-0,4

Dále budou na následujícím Obr. 21 izofony ve výšce 2,0 m nad rovní terénu.



Obr. 21 Zobrazení izofon ve výšce 2,0 nad terénem

Z Obr. 21 je zřejmé, že hygienický limit hluku je pro tyto naměřené hodnoty tepelného čerpadla na sousedních pozemcích překročen.

3.4.3 Závěr

Z naměřených hodnot není zřejmé, zda měřením bylo měřeno tepelné čerpadlo při plném provozu. Hladina akustického výkonu deklarovaná výrobcem je $L_{WA} = 64,0$ dB, měřením byla vypočtena hladina akustického výkonu $L_{WA} = 69,2$ dB. Při měření byla zjištěna závada na ventilátoru, která se projevila na měřených hodnotách. Majitel tepelného čerpadla byl o tomto závadovém stavu informován a bude kontaktovat servisního technika.

Pro takto změřený stav je v rozložení izofon patrné, že hygienický limit hluku $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době není dodržen hned na několika nejbližších chráněných venkovních prostorech. Nejbližší hranice sousedního pozemku se nachází již ve vzdálenosti 4,5 m od tepelného čerpadla. Pro dodržení hygienických limitů v noční doby na hranici s tímto pozemkem by tepelné čerpadlo muselo nabývat hodnoty hladiny akustického výkonu $L_{WA} = 55,0$ dB.

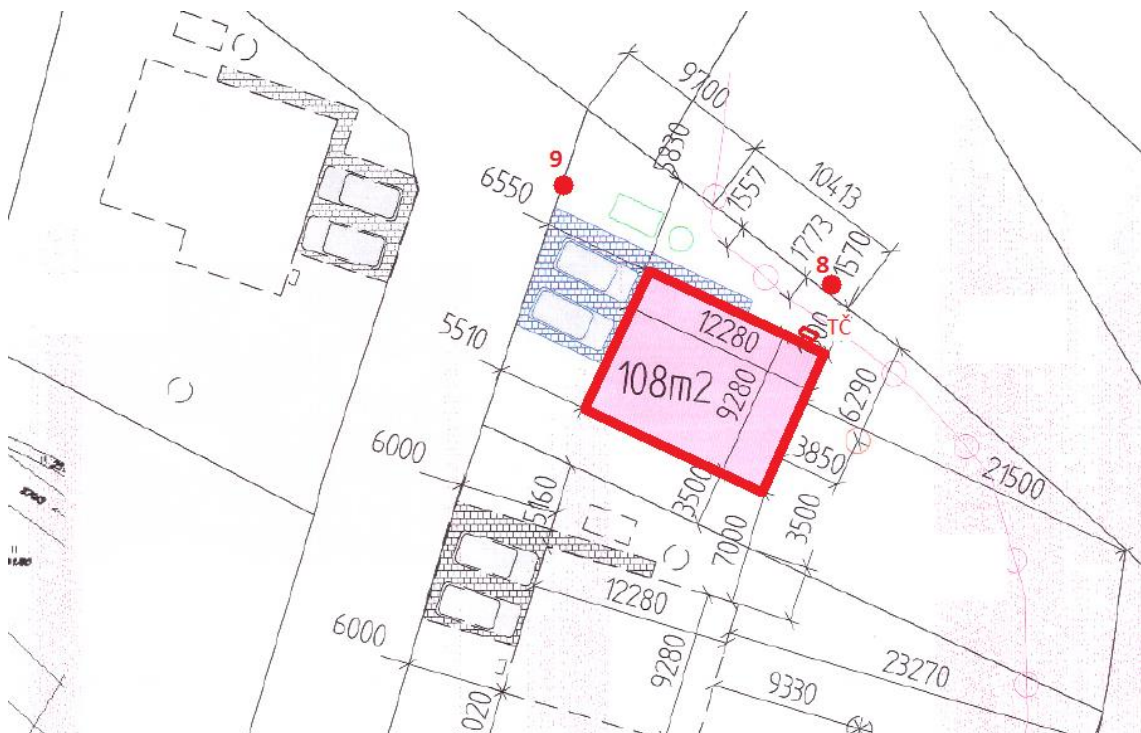
Pokud by se uvažovala výstavba obytného domu na sousedním pozemku, je nutné řešit protihluková opatření. V tomto případě je jediná možnost přemístit tepelné čerpadlo na odvrácenou fasádu, což je velký zásah do rozvodů nebo zařídit protihlukový kryt s dostatečným útlumem.

3.5 Měření č. 5 - Panasonic WH-UD07HE5-1

Po ukončení série tepelných čerpadel IVT AIR X50 bylo dne 14. 2. 2019 v čase od 11 do 12 hodin provedeno měření tepelného čerpadla Panasonic WH-UD07HE5-1. Venkovní jednotka byla umístěna na konzoly před severní fasádou rodinného domu. Naměřeny byly body č. 1 - 3 a 5 dle popisu měření v kapitole 3, body č. 4, 6 a 7 nebyly pro obtížně přístupný terén naměřeny. Další měřicí bod je č. 8, který je v ose tepelného čerpadla ve vzdálenosti 2,0 m a bod č. 9 ve vzdálenosti 18,4 m kolmo od osy ventilátoru tepelného čerpadla (Obr. 22). Ve větších vzdálenostech v ose tepelného čerpadla nebylo možné měřit, tepelné čerpadlo se nacházelo v blízkosti hranice s oploceným pozemkem obce, kterým protéká potok.

Bod č. 9 byl vybrán na hranici pozemku vlastníka tepelného čerpadla směrem k nejbližšímu chráněnému venkovnímu prostoru stavby.

Mezi tepelným čerpadlem a místy měření byla čerstvě navezena zemina.



Obr. 22 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla a měřících bodů č. 8 a 9

3.5.1 Naměřená data

V následující tabulce jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 3 a 5 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku $A L_{pA,eq} = 47,8$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $13,9$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 59,2$ dB, výrobce udává v katalogovém listu $L_{WA} = 62,0$ dB pro 100% výkon zdroje.

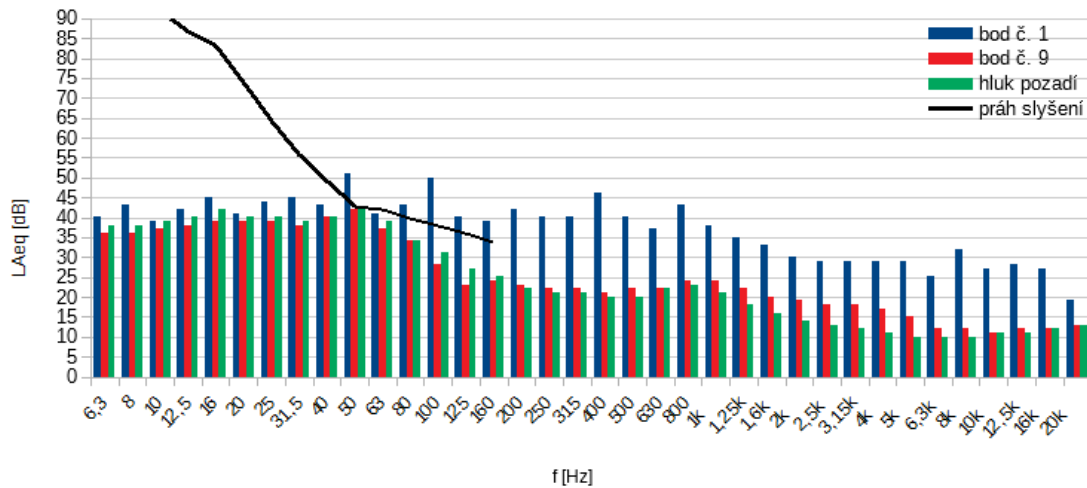
Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 11: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	49,1	32,0	0,0	49,1	59,2
2	46,5	32,0	0,0	46,5	
3	47,3	32,0	0,0	47,3	
4	-	-	-	-	
5	47,7	32,0	0,0	47,7	
6	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	
8	44,1	32,0	0,0	44,1	
9	33,7	32,0	0,0	33,7	

Dále bylo provedeno měření ve vzdálenostech 2,0 a 18,4 m od tepelného čerpadla. Tyto naměřené body jsou znázorněny na Obr. 22 a uvedeny v Tab. 11.

Třetinookrátová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na hranici pozemku (v bodě č. 9). Na následujícím grafu je vidět, že v bodě č. 1 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 50, 100 a 800 Hz. Vzdálenější a rozhodující měřicí bod vůči chráněnému venkovnímu prostoru stavby se tónová složka nevyskytuje. Hygienický limit pro hodnocení je tedy $L_{Aeq,8h} = 50$ dB v denní době a $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době.



Obr. 23 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo Panasonic WH-UD07HE5-1 ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.5.2 Výpočetní model

Výsledky pro výpočtové body 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 12, ve které je také porovnání s naměřenými hodnotami ve stejných bodech. V bodě č. 8 je rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou minimální, ovšem ve vzdálenějším bodě č. 9 je rozdíl téměř 9 dB.

Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 12 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami.

Tab. 12: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 5

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	44,1	43,8	+0,3
9	33,7	25,1	+8,6

Z tabulky je zřejmé, že ve vzdálenosti 2,0 m od tepelného čerpadla je naměřená hodnota s vypočtenou totožná. Ve vzdálenosti 18 metrů je vypočtená hladina akustického tlaku od tepelné čerpadlo 25,1 dB, naměřená hladina akustického tlaku pozadí je 32,0 dB, z toho vyplývá, že v této vzdálenosti je hluk z tepelného čerpadla neměřitelný. V této vzdálenosti můžeme konstatovat, že technický zdroj hluku nebyl rozpoznatelný od hluku pozadí.

Pro názornost jsou v Obr. 24 vykresleny izofony ve výšce 2,0 m nad úrovní terénu.



Obr. 24 Zobrazení izofon ve výšce 2,0 nad terénem

3.5.3 Závěr

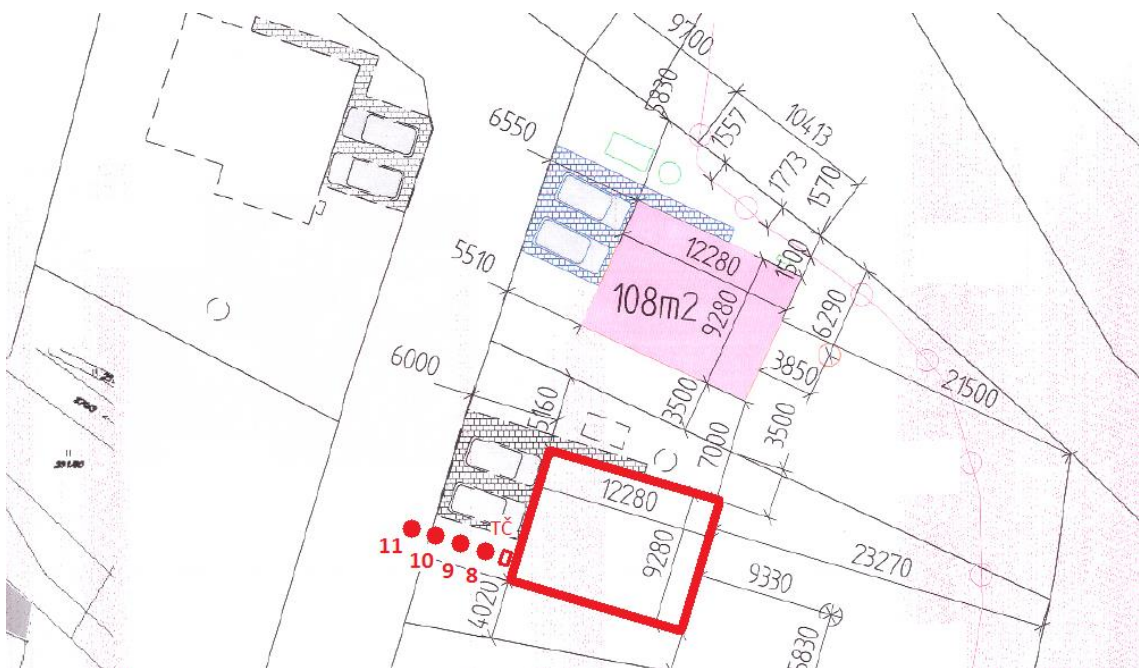
Při měření byla zjištěna hladina akustického výkonu $L_{WA} = 59,2$ dB, výrobce udává při plném provozu hladinu akustického výkonu $L_{WA} = 62,0$ dB.

Dle výsledného rozložení izofon je hygienický limit dodržen ve vzdálenosti 4,5 m od tepelného čerpadla. Ve směru osy se chráněný venkovní prostor nenachází, na zmíněném pozemku protéká potok. Nejbližší chráněný prostor se v tomto případě nachází ve vzdálenosti 25,0 m od tepelného čerpadla, je tedy možné konstatovat, že hygienický limit $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době bude před nejbližším chráněným venkovním prostorem stavby prokazatelně dodržen.

3.6 Měření č. 6 - Panasonic WH-UD07HE5-1

Měření dalšího tepelného čerpadla Panasonic WH-UD07HE5-1 bylo provedeno ve stejný den a za stejných podmínek jako předchozí. Bylo umožněno změřit stejné tepelné čerpadlo hned u vedlejšího rodinného domu. Změřeny byly body č. 1 - 5 dle popisu měření v kapitole 3, body č. 6 a 7 nebyly pro obtížně přístupný terén naměřeny. Další měřicí body č. 8 - 11 byly naměřeny ve vzdálenostech 2,0, 3,0, 5,0 a 6,8 m v ose ventilátoru tepelného čerpadla.

Mezi tepelným čerpadlem a místy měření do bodu č. 10 byla čerstvě navezena zemina, bod č. 11 byl umístěn na asfaltovém povrchu místní komunikace.



Obr. 25 Situace s umístěním tepelného čerpadla a měřících bodů

3.6.1 Naměřená data

V Tab. 13 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 5 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1,0 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku $A L_{pA,eq} = 47,1$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $13,9$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 58,5$ dB, výrobce udává v katalogovém listu $L_{WA} = 62,0$ dB pro 100% výkon zdroje, je tedy zřejmé, že měření neprobíhalo při 100 % výkonu tepelného

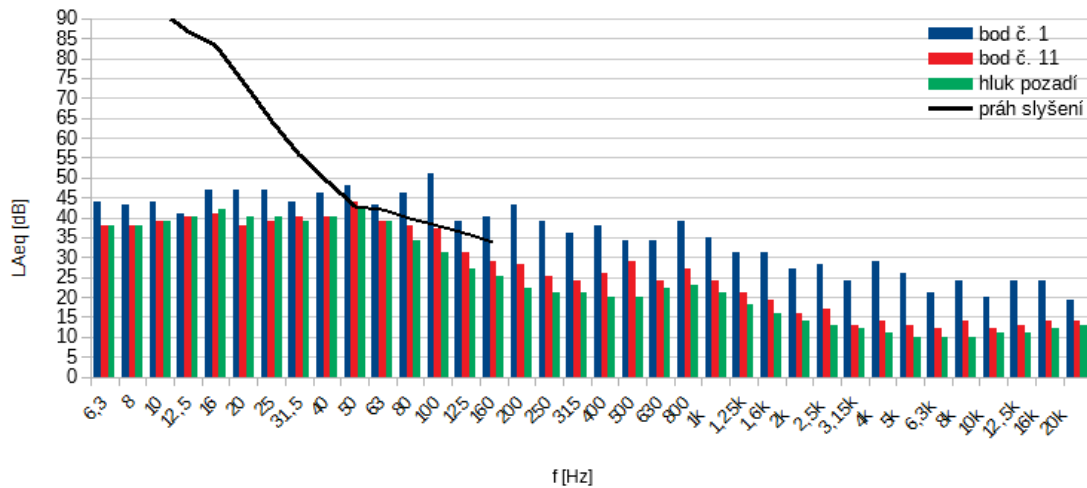
čerpádku. Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 13: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	45,6	32,0	0,0	45,6	58,5
2	46,4	32,0	0,0	46,4	
3	47,7	32,0	0,0	47,7	
4	47,6	32,0	0,0	47,6	
5	47,7	32,0	0,0	47,7	
6	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	
8	44,8	32,0	0,0	44,8	
9	41,1	32,0	0,6	40,5	
10	38,4	32,0	1,1	37,3	
11	34,7	32,0	3,0	31,7	

Další měřicí body byly zvoleny v osových vzdálenostech 2,0, 3,0, 5,0 a 6,8 m od tepelného čerpadla. Tyto naměřené body jsou znázorněny na Obr. 25 a uvedeny v Tab. 13.

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a v bodě nejbližší chráněnému venkovnímu prostoru stavby, tj. v bodě č. 11. Na následujícím grafu je vidět, že v bodě č. 1 se vyskytuje tónová složka oproti předešlému měření stejného tepelného čerpadla pouze při frekvenci 100 Hz. Vzdálenější a rozhodující měřicí bod vůči chráněnému venkovnímu prostoru stavby se tónová složka nevyskytuje. Hygienický limit pro hodnocení je tedy $L_{Aeq,8h} = 50$ dB v denní době a $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době.



Obr. 26 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo Panasonic WH-UD07HE5-1ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.6.2 Výpočetní model

Výsledky pro výpočtové body 8 - 11 jsou uvedeny v Tab. 14, ve které je také porovnání s naměřenými hodnotami ve stejných bodech. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je maximálně 2 dB, to je stále přípustný rozdíl pro nejistotu měření a výpočetního modelu.

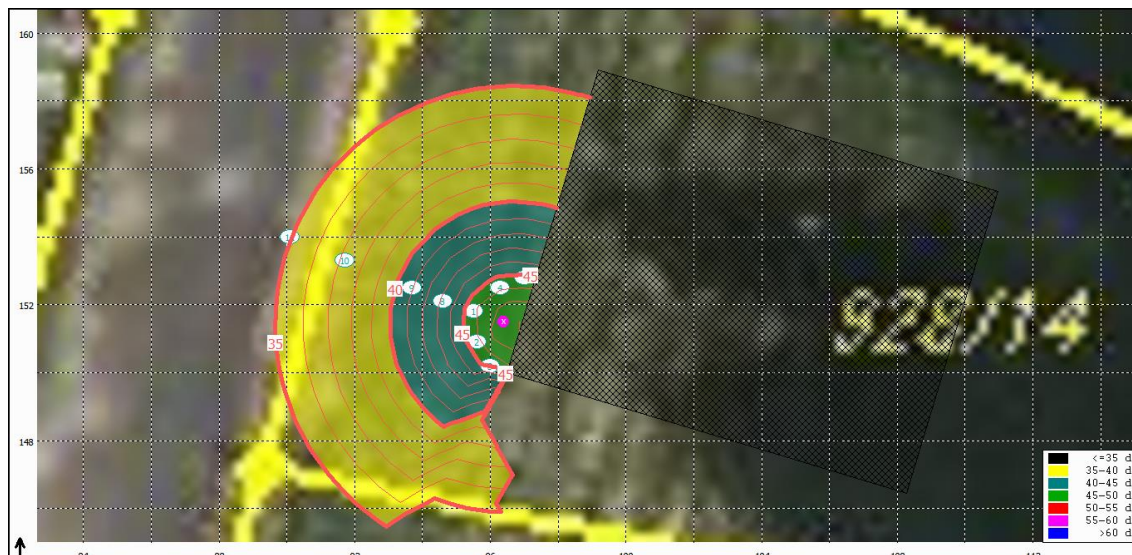
Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 - 11 jsou uvedeny v Tab. 14 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami.

Tab. 14: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 6

Bod [-]	L_{Aeq,naměřená} [dB]	L_{Aeq,vypočtená} [dB]	Rozdíl [dB]
8	44,8	44,8	-0,0
9	40,5	41,9	-1,4
10	37,3	37,6	-0,3
11	34,7	35,2	-0,5

Z tabulky je zřejmé, že ve všech vzdálenostech je rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou rozdíl do 1,5 dB.

V Obr. 27 jsou zobrazeny izofony ve výšce 2,0 m nad rovní terénu.



Obr. 27 Zobrazení izofon ve výšce 2,0 nad terénem

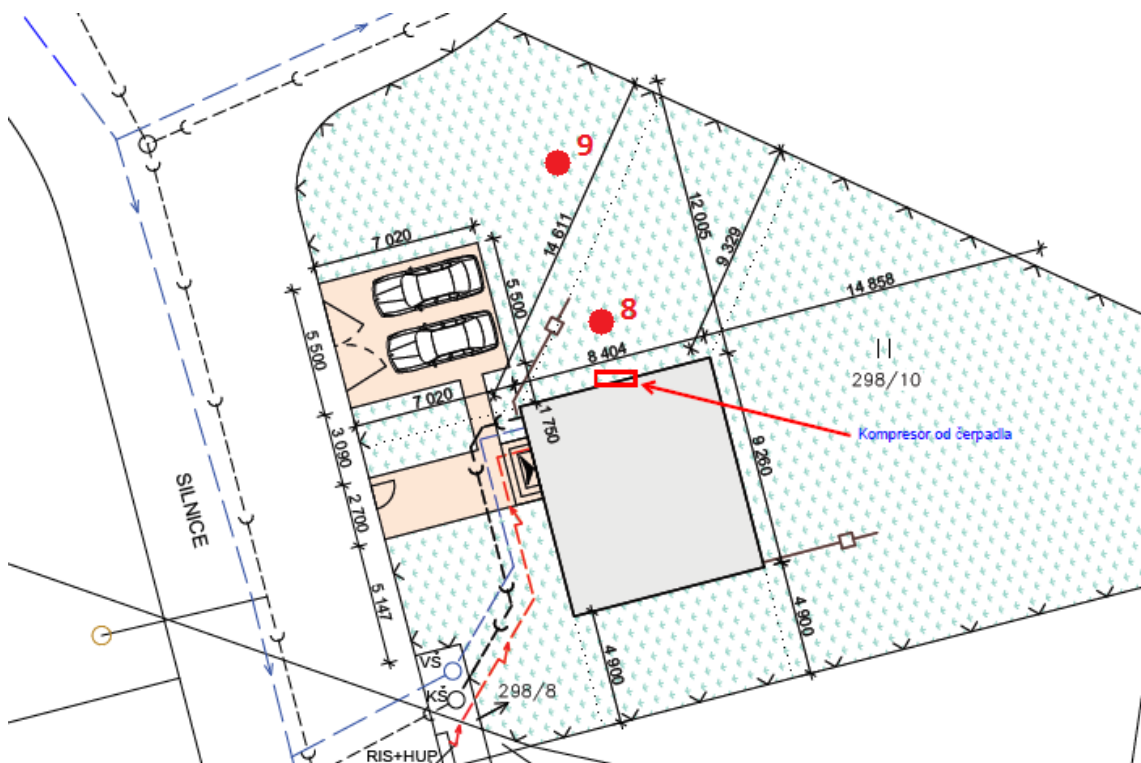
3.6.3 Závěr

Při měření byla zjištěna hladina akustického výkonu $L_{WA} = 58,5$ dB, v předchozím případě byla naměřena u vedlejšího rodinného domu hladina akustického tlaku stejného zdroje $L_{WA} = 59,2$ dB. Z těchto dvou téměř stejných hodnot lze usoudit, že obě tepelná čerpadla byla nastavena na stejný výkon.

Z výsledného rozložení izofon je stejně jako u předchozího tepelného čerpadla hygienický limit dodržen ve vzdálenosti 4,5 m od tepelného čerpadla. Ve směru osy se nachází chráněný venkovní prostor ve vzdálenosti 14,0 m. Hygienický limit $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době je prokazatelně dodržen. U obou tepelných čerpadel bylo vhodně zvoleno umístění venkovních jednotek.

3.7 Měření č. 7 - Panasonic WH-UD07HE5-1

Měření tepelného čerpadla bylo provedeno dne 12. 3. 2019 v čase od 12 do 13 hodin. Tepelné čerpadlo Panasonic WH-UD07HE5-1 bylo umístěno na konzoly u paty severní fasády rodinného domu. Měření probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, další měřicí body č. 8 a 9 byly ve vzdálenosti 2,0 a 7,5 m od tepelného čerpadla. Mezi tepelným čerpadlem a dřevěným plotem byl zatravněný terén. Hluk pozadí byl tvořen běžným ruchem obce.



Obr. 28 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla před severní fasádou rodinného domu a měřících bodů

3.7.1 Naměřená data

V Tab. 15 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{pA,eq} = 51,4$ dB. Pro zjištění hladiny akustického výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $13,9$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 62,8$ dB, výrobce udává v katalogovém listu $L_{WA} = 62,0$ dB pro 100% výkon

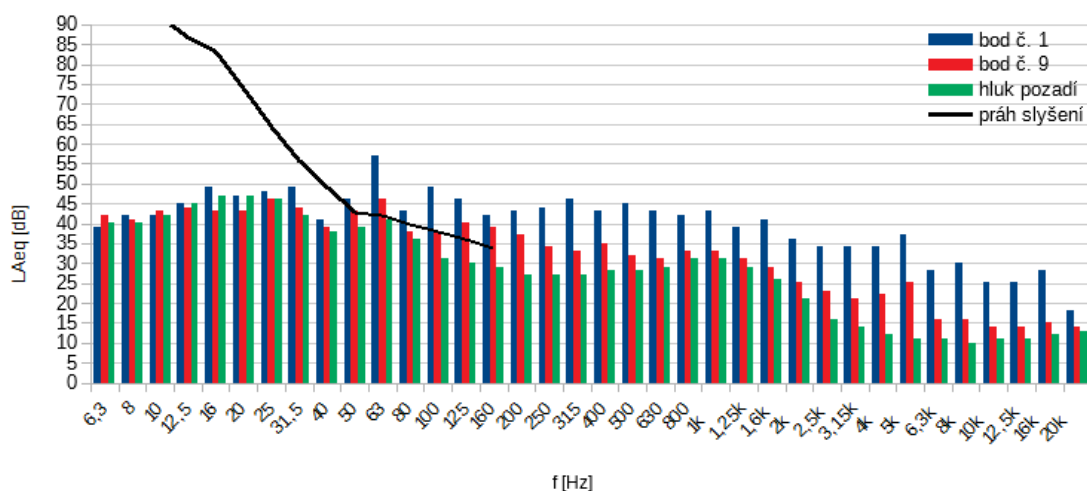
zdroje. Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 15: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	52,3	39,0	0,0	52,3	62,8
2	51,3	39,0	0,0	51,3	
3	50,7	39,0	0,0	50,7	
4	52,1	39,0	0,0	52,1	
5	51,6	39,0	0,0	51,6	
6	50,5	39,0	0,0	50,5	
7	50,7	39,0	0,0	50,7	
8	49,8	39,0	0,0	49,8	
9	42,4	39,0	2,7	39,8	

Dále bylo provedeno měření ve vzdálenosti 2,0 a 7,5 m od tepelného čerpadla. Tyto naměřené body jsou znázorněny na Obr. 28 a uvedeny v Tab. 15.

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a ve vzdálenost 7,5 m (bod č. 9). Na následujícím grafu je vidět, že v bodě č. 1 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 63 Hz. Vzdálenější a rozhodující měřicí bod vůči chráněnému venkovnímu prostoru stavby se tónová složka nevyskytuje. Hygienický limit pro hodnocení je tedy $L_{Aeq,8h} = 50$ dB v denní době a $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době.



Obr. 29 Třetinookrávová analýza pro tepelné čerpadlo Panasonic WH-UD07HE5-1ve vybraných měřicích bodech a hluku pozadí

3.7.2 Výpočetní model

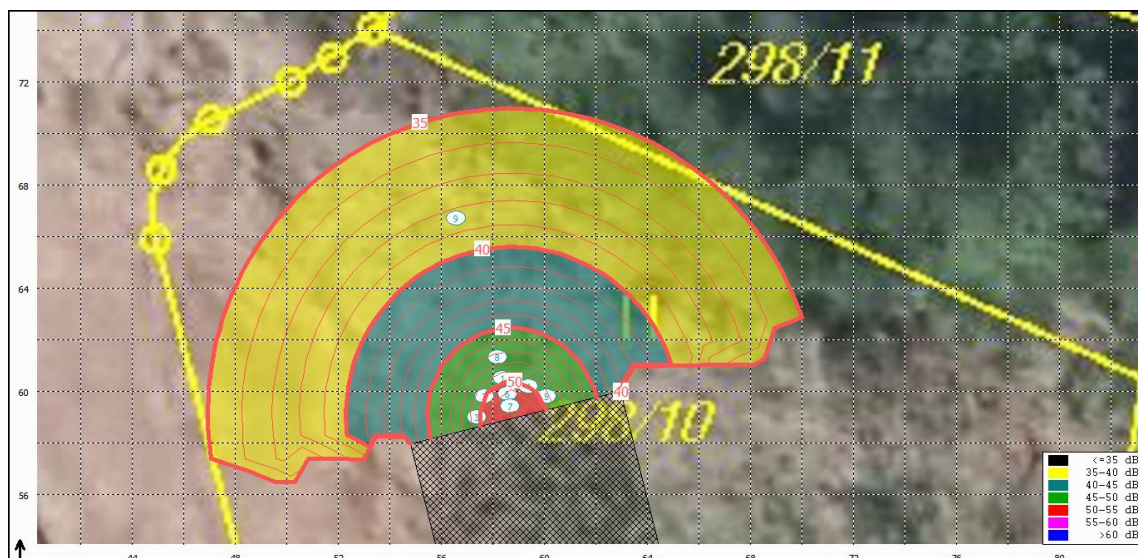
Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 16 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami.

Tab. 16 Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 7

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	49,8	49,0	+0,8
9	39,8	38,6	+1,2

Z tabulky je zřejmé, že ve všech vzdálenostech je rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou rozdíl do 1,5 dB.

V Obr. 30 jsou zobrazeny izofony ve výšce 2,0 m nad rovní terénem.



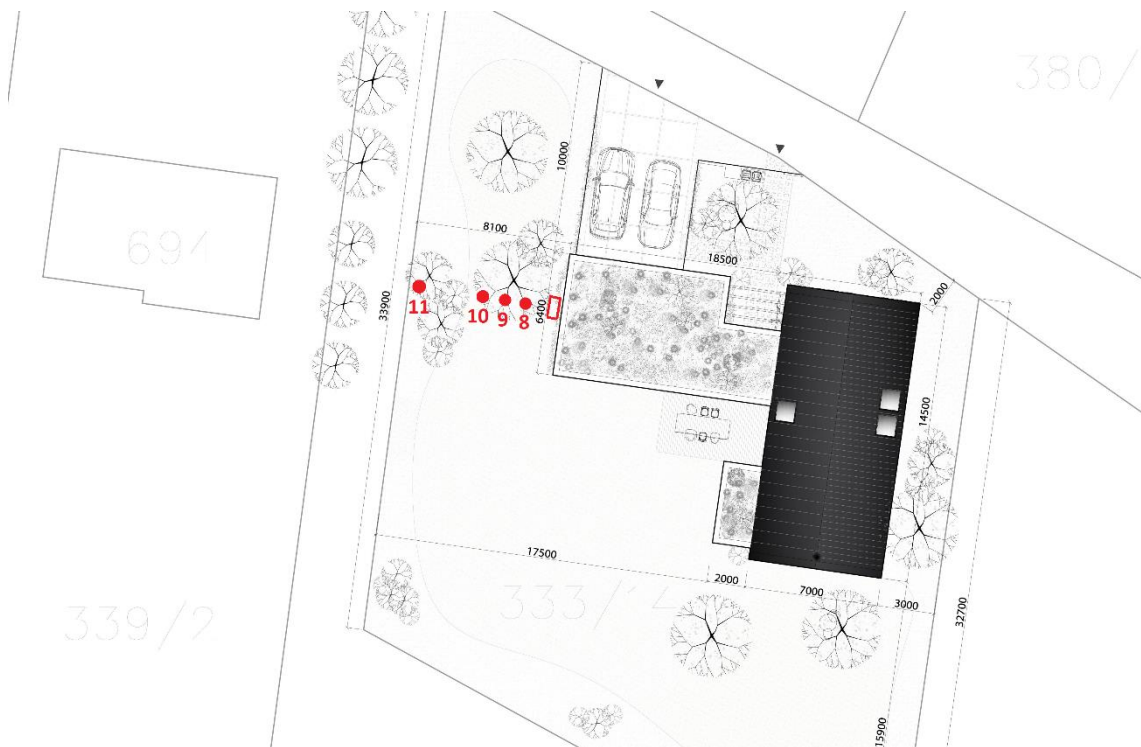
Obr. 30 Zobrazení izofon ve výšce 2,0 m nad terénem

3.7.3 Závěr

Bylo provedeno měření stejné venkovní jednotky tepelného čerpadla (Panasonic WH-UD07HE5-1) jako u předchozích dvou měření. V tomto měření se podařilo z naměřených hodnot vypočítat téměř stejnou hladinu akustického výkonu, kterou uvádí výrobce. Naměřená hladina akustického výkonu byla $L_{WA} = 62,8$ dB, výrobce udává hodnotu $L_{WA} = 62,0$ dB. Ani pro jedno měření nebyla prokázána tónová složka v bodech určených pro hodnocení hluku. Z vykreslených izofon je patrné, že hygienický limit hluku $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době je dodržen ještě na vlastním pozemku. I toto tepelné čerpadlo je vhodně umístěno z hlediska přenosu hluku vůči okolí.

3.8 Měření č. 8 - IVT AIR X90

Měření tepelného čerpadla bylo provedeno dne 12. 3. 2019 v čase od 14 do 15 hodin. Tepelné čerpadlo IVT AIR X90 bylo umístěno volně na terénu před západní fasádou garáže rodinného domu. Měření v bezprostřední blízkosti tepelného čerpadla probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, další měřicí body č. 8 - 11 byly zvoleny ve větších osových vzdálenostech do zdroje, viz Obr. 31. Terén mezi tepelným čerpadlem a místy měření byl zatravněn. Hluk pozadí byl tvořen zvuky zvířat.



Obr. 31 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla a měřících bodů 8 - 11

3.8.1 Naměřená data

V Tab. 17 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A $L_{pA,eq} = 44,9$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $18,0$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 57,5$ dB, výrobce udává v katalogovém listu $L_{WA} = 53,0$ dB pro výkon 40 % a $L_{WA} = 65,0$ dB pro 100% výkon zdroje. Z naměřených hodnot je patrné, že tepelné čerpadlo nebylo v provozu pro 100 % výkonu. Tato skutečnost byla zřejmá již při

měření, ale majitel objektu nebyl schopen zajistit vyšší výkon, což je při kolaudaci zásadní a provozní parametry by měly být kontrolovány objektivními metodami.

Během měření nebyl objekt dokončen a tedy určen k bydlení, tepelné čerpadlo bylo možné použít pouze pro chod vytápění, nebylo možné odebírat teplo vodu, v rodinném domě nebyly osazené vodovodní baterie.

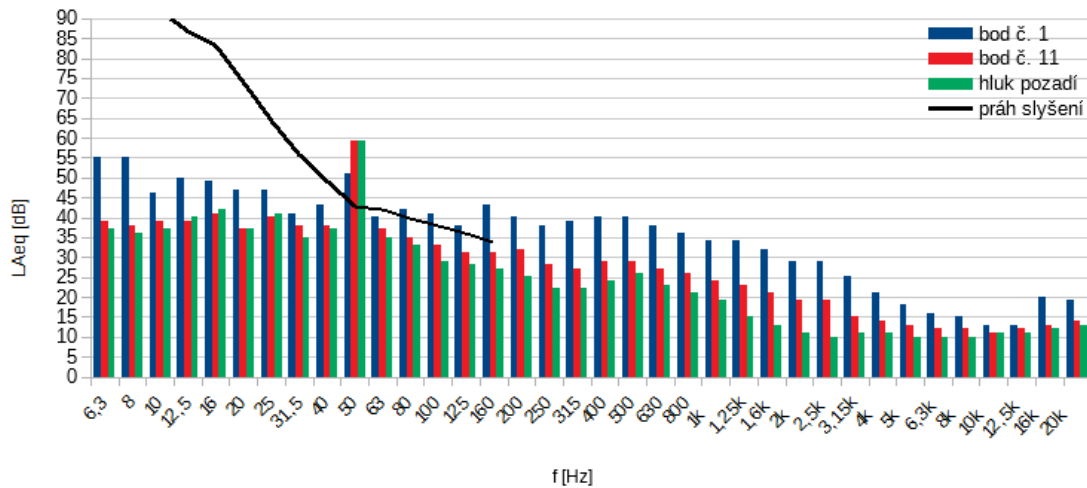
Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 17: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	46,1	34,1	0,0	46,1	57,5
2	45,2	34,1	0,0	45,2	
3	44,0	34,1	0,5	43,5	
4	45,9	34,1	0,0	45,9	
5	44,5	34,1	0,0	44,5	
6	44,5	34,1	0,0	44,5	
7	44,3	34,1	0,0	44,3	
8	41,5	34,1	0,9	40,6	
9	39,3	34,1	1,6	37,7	
10	38,2	34,1	2,1	36,1	
11	37,0	34,1	3,0	34,0	

Dále bylo provedeno měření ve větších osových vzdálenostech, konkrétně vždy v úrovni osy ventilátoru tepelného čerpadla. Všechny tyto body (8-11) jsou znázorněny na Obr. 31 a uvedeny v Tab. 17.

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na hranici pozemku (v bodě č. 11). Na Obr. 32 je vidět, že se tónová složka vyskytuje v bodě č. 1 i 11 při frekvenci 50 Hz. Dokonce je tónová složka vyzorována v hluku pozadí. V tuto chvíli nelze označit zdroj hluku za zdroj s tónovou složkou. Tónová složka hluku pozadí při 50 Hz napovídá, že měření mohlo ovlivnit vedení vysokého napětí, která se nacházela v blízkosti rodinného domu.



Obr. 32 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo IVT AIR X90 ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.8.2 Výpočetní model

Výsledky pro výpočtové body 8 - 11 jsou uvedeny v Tab. 18, ve které je také porovnání s naměřenými hodnotami ve stejných bodech.

Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 18 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami.

Tab. 18: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 8

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	40,6	42,6	-2,0
9	37,7	40,0	-2,3
10	36,1	37,4	-1,3
11	34,0	33,8	+0,2

Z tabulky je zřejmé, že s rostoucí vzdáleností klesá rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou. Pro větší vzdálenosti je tedy naměřená hodnota totožná vypočtené.

3.8.3 Závěr

Měření probíhalo v době, kdy majitel měl osazené tepelné čerpadlo před rodinným domem, ale dům nebyl ještě připraven k nastěhování. Chod tepelného čerpadla byl v režimu vytápění rodinného domu. Teplou vodu pro chybějící vodovodní baterie nebylo možné odebírat.

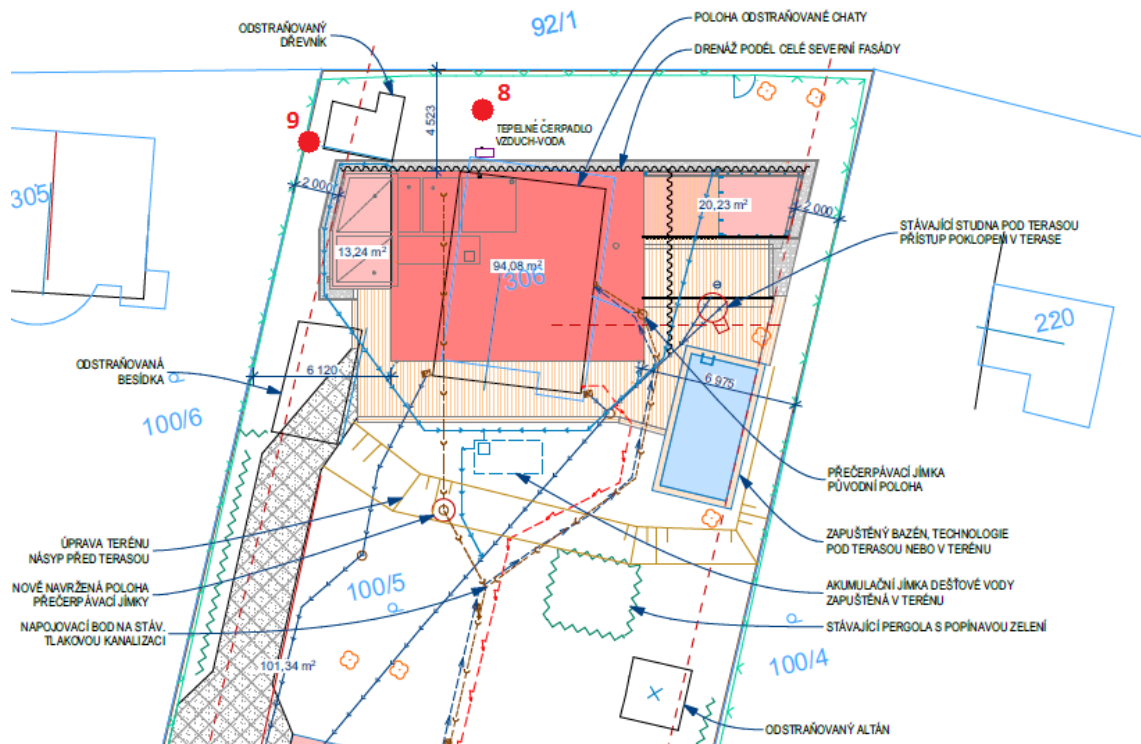
Za těchto podmínek byla naměřená hladina akustického výkonu $L_{WA} = 57,5$ dB, výrobce udává hodnotu $L_{WA} = 65,0$ dB. Měření by bylo vhodné opakovat po osazení vodovodních baterií. Dále je zajímavé vyhodnocení naměřeného spektra, kde se ve všech naměřených bodech vyskytuje tónová složka při frekvenci 50 Hz. Tónová složka je naměřena i při měření hluku pozadí. V blízkosti měření bylo nadzemní vedení vysokého napětí, proto je tónová složka přisuzována k frekvenci veřejné elektrické sítě, která je na frekvenci 50 Hz.

Z vypočtených a naměřených hodnot je zřejmé, že pro měřený stav je hygienický limit hluku před nejbližším chráněným venkovním prostorem dodržen.

3.9 Měření č. 9 - Sinclair DC Inverter ASGE-18AIN

Měření tepelného čerpadla bylo provedeno dne 27. 3. 2019 v čase od 15 do 16 hodin. Tepelné čerpadlo Sinclair DC Inverter ASGE-18AIN WK bylo umístěno volně na terénu před severní fasádou rodinného domu. Měření probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, další měřicí body č. 8 a 9 byly zvoleny ve větších vzdálenostech, viz Obr. 33. Tepelné čerpadlo se nacházelo v blízkosti hranice pozemku, proto nebylo možné provést měření ve větších osových vzdálenostech.

Dále byl ve vzdálenosti 3 m v úrovni osy tepelného čerpadla umístěn dřevník, naměřené hodnoty ve vzdálenosti 2 m mohou být tedy zकresleny odrazem od dřevníku. Mezi tepelným čerpadlem a dřevníkem byl při měření terén zatravnněn. Hluk pozadí tvořily zvuky zvířat.



Obr. 33 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla a měřicích bodů

3.9.1 Naměřená data

V Tab. 19 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A $L_{pA,eq} = 57,9$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $13,9$ m².

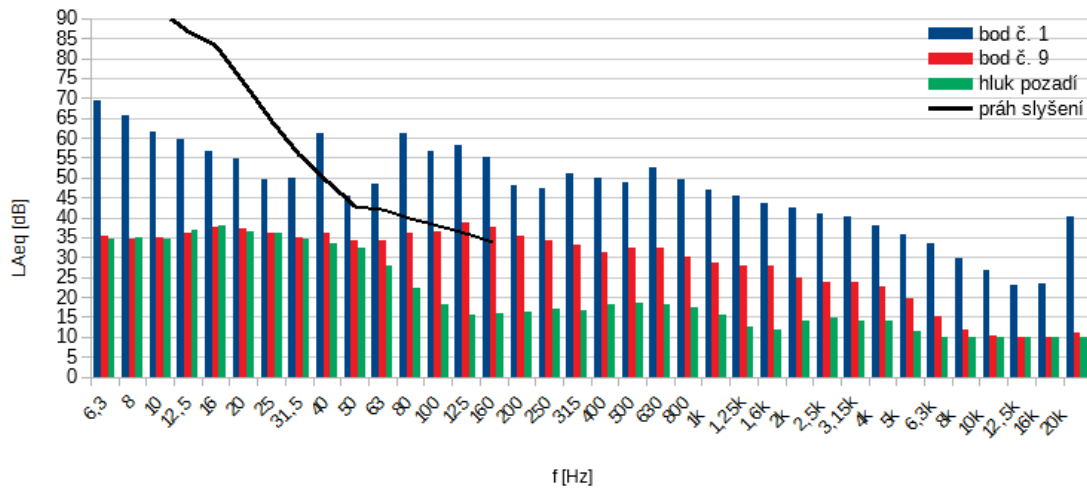
Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 69,3 \text{ dB}$, výrobce v katalogovém listu neuvádí hladinu akustického výkonu L_{WA} , ale hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m $L_{pA,1m} = 56,0 \text{ dB}$, dle vztahu (3) lze odhadnout, že L_{WA} bude 68 dB.

Tab. 19: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	57,9	28,7	0,0	57,9	69,3
2	57,8	28,7	0,0	57,8	
3	55,0	28,7	0,0	55,0	
4	56,5	28,7	0,0	56,5	
5	59,5	28,7	0,0	59,5	
6	59,1	28,7	0,0	59,1	
7	58,0	28,7	0,0	58,0	
8	53,1	28,7	0,0	53,1	
9	40,6	28,7	0,0	40,6	

Měřicí bod č. 8 je v osově výšce a vzdálenosti 2 m od ventilátoru tepelného čerpadla a bod č. 9 je umístěn na hranici pozemku, nejbližší ke stávajícímu chráněnému venkovnímu prostoru stavby, kolmo od tepelného čerpadla ve vzdálenosti 8 m. Oba body jsou znázorněny na Obr. 33 a naměřené hodnoty uvedeny v Tab. 19.

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na hranici pozemku (v bodě č. 9). Na následujícím grafu je vidět, že jak v bodě č. 1 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 40 Hz a 20 kHz. Vzdálenější a rozhodující měřicí bod vůči chráněnému venkovnímu prostoru stavby se tónová složka nevyskytuje. Hygienický limit pro hodnocení je tedy $L_{Aeq,8h} = 50 \text{ dB}$ v denní době a $L_{Aeq,1h} = 40 \text{ dB}$ v noční době.



Obr. 34 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo Sinclair DC Inverter ASGE-18AIN ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.9.2 Výpočetní model

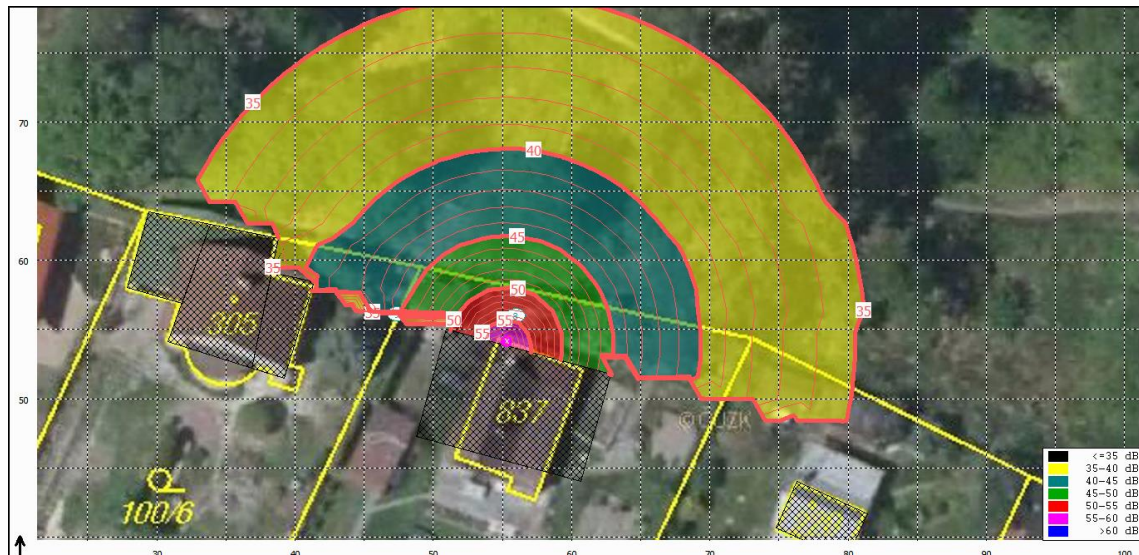
Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 a 9 jsou uvedeny v Tab. 20 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami.

Tab. 20: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 9

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	53,1	55,6	-2,5
9	40,6	43,3	-2,7

Z tabulky je zřejmé, že výpočetní program v tomto případě ukazuje vyšší hodnoty, než jaké byly skutečně naměřeny, výpočet je na straně bezpečnosti.

Na Obr. 35 jsou zobrazeny izofony ve výšce 2,0 m nad rovni terénu.



Obr. 35 Zobrazení izofon ve výšce 2,0 nad terénem

3.9.3 Závěr

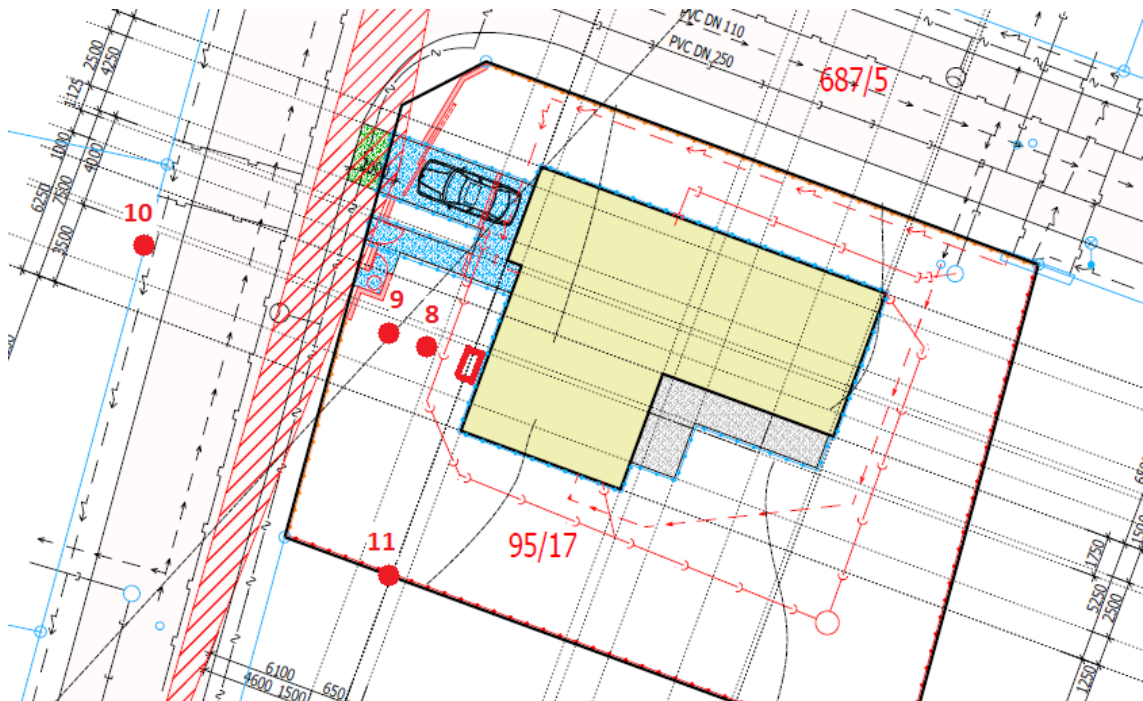
Při měření tepelné čerpadla typu Sinclair DC Inverter ASGE-18AIN WK byla zjištěna hladina akustického výkonu $L_{WA} = 69,3$ dB, výrobce ve svém technickém listu uvádí pouze hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m $L_{pA,1m} = 56,0$ dB, dle vztahu (3) lze odhadnout, že L_{WA} bude 68 dB.

Při měření se na hranici pozemku neprokázala přítomnost tónové složky. Dle výsledného rozložení izofon je hygienický limit $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době dodržen před nejbližším chráněným prostorem stavby. Ve směru osy se chráněný venkovní prostor nenachází, v tomto prostoru se dle katastrálního území nachází lesní pozemek.

3.10 Měření č. 10 - NIBE AMS 10-6

Měření tepelného čerpadla NIBE AMS 10-6 bylo provedeno dne 3. 4. 2019 v čase od 13 do 14 hodin. Tepelné čerpadlo bylo umístěno na betonové tvárnici před západní fasádou rodinného domu. Měření probíhalo dle popisu měření v kapitole 3, další měřicí body č. 8-11 byly ve větších vzdálenostech a různých směrech, viz Obr. 36 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla před západní fasádou rodinného domu a měřících bodů.

Mezi tepelným čerpadlem a místy měření 8, 9 a 11 byl neupravený, nezatravněný terén. Bod č. 10 byl měřen na asfaltové komunikaci. Hluk pozadí byl tvořen drobnými pracemi na vedlejších pozemcích a zvuky zvířat.



Obr. 36 Situace RD s umístěním tepelného čerpadla před západní fasádou rodinného domu a měřících bodů

3.10.1 Naměřená data

V Tab. 21 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Body č. 1 - 7 jsou hladiny akustického tlaku L_{pA} ve vzdálenosti 1,0 m do všech směrů tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A $L_{pA,eq} = 56,3$ dB. Pro zjištění hladiny akustické výkonu L_{WA} bylo nutné spočítat dle ČSN ISO 3744 [4] měřicí plochu S , která je $13,9$ m².

Výpočtem dle normy ČSN ISO 3744 [4] je výsledná hladina akustického výkonu $L_{WA} = 57,6 \text{ dB}$, výrobce v katalogovém listu neuvádí hladinu akustického výkonu L_{WA} , ale hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m $L_{pA,1m} = 51,0 \text{ dB}$, dle vztahu (3) lze odhadnout, že L_{WA} bude 63 dB.

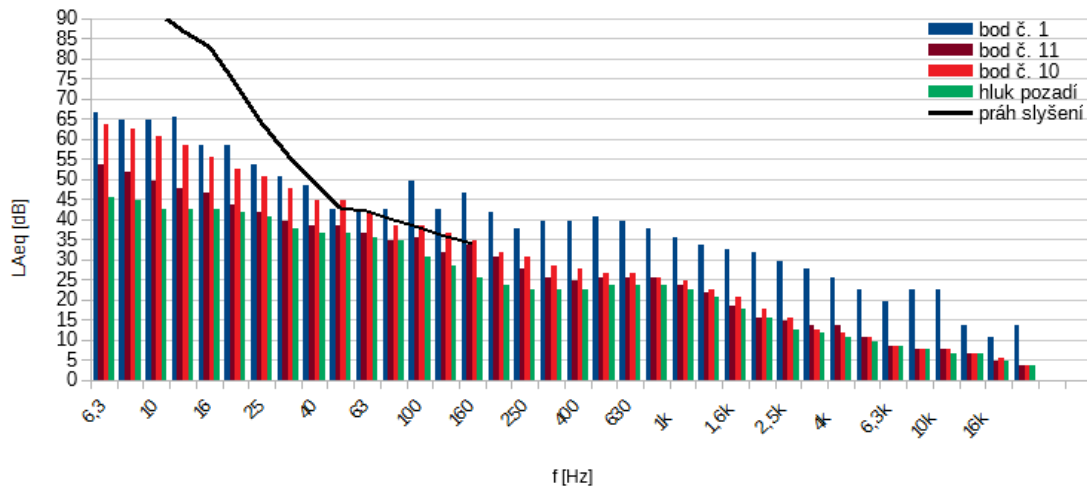
Všechny výše zmíněné hodnoty z měření a následných přepočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 21: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	L_{WA} [dB]
1	47,2	32,0	0,0	47,2	57,6
2	46,6	32,0	0,0	46,6	
3	44,9	32,0	0,0	44,9	
4	46,7	32,0	0,0	46,7	
5	44,2	32,0	0,0	44,2	
6	47,2	32,0	0,0	47,2	
7	45,3	32,0	0,0	45,3	
8	42,7	32,0	0,0	42,7	
9	40,2	32,0	0,7	39,5	
10	36,7	32,0	1,8	34,9	
11	34,7	32,0	0,0	34,7	

Dále bylo provedeno měření ve větších vzdálenostech, konkrétně vždy v bodech 8 - 10 v úrovni výšky osy ventilátoru a ve vzdálenostech 2,0, 3,0, a 14,0 m od tepelného čerpadla. Další bod (č. 11) byl měřen na hranici pozemku kolmo k ose venkovní jednotky ve vzdálenosti 9,2 m. Všechny tyto body (8 - 11) jsou znázorněny Obr. 36 a uvedeny v Tab. 21: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

Třetinookrávová analýza byla provedena 1 m před tepelným čerpadlem (bod č. 1) a na obou hranicích pozemků (v bodech č. 10 a 11). Na následujícím grafu je vidět, že v bodě č. 1 se vyskytuje tónová složka při frekvenci 100 Hz. Vzdálenější a rozhodující měřicí body vůči chráněným venkovním prostorům se tónová složka nevyskytuje. Hygienický limit pro hodnocení je tedy $L_{Aeq,8h} = 50 \text{ dB}$ v denní době a $L_{Aeq,1h} = 40 \text{ dB}$ v noční době.



Obr. 37 Třetinooktávová analýza pro tepelné čerpadlo NIBE AMS 10-6 ve vybraných měřených bodech a hluku pozadí

3.10.2 Výpočetní model

Výsledky výpočetního modelu v bodech 8 - 11 jsou uvedeny v Tab. 22 a porovnány s reálně naměřenými hodnotami.

Tab. 22: Naměřené hodnoty in-situ a výsledky z výpočetního modelu pro měření č. 10

Bod [-]	$L_{Aeq,naměřená}$ [dB]	$L_{Aeq,vypočtená}$ [dB]	Rozdíl [dB]
8	42,7	43,3	-0,6
9	39,5	40,2	-0,7
10	34,9	28,2	+6,7
11	34,7	31,9	+2,8

Z tabulky je zřejmé, že ve větších vzdálenostech je vypočtená hodnota nižší než naměřená. Je to dáno tím, že v lokalitě byl naměřen hluk pozadí $L_{Aeq} = 32,0$ dB. Dle vypočtených hodnot se obě hodnoty nacházejí pod naměřeným hlukem pozadí, proto nebylo možné hluk z tepelného čerpadla v takovéto vzdálenosti odlišit od hluku pozadí.

3.10.1 Závěr

V rámci měření tepelné čerpadla byl vypočtena hladina akustického výkonu $L_{WA} = 57,6$ dB, výrobce ve svém technickém listu uvádí pouze hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m $L_{pA,1m} = 51,0$ dB, odhadem dle vztahu (3) je $L_{WA} = 63$ dB.

Při měření se ani na jedné z hranic pozemků neprokázala přítomnost tónové složky. Dle vypočtených hodnot je hygienický limit $L_{Aeq,1h} = 40$ dB v noční době dodržen na obou hranicích pozemků.

3.11 Měření č. 11 – Schlieger Air Economy 15

Na žádost majitele sousedního objektu byla v roce 2016 provedena dvě akreditovaná měření hluku Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě [17].

Třetí a zatím poslední měření bylo provedeno po výstavbě protihlukové bariéry a servisních úpravách tepelného čerpadla v březnu 2019, toto měření bylo provedeno na žádost provozovatele zdroje hluku a pouze na vlastním pozemku.

Tepelné čerpadlo je umístěno před východní fasádou rodinného domu, od kterého se nejbližší chráněný venkovní prostor stavby (dále jen CHVPS) se nachází v půdorysné vzdálenosti cca 7,0 m, viz Obr. 38.

Cílem je navrhnout z dostupných podkladů a naměřených dat optimální umístění venkovní jednotky pro splnění hygienických limitů hluku před nejbližším chráněným venkovním prostorem. Jednotlivé varianty řešení budou popsány, vypočteny a zhodnoceny v kapitole 3.11.2.



Obr. 38 Letecký snímek s vyznačeným tepelným čerpadlem a protihlukovou bariérou

3.11.1 Naměřená data

V Tab. 23 a Tab. 24 bude provedeno shrnutí měřicích bodů a naměřených hodnot z protokolu o měření Zdravotním ústavem [17]. V první tabulce je uvedeno měření na základě stížností, ve druhé jsou výsledky po provedení technických úprav tepelného čerpadla.

Tab. 23: Výsledky měření před realizací úprav

Bod	Popis místa měření	L_{Aeq}	L_{Aeq,pozadí}	Korekce na hluk pozadí	Korekce na odraz	L_{Aeq,výsledná}
[-]	[-]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	1 m v ose TČ	65,2	23,8	0,0	0,0	65,2
2	2 m v ose TČ	60,1	23,8	0,0	0,0	60,1
3	2 m před CHVPS	45,0	23,3	0,0	2,0	43,0
4	2 m před CHVPS	48,6	23,3	0,0	2,0	46,6

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty po provedení technických úprav tepelného čerpadla.

Tab. 24: Výsledky měření po realizaci úprav

Bod	Popis místa měření	L_{Aeq}	L_{Aeq,pozadí}	Korekce na hluk pozadí	Korekce na odraz	L_{Aeq,výsledná}
[-]	[-]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	1 m v ose TČ	59,9	20,7	0,0	0,0	59,9
2	2 m v ose TČ	-	-	-	-	-
3	2 m před CHVPS	41,7	23,3	0,0	2,0	39,7
4	2 m před CHVPS	44,5	23,3	0,0	2,0	42,5

Z výše uvedených naměřených hodnot ve vzdálenosti 2,0 m před chráněným venkovním prostorem stavby je v obou měřeních hygienický limit hluku $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době jednoznačně překročen.

Třetí měření bylo provedeno pro zjištění hladiny akustického výkonu tepelného čerpadla. Na místě byla již ve vzdálenosti 2,0 m od tepelného čerpadle umístěna betonová bariéra ve formě neprůsvitné stěny o délce 4,2 m a výšce 2,1 m.

V Tab. 25 jsou naměřená data v jednotlivých bodech měření. Měření bylo provedeno ve všech 4 směrech ve vzdálenosti 1,0 m od tepelného čerpadla. Z těchto hodnot je následně vypočtena průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A $L_{pA,eq}$, měřicí plocha S a výsledná hladina akustického výkonu L_{WA} .

Tab. 25: Tabulka naměřených hodnot hladin akustických tlaků L_{Aeq} v jednotlivých bodech a výslednou hladinou akustického výkonu L_{WA} měřeného tepelného čerpadla

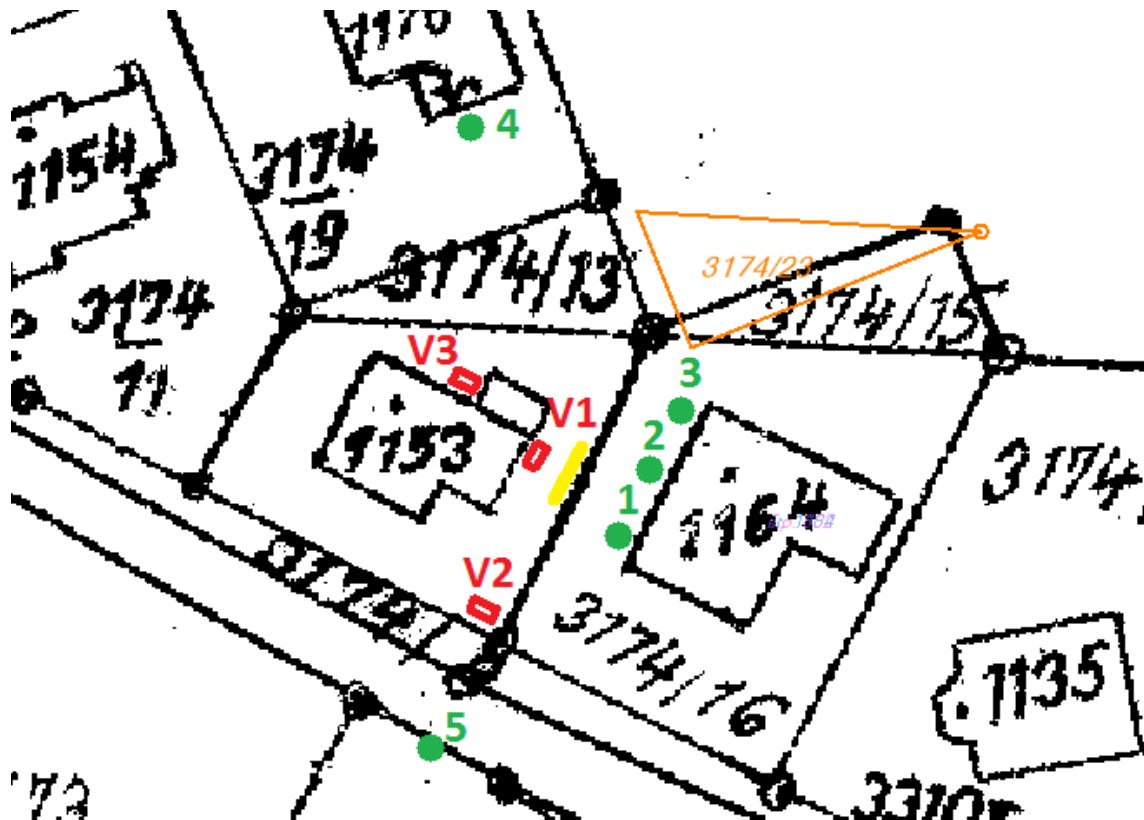
Bod [-]	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq,pozadí}$ [dB]	Korekce [dB]	$L_{Aeq,výsledná}$ [dB]	$L_{pA,výsledná}$ [dB]	S [m ²]	L_{WA} [dB]
1	60,9	34,7	0,0	60,9	59,1	20,0	72,1
2	59,1	34,7	0,0	59,1			
3	58,2	34,7	0,0	58,2			
4	57,2	34,7	0,0	57,2			

Třetinookrátovou analýzou byla dle protokolu [17] prokázána tónová složka u nejbližších chráněných venkovních prostor stavby. Hygienický limit pro hodnocení před nejbližším chráněným venkovním prostorem stavby bude tedy $L_{Aeq,8h} = 45$ dB v denní době a $L_{Aeq,1h} = 35$ dB v noční době.

3.11.2 Výpočetní model

Ve výpočetních variantách byly posouzeny možné varianty umístění tepelného čerpadla. Návrhové varianty jsou znázorněny na Obr. 39. Dále se mezi stávajícím umístěním tepelného čerpadla a sousedním objektem nachází bariéra o výšce 2,1 m a půdorysné délce 4,2 m, na obrázku je zakreslena žlutou barvou. Jedna z možných variant bude také prodloužení této bariéry.

Zelenými body jsou vyznačeny chráněné venkovní prostory, červeně s označením V a číslem možné varianty řešení. Všechny výpočtové body budou posouzeny ve výšce 1,8 m nad úrovní terénu.



Obr. 39 Varianty umístění tepelného čerpadla a body hodnocení

Varianta č. 1a

Tato varianta je pro stávající stav, kdy bylo provedeno poslední měření. Umístění venkovní jednotky tepelného čerpadla se nachází před jihovýchodní fasádou rodinného domu a ve vzdálenosti 2,0 m od jednotky je umístěna protihluková bariéra, viz Obr. 38.

Tab. 26: Výpočet a hodnocení varianty č.1a

Bod [-]	$L_{Aeq,T,vypočtená}$ [dB]	Hodnocení	
		Denní doba	Noční doba
1	35,7	Limit dodržen	Limit překročen
2	35,8	Limit dodržen	Limit překročen
3	41,0	Limit dodržen	Limit překročen
4	< 20	Limit dodržen	Limit dodržen
5	38,2	Limit dodržen	Limit překročen

Z předchozí tabulky je zřejmé, že hygienický limit v denní době je ve všech výpočetních bodech dodržen, v noční době je hygienický limit dodržen pouze ve výpočtovém bodě č. 4. V ostatních bodech není splněn hygienický limit pro noční dobu.

Varianta č. 1b

Umístění venkovní jednotky zůstává, prodlouží se protihluková bariéra o půdorysnou vzdálenost 2 m k severní části a 2 m k jižní části stávající bariéry.

Tab. 27: Výpočet a hodnocení varianty č. 1b

Bod [-]	$L_{Aeq,T,vypočtená}$ [dB]	Hodnocení	
		Denní doba	Noční doba
1	35,7	Limit dodržen	Limit překročen
2	35,8	Limit dodržen	Limit překročen
3	34,3	Limit dodržen	Limit dodržen
4	< 20	Limit dodržen	Limit dodržen
5	38,2	Limit dodržen	Limit překročen

Dle vypočtených výsledků je hygienický limit v noční době ve většině výpočetních bodů překročen. Oproti variantě 1a došlo ke zlepšení a dodržení hygienického limitu ve výpočtovém bodě č. 3. Na ostatní výpočtové body nemělo opatření ve formě prodloužení bariéry vliv.

Varianta č. 2

Dalším možným návrhem je umístit tepelné čerpadlo na jihovýchodní roh pozemku.

Tab. 28: Výpočet a hodnocení varianty č. 2

Bod [-]	$L_{Aeq,T,vypočtená}$ [dB]	Hodnocení	
		Denní doba	Noční doba
1	43,4	Limit dodržen	Limit překročen
2	40,4	Limit dodržen	Limit překročen
3	37,9	Limit dodržen	Limit překročen
4	< 20	Limit dodržen	Limit dodržen
5	42,9	Limit dodržen	Limit překročen

Přemístění tepelného čerpadla do jihovýchodního rohu pozemku není vhodná. Dle vypočtených hodnot je hygienický limit v noční době překročen celkem ve 4 výpočetních bodech z 5 posuzovaných.

Varianta č. 3

Poslední možnou variantou je umístit tepelné čerpadlo před severovýchodní fasádu rodinného domu. Jednotka by byla umístěna v rohu mezi fasádou rodinného domu a přístavovanou kůlnou.

Tab. 29: Výpočet a hodnocení varianty č. 3

Bod [-]	$L_{Aeq,T,vypočtená}$ [dB]	Hodnocení	
		Denní doba	Noční doba
1	< 20	Limit dodržen	Limit dodržen
2	22,0	Limit dodržen	Limit dodržen
3	28,4	Limit dodržen	Limit dodržen
4	41,4	Limit dodržen	Limit překročen
5	< 20	Limit dodržen	Limit dodržen

Z vypočtených hodnot je možné vyhodnotit, že přemístěním tepelného čerpadla před severovýchodní fasádu rodinného domu je účinné z hlediska přenosu hluku k sousedům, kteří si na hluk stěžovali. V těchto výpočetních bodech je hygienický limit v denní i noční době dodržen. Hygienický limit v noční době je ale překročen před chráněným venkovním prostorem stavby u rodinného domu severně od provozovatele tepelného čerpadla. Problém tedy není vyřešen, pouze přemístěn.

3.11.3 Závěr

Předmětem vyhodnocování bylo tepelné čerpadlo Schlieger Air Economy 15 umístěné ve vzdálenosti 7,0 m od nejbližšího chráněného prostoru stavby.

Pro tento typ tepelného čerpadla nebylo možné najít žádná dostupná technická data. Měřením a následným přepočtem byla zjištěna hladina akustického výkonu zdroje $L_{WA} = 72,1$ dB.

Vyhodnocena byla stávající situace a další možné varianty pro přemístění tepelného čerpadla. Dle vypočtených hodnot není možné změnou umístění venkovní jednotky splnit ve všech nejbližších chráněných prostorech hygienické limity v noční době.

Nejlepší možnou variantou je dle výpočtů varianta 1b, kde po rozšíření protihlukové bariéry je hygienický limit v noční době překročen o 4 dB. Pokud by výrobce dokázal pomocí technického opatření nebo zajištěním snížení výkonu

v noční době garantovat hladinu akustického výkonu $L_{WA} = 68$ dB bude hygienický limit ve všech výpočetních bodech dodržen.

V případě, že není výrobce schopen zajistit tuto hladinu akustického výkonu v noční době, je nutné tepelné čerpadlo opatřit protihlukovým krytem nebo venkovní jednotku vyměnit za tišší.

4 VÝPOČTOVÁ METODA

Pro všechna naměřená tepelná čerpadla byl proveden výpočet pro šíření hluku ve volném prostoru dle výše zmíněného vztahu (3). Ve výpočtu je použita naměřená hladina akustické tlaku v ose ventilátoru tepelného čerpadla ve vzdálenosti 1 m a hladina akustického výkonu L_{WA} vypočtená z naměřených hodnot in-situ. Dále je za činitel směrovosti dosazena hodnota dle umístění venkovní jednotky, kde většina měřených jednotek byla před fasádou rodinného domu a těsně nad úrovní terénu. Pro tento případ umístění jednotky se použije činitel směrovost $Q = 4$, pouze u měření č. 3 bylo tepelné čerpadlo umístěno mezi dvěma fasádami, pro výpočet bude použito $Q = 8$.

V Tab. 30 jsou vypočtené činitele směrovosti pro jednotlivá měření a vzdálenosti. V posledním sloupci je teoretická hodnota Q , která se použije k výpočtu pro šíření hluku ve volném prostoru.

Při provádění měření se nepředpokládá výpočet činitelů směrovosti v předem určených vzdálenostech, proto nejsou naměřené hodnoty ve všech vzdálenostech od zdroje hluku. K přesnějším výsledkům je nutné naměřit více vzorků ve stejných vzdálenostech, nejlépe v metrových rozestupech do vzdálenosti cca 10 m od venkovní jednotky.

Tab. 30: Vypočet činitele směrovosti z reálně naměřených dat pro různé vzdálenosti

měření č.	Vypočtené Q [-] v jednotlivých vzdálenostech					Teoretické Q [-]
	1 m	2 m	3 m	4 m	>5 m	
1	1,2	-	-	-	1,1	4
2	0,9	2,9*	3,4*	-	-	4
3	1,7	2,6	-	4,4	-	8
4	0,6	1,4	1,5	-	1,7	4
5	1,2	1,6	-	-	-	4
6	0,6	2,1	1,8	-	2,4	4
7	1,1	2,5	-	-	3,5*	4
8	0,9	1,0	-	1,6	2,8*	4
9	0,9	1,2	-	-	0,8	4
10	0,9	1,2	1,8	-	2,8*	4

Poznámka: *vypočtené činitele směrovosti mohou být zkreslené, naměřená hladina akustického tlaku zdroje se blížila hladině akustického tlaku pozadí. Nebylo tedy možné jednoznačně rozlišit měření zdroje hluku a hluk pozadí.

Pro jednotlivá měření jsou v Tab. 31 v prvním řádku vypočteny hladiny akustických tlaků s použitím teoretických činitelů směrovosti a ve druhém řádku hladiny akustických tlaků, které byly skutečně naměřené.

Tab. 31: Vypočtené a skutečně naměřené L_{pA} v jednotlivých vzdálenostech od zdroje

měření č.	L_{pA} [dB] v jednotlivých vzdálenostech				
	1 m	2 m	3 m	4 m	> 5 m
1	63,9	-	-	-	46,3
	58,6	-	-	-	40,6
2	58,6	52,6	49,0	-	-
	52,1	51,2	48,3	-	-
3	62,1	56,1	-	50,1	-
	55,4	51,2	-	47,5	-
4	64,2	58,2	54,7	-	50,2
	56,1	53,7	50,5	-	46,6
5	54,1	48,2	-	-	-
	49,1	44,1	-	-	-
6	53,5	47,5	44,0	-	39,6
	45,6	44,8	40,5	-	37,3
7	57,8	51,8	-	-	40,3
	52,3	49,8	-	-	39,8
8	52,5	46,5	43,0	39,7	35,6
	46,1	40,6	37,7	36,1	34,0
9	64,4	58,3	-	-	46,3
	57,9	53,1	-	-	40,6
10	52,6	46,6	43,1	-	33,3
	47,2	42,7	39,5	-	31,7

Z Tab. 30 a Tab. 31 je zřejmé, že při použití vztahu (3) pro šíření hluku ve volném prostředí je vypočtená hladina akustického tlaku vyšší než naměřená. Výpočtová metoda je tedy vždy na straně bezpečnosti.

5 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na problematiku šíření hluku venkovních jednotek tepelných čerpadel. Práce zahrnovala měření, zpracování dat, vytvoření výpočetního modelu a následné porovnání s akustickými hodnotami udávané výrobcí.

Měření bylo prováděno v zimním období na přelomu roku 2018 a 2019, kdy byli požádáni majitelé tepelných čerpadel o poskytnutí součinnosti při měření. V tomto období se podařilo naměřit celkem 10 vzorků od 4 různých výrobců tepelných čerpadel.

Po naměření byla data analyzována, vyhodnocena v tabulkovém editoru a následně porovnána s údaji udávanými výrobcí. V dalším kroku bylo za použití výpočetního programu HLUK+ provedeno vymodelování měřené situace a zjištění rozdílu mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami.

V Tab. 32 jsou shrnuty veškeré naměřené, dopočtené a výrobcem udávané hladiny akustických parametrů měřených tepelných čerpadel in-situ. V tabulce je uveden výrobce a typ tepelného čerpadla, průměrná ekvivalentní hladina akustické tlaku A, měřicí plocha, dopočtená hladina akustického výkonu a hladina akustického výkonu udávaná výrobcem.

Tab. 32: Souhrnná tabulka uskutečněných měření

č. měření	Typ jednotky	$L_{pA,eq}$,průměrná [dB]	S [m ²]	L_{WA} ,naměřená [dB]	L_{WA} ,výrobce [dB]
1	IVT AIR X50	56,3	18,0	68,8	64,0
2	IVT AIR X50	51,0	18,0	63,6	64,0
3	IVT AIR X50	54,2	10,2	64,1	64,0
4	IVT AIR X50	56,6	18,0	69,2	64,0
5	Panasonic WH-UD07HE5-1	47,8	13,9	59,2	62,0
6	Panasonic WH-UD07HE5-1	47,1	13,9	58,5	62,0
7	Panasonic WH-UD07HE5-1	51,4	13,9	62,8	62,0
8	IVT AIR X90	44,9	18,0	57,5	65,0
9	Sinclair DC ASGE-18AIN	57,9	13,9	69,3	57,0*
10	NIBE AMS 10-6	56,3	13,9	57,6	51,0*

Poznámka: *výrobce uvádí pouze hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m ($L_{pA,1m}$)

Z Tab. 32 je zřejmé, že pro měření č. 2, 3 a 7 byla naměřená přibližně stejná hladina akustického výkonu L_{WA} jakou uvádí výrobce. U ostatních měření, ve kterých byla naměřena hladina akustického výkonu nižší, než ta kterou udává výrobce, bylo

příčinou, že nebylo možné tepelné čerpadlo spustit na největší možný výkon. Opačným případem jsou měření č. 1 a 3, kdy byla naměřena vyšší hladina akustického výkonu. Zvýšená hlučnost stroje mohla být při měření č. 1 zapříčiněna umístěním poloprůsvitného plotu před tepelným čerpadlem, který mohl odrážet zvukové vlny zpět k místu měření, a v měření č. 3 slyšitelnou závadou ložiska ventilátoru.

Při měření víceotáčkových zařízení je problém, že není známo, při jakých otáčkách ventilátoru je prováděno měření. Pro dalších měření hlučnosti by bylo dobré paralelně měřit také otáčky ventilátoru.

Dále byla zjišťována přítomnost tónové složky jednotlivých měřených čerpadel. U všech 4 měřených tepelných čerpadel IVT AIR X50 byla zjištěna tónová složka, u ostatních venkovních jednotek tepelných čerpadel nebyla v místě hodnocení tónová složka prokázána.

Z výsledků pro první 4 měření, kdy byl měřen stále stejný typ tepelného čerpadla IVT AIR X50, vyplývá, že naměřené hodnoty jsou vyšší, než které uvádí výrobce ve svém dostupném technickém listu. V technickém listu výrobce je uváděna hladina akustického tlaku L_{pA} nebo hladina akustického výkonu L_{WA} při jmenovitých podmínkách dle normy ČSN EN 12102 [5], tedy při 40 % výkonu. Až po kontaktování zákaznického servisu byl poskytnut neveřejný soupis hladin akustických tlaků L_{pA} a hladin akustických výkonů L_{WA} při 100 % výkonu zdroje. Rozdíl hladiny akustického výkonu v technickém listu a výkonu zdroje při 100 % je 11 dB. Stejný problém s udávanými údaji o hladině akustického výkonu byl u měření č. 10, kde výrobce tepelných čerpadel NIBE udává akustické vlastnosti ve stejných podmínkách jako výrobce IVT.

Pro měření 5 – 9 byla výrobcem PANASONIC a SINCLAIR uváděna hladina akustického výkonu nebo tlaku pravděpodobně při 100 % výkonu. V technickém listu nebyla nikde uvedena informace o výkonu tepelného čerpadla, při kterém byly dané akustické veličiny definovány. Naměřené hodnoty se blížily těm, které uvádí výrobce ve svém technickém listu.

Projektant musí při hodnocení hlučnosti tepelných čerpadel bezpečně rozlišovat pojmy, kterými jsou hladina akustického tlaku a hladina akustického výkonu. Také je nutné pro hodnocení hlučnosti znát akustické parametry venkovní jednotky při maximálních možných otáčkách ventilátoru. Pokud si projektant není jistý, při

jakých podmínkách výrobce hodnoty udává, je vhodné navštívit webovou stránku www.waermepumpe.de, kde jsou udávány hladiny akustického výkonu L_{WA} při maximálních otáčkách ventilátoru tepelného čerpadla. V případě, že daný typ jednotky není na stránkách dohledatelný, je potřeba kontaktovat konkrétního výrobce nebo dodavatele.

Pro měřené jednotky byl proveden výpočet pro šíření hluku ve volném prostoru za použití reálných, tedy naměřených a teoretických činitelů směrovosti. Ukázalo se, že při správném zvolení činitele směrovosti bude výpočet vždy na straně bezpečnosti. Tento fakt je ještě nutné ověřit dalšími vzorky měření v předem určených vzdálenostech od zdroje.

V poslední řadě bylo provedeno vymodelování situace, kde se vyskytl problém s nadměrným hlukem u sousedního rodinného domu. Z dodaných protokolů a zápisu z posledního měření byla vymodelována situace s vybranými variantami, kde si provozovatel technického zdroje hluku představuje přemístit venkovní jednotku tepelného čerpadla. Žádnou z vypočtených variant nelze dodržet požadovaný hygienický limit pro hluk v noční době. Nejlepším možným řešením by bylo prodloužit stávající protihlukovou bariéru, ačkoli i přes toto opatření by byl hygienický limit překročen. Další možností, jak dodržet hygienický limit je snížení výkonu v noční době s útlumem 4 dB, což je více než o polovinu původní hodnoty. V opačném případě je nutné venkovní jednotku opatřit protihlukovým krytem nebo jednotku vyměnit za tišší.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NOVÝ, R.: Hluk a chvění. 4. přepracované vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2019. 402 stran. ISBN 978-80-01-06554-9.
- [2] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění novely 217/2016 Sb.
- [3] Zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Plynové kondenzační kotle a tepelná čerpadla Vaillant. [Online] Copyright © 2018. [Citace: 10. 2. 2019]. <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/>.
- [7] Zdravotní účinky hluku, SZÚ. SZÚ [online]. Copyright © 2007 [cit. 26. 05. 2019]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>
- [8] Tepelná čerpadla IVT - švédská kvalita [online]. Copyright © 2003 [cit. 26.05.2019]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/>
- [9] Schall-Rechner | Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V [online]. Copyright © 2019 Bundesverband Wärmepumpe [cit. 12. 02. 2019]. Dostupné z: <https://www.waermepumpe.de/schallrechner/>
- [10] ČECHURA, J.: Stavební fyzika 10: akustika stavebních konstrukcí. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1997. 173 s. ISBN 80-01-01593-9.
- [11] BAŠTA, J., HRDLIČKA F., KOLÁŘOVÁ H.: Člověk a prostředí. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. 129 s. ISBN 80-01-03329-5.
- [12] VAVERKA, J.: Stavební fyzika. 1, Urbanistická, stavební a prostorová akustika. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 1998. 343 s. Učebnice sv. 5. ISBN 80-214-1283-6.

- [13] BOŠOVÁ, D., PROKOPOVÁ L.: Stavební fyzika I: osvětlení, oslunění, akustika budov. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2017. 181 stran. ISBN 978-80-0-106130-5.
- [14] NOSEK, K., KUČERA M., KRÁLÍČEK J.: Instalace tepelného čerpadla v rodinném domě z pohledu potenciálního zdroje hluku In: 25. konference vytápění Třeboň 2019, Třeboň, 2019, s. 64 - 71. ISBN 978-80-02-02847-5
- [15] Vzduchotechnika a TZB - Stavoklima.cz. [online]. Copyright © STAVOKLIMA s.r.o. [cit. 26. 05. 2019]. Dostupné z: <http://www.stavoklima.cz/>
- [16] Silniční protihlukové panely. Silniční protihlukové panely [online]. Copyright © 2019 [cit. 26. 05. 2019]. Dostupné z: <http://www.romansro.cz/protihlukove-kryty-tepelnych-cerpadel/>
- [17] Protokol měření ze dne 20. 7. 2016 a 23. 12. 2016, Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, Centrum hygienických laboratoří

SEZNAM PŘÍLOH NA PŘILOŽENÉM CD

Příloha 1: Zápisy z jednotlivých měření	(pdf)
Příloha 2: Výpočetní nástroj	(ods)
Příloha 3: Diplomová práce – elektronická podoba	(pdf)