

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**Hluk dynamických zdrojů nepřerušovaného  
napájení**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Soukup** Jméno: **Michael** Osobní číslo: **419115**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Technika prostředí**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Hluk dynamických zdrojů nepřerušovaného napájení**

Název diplomové práce anglicky:

**Noise From Dynamic Uninterruptible Power Sources**

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je popsat akustické parametry jednotek dynamických zdrojů nepřerušovaného napájení (DUPS). Dále ověřit, je-li možné běžnými výpočtovými vztahy stanovit akustický výkon jednotlivých DUPS jednotek v tzv. kondičním režimu. Dále se zaměřte na možnosti řešení akustických úprav ve strojovně tohoto typu záložního zdroje a šíření zvuku do venkovního prostoru.

Seznam doporučené literatury:

Nový, R. Hluk a chvění. Čvut v Praze, 2019, ISBN 978-80-01-06554-9.

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: **28.10.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce:

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

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


  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
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.

27.10.2022

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne: .....

.....

Michael Soukup

### **Anotace:**

Diplomová práce zpracovává hluk z dynamických zdrojů nepřerušovaného napětí. Řeší, zda je možné naměřená data referenčního stroje DUPS porovnat s podklady od výrobce. V práci je dále řešeno stavební provedení stavby, u kterého bylo současně provedeno měření v exteriéru, aby bylo možné zjistit efekt instalace DUPS na přilehlé okolí. Strojovna DUPS a přilehlé okolí bylo vymodelováno v simulačním programu a byl proveden výpočet šíření zvuku ve venkovním prostoru.

### **Annotation:**

The thesis deals with noise from Dynamic Uninterruptible Power Sources. It addresses whether the measured data of the DUPS reference machine can be compared with the manufacturer's data. The thesis also deals with the construction of the building, for which outdoor measurements were made at the same time to determine the effect of the DUPS installation on the adjacent surroundings. The DUPS machine room and the adjacent surroundings were modelled in a simulation program and the sound propagation in the outdoor area was calculated.

## **Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Miroslavovi Kučerovi PhD. za cenné rady, trpělivost, za zapůjčení měřicího zařízení a softwaru.

Dále bych rád poděkoval Ing. Janu Králíčkovi PhD. za praktické rady a pomoc s výpočetním softwarem.

Poděkování patří též Ing. Jiřímu Aulehlovi za vstřícnost v zaměstnání.

## Obsah

Seznam použitých značek .....	- 8 -
1 Úvod .....	- 10 -
2 Legislativní požadavky z hlediska hluku při instalaci záložních zdrojů elektrické energie .....	- 11 -
3 Záložní napájení .....	- 12 -
3.1 Dieselagregáty .....	- 12 -
3.2 UPS .....	- 12 -
3.3 DUPS.....	- 13 -
3.4 Conditioning mode (kondiční režim) .....	- 14 -
3.5 Přechod z conditioning mode do emergency mode .....	- 15 -
3.6 Emergency mode (záložní mód – chod dieselového motoru).....	- 15 -
3.7 Typické použití DUPS .....	- 16 -
4 Zdroj hluku – elektrický motor.....	- 16 -
4.1 Hluk elektromagnetického původu .....	- 16 -
4.2 Hluk aerodynamický způsobený větráním.....	- 16 -
4.3 Hluk mechanického původu.....	- 17 -
5 Podpůrné technologie pro DUPS.....	- 17 -
5.1 Přívod a odvod vzduchu.....	- 17 -
5.2 Odvod spalin .....	- 18 -
5.3 Naftové hospodářství .....	- 18 -
5.4 Chlazení motoru .....	- 19 -
6 Popis referenční strojovny DUPS.....	- 19 -
6.1 Umístění .....	- 19 -
6.2 Stavební část.....	- 20 -
7 Měření.....	- 26 -

7.1	Zdroj hluku.....	- 26 -
7.2	Použité měřicí zařízení.....	- 28 -
7.2.1	Měření ve strojovně.....	- 28 -
7.3	Měření v exteriéru.....	- 38 -
8	Simulační program.....	- 44 -
8.1	Postup modelování v simulačním programu.....	- 44 -
8.2	Ověření výpočtového modelu.....	- 45 -
8.3	Výpočtový model - přidání silničních komunikací.....	- 55 -
9	Závěr.....	- 60 -
10	Použitá literatura.....	- 62 -
11	Seznam tabulek.....	- 63 -
12	Seznam obrázků.....	- 64 -

## Seznam použitých značek

(A)	Váhový filtr A
AC	alternating current – střídavý proud
DA	dieselagregát
DC	direct current – stejnosměrný proud
DN	Diameter Nominal – vnitřní průměr epotrubí v mm
dB	decibel
DUPS	Dynamic Uninterruptible Power Source
dxšxh	délka x šířka x výška
EC	Electronically Commutated – elektronicky komutované
h	hodina
HL	hladina
hPa	hektopascal
Hz	Hertz
In	jmenovitý proud
ks	kus
kVA	Kilo volt ampér
kVA <sub>r</sub>	Kilo volt ampér reaktční (jednotka pro činný výkon)
kW	kilowatt
L	litr
L <sub>Aeq,T</sub>	ekvivalentní hladina akustického tlaku za danou dobu trvání
L <sub>p</sub>	akustický tlak
L <sub>w</sub>	akustický výkon
m	metr
m <sup>3</sup>	metr krychlový
MaR	měření a regulace
min.	minuta
mm	milimetr
MVA	Mega volt ampér
ot.	otáčky
Pa	pascal
PDŽ	protidešťová žaluzie



PHM	pohoné hmoty
RPM	rounds per minute – otáčky za minutu
Sb.	Sbírka
UPS	Uninterruptible Power Source
VRLA	Valve Regulated Lead Acid – ventilem řízené olověné akumulátory
VZT	vzduchotechnika
W	Watt
ZZS	Zdravotní záchranná služba
$\rho$	hustota

## 1 Úvod

Zálohování elektrické energie je v dnešní době zcela kritickou záležitostí. V posledních letech se ve veřejném prostoru objevují informace o katastrofických důsledcích blackoutu na západní společnost [8].

Dnešním standardem bývá zálohování dieselovým motorem, při kterém ale dochází k chvilkovému výpadku, než se stroj nastartuje a dosáhne požadovaných provozních parametrů pro zálohování dané zátěže.

Standardně se pro výpadek při startu dieselagregátů používá vykrytí systémy UPS s bateriemi. Při zálohování větších výkonů, ale dochází k situaci, kdy baterie potřebné pro UPS systém zabírají velkou půdorysnou plochu.

Na řadu přichází pro zálohování kritické infrastruktury systémy DUPS. Na poměrně malém prostoru mohou bezvýpadkově zálohovat velké výkony. Jedním z velkých nedostatků je právě generování značného množství hluku, který je přítomný ve strojovně po celý rok, kvůli zapojení stato-alternátoru do sítě a jeho udržování na provozních otáčkách. Do strojovny je také třeba dopravit dané množství vzduchu pro odvod tepelné zátěže.

S rozšiřujícím množstvím instalací těchto zařízení v ČR je třeba brát zvláštní ohled na splnění hlukových parametrů již v projekční činnosti, protože při takto hlučném zařízení lze těžko za provozu dodatečně akusticky tlumit instalované zařízení.

Otázkou tedy zůstává, zda hlukové parametry dodavatele DUPS jsou věrohodné a zda je možné na základě těchto parametrů dostatečně posoudit v simulačních programech imisní situaci v chráněných prostorech budov podléhajících nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Za účelem této práce bylo vybráno jedno z již instalovaných zařízení, kde je snahou ověřit, jak jsou legislativní požadavky dodrženy.

## 2 Legislativní požadavky z hlediska hluku při instalaci záložních zdrojů elektrické energie

Při instalaci nového záložního zdroje elektrické energie je třeba dbát na dodržení legislativních požadavků limitů hluku. Odpovídající akustické limity se stanoví dle [4] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

V denní době se stanovuje hladina akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$  pro 8 po sobě následujících nejhlučnějších hodin. Pro noční období se stanovuje hladina akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$  pro jednu nejhlučnější noční hodinu.

Maximální hlukové limity jsou uvažovány v chráněném venkovním prostoru stavby, což je prostor do 2 m od obvodového pláště uvažované budovy.

Maximální povolené hodnoty (HL) v chráněném venkovním prostoru stavby pro hluk ze stacionárních zdrojů bez uvažování tónové složky:

$$L_{Aeq,T} = 50 \text{ dB (A)} \quad \text{den}$$

$$L_{Aeq,T} = 40 \text{ dB (A)} \quad \text{noc}$$

Maximální povolené hodnoty (HL) v chráněném venkovním prostoru stavby pro hluk ze stacionárních zdrojů bez uvažování tónové složky pro lůžková zdravotní zařízení:

$$L_{Aeq,T} = 45 \text{ dB (A)} \quad \text{den}$$

$$L_{Aeq,T} = 35 \text{ dB (A)} \quad \text{noc}$$

Problém nastává, když je ve zdroji hluku prokázána tónová složka. Již tak přísné imisní limity se po korekci na tónovou složku dají těžko splnit. Tónová složka je dle nařízení vlády 272/2011 [4] „*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.*“

### 3 Záložní napájení

Standardně se můžeme setkat s dieselagregátem nebo UPS, které pokud chceme dosáhnout bezvýpadkového záložního napájení musíme zkombinovat. Existují ale i jiná řešení, jako je například DUPS.

#### 3.1 Dieselagregáty

Při zálohování dieselagregáty dochází k tzv. zálohování s výpadkem, což je doba, kterou trvá nastartovat DA při výpadku sítě a následná synchronizace se sítí.

Při obnovení napájení z distribuční elektrické sítě stroj zahajuje analýzu sítě, jejímž účelem je stanovit, zda je síť stabilní. Měření trvá přibližně 3 minuty. Pokud stroj vyhodnotí, že je síť stabilní, zahájí synchronizaci s transformátorem a zátěž přejde plynule na transformátor.

Dieselagregát pracuje jako náhradní zdroj elektrické energie, kterou je schopný dodávat do sítě po celou dobu, co má k dispozici pohonné hmoty.

Diselagregát se dodává jako kompaktní technologický celek pružně uložený na rámu. Součástí instalace DA je autonomní palivové a naftové hospodářství. Standardem je instalovat na potrubí odvodu spalin účinný absorpční tlumič hluku, vnitřní tepelná regulace stroje, elektrický kontrolér se sadou čidel pro monitoring stroje a další doplňkové zařízení. Stroje se dodávají v kapotovaném nebo otevřeném provedení.

Chlazení stroje během provozu je prováděno dodaným autochladičem, tudíž je potřeba do případné strojovny záložního zdroje dodat požadované množství vzduchu. V situaci, kdy není možné požadované množství vzduchu dopravit do strojovny, lze stroj napojit na externí chladičí okruh dimenzovaný dle parametrů výrobce stroje.

Motorgenerátory obvykle nejsou v provozu. Spouští se například jednou za 14 dní v testovacím provozu během dne. Když se tento provoz rozpočítá do 8 nejhluchnějších hodin přes den, tak nedochází k překročení hygienických limitů. Při výpadku napájení zdroj není v běžném provozu, ale jedná se o dodávání elektrické energie v nouzovém režimu většinou pro kritické zařízení budovy na krátkou dobu.

#### 3.2 UPS

Systém UPS slouží pro bezvýpadkové napájení zálohovaného elektrického výkonu. Nejčastější užití UPS je pro zajištění dostatečného času pro IT zařízení, aby byly schopné uložit svá rozpracovaná data při výpadku napájení nebo překlenutí doby, než se nastartuje a zřazuje motorgenerátor.

Systémy UPS se dělí na 2 typy, tedy stand alone a modulární UPS. Výhoda modulární UPS je lepší škálovatelnost, jednoduchá rozšíření o další modul a výkonová redundance jednotlivých modulů. U stand alone UPS je hlavní výhodou její cena.

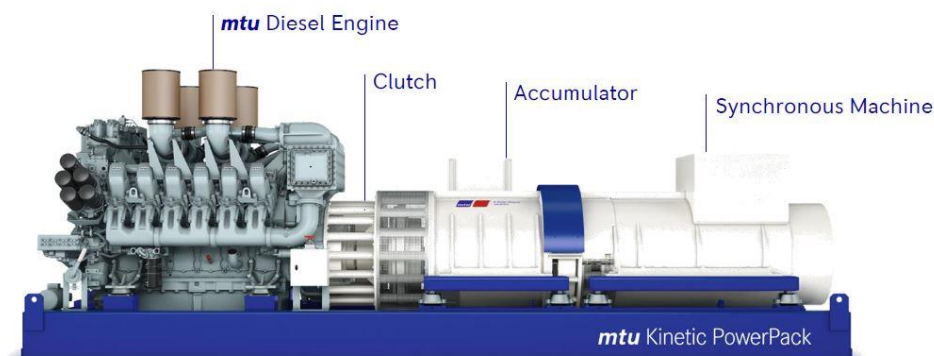
Baterie pro záložní zdroje UPS se používají nejčastěji VRLA a lithiové. S rostoucí dobou zálohy roste zastavěná půdorysná plocha.

Z hlediska akustických požadavků se UPS prakticky nemusí řešit.

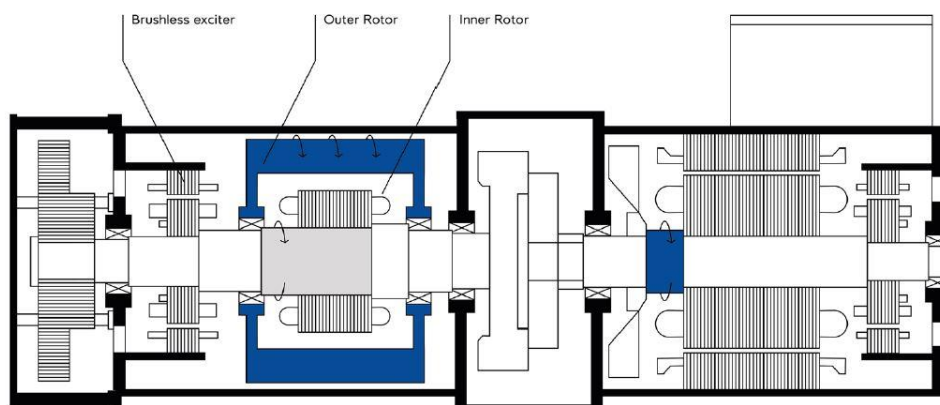
### **3.3 DUPS**

Soustrojí DUPS (Dynamic Uninterruptible Power Source) sestává z diesellového motoru, kinetického elektromagnetického akumulátoru a synchronního alternátoru pracujícího do regulační tlumivky. Hlavním pohonným agregátem pro náhradní zdroj je vznětový, turbodmychadlem přepínávaný motor, optimalizovaný pro minimální ekologické emisní zatížení. Soustrojí je uloženo na anti-vibračním odpruženém rámu. Standardně se stroj ukládá na podlaže strojovny bez dodatečného odpružení. S motorem je souose uložena elektromagnetická spojka.

Funkce DUPS jako nepřerušitelného náhradního zdroje spočívá v uložení kinetické energie do aku-rotoru točícího se rychleji než osa alternátoru. Za běžného provozu sítě je rotor roztáčen pomocí magnetické vazby na rychlost 3000 ot/ min. Hřídel se 4 pól párovým setrvačником točí rychlostí 1500 ot/ min. V případě výpadku napájecí sítě je hřídel alternátoru udržována na konstantních otáčkách 1500 ot/ min pomocí magnetické vazby aku-rotoru, který je předáváním své kinetické energie zpomalován. Zároveň startuje diesellový motor. Díky odpojení pomocí elektromagnetické spojky startuje nezatížen a dosáhne tak provozních otáček v krátkém čase. Po roztočení na provozní otáčky se připojí k alternátoru pomocí elektromagnetické spojky. Po obnovení energie v distribuční síti je proveden rozbor kvality energie a za předpokladu, že setrvačnik stato-alternátoru je roztočen zpět na nominální otáčky, dochází ke sfázování sítě a DUPS a postupnému převedení výkonu na distribuční síť. Elektromagnetická spojka se rozepne, diesellový motor se automaticky zastaví a DUPS se uvede zpět do kondičního režimu. Provozní VZT zůstává ještě několik minut v provozu pro odvedení zbytkového tepla ze strojovny [19].



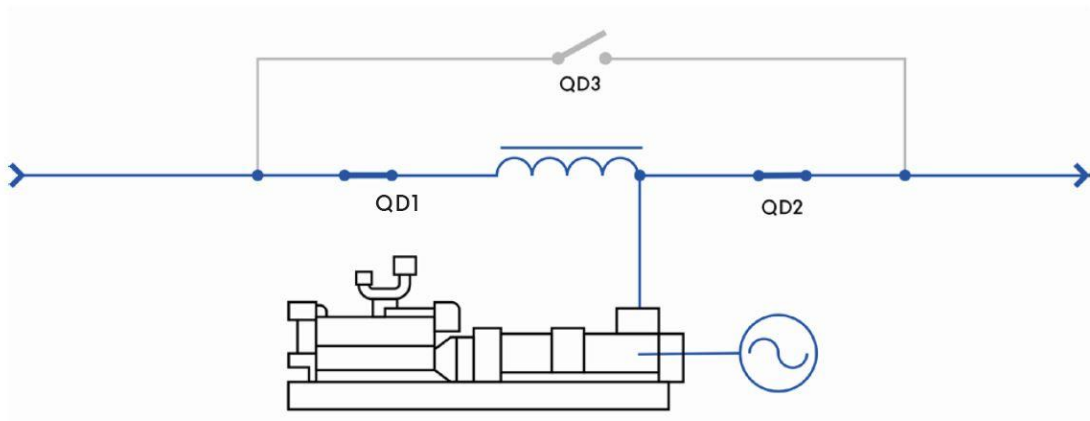
Obr. 1 Popis jednotlivých částí DUPS [18]



Obr. 2 Vnitřní a vnější rotor [17]

### 3.4 Conditioning mode (kondiční režim)

Dieselové motory jsou obvykle zastavené a aku rotory jsou na jmenovitých otáčkách (1500/3000 ot/min). Manuální by-pass je v rozpojené podobě. Kritická zátěž je napájena ze sítě přes alternátor, který se točí synchronně se sítí. Stato alternátor v kondičním režimu potlačuje mikro výpadky bez toho, aby musel startovat dieselový motor. Stato alternátor také reguluje napětí do zátěží, filtruje napěťové harmonické ze sítě, filtruje možné proudové harmonické ze sítě a zlepšuje účinník [18].



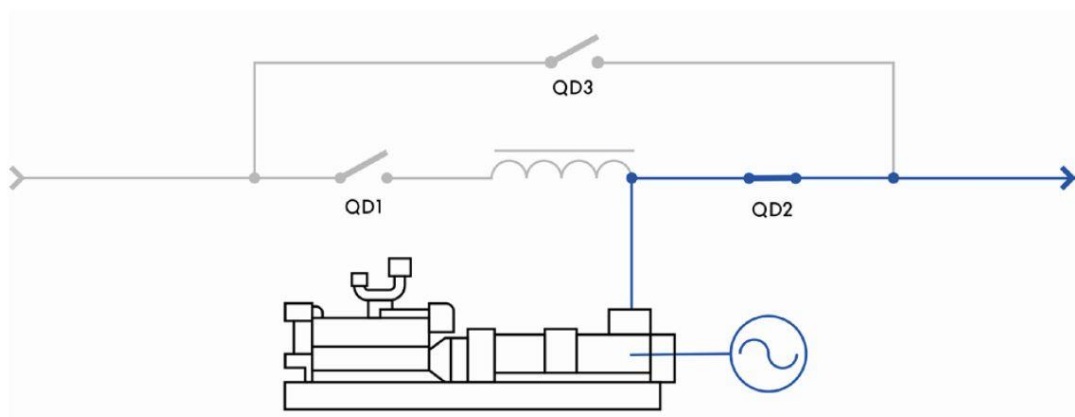
Obr. 3 Schéma kondičního režimu DUPS [18]

### 3.5 Přechod z conditioning mode do emergency mode

K přechodu dochází v případě odchylky nebo poruchy síťového napětí. Stator alternátor se odpojí ze sítě, zapne se dieselový motor a během spínání elektromagnetické spojky potřebují potřebnou elektrickou energii aku – rotory [18].

### 3.6 Emergency mode (záložní mód – chod dieselového motoru)

Manuální by-pass musí být rozpojený. Dieselový motor poskytuje energii k napájení kritické zátěže, dokud opět není k dispozici energie ze sítě a aku rotory nedosáhnou svých jmenovitých otáček, aby mohlo dojít opět k bezvýpadkovému přepnutí zdroje elektrické energie [18]. Standardně běží DUPS minimálně 5 minut.



Obr. 4 Schéma záložního módu DUPS [18]

### 3.7 Typické použití DUPS

Standardně DUPS slouží pro zálohování kritické infrastruktury jako jsou nemocnice, letiště, továrny a datová centra. Technologie kompenzuje účiník, filtruje vyšší harmonické, tedy eliminuje fluktuace elektrického proudu a napětí, čímž chrání citlivé stroje v nemocnicích proti nestále dodávce elektrické energie ze sítě. [12]

Hlavním nedostatkem DUPS je hluková zátěž, pravidelná údržba a rozsah výkonů. DUPS se hodí většinou pro větší instalace – typicky se používá pro zálohu 1000 kVa a větší (ačkoliv se dá použít nižší výkon, tak ekonomicky se stroj začíná vyplácet až při větším výkonu – 0,7 MVA break even point). [11]

## 4 Zdroj hluku – elektrický motor

Hlavními složkami způsobujícími hluk elektrických točivých strojů jsou právě tyto 3 parametry [1]:

- Hluk elektromagnetického původu
- Hluk aerodynamický způsobený větráním
- Hluk mechanického původu

### 4.1 Hluk elektromagnetického původu

Původem tohoto typu hluku je kmitání kostry nebo jiných částí stroje, které je vybuzeno elektromagnetickými silami. Je přítomná výrazná směrová charakteristika diskrétní složky ve frekvenčním spektru.

*Podstata vzniku hluku elektromagnetického původu u elektrického stroje vzniká „působením elektromagnetické indukce ve vzduchové mezeře vznikají tahové magnetické síly, které mohou mít různý směr, amplitudu a frekvenci a které jsou rozloženy na povrchu statoru a rotoru.“ [1]*

### 4.2 Hluk aerodynamický způsobený větráním

Nejpodstatnějším původcem aerodynamického hluku je samotný ventilátor. Hluk ventilačního původu je vyšší u strojů s vyšším počtem otáček, jelikož tyto stroje vyžadují dodání většího množství vzduchu na chlazení.



Správné dimenzování systému přívodu a odvodu vzduchu pozitivně ovlivňuje hluk celého zařízení. Při projektování je důležité klást důraz na použití minimálního potřebného množství chladícího vzduchu.

U návrhu ventilátorů je důležité volit správné konstrukční uspořádání a vyhnout se sirénovému zvuku. Sirénový zvuk vzniká, když protékající vzduch v mezilopatkových kanálech tvoří nerovnoměrný rychlostní profil. Nedochozí k okamžitému vyrovnání rychlostního profilu po výstupu vzduchu z oběžného kola ventilátoru, a pokud tento profil prochází přes překážku, tak dochází k náhlým změnám tlaku a tudíž generování směrových složek akustického výkonu [2].

Lze se vyhnout sirénovým jevům výrobcem stanovenými doporučenými vzdálenostmi mezi stojící a rotující částí [1].

### **4.3 Hluk mechanického původu**

Mechanický hluk bývá způsoben nevyvážením rotujících součástí stroje a třením ve valivých ložiscích, popřípadě neopatrnou manipulací při instalaci, která způsobila mechanický defekt [3].

## **5 Podpůrné technologie pro DUPS**

Stroj DUPS vyžaduje při instalaci ve strojovně instalaci dodatečných technologií. Jedná se o přívod spalovacího a chladícího vzduchu, odvod ohřátého vzduchu, vyřešení odvodu spalin, palivové hospodářství a při větším výkonu i externí chlazení motoru například suchým chladičem umístěným v exteriéru.

### **5.1 Přívod a odvod vzduchu**

Do strojovny je potřeba přivést okolo 50 000 m<sup>3</sup>/h (spalný i chladící vzduch) a odvést prakticky stejné množství vzduchu. Přívod vzduchu je realizován přes protidešťovou žaluzii, mechanickou nebo samotížnou klapku a tlumič hluku. V případě rovnotlakého VZT systému bývá právě na sání vzduchu do strojovny vsazen ventilátor.

Pro odvod vzduchu se buď používá ventilátor autochladiče stroje DUPS, nebo pokud je k dispozici externí zdroj chladu pro motor stroje, tak je dodáván ventilátor na odvodním potrubí vzduchu ze strojovny.

## 5.2 Odvod spalin

Dle informací výrobce je hluk na přírubě odvodu spalin největší ze všech částí stroje. Ihned na stroj se standardně dává účinný absorpční tlumič hluku. Na konci potrubí se dává koleno s mřížkou proti vnikání cizích těles.

Odvod spalin se instaluje v přetlakové variantě s teplotní odolností do 600 ° C a s maximálním přetlakem 6000 Pa. Odvod spalin je standardně třísložkový nerezový s 0,6 mm tlustým nerezovým opláštěním z vnějšku i zevnitř a s minimálně 32,5 mm minerální vatou mezi vnitřním a vnějším pláštěm [13]. Minerální vata se na potrubí dává jako tepelný izolant, aby povrchová teplota vnějšího pláště byla bezpečná pro pracovníky pohybující se ve strojovně, a také slouží jako izolace hluková. V tlumiči odvodu spalin se dostatečně utlumí hluk vycházející ze stroje a minerální izolací se snažíme zamezit „přestupu“ hluku ze strojovny do potrubí.

Na dispozičním výkresu je zobrazen i odvod spalin. 2 sériově zapojené tlumiče hluku byly napojeny na přírubu DUPS a odvod spalin pak vychází jižní fasádou a pokračuje 1,5 m nad budovu. (Obr. 12).

Pro zmírnění hlukových projevů při výtoku spalin je snaha navrhnout co největší potrubí, aby rychlost proudění byla co nejmenší, čímž snížíme i hlukové efekty vznikající při obtékání mřížky na koncovém elementu potrubí. Nevýhodou zvětšení průměru potrubí je zase naopak větší otvor ve fasádě, který právě v kondičním režimu působí větší hlukové úniky.

## 5.3 Naftové hospodářství

Objem pohonných hmot se navrhuje většinou dle požadavků investora na dobu zálohování stroje. Prvky systému PHM jsou v provozu jenom nárazově a v porovnání s hlukem ze stroje DUPS jsou nepodstatné.

Pohonnou látkou je motorová nafta (arktická bez použití biosložek – FAME 0) s bodem vzplanutí 72,5 ° C, což je hořlavá kapalina III. Třídy nebezpečnosti dle ČSN 65 0201.

Potrubí mezi stáčecím místem a nádrží bývá v místech s vizuální kontrolou potrubí jednoplášťové, ale pokud není zrakem kontrolovatelné nebo jde o bezobslužný provoz, tak se instaluje dvouplášťové s indikací úniku paliva do mezipláště (přetlaková kontrola).

Nádrž se instaluje vždy v dvouplášťové variantě s indikací úniku paliva do mezipláště. Kontrola může být jak vizuální, tak vyčítaná do MaR systému.

## **5.4 Chlazení motoru**

Při vyšších výkonech se motor DUPS dochlazuje chladivovým okruhem se suchým chladičem jako zdrojem chladu umístěným v exteriéru. Chladič je v chodu pouze při zálohování v emergency mode (chod diesellového motoru). Chladič je dimenzován dle požadavků výrobce DUPS. Suchý chladič je s okruhem motoru spojen ocelovým potrubím a oběh chladicí kapaliny (nemrznoucí směs v poměru s vodou dle extrémních podmínek v místě instalace) zajišťuje čerpadlo, které je součástí stroje DUPS. Výrobce DUPS předepisuje maximální tlakovou ztrátu a průtok v chladícím okruhu, pokud není možnost tlakovou ztrátu dodržet, vloží se do chladicího systému výměník a vytvoří se okruh suchý chladič – výměník a výměník DUPS. Pro zabezpečení chladicí soustavy se používá otevřená expanzní nádoba.

Pro snížení hluku v exteriéru způsobeným suchým chladičem se používají ventilátory s EC motory. Jednotliví výrobci dokáží snížit hlučnost svého zařízení velikostí oběžného kola ventilátorů (snížení otáček) či designem lopatek.

## **6 Popis referenční strojovny DUPS**

### **6.1 Umístění**

Záložní zdroj elektrické energie DUPS, který byl použit jako referenční pro tuto práci, byl umístěn v areálu nemocnice. Stroj DUPS byl uložen ve stávajícím objektu trafostanice, ve které byla původně uložena kogenerační jednotka a dnes je z této části trafostanice strojovna DUPS. Z důvodu obav o nesplnění hlukových limitů byla původně zděná strojovna zevnitř vyzděna ještě akustickými cihlami a tlumení VZT (sání a výdechu) bylo řešeno se snahou o co největší útlum.



Obr. 5 Katastrální mapa s vyznačením kontrolních měřicích bodů v exteriéru

Objekt strojovny DUPS je označen růžovou barvou. Severně od strojovny se nachází jedenáctipodlažní lůžková část nemocnice, severovýchodně od strojovny, což je protilehlá budova naproti vratům do strojovny, se nachází třípodlažní budova zdravotní záchranné služby a jižně je situován čtyřpodlažní rodinný dům.

Bodem 21 je označeno kontrolní místo v chráněném venkovním prostoru stavby lůžkové části nemocnice. Bod 22 je kontrolní místo u zdravotní záchranné služby. Oba body jsou měřeny 2 m od fasády. Bod 23 byl odměřen na parkovišti a bod 24 je kontrolní místo u branky, sloužící ke vstupu do areálu nemocnice. Všechny body byly měřeny 3 m nad zemí.

## 6.2 Stavební část

Stávající nosná zděná konstrukce byla vybudována z keramických tvárnic a pálených cihel. Pro splnění akustických hygienických limitů byl vnitřek objektu ještě dozděn akustickými cihlami (dxšxh 250x120x65 mm) s maximální hustotou  $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ . Vnější omítky jsou tvořeny jako dvouvrstvé hladké.

Střešní konstrukce je tvořena jednoplášňovou plochou střechou.

*Tab. 1 Složení střešní konstrukce*

Střeška	Izolace hydrolen
	Ochranná vrstva Arabeva
	Spádová vrstva betonu B20 (200 mm)
	Separáční vrstva
	Polystyren tl. 120 mm
	Parozábrana
	I profil a trap�zov� plech

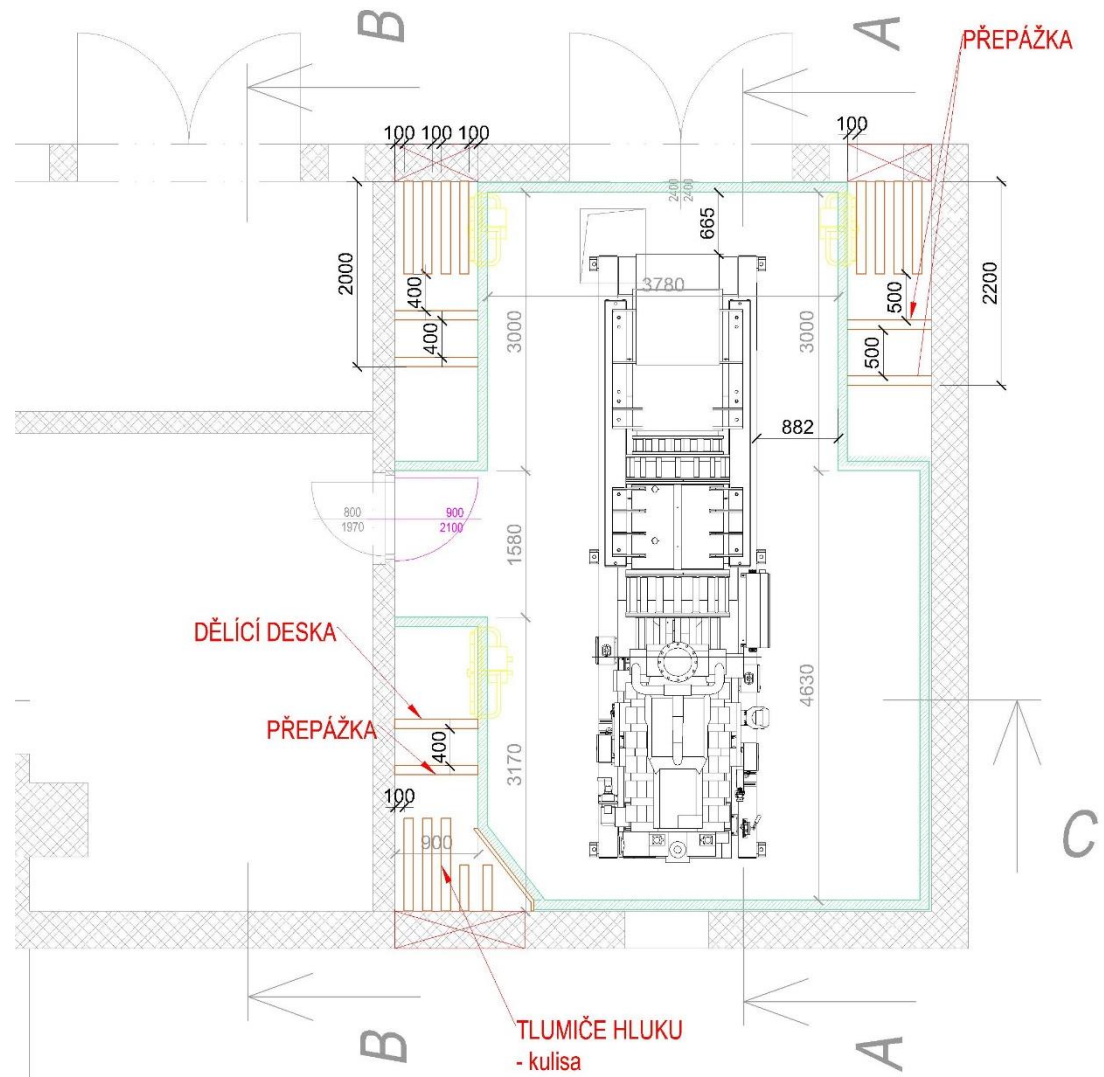
*Tab. 2 Složení podlahy*

Podlaha	Nátěr s odolností proti ropn�m látkám
	Betonov� mazanina 100 mm
	Hydroizolace 2x SKLOBIT
	Podkladní beton se s�t� Q257

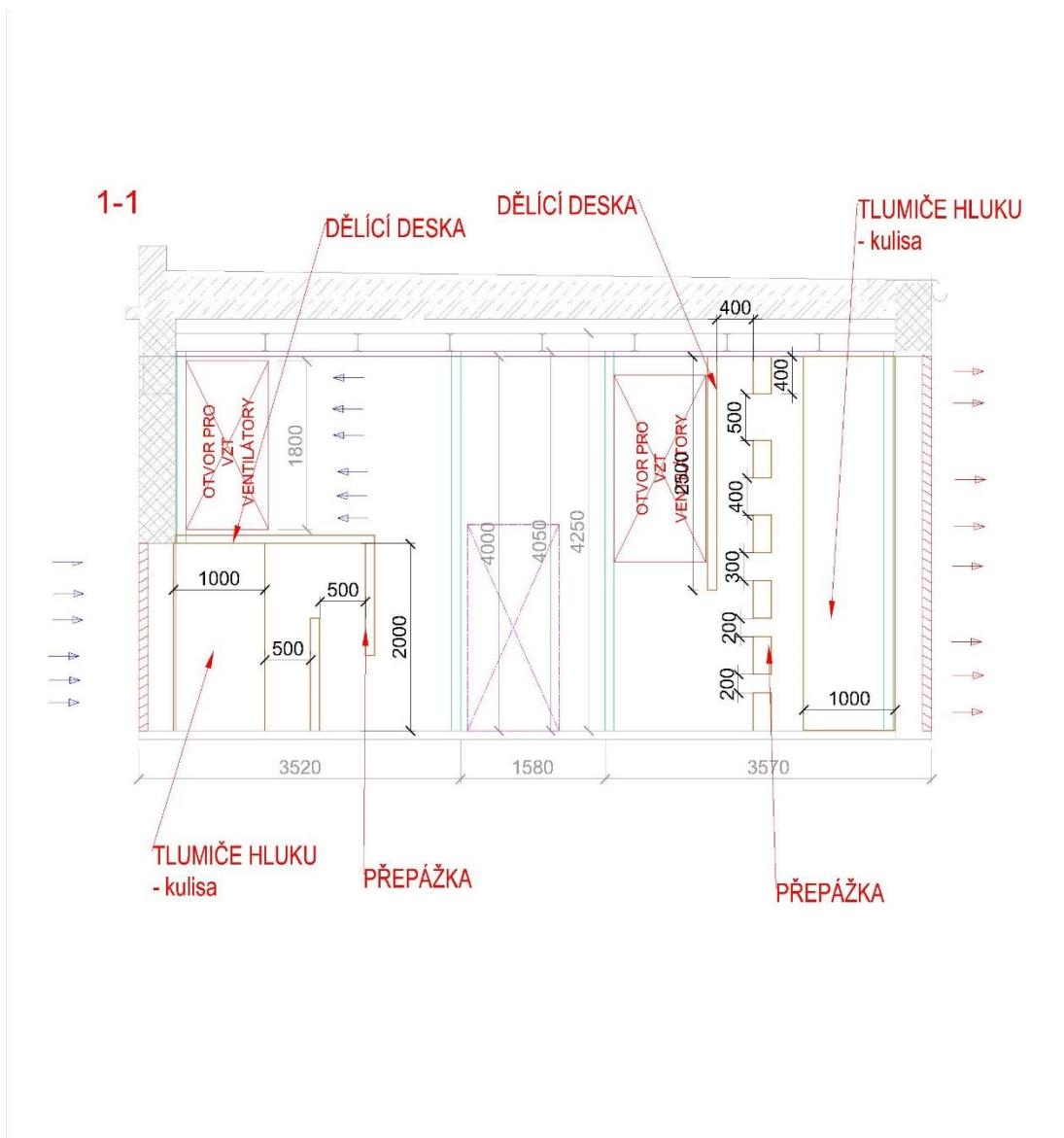
Pro p r vod vzduchu byly vybudovány 2 VZT kanály. Kanál je postaven v celé v y ce strojovny. Kanály byly postaveny z akustických cihel. Sání vzduchu probíhá přes protide ovou žaluzii se s tem proti vnikání cizích těles umístěnou na fasádě objektu o  irce 900 mm a v y ce 2000 mm. Za žaluzií byly vsazeny kulisov  tlumiče hluku. Ka d  kulisa je vysok  2000 mm a tlouštka kulisy je 100 mm. Za tlumičem byl postaven labyrint ze dvou desek z minerální vaty (viz obr. 6). Sací komora je ve 2000 mm p epa en  p ep  zkou z d evot r sky. V horní časti sací komory je uložen ventilátor, kter  dodává p edepsan  množství vzduchu před stroj.

Nasávací kanály jsou 2 a v ka d m kanálu jsou 2 ventilátory slou ic  pro p r vod vzduchu. Ventilátory jsou řízen  frekvenčními m n i i. Ventilátory jsou dimenzovan  na pln  výkon, tedy provoz DUPS v emergency mode.

Na obrázku obr. 6, což je p dorysn  zobrazení strojovny DUPS, jsou v horní časti vidět nasávací kanály pro p r vod vzduchu. V kanálech jsou zaznačeny kulisov  tlumiče hluku a za nimi jsou zakreslen  p ep  zky. Ventilátor je zakreslen žlutou barvou t sn  u stěny objektu v horní časti výkresu. Obr. 7 zobrazuje řez sacím i v dechov m kanálem vzduchu ve strojovně.



Obr. 6 Půdorysné zobrazení VZT nasávacích kanálů



Obr. 7 Řez nasávacím kanálem a kanálem pro odvod vzduchu

Tab. 3 Technické parametry ventilátoru na přívodu vzduchu [14]

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Otáčky	1350	Per minute
Průtok	22400	m <sup>3</sup> /h
Výkon	2554	W
Napětí	400	V AC
Proud	4,4	A

Tab. 4 Akustické parametry ventilátoru na přívodu vzduchu [14]

Frekvence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lw (A)
dB(A)	58	75	83	85	87	85	81	72	92 dB(A)



Obr. 8 Přívod vzduchu u stropu strojovny



Obr. 9 Odvod vzduchu

V jihozápadním rohu strojovny je postaven VZT kanál z akustických cihel pro odvod převážně ohřátého vzduchu ze strojovny DUPS. VZT potrubí nad motorem stroje sbírá ohřátý vzduch a vede k ventilátorům umístěným ve stěně kanálu pro odvod vzduchu. Ventilátory jsou uloženy nad sebou. Spodní hrana spodního ventilátoru je ve výšce 1800 mm.

Tab. 5 Technické parametry ventilátoru na odvodu vzduchu [15]

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Otáčky	1440	Per minute
Průtok	33100	m <sup>3</sup> /h
Výkon	4595	W
Napětí	400	V AC
Proud	7,4	A



*Tab. 6 Akustické parametry ventilátoru na odvodu vzduchu [15]*

<b>Frekvence (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>L<sub>w</sub> (A)</b>
dB(A)	64	83	93	99	99	96	89	82	103 dB(A)

Za ventilátory je vytvořen labyrint pomocí dělicí desky (obr.7). Ve VZT kanálu je vytvořena soustava klapek pro rovnoměrné rozložení odváděného vzduchu ze strojovny. V horní části kanálu mají klapky větší mezery pro vytvoření větší tlakové ztráty, a naopak v horní části je již průtok zcela volný, abychom vytvořili rovnoměrné rychlostní pole proudění vzduchu na koncovém elementu VZT kanálu (protidešťová žaluzie).

Za klapkami jsou vloženy kulisové tlumiče hluku (5 ks) o výšce 4000 mm a šířce 100 mm. Za tlumiči je uložena protidešťová žaluzie o šířce 1500 mm a výšce 4000 mm.

Původní vrata, kterými byl stroj nastěhován do strojovny byla vysazena a prostor byl zazděn akustickými cihlami (2 řady cihel).

## 7 Měření

Měření proběhlo v areálu nemocnice, kde je záložní zdroj uložen v objektu trafostanice a strojovny DUPS.

Měření v exteriéru probíhalo v noci v neděli 4.12. mezi 22.15 a 23.50. Teplota byla 7 °C a tlak vzduchu byl 1028 hPa.

Měření probíhalo ráno 5.12. mezi 9.30 až 11.15. Teplota ve strojovně byla 11 °C u sání a 19 °C u motoru stroje (odvod vzduchu ze strojovny).

Obě měření nemohla projít současně, protože kvůli hluku pozadí nebylo možné měřit přes den, ale zároveň přístup do strojovny byl povolen pouze přes den.

### 7.1 Zdroj hluku

Jedná se o dynamickou UPS instalovanou pro zálohování kritické infrastruktury krajské nemocnice uloženou ve strojovně v bezkapotovaném provedení.

Následující tabulka popisuje technické parametry dieselového motoru referenční DUPS.

*Tab. 7 Parametry dieselového motoru [9]*

Charakteristika	Hodnota	Jednotka	Kvalita vzduchu
Výrobce, typ	Mitsubishi, S12RPTA		
Otáčky	1500	RPM	
zdvihový objem	49.03	l	
Počet válců	12		
Elektrický systém	24	V DC	
Výkon Prime power rating (PRP)	1110	kW	Při 25°C a 100 kPa
Výkon Standby power (ESP)	1220	kW	
Jmenovitý kritický výkon / 1 stroj - napájení bez prodlevy		1250	kVA

V tabulce jsou shrnuté technické parametry stato-alternátoru referenčního stroje DUPS.

Tab. 8 Parametry stato-alternátoru [9]

Charakteristika	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Normativní provedení	IEC standard		
Rychlost rotace (vnitřní/vnější rotor)	1500/3000	RPM	
Jmenovitá frekvence	50	Hz	
Napětí	400	V AC	
Power faktor	0.8		
Jmenovitý proud	1804	A	
Trvalý výstupní výkon	1250	kVA	
Max. kapacitní reaktanční výkon	490	kVAr	
Třída tepelné izolace	Class H		
Provozní třída	Class F		
Stupeň ochrany - krytí	IP23		
Účinnost (vč. ztrát v tlumivce)	95	%	Kondiční režim
Zkratový proud	3	In	Upstream
	19	In	Downstream

Z akustických parametrů udávaných výrobcem jsou pro tuto práci důležité parametry z tab. 9. Tabulka udává hladinu akustického tlaku změřenou ve vzdálenosti 1 m za provozního stavu conditioning mode. V tomto provozním stavu bylo provedeno měření a takto je DUPS provozována po převážnou část roku. Parametry v Tab. 10 až 12 jsou pro ilustraci. V situaci, kdy běží záložní diesellový motor je generovaný hluk ze stroje o poznání větší.

Tab. 9 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – conditioning mode

Frekvence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
dB(A)	95	97	101	100	99	96	90	85	103 dB(A)

Tab. 10 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – měřeno s běžícím diesellovým motorem

Frekvence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
dB(A)	95	100	100	99	99	98	94	94	104 dB(A)

Tab. 11 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – na výstupu z odvodu spalin stroje

Frekvence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
dB(A)	110	114	122	118	115	112	113	108	121 dB(A)

Tab. 12 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – emergency mode

Frekvence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
dB(A)	98	101	103	102	102	100	95	95	107 dB(A)

## 7.2 Použité měřicí zařízení

K měření bylo použito zařízení (zvukoměr) Brüel Kjaer typu 2260. Výrobní číslo zařízení, které bylo použité pro tuto práci je: I3-02015447/000. Mikrofon byl opatřen protivětrným krytem z pěnového polyuretanu, který současně chrání mikrofon proti prachu a kondenzátům. Proud vzduchu kolem hran mikrofonu bývá příčinou přidavného intenzivního hluku, což negativně ovlivňuje měření [6].

Uvažovaná nejistota byla brána  $\pm 2$  dB, což bývá standardní hodnotou pro měření i výpočtový model.

### 7.2.1 Měření ve strojovně

Schéma měřících bodů ve strojovně je zakresleno na obr. 26.

Bod 31 musel být na místě upraven kvůli vzduchotechnickému potrubí pro odvod vzduchu ze strojovny. Mikrofon byl umístěn 1 m vysoko od podlahy, aby nebyl v poli odražených vln od VZT potrubí.

Bod 32 a 40 byl pro kontrolu výsledků odměřen 1 m od DUPS, jelikož to umožňovala dispozice strojovny.

Body 33, 34, 35, 36, 37, 38 a 39 byly měřeny ve výšce 1,5 m od podlahy strojovny a 0,5 m od DUPS.

Body 41, 42 a 43 byly měřeny 0,5 m nad DUPS teleskopickou fotografickou tyčí.

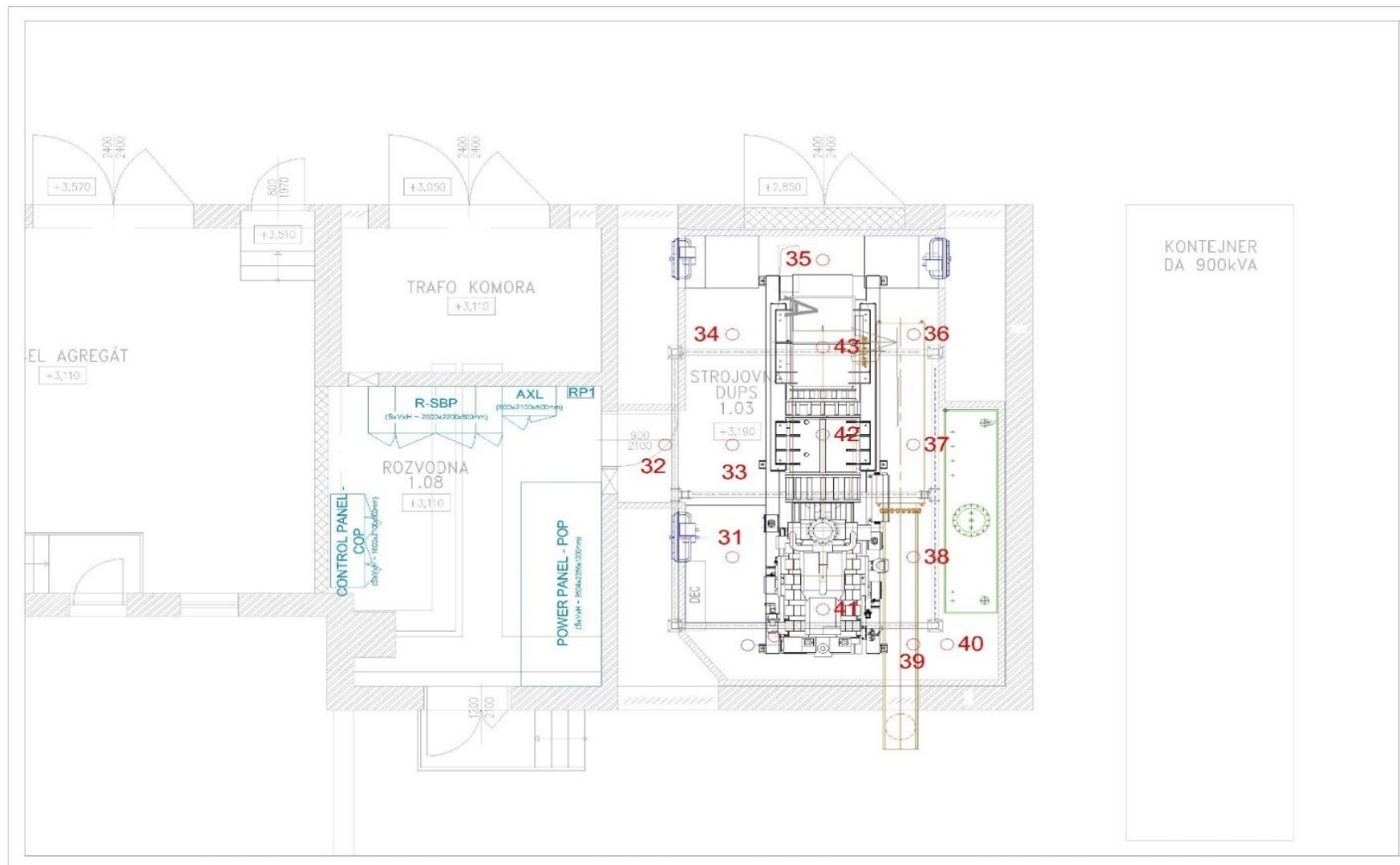
Každé měření probíhalo v intervalu 10 s.



*Obr. 10 Bod číslo 33, měření u akurotoru*



*Obr. 11 Bod číslo 38, měření u motoru stroje, za mikrofonem je vidět nádrž s PHM*



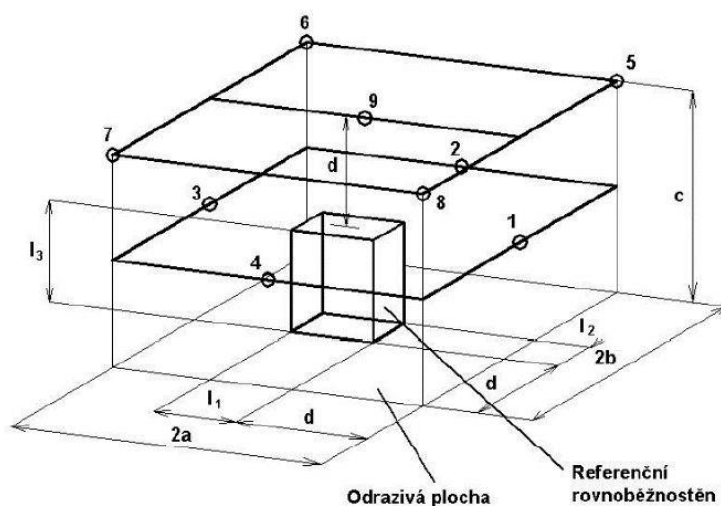
Obr. 12 Dispoziční výkres měřicích bodů ve strojovně

Měření ve strojovně bylo provedeno, aby se ověřily parametry zadané výrobcem záložního zdroje. Bohužel výrobce neudává akustický tlak v třetinoctávovém spektru, ale pouze po jednotlivých oktávách, tudíž se nedá dle parametrů od výrobce odhadnout vznik tónové složky.

Měření bylo provedeno ve stísněných podmínkách strojovny. Výrobce udává hodnotu akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od stroje, ale vzhledem k četnosti podpůrných technologií (rozvaděče, nádrž PHM, VZT pro odvod i přívod vzduchu, potrubí s chladivem, nádoba s olejem) pro záložní zdroj a nedostatku prostoru bylo měření provedeno ve vzdálenosti 0,5 m od stroje.

Měření bylo provedeno v třetinoctávovém spektru a výsledky v jednotlivých oktávách byly poté dopočítány.

Stanovení obalové plochy proběhlo dle ČSN ISO 3744 viz Obr. 13.



Obr. 13 Stanovení obalové plochy kolem zdroje hluku [5]

Podle ČSN EN ISO 3744 [5] musí mít kvádr měřicí plochy stejnou orientaci jako referenční obalová plocha (myšlený povrch nejmenšího hypotetického kvádru, který obklopuje testovaný zdroj hluku). Měřicí vzdálenost  $d$  musí být alespoň 0,25 m. Vzhledem k prostorovým možnostem ve strojovně byla použita vzdálenost  $d=0,5$  m.

Stroj je položen na podlaze strojovny, tudíž se jedná o jednu odrazivou plochu a plošný obsah měřicí plochy  $S$  je dán vztahem:

$$S = 4 * (a * b + a * c + b * c)$$

Parametry  $a$ ,  $b$ ,  $c$  byly určeny:

$$a = 0,5 * l_1 + d$$

$$b = 0,5 * l_2 + d$$

$$c = l_3 + d$$

Rozměry stroje byly určeny dle parametrů výrobce, tedy délka  $L_1=6,52$  m ; šířka  $L_2=1,7$  m a výška  $L_3=1,95$  m.

*Tab. 13 Rozměry stroje, charakteristické rozměry a plošný obsah měřicí plochy*

odstup mikrofonu	0,5	1	m
L1	6,52	6,52	m
L2	1,7	1,7	m
L3	1,95	1,95	m
a	3,76	4,26	m
b	1,35	1,85	m
c	2,45	2,95	m
Sm	70,382	103,622	m <sup>2</sup>

V následující tabulce Tab. 14 jsou vloženy výsledky z měření akustického tlaku ve strojovně DUPS. Body 31, 38, 39, 40 a 41 byly měřeny v části diesellového motoru, který v conditioning mode nebyl v provozu. V těchto bodech jsou patrné nižší hladiny akustického tlaku.

Body 32, 33, 37 a 42 jsou měřeny v části aku rotoru (accumulator na obr. 1). V těchto místech proudí vzduchu pryč z rotačních částí akumulátoru a v bodě 32 je dokonce naměřená největší hodnota akustického tlaku ve strojovně, ačkoliv bod byl měřen 1 m od stroje. Je to způsobeno tím, že se místo nacházelo blíže u dveří v difúzním odrazivém poli akustických vln. V těchto měřících bodech vidíme nejvyšší hladiny akustického tlaku, tudíž jasně vidíme, že tato část stroje produkuje nejvíce hluku v pracovním režimu kondiční mód.



Body 34, 35, 36, a 43 jsou měřené v části alternátoru. Výsledky jsou podobné jako u měření u aku-rotoru, ale měření mohlo být ovlivněno přívodem vzduchu, který je vidět na Obr. 8.

Tab. 14 Výsledky měření Lp ve strojovně

Měřicí bod	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	Lp dB	Lp dB(A)
31	72,6	80,9	85	86	85,4	86,1	89	92,6	92,8	96,8	93,8	99,5	98,1	97,8	97,6	94,6	91,3	90,3	89,6	91,6	89,6	89,3	88,6	81,8	80,6	78,6	75,3	72,1	66,4	107,1	102,7
32	73,8	81	84	81	79,2	82,6	88,4	91	90,7	97,8	101,3	102,2	98,6	106,6	101	96,7	95,6	92,9	91,1	93,3	93	91	90	84,9	83,3	81,2	78	74,9	69,9	110,9	106,5
33	75,4	81,5	85	82,3	83,1	84,2	85,6	90	90,1	97,3	97	98,1	99	103	99,2	97,1	94,2	93	91	92,4	91,2	90,7	90,3	84,7	83	81	78	74,8	70,3	108,7	104,9
34	76,1	80,2	75,1	81,2	86,9	87,9	90,1	92,9	91,6	97,2	94,6	96,8	101,6	101,1	98,7	97,7	97,1	94	91,6	92,5	91,1	90,7	89	84,2	82,5	80,3	77,1	73,5	68,9	108,7	105,0
35	77,4	79,9	81	83,7	83,1	87,5	91,2	94,4	92,9	98,3	96,8	96	98,4	97,8	100,3	97,2	94,9	93,2	91,2	92,3	92,2	90,3	88,7	83,6	81,9	79,4	75,8	72,3	67,7	108,1	104,3
36	74,8	78,1	83,4	84,4	88,3	92	95,2	92,6	93,4	100,6	99,2	100,2	96,7	97,8	99,6	99,8	98,3	96,3	95	93,9	93,4	92,5	90,4	86,3	84,7	82,3	79,1	75,5	71,3	109,7	106,1
37	74,3	81,7	81,1	85,6	87,7	92,7	91,5	93	91,4	97,1	96,1	97,8	98	102,7	102,1	97,4	97,7	94,6	93,2	94,9	95,3	93,1	91,6	86,7	85,3	82,9	80	76,7	72,6	109,6	106,5
38	75,6	80,1	77,3	79,9	78,8	84,2	92,3	94,7	91,2	98,1	95,1	94,8	98,5	98	99,8	95,7	93,2	91,3	90,7	92,4	91,7	91,4	91,1	83,3	81,7	79,4	76,1	72,6	67,2	107,6	103,9
39	74,5	82,5	79,6	84,7	84,5	82,3	87,2	89	92,5	97,9	94,9	97,4	96,9	96,6	97,2	94,8	96,1	91,4	90,5	92	89,8	89,7	87,6	81,3	79,7	77,3	73,7	70	64,7	106,8	103,0
40	76,9	84,1	79,6	86,3	85,9	86,7	88,6	93,5	90,3	94,7	95,9	98,1	96	96,8	97,1	94	93,6	90,1	88,7	89,7	88,8	88,3	86,2	80,4	78,8	76,3	72,7	68,9	63,5	106,3	101,9
41	74,2	78,5	75,8	79,3	79,6	79,1	93	91,1	92,4	96,1	95,1	98,9	97,5	101,4	96,3	94,3	92,7	89,7	89	90,4	89,5	88,8	87,1	81,6	79,7	77,2	73,8	70	64,4	107,3	102,8
42	70,9	75,8	76,8	82,9	86,2	91,7	95,9	90,7	93,6	97,6	97,8	98,8	99,1	103	99,2	97,3	97	94,9	93	97,2	94,7	93,1	91,3	86,9	85,2	83,7	80,8	78	74,7	109,7	106,4
43	74,2	78,9	79,2	79,6	83,8	86,2	92,3	89,5	92,7	100,4	98,7	96,4	98,3	102	100	97,2	94,9	93,3	90,7	92,4	91,4	90,3	88,5	84,2	82,4	80,2	77,1	73,7	69,4	108,9	104,7

Z těchto výsledků byly vybrány body, které byly měřené 0,5 m od stroje byl spočítán akustický tlak  $L_{p=0,5m}$ .

$$L_{p\ 0,5m} = 10 * \log\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 * L_{pi}}\right] \quad (1)$$

Tab. 15- Akustický tlak Lp v 0,5 m

[Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	Lp=0,5 dB	Lp=0,5 dB(A)
[dB]	74,8	80,5	82,0	83,1	85,0	88,1	91,7	92,1	92,1	98,2	97,0	99,0	99,2	101,2	99,4	97,0	95,5	93,3	91,8	93,2	92,2	91,1	89,9	84,6	83,0	80,8	77,8	74,6	70,2	108,7	104,9

Z těchto výsledků přes obsah měřicí plochy byl spočítán akustický výkon stroje. Tónová složka se zde nevyskytuje. Stroj v conditioning

módu má akustické špičky na 160 Hz a 400 Hz. Na Obr. 14 a 15 si můžeme vidět akustické špičky v třetinooktávovém spektru.

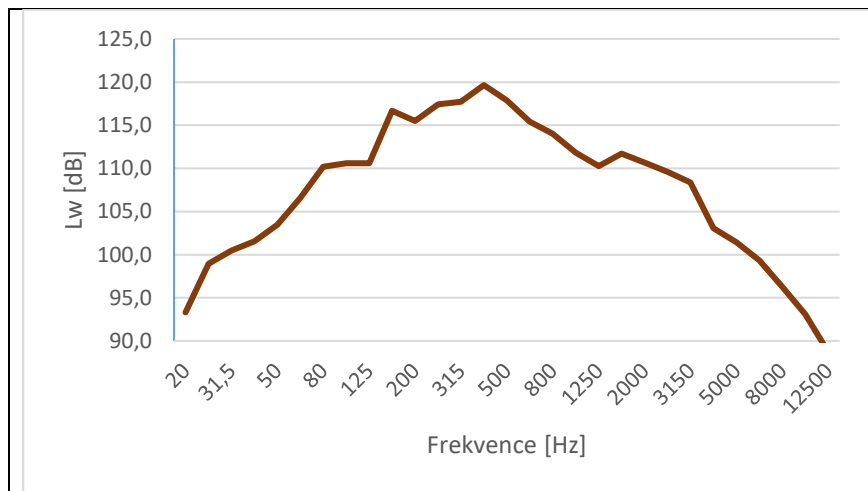
$$L_w = L_p + 10 * \log S$$

( 2 )

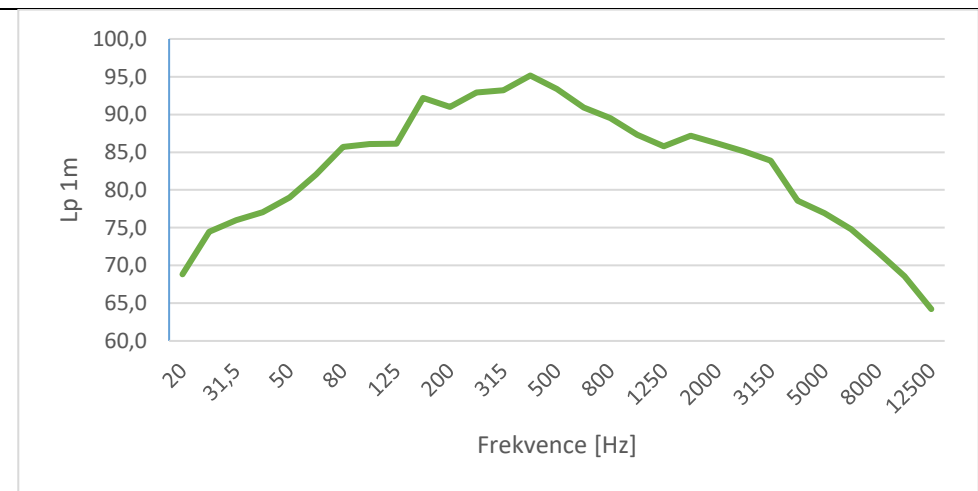
Tab. 16 Akustický výkon  $L_w$  DUPS

[Hz]	Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	$L_w$ dB	$L_w$ dB(A)
[dB]	dB	93,3	99,0	100,5	101,6	103,5	106,6	110,2	110,6	110,6	116,7	115,5	117,4	117,7	119,7	117,9	115,4	114,0	111,8	110,3	111,7	110,7	109,6	108,4	103,1	101,4	99,3	96,3	93,1	88,7	127,2	123,4

Následně byla spočítána  $L_{p=1m}$  přes plochu v Tab. 17 pro odstup mikrofonu 1 m.



Obr. 14 Akustický výkon  $L_w$ , graf. vyjádření Tab. 16



Obr. 15 Akustický tlak  $L_p$  v 1 m od stroje, graf. vyjádření tabulky 17

*Tab. 17 Akustický tlak  $L_p$  v 1m*

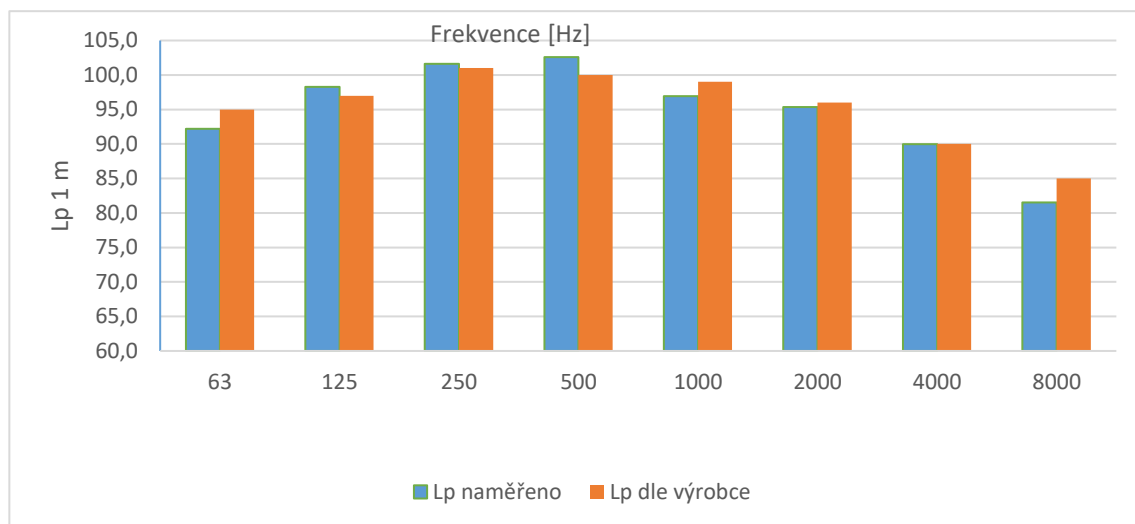
[Hz]	Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	$L_p=1m$ dB	$L_p=1m$ dB(A)
[dB]	dB	73,2	78,8	80,3	81,4	83,3	86,4	90,0	90,4	90,4	96,5	95,3	97,3	97,6	99,5	97,7	95,3	93,8	91,7	90,1	91,5	90,5	89,4	88,2	82,9	81,3	79,2	76,1	72,9	68,6	107,1	103,2

Z akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu bylo možné dopočítat  $L_p$  v jednotlivých oktávách a srovnat s parametry výrobce.

*Tab. 18 Srovnání vypočtených hodnot z naměřených dat a parametrů výrobce*

Frekvenční pásmo [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	$L_p=1m$ dB(A)
Vypočtené hodnoty	92,2	98,3	101,6	102,6	96,9	95,4	90	81,5	103,2
Parametry výrobce	95,0	97,0	101,0	100,0	99,0	96,0	90,0	85,0	103
Rozdíl	2,8	-1,3	-0,6	-2,6	2,1	0,6	0,0	3,5	-0,2

Z porovnání v Tab. 18 vychází, že celková hladina akustického tlaku v 1 m vyšla srovnatelně. Rozdíl  $L_{p\ 1m}$  0,2 dB(A) je zanedbatelný a výrobce pravděpodobně udává parametr zaokrouhleně, ale s uvažováním nejistoty měření  $\pm 2$ dB to je přípustný rozdíl.



*Obr. 16 Grafické srovnání vypočtených hodnot z naměřených dat a parametrů výrobce DUPS*

Porovnání v jednotlivých oktávách je vidět na obr. 16.

Původní předpoklad byl, že vzhledem k stísněnému prostoru ve strojovně a k množství předmětů uložených vedle stroje se nedosáhne měřením podobných výsledků kvůli odrazivosti a malé pohltivosti stěn strojovny. Výrobce pravděpodobně měří hluk svých zařízení obdobně v reálných provozních podmínkách, a proto výsledek vyšel podobně.

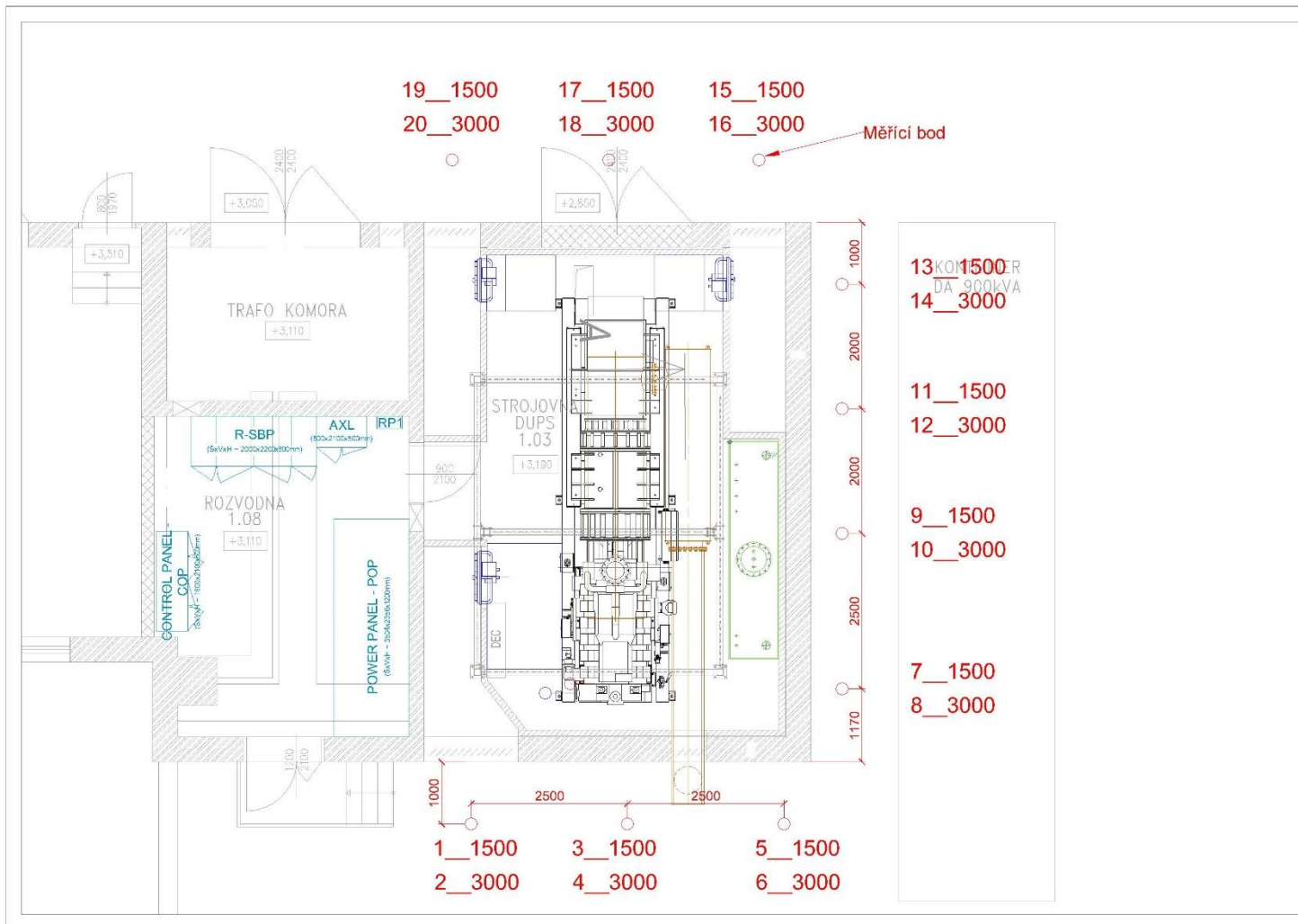
Ve strojovně bohužel nemohl být změřen hluk pozadí, protože DUPS nemůže být při provozu vypnutá. Hluk ze stroje je ale tak veliký, že se nepředpokládá, že by pozadí strojovny ovlivnilo výsledky měření.

### 7.3 Měření v exteriéru

U jednotlivých bodů je vždy za podtržítkem označená výška měření nad zemí měřicího bodu. Všechny body (1 až 20) byly měřeny 1 m od stěny nebo VZT výústky. Jednotlivá měření probíhala 30 vteřin a výsledný akustický tlak v třetinooktávovém spektru je časovým průměrem naměřených hodnot za dobu měření. U zakončení odvodu spalin probíhalo měření 1 m od vyústění potrubí pro odvod spalin. Diesellový motor nebyl v chodu, tudíž nedocházelo k vystavení mikrofonu nadměrnému proudění vzduchu a nedošlo ke zkreslení měření.

V den měření v exteriéru nebyl umožněn přístup na střechu, tudíž bylo měření střechy provedeno ve dne, kdy je v nemocnici největší provoz, což vyžadovalo korekci naměřených hodnot. Pro porovnání s výsledky z nočního měření byly naměřeny 3 body okolo strojovny DUPS. U každého měřicího bodu se odečetl rozdíl mezi dnem a nocí v jednotlivých třetinooktávách, tento rozdíl se zprůměroval a následně byl odečten z měření na střeše.

Zvláštnost zdroje DUPS je, že je zapnutý po celý rok a celý rok generuje stejné množství hluku. Proto byla snaha v exteriéru měřit pouze pokud na přilehlých silnicích nebyla žádná doprava, aby se dal zjistit efekt DUPS na přilehlé okolí. Liniové zdroje jsou mnohem větším znečišťovatelem a podléhají vlastním hlukovým limitům. Zdroj hluku DUPS je na rozdíl od dopravy v provozu celý rok.



Obr. 17 Dispoziční výkres měřicích bodů vně strojovny



*Obr. 18 Měřicí bod 1, cílem bylo určit hluk generovaný PDŽ na odvodu vzduchu ze strojovny*



*Obr. 19 Měřicí bod 7, cílem bylo změřit útlum fasádou*



Tab. 19 Výsledky měření Lp v exteriéru

Měřicí bod	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	Lp dB	Lp dB(A)
1	60,8	68,3	68,7	71,2	72,2	70,7	72,4	68,2	64,9	64,6	67,4	64,5	55,7	61,2	51,8	43,6	40	37,7	34,3	32,7	30,7	29,6	28,4	24,9	23,1	21	22,8	14,6	11,7	79,9	62,8
2	62,8	68,3	69	71,1	69,2	66,2	69,8	70,7	66,8	64,6	62,3	60,5	54,8	54,8	49,2	44	41,1	39	36	36,3	33	30,9	29,4	26,2	24,4	21,5	21,5	14	13	78,7	60,1
3	58,1	67,6	67,9	69	65,7	67,6	69,1	64,5	57,9	59	54	54,6	50,9	48,4	43,3	37,6	33,6	34,7	32	30,8	28,4	26	24,5	22,3	20,4	18,5	16,5	13,1	12,5	76,3	54,6
4	61,2	66,8	67,4	68,3	66,1	64,8	65,1	63,3	60,1	57,9	54,9	54,9	50,3	51,9	45,3	38,7	38	35	33,6	32,9	31	30,1	29,6	28,4	27,6	28,1	26,2	24,3	21,8	75,2	54,7
5	53,7	62,6	61,6	65,4	63,4	64,9	65,1	64,4	60,7	55,6	53,7	48,5	43,8	42,1	41,3	37,8	37	35,9	34,3	32,6	29,2	27,9	26,8	24,8	23,1	21	18,3	15,1	11,5	73,0	52,4
6	52,5	62	60,3	63,4	63	61,7	61	59,9	56,4	53,6	53,9	54,5	48,7	49,1	43,8	39,5	38	34,6	32,9	32,9	29,9	28,4	26,6	21,8	19,5	17,6	14,9	11,9	9,5	70,8	52,6
7	64,6	62,3	65,8	64	61	56,9	58,5	50,4	47,8	45,3	43,9	44,2	44,1	37,7	38,4	36,3	34	31,9	31,4	30,4	28,8	28,5	28	27	25,6	24,3	21,7	18,6	15,4	71,4	46,3
8	56	56,5	62,1	61,8	58,3	56,9	61,3	53,3	49,8	49,5	47,6	47,3	42,4	41	40,2	39,5	36,5	33,8	32	31	29,6	28,6	27,8	25,4	23,5	21,7	18,8	15,3	11,8	68,5	48,0
9	60,8	60,9	62	64,7	61,7	57,6	56,8	55,6	49,3	47,2	44,6	42,1	41,2	41,6	38,5	36	35,1	34,4	31,8	30,6	29,2	28,3	28,1	27,2	25,7	23,9	20,9	17,9	14,8	70,0	46,7
10	62,2	61,2	60,1	61,8	59,4	55,8	56,3	52,2	48	50,9	45,9	44,4	46,2	41,5	41,1	37,8	37,4	35,3	33,8	32,7	31	31,1	30,1	27,9	25,7	23,6	20,5	17,4	13,8	68,9	48,1
11	57,2	63,6	63,8	63,6	60,6	58	56,7	51	48	49,5	47,3	46,3	44,2	41,4	44,3	37,6	35,6	31,6	30,6	29,3	27,8	26,2	25,4	23,8	21,6	19,4	16	12,8	10	70,1	47,8
12	65,2	65,1	63,6	63,9	60	57	58,1	55,3	48,7	49,6	43,1	43,9	43,3	39,8	42,8	38	36,5	34	31,9	30,4	29,6	29,3	28,6	27,2	25,6	23,6	20,5	17,2	13,6	71,5	47,6
13	60,3	62,1	63,8	65,5	61,8	57,8	61,4	52,5	48,3	49,2	45,7	44,1	45,2	39,8	40,6	38,5	36,1	33,2	30,6	29,9	28,2	26,9	26,2	24,9	22,8	21,2	19,6	16,8	13,7	71,0	47,6
14	56	58,7	61,8	63,9	59,8	56,5	60,7	53,6	48	48,7	46,8	45,8	45,6	42,6	40,5	37,8	36,6	34	31,6	29,1	26,3	24,6	23,6	21,6	19,1	17,2	14,3	11,3	8,5	69,1	47,8
15	65,5	62,2	60,8	59,9	60,2	57,2	60,2	58	57,9	62,6	53,4	47,6	51,4	48,6	45,4	43,5	39	37,1	35,9	35	34,1	31,9	30,1	28,4	26,7	24,5	21,4	18,7	15,2	71,3	54,1
16	63,2	61,8	64,4	63,8	67,9	60,6	64,4	62,5	62,9	64,5	62,6	55,6	57,8	58,1	53,5	53,5	49,6	46,1	43,1	42	39,3	35,9	34,1	30	27,8	25	22,6	17,6	15	74,7	60,8
17	60,5	63,9	61,2	61,6	63,8	58,6	61,3	57,1	54,4	58,5	53,1	49,1	53	47,5	47,8	46,3	40,5	38,6	38,1	35,9	32,3	31,1	29,5	26,1	23,9	22,5	19	15,5	11,2	71,1	53,8
18	59,2	62,7	57,8	57,3	61,1	54,9	61	57,2	56,9	54,2	49,6	47,5	49,8	46,7	44,3	43,2	39,4	37,2	35,7	33,8	31,8	30,2	28,9	27,4	26,1	24,2	20,9	17,1	13,9	69,2	51,6
19	66,3	66,9	63,5	65,6	65,4	61,4	63,2	60,9	63,5	61,9	57,1	55,6	54,8	55,1	58,5	55,1	50,4	44	41,2	40,5	36,3	34	30,8	28,6	27,4	26,2	23,6	20,7	18,2	74,7	60,5
20	56,4	62,4	56,6	57,3	59,2	55,8	59,8	57,7	57,9	55,2	51,6	46,8	50,4	47,8	46,7	44,8	38,8	37,7	34,4	33,2	31,8	30,1	29,6	27,7	26,8	25,7	21	15,7	13,2	68,7	52,4
S1	54,4	58,4	53,7	53,5	56,1	54,0	57,7	58,9	45,6	47,0	47,0	52,2	45,4	39,2	38,7	37,8	37,4	37,4	36,0	35,1	32,9	30,4	29,0	23,5	19,7	15,9	13,3	11,0	8,5	65,9	49,4
S2	54,6	57,4	58,2	58,8	60,3	60,3	59,2	54,2	49,0	48,5	46,9	48,7	44,5	42,8	42,7	43,4	44,3	45,2	45,0	43,8	41,4	38,4	36,5	33,0	30,1	26,1	20,7	14,9	10,7	67,8	53,6
OS	57,1	56,8	54,3	57,9	56,4	55,1	62,4	60,6	53,9	51,2	52,8	51,9	48,6	47,4	48,8	46,5	45,5	43,5	45,8	42,0	41,8	41,8	39,6	38,5	36,6	34,8	37,1	30,0	20,7	68,2	55,6

Dle očekávání je nejvíce hluku generováno v otvorech pro přívod (body 15, 16 a 19, 20) a odvod vzduchu (body 1 a 2). Měřicí body na jižní stěně, jsou ovlivněné otvorem pro výdech vzduchu, jelikož hladina akustického tlaku  $L_p$  dosahuje značně vyšších hodnot než měřicí body na stěně východní. Stejně ovlivnění měřicích bodů je patrné na stěně severní, kde byly měřicí body 17 a 18 na stěně mezi dvěma nasávacími otvory. Dalším možným vysvětlením, proč jsou  $L_p$  na stěně severní (17 a 18) vyšší, než na stěně východní může být fakt, že ve stěně byla zazděná vrata a ve stěně zůstal ocelový rám. Výdech vzduchu má vyšší hladinu akustického tlaku proto, že je v jeho části zapojený hlučnější ventilátor a otvor má větší rozměry než otvor sání vzduchu.

Hodnoty pro výpočet útlumu stěnou jsou ideální zvolit pro stěnu východní (body 7 až 14), jelikož jsou ve všech bodech poměrně ustálené hodnoty a na stěně je pouze instalované stáčecí místo PHM, z kterého prostupuje ocelová trubka DN50 do strojovny. I přesto v měřicích místech okolo stáčecího místa byla naměřená nejnižší hladina akustického tlaku.

Mezi východní stěnou a stěnou kontejneru pro další záložní zdroj bylo 1,4 m a bylo nutné měřit v bezprostřední vzdálenosti od stěn.

*Tab. 20 Kontrolní body pro kalibraci výpočtu, umístění bodů viz Obr. 5, měřeno ve výšce 3 m*

Lp [dB(A)] změřeno	
21 lůžková část	42,4
22 ZZS	49,6
23 parkoviště	45,1
24 branka	43,5

Kontrolní body pro kalibraci výpočtu byly měřeny za nepříznivých podmínek. Při měření před lůžkovou částí (21) bylo slyšet hluk z transformátoru a za celou dobu měření se nezměnil. Při měření před ZZS byla hlučná projíždějící doprava, proto je výsledek tak vysoký. Ani jeden z objektů by nesplnil hygienické limity.

Z důvodu provozních podmínek nemohlo být zařízení DUPS vypnuto, proto bylo měření pozadí převzato z měřicího protokolu č. F/037/11 ze dne 14.11.2011 viz Obr. 21. V den měření byl zapnutý i transformátor ve vedlejší strojovně vedle strojovny DUPS.

*Tab. 21 Měření hlukového pozadí dle protokolu č. F/0,37/11*

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
Měření pozadí [dB]	37,3	37,1	39,6	36,2	32,1	31,6	31,2	34,3	30,8	31,9	26,5	24,3	23,5	22,1	22,6	20,1	17,1	16,4	13,8	12,2	9,7	9,5

Měření pozadí bylo ověřeno v areálu kláštera vedle nemocnice, aby bylo ověřeno, že se je možné se dostat na podobné hodnoty.

*Tab. 22 Ověření měření hlukového pozadí*

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Měření pozadí [dB]	47,7	46,1	42,4	40,3	35,5	34,1	31,6	30,9	30,4	29,4	28,9	29,1	28,7	29,7	28,9	28,2	26,5	25,3	24,5	23,4	21,8	19,8	16,7	12,7

S přihlédnutím k okolnostem měření, se dá konstatovat, že hodnot změřených v protokolu se dá dosáhnout, pokud bude dopravní situace v okolí klidná a na místě měření bude mimo provoz DUPS a transformátor.

## 8 Simulační program

Šíření hluku v exteriéru bylo spočítáno v programu Hluk + verze 11.09. Standardní uvažovaná nejistota pro výpočty Hlukem + v exteriéru jsou 2 dB [16].

### 8.1 Postup modelování v simulačním programu

Nejprve byly staženy katastrální mapy území, které byly vloženy do programu na příslušné souřadnice. Tím se v modelu správně nasměrovaly světové strany. Poté byly v programu namodelovány všechny podstatné objekty areálu dle stavebních výkresů. Do modelu byly přidány i stromy v areálu.

Vzhledem k proběhlému měření v místě instalace byly k dispozici reálné hodnoty. Zadávání akustických parametrů probíhalo tak, že byl zadán akustický tlak ve vzdálenosti 1 metr od stěny. Z tohoto parametru si program vypočítal akustický výkon plošného zdroje na stěně a následně už skrze svůj algoritmus počítal akustický výkon 1 metr od stěny.

Výsledky se lišily od změřených hodnot, proto se iterací došlo ke srovnání výsledků naměřených na místě a vypočtených programem dle akustického výkonu plošného zdroje, tedy stěny nebo střechy.

Model byl tvořený jako rovinný. Typ terénu v modelu byl nastaven jako odrazivý, jelikož v okolí strojovny jsou vesměs silnice a chodníky. Model byl počítán pro noc, jelikož v noci jsou přísnější hygienické limity a stroj je v provozu beze změny po celý den. Celkem bylo do modelu zadáno 20 plošných průmyslových zdrojů hluku na fasádě s činitelem směrovosti  $Q=2$ . 9 plošných průmyslových zdrojů hluku na střeše a jeden bodový zdroj hluku, který reprezentuje odvod spalin.

Budovy byly zadávané jako pravoúhlé domy s externími rozměry dle projekčních podkladů a s korekcí pro odraz od stěn 3 dB.

Průmyslové zdroje byly zadány jako plošné buď na fasádě nebo na střeše objektu. Naměřený akustický tlak byl zadán 1 metr od objektu.

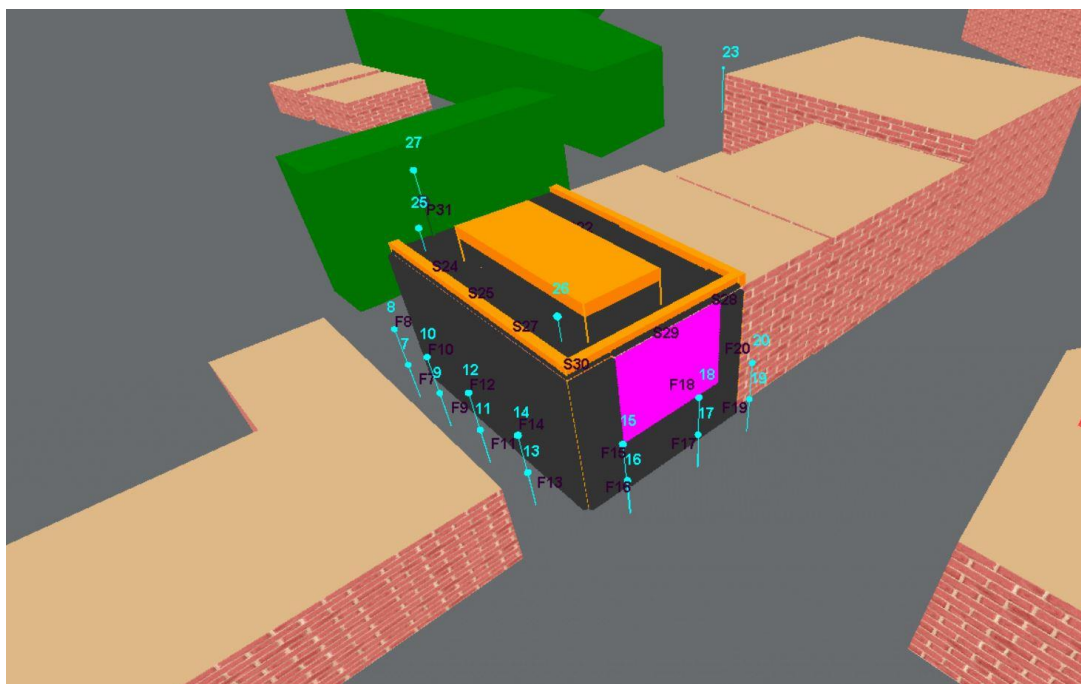
Prvek balkon slouží k vytvoření clonící překážky. Lze jím například modelovat tunel nebo samotný balkon v činžovním domě. Prvek byl v modelu použit pro modelování suchého chladiče na střeše strojovny, který byl v měřeném provozním stavu vypnutý a sloužil tedy jenom jako akustická překážka pro šíření hluku v exteriéru. Dále byl prvek použit pro namodelování římsy na střeše strojovny DUPS.

## 8.2 Ověření výpočtového modelu

V první fázi se do modelu vložily všechny body z měření v exteriéru. Strojovna se rozdělila na dílčí úseky stěn, podle toho, která část stěny odpovídala jednotlivým měřicím bodům dle měření.

Měření bylo provedeno ve výšce 1 m a 3 m, takže každá stěna byla v modelu vertikálně rozdělena na 2 úseky. Spodní na úsek 0 až 2 výškové metry, horní na 2 až 5 m. Protidešťová žaluzie (PDŽ) na odvodu vzduchu ze strojovny je také na 2 úseky, jelikož je srovnatelně vysoká jako celá stěna. PDŽ pro sání vzduchu jsou měřeny v ose žaluzie, jelikož jsou vysoké 2 m. Část stěny nad žaluzií je měřena samostatně, aby se dalo zkoumat ovlivnění výsledku sáním vzduchu PDŽ pod měřeným úsekem stěny.

Na následujícím obrázku je ukázáno, jak probíhalo ladění jednotlivých zdrojů hluku. Je zde ponechána jako zapnutý akustický zdroj horní část stěny mezi sáním vzduchu do strojovny DUPS (zvýrazněno růžovou barvou). Jde o část, která byla zazděná po nastěhování stroje a demontáži vrat. Černá barva ukazuje vypnuté průmyslové zdroje hluku. Modrá barva znázorňuje měřicí místo. Oranžovou barvou na střeše je zvýrazněný suchý chladič a také je na střeše zobrazena atika, která byla modelována prvkem balkon.



Obr. 20 3D zobrazení ze simulačního programu, zapnutý zdroj č. 18

Všechny ostatní zdroje byly vypnuté a iterace probíhala vždy pro každý jednotlivý zdroj. Nejprve do simulačního programu byly zadány změřené hodnoty akustického tlaku  $L_{p=1m}$  na místě jako plošný průmyslový zdroj hluku na fasádě v jednotlivých třetinooktávách

(50 Hz až 10 000 Hz), simulační program si akustický tlak přepočítal na akustický výkon na fasádě a následně v měřicím bodě 1 m od stěny spočítal svým algoritmem hladinu akustického tlaku.

Pokud hodnota akustického tlaku spočítaná simulačním programem neseseděla s naměřenými hodnotami, tak byla data exportována do excel, kde byla porovnána s naměřenými hodnotami. Odečetl se rozdíl oproti naměřeným výsledkům v jednotlivých třetinooktávách a rozdíl se znovu odečetl od původního vstupního parametru (data z měření). Nový parametr pro simulační program se znovu zadal do řešeného průmyslového zdroje a přešlo se k vypočítání akustického tlaku v 1 m. Pokud  $L_{p=1m}$  stále nebyl roven datům z měření, tak se proces opakoval.

*Výsledek měření =  $L_{p=1m,exteriér}$*

*iterace = výpočet  $L_{p=1m,exteriér}$  simulačním programem v dané výšce*

*Rozdíl = iterace – výsledek měření ( 3)*

*Nový parametr = výsledek měření – rozdíl ( 4)*

V následující tabulce jsou výsledky z měření bodu č. 18, které byly provedeny 4.12. v areálu nemocnice.

Tab. 23 Výsledek měření pro měřicí bod č. 18

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
výsledek měření [dB]	61,1	54,9	61	57,2	56,9	54,2	49,6	47,5	49,8	46,7	44,3	43,2	39,4	37,2	35,7	33,8	31,8	30,2	28,9	27,4	26,1	24,2	20,9	17,1

Výsledky měření byly vloženy ve spektru třetinoctávovém do simulačního programu jako průmyslové zdroje. 1. iterace značí výsledek v měřicím bodě č. 18 (3 m nad zemí 1 m od stěny) ve výpočtovém programu. Rozdíl je rozdílem mezi výsledkem 1. iterací a výsledkem měření.

Tab. 24 Výsledek 1. iterace a rozdíl oproti výsledku měření

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1. Iterace	64,4	58,2	64,3	60,5	60,2	57,5	52,9	50,8	53,1	50,0	47,6	46,5	42,7	40,5	39,0	37,1	35,1	33,5	32,2	30,7	29,3	27,4	24,0	20,1
Rozdíl [dB]	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0

Nový parametr byl určen jako odečet rozdílu od původního výsledku měření v exteriéru v celém třetinoctávovém spektru.

Tab. 25 Nový parametr pro simulační program

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Nový parametr	57,8	51,6	57,7	53,9	53,6	50,9	46,3	44,2	46,5	43,4	41,0	39,9	36,1	33,9	32,4	30,5	28,5	26,9	25,6	24,1	22,9	21,0	17,8	14,1

2. iterace je opět výsledkem v měřicím bodě č. 18 ve výpočtovém programu a při porovnání s výsledkem z měření v exteriéru je vidět, že simulační program již počítá se stejným výsledkem jako v reálné situaci.

Tab. 26 Výsledek 2. iterace a rozdíl oproti výsledkům měření v bodě č. 18

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
2. Iterace	61,1	54,9	61,0	57,2	56,9	54,2	49,6	47,5	49,8	46,7	44,3	43,2	39,4	37,2	35,7	33,8	31,8	30,2	28,9	27,4	26,1	24,2	20,9	17,1
Rozdíl [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ve všech měřicích bodech v exteriéru byl dosažen stejný výpočet  $L_{p=1m}$  jako bylo naměřeno měřením dne 4.12. Další fází bylo srovnat výsledky měření, pokud budou zapnuté všechny zdroje najednou.

Všechny průmyslové zdroje byly v druhé fázi modelování zapnuté a snahou bylo přiblížit se ve všech měřicích bodech v exteriéru okolo strojozny k výsledkům z měření.

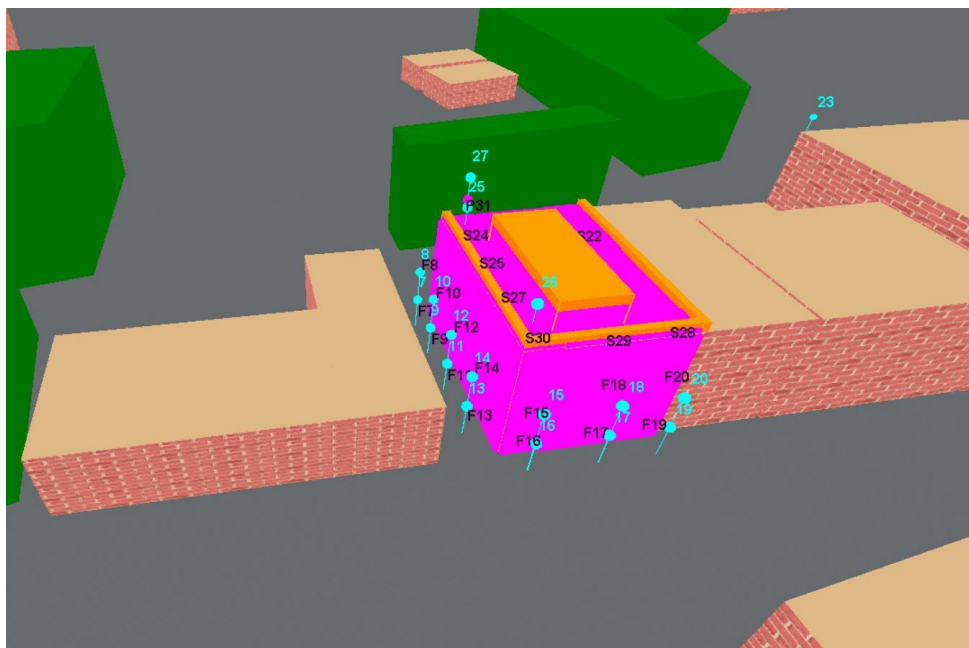
Postup probíhal od bodu 1 až k bodu 20. Poté se pokračovalo na střechu a poslední se kalibroval odvod spalin. Kalibrace probíhala tak dlouho, dokud se rozdíl mezi akustickým tlakem v jednom metru a akustickým tlakem změřeným v exteriéru na místě sobě nerovnal, nebo popřípadě se rozdíl nezačal znovu zvětšovat.

Vstupní parametry každého zdroje byly použity z předešlé fáze, tedy iteračního postupu, kdy se optimalizoval akustický výkon jednotlivých úseků stěn, ale pouze vždy s jedním zapnutým úsekem stěny.

Iteračním výpočtem se nedošlo k identickým výsledkům jako měřením v exteriéru, ale výsledky se alespoň v dominantních zdrojích hluku prakticky nelišily. Je patrné, že dochází k ovlivnění výsledků měření na fasádě, která je blízko PDŽ. V tomto místě by bylo nutné řešit směrnost akustického zdroje hluku, což bohužel zvolený simulační program nenabízí.

Na obrázku je vidět, že všechny průmyslové zdroje na fasádě a střeše byly zapnuté, viz růžová barva na obrázku. Ke každému zdroji je přiřazen měřicí bod modrou barvou, který je ve stejné pozici, jako v proběhlém měření v exteriéru a slouží pro kalibraci modelu.

Oranžovou barvou je opět vyznačen suchý chladič na střeše a je oranžovou barvou vyznačená atika.



Obr. 21 3D zobrazení ze simulačního programu - zapnuté všechny zdroje



V následujících tabulkách je vidět, jak se k výslednému akustickému výkonu na stěně došlo. První tabulka ukazuje výsledek měření v exteriéru a vstupní parametr akustického výkonu na stěně.

*Tab. 27 Výsledek měření v exteriéru a parametr, tedy  $L_w$  na fasádě*

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Výsledek měření [dB]	61,1	54,9	61	57,2	56,9	54,2	49,6	47,5	49,8	46,7	44,3	43,2	39,4	37,2	35,7	33,8	31,8	30,2	28,9	27,4	26,1	24,2	20,9	17,1
Parametr [dB]	57,8	51,6	57,7	53,9	53,6	50,9	46,3	44,2	46,5	43,4	41,0	39,9	36,1	33,9	32,4	30,5	28,5	26,9	25,6	24,1	22,9	21,0	17,8	14,1

Iterace značí výsledek výpočtu simulačního programu, tedy jde o  $L_{p=1m}$  od fasády objektu. Rozdíl značí rozdíl mezi první iterací a naměřenými hodnotami v exteriéru. Nový parametr je vstupní parametr a od něj odečtený rozdíl.

*Tab. 28  $L_{p=1m}$  od fasády a rozdíl od skutečně naměřené hodnoty*

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1. Iterace [dB]	64,9	59,4	63,6	60,3	60,5	60,1	55,8	52,2	54,0	52,3	52,4	50,1	45,7	41,7	39,7	38,2	35,4	33,5	31,9	29,8	28,4	26,7	23,3	19,5
Rozdíl [dB]	3,8	4,5	2,6	3,1	3,6	5,9	6,2	4,7	4,2	5,6	8,1	6,9	6,3	4,5	4,0	4,4	3,6	3,3	3,0	2,4	2,3	2,5	2,4	2,4

*Tab. 29 Vstupní parametr a odečtený rozdíl*

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1. Nový parametr [dB]	54,0	47,1	55,1	50,8	50,0	45,0	40,0	39,5	42,2	37,8	32,9	33,0	29,8	29,4	28,4	26,1	24,8	23,6	22,6	21,7	20,6	18,5	15,4	11,7

Dále se nový parametr vložil jako akustický výkon na fasádě a postup se opakoval (Tab. 30 a Tab. 31), nežli byl rozdíl nulový, anebo se začal rozdíl opět zvětšovat. Tento příklad vidíme u třetí iterace (viz Tab. 32), kdy se hodnoty rozdílu zvětšily oproti 2. iteraci, a tedy bylo nutné finálně použít jako akustický výkon na části fasády 1. Nový parametr (Tab. 29).

Tab. 30 Druhý výpočet  $L_p=I_m$  od fasády a rozdíl od skutečně naměřené hodnoty

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
2. Iterace [dB]	63,6	58,3	62,3	59,0	59,2	59,2	54,9	51,1	52,9	51,3	51,8	49,3	44,8	40,5	38,5	37,0	34,2	32,2	30,7	28,6	27,2	25,4	22,0	18,2
Rozdíl [dB]	2,5	3,4	1,3	1,8	2,3	5,0	5,3	3,6	3,1	4,6	7,5	6,1	5,4	3,3	2,8	3,2	2,4	2,0	1,8	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1

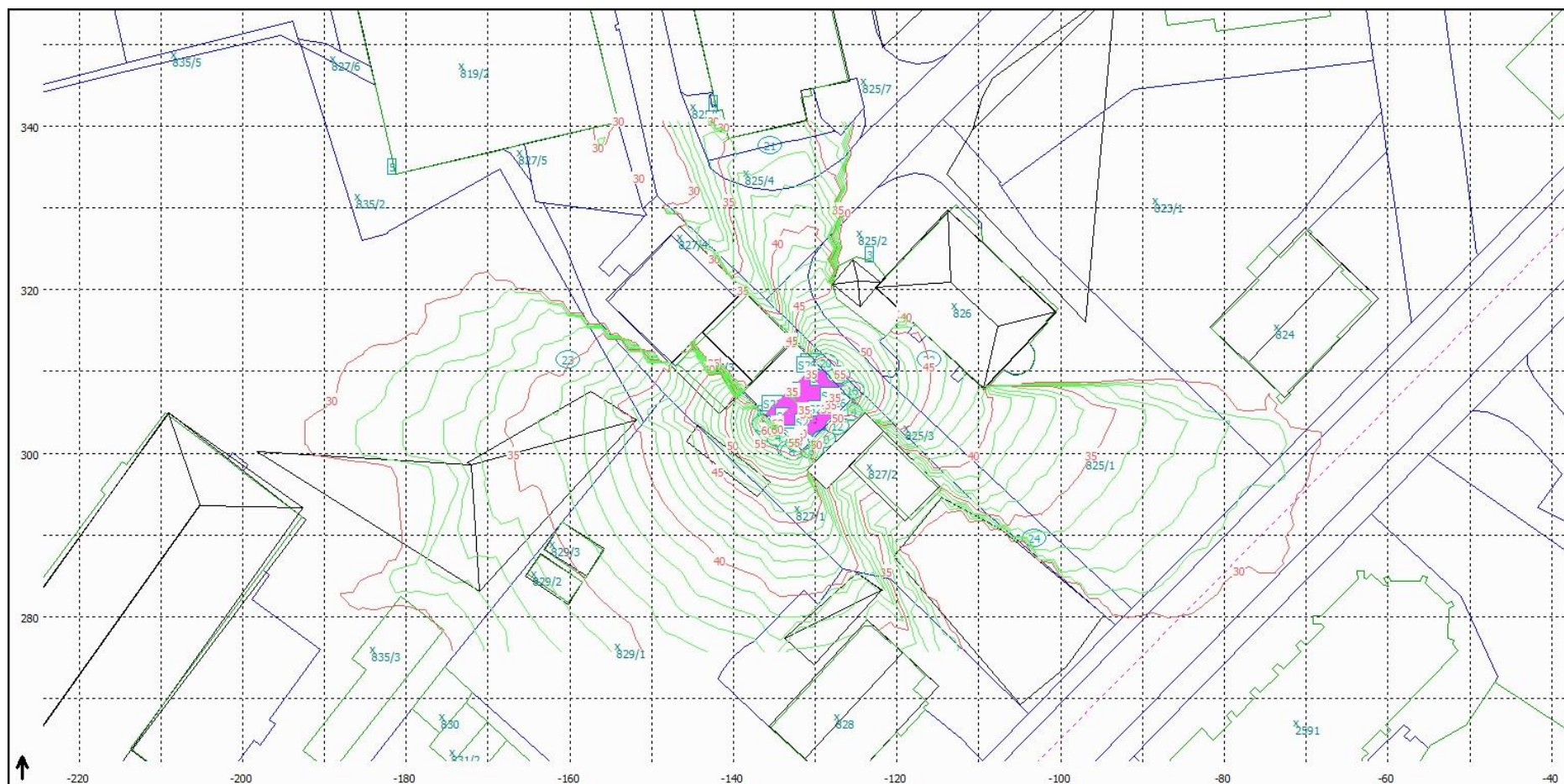
Tab. 31 První parametr a odečtený rozdíl

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
2. Nový parametr [dB]	51,5	43,7	53,7	49,0	47,6	40,0	34,7	35,9	39,2	33,2	25,4	27,0	24,4	26,1	25,6	22,9	22,5	21,6	20,8	20,5	19,5	17,3	14,3	10,5

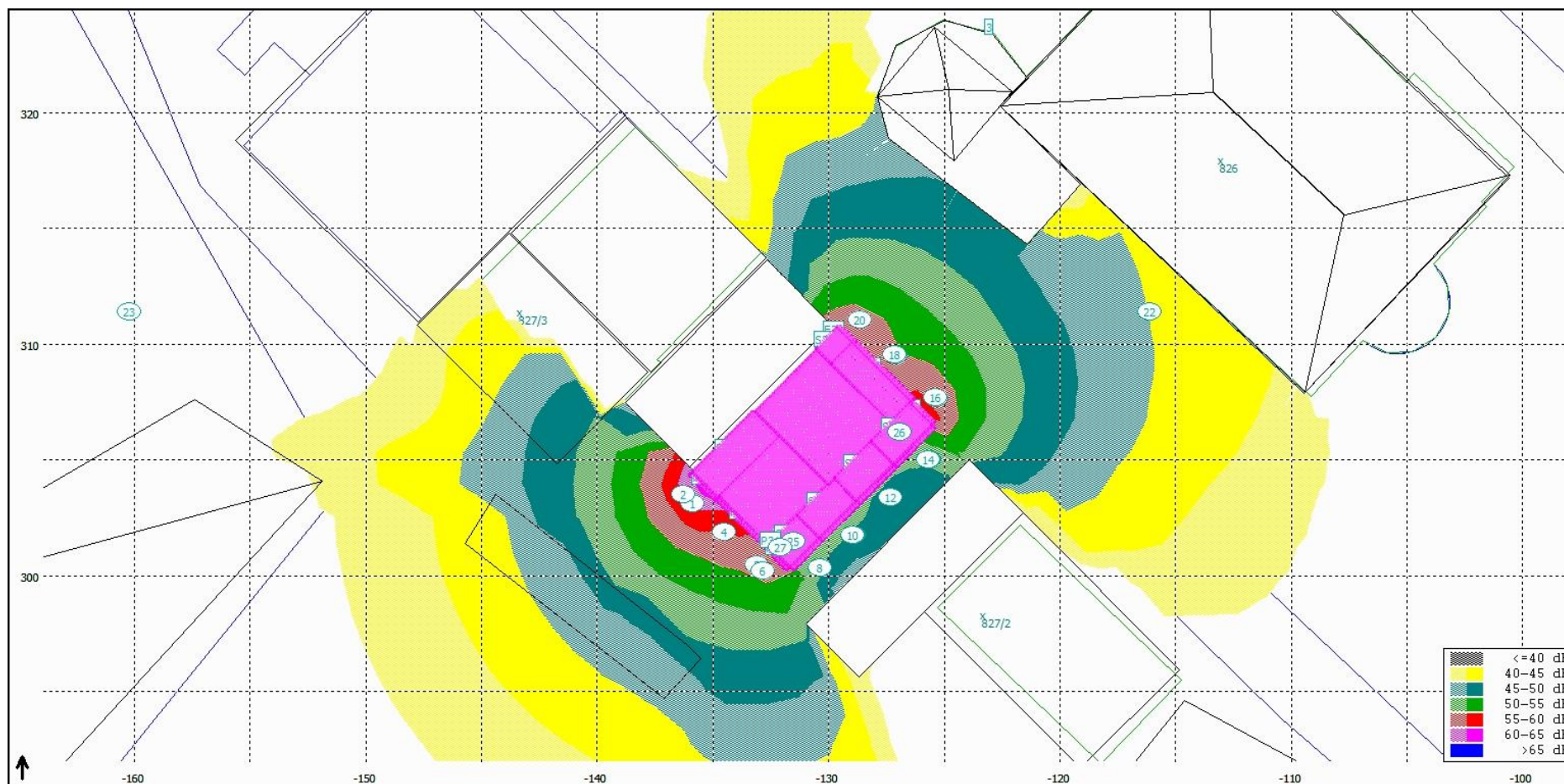
Tab. 32 Třetí výpočet  $L_p=I_m$  od fasády a rozdíl od skutečně naměřené hodnoty

Frekvence [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
3. Iterace [dB]	63,1	57,8	61,8	58,5	58,7	58,9	54,7	50,7	52,4	51,0	51,7	49,1	44,6	40,1	38,0	36,6	33,7	31,7	30,1	28,1	26,7	24,9	21,5	17,8
Rozdíl [dB]	5,4	6,3	4,2	4,6	5,2	8,1	8,4	6,5	5,9	7,6	10,7	9,2	8,5	6,2	5,7	6,1	5,2	4,8	4,5	4,0	3,8	3,9	3,8	3,7

Na následujících obrázcích jsou grafické výsledky výpočtu v simulačním programu. Obr. 22 zobrazuje izolinie pro celkové hladiny akustického tlaku a Obr. 23 zobrazuje pásma celkových hladin akustického tlaku pro simulaci v noci. Z obrázků je patrné, že ve výšce 3 m nad zemí (výška v které probíhaly kontrolní měření v bodech 21 až 24) jsou dominantním zdrojem hluku sací a výdechová komora strojovny DUPS. Bod 21 zobrazující lůžkovou část leží v části nad 35 dB(A). Budova ZZS, což je bod 22 také nesplňuje svůj noční limit.



Obr. 22 Izofony v simulačním programu 3 m nad zemí



Obr. 23 Zobrazení hlukových pásem v simulačním programu 3 m nad zemí

Tab. 33 Srovnání celkových hladin  $L_p$  dle měření a dle výpočtového modelu bez zapnutých liniových zdrojů

Pořadí	Pozice	Výška nad rovinou	$L_p$ [dB]	$L_p$ [dB(A)]	$L_p$ [dB(A)]
			Dle měření		Model
<b>1</b>	<b>Výdech</b>	<b>1,5</b>	<b>79,9</b>	<b>62,8</b>	<b>62,7</b>
<b>2</b>	<b>Výdech</b>	<b>3</b>	<b>78,7</b>	<b>60,1</b>	<b>60,4</b>
3	Zed' J	1,5	76,3	54,6	58,7
4	Zed' J	3	75,2	54,7	57,8
5	Zed' J	1,5	73,0	52,4	58,0
6	Zed' J	3	70,8	52,6	55,9
7	Zed' V	1,5	71,4	46,3	50,0
8	Zed' V	3	68,5	48,0	49,8
9	Zed' V	1,5	70,0	46,7	49,4
10	Zed' V	3	68,9	48,1	49,6
11	Zed' V	1,5	70,1	47,8	49,5
12	Zed' V	3	71,5	47,6	48,8
13	Zed' V	1,5	71,0	47,6	52,3
14	Zed' V	3	69,1	47,8	50,8
15	Sání dole	3	71,3	54,1	57,2
<b>16</b>	<b>Sání dole</b>	<b>1,5</b>	<b>74,7</b>	<b>60,8</b>	<b>60,9</b>
17	zed' sever	1,5	71,1	53,8	56,7
18	zed' sever	3	69,2	51,6	55,2
<b>19</b>	<b>Sání horní</b>	<b>1,5</b>	<b>74,7</b>	<b>60,5</b>	<b>60,6</b>
20	Sání horní	3	68,7	52,4	56,3
25	střecha1	1	65,9	49,4	53,7
26	střecha2	1	67,8	53,6	50,7
27	OS	1	68,2	55,6	48,7

V tabulce jsou vidět celkové hladiny akustického tlaku v exteriéru a v modelu. Body 1 a 2 výrazně ovlivňují body 3 a 4 a tyto body již touto modelovací metodou nelze více přiblížit realitě. To samé lze říci o bodu 16 a 19. Bod 16 ovlivňuje bod 15 a body 17 a 18. Bod 19 ovlivňuje bod 20 a též 17 a 18. Simulační program nabízí možnost pracovat s akustickým výkonem zdroje, ale nenabízí práci se směrovostí zdroje, proto je možné se maximálně dostat na rozdíly, které mezi modelem a realitou jsou.

Tab. 34 Kontrolní body z měření v porovnání s modelem

	$L_p$ [dB(A)] model	$L_p$ [dB(A)] změřeno
21 lůžková část	36,8	42,4
22 dům naproti	45	49,6
23 parkoviště	34,9	45,1
24 branka	33,8	43,5

Ani po výpočtu v modelu by bod 21 (lůžková část) nesplnil hygienické limity. Je to pravděpodobně způsobeno rovinným modelem, ale reálně je lůžková část asi o 2 výškové metry výš, takže by mohlo nastat k odrazu od chodníku a následnému splnění limitů ( $L_{Aeq,T} = 35$  dB (A) v noci), pokud by jediný zdroj byla strojovna. Další příčinou může být právě směrovost, protože není možnost tento model zcela přesně naladit, a tak je možné, že je celkový akustický výkon strojovny v modelu větší, než doopravdy je.

Budova ZZS také dle modelu nesplňuje daný limit  $L_{Aeq,T} = 40$  dB (A) v noci. Důvody jsou zde hlavně v zadání směrovosti jednotlivých prvků modelu, jelikož může strojovna generovat více hluku, než doopravdy vydává.

### 8.3 Výpočtový model - přidání silničních komunikací

Strojovna DUPS se nachází mezi dvěma rušnými komunikacemi. Do programu simulačního programu byly komunikace zadány jako zdroje hluku. Parametry pro software byly zadány z [7] Celostátního sčítání dopravy 2020, což je webová stránka poskytující informace o průměrných intenzitách automobilové dopravy na dálniční a silniční síti ČR právě pro rok 2020.

Hodnoty, které jsou na stránce udávány jsou ročním průměrem denních intenzit dopravy ve vozidlech.

Doprava osobních vozidel se dělí na 3 kategorie:

- OAL – osobní vozidla, jednostopá vozidla a část lehkých nákladních vozidel (užitečná hmotnost 3,5 t /celková hmotnost 7,5 t) bez přívěsů i s přívěsy
- NAL – část lehkých nákladních vozidel (užitečná hmotnost 3,5 t /celková hmotnost 7,5 t) bez přívěsů i s přívěsy, střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10 t /celková hmotnost 7,5 - 20 t) bez přívěsů, těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t /celková hmotnost nad 20 t) bez přívěsů, autobusy, autobusy kloubové, traktory bez přívěsů, traktory s přívěsy
- NS - střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10 t /celková hmotnost 7,5 - 20 t) s přívěsy, těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t /celková hmotnost nad 20 t) s přívěsy, návěsové soupravy nákladních vozidel

Tab. 35 Parametry A z webu ŘSD pro komunikaci v simulačním programu

Silnice II. Třídy A	den	noc	jednotka
OAL	3995	362	Vozidel
NAL	275	25	Vozidel
NS	25	2	Vozidel

Tab. 36 Parametry B z webu ŘSD pro komunikaci v simulačním programu

Silnice II. Třídy B	den	noc	jednotka
OAL	6875	622	Vozidel
NAL	309	29	Vozidel
NS	130	1	Vozidel

Tab. 37 Srovnání celkových hladin  $L_p$  dle měření a dle výpočtového modelu se zapnutými liniovými zdroji

Pořadí	Pozice	Výška nad rovinou	$L_p$ [dB]	$L_p$ [dB(A)]	$L_p$ [dB(A)]
			Dle měření		Model silnice
<b>1</b>	<b>Výdech</b>	<b>1,5</b>	<b>79,9</b>	<b>62,8</b>	<b>62,8</b>
<b>2</b>	<b>Výdech</b>	<b>3</b>	<b>78,7</b>	<b>60,1</b>	<b>60,5</b>
3	Zed' J	1,5	76,3	54,6	58,5
4	Zed' J	3	75,2	54,7	57,6
5	Zed' J	1,5	73,0	52,4	58,1
6	Zed' J	3	70,8	52,6	56
7	Zed' V	1,5	71,4	46,3	53
8	Zed' V	3	68,5	48,0	52,5
9	Zed' V	1,5	70,0	46,7	50,5
10	Zed' V	3	68,9	48,1	50,9
11	Zed' V	1,5	70,1	47,8	49,8
12	Zed' V	3	71,5	47,6	49,8
13	Zed' V	1,5	71,0	47,6	53,2
14	Zed' V	3	69,1	47,8	52
15	Sání dole	3	71,3	54,1	57,2
<b>16</b>	<b>Sání dole</b>	<b>1,5</b>	<b>74,7</b>	<b>60,8</b>	<b>60,9</b>
17	zed' sever	1,5	71,1	53,8	56,7
18	zed' sever	3	69,2	51,6	55,3
<b>19</b>	<b>Sání horní</b>	<b>1,5</b>	<b>74,7</b>	<b>60,5</b>	<b>60,6</b>
20	Sání horní	3	68,7	52,4	56,4
25	střecha1	1	65,9	49,4	54,5
26	střecha2	1	67,8	53,6	51,7
27	OS	1	68,2	55,6	49,8

V bodech okolo strojovny DUPS došlo k nárůstu 1 dB(A) u částí, které nebyly dominantním zdrojem zvuku. Dominantní zdroje zvuku zůstaly na stejných hodnotách.

Vliv dopravy silně ovlivní splnění hlukových limitů pro lůžkovou část i pro dům ZZS. Největší nárůst je viděn u branky hned u silnice. Zde je celkem jednoznačně patrné, že liniové stavby jsou výrazným znečišťovatelem

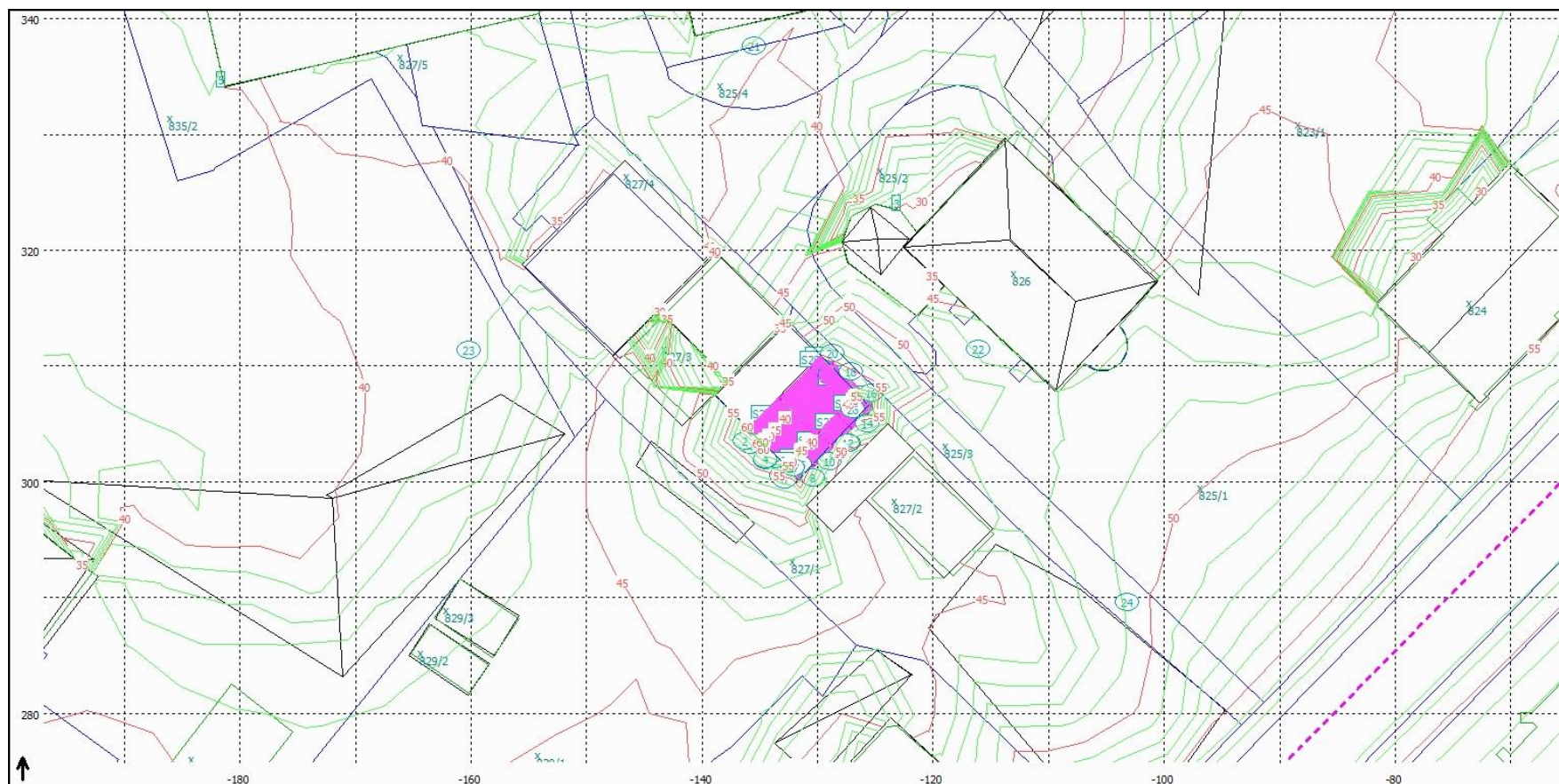


Na následujících obrázcích vidíme značný nárůst imisní hlukové situace v bodech 24 a 22, ale například hluk ze silnice dle modelu prakticky neovlivňuje situaci na lůžkové části nemocnice.

*Tab. 38 Kontrolní body z měření v porovnání s modelem se zapnutými komunikacemi*

	Lp [dB(A)] model	Lp [dB(A)] změřeno
21 lůžková část	39,9	42,4
22 dům ZZS	47,3	49,6
23 parkoviště	40,5	45,1
24 branka	49,4	43,5

Na Obr. 24 opět vidíme izolinie z modelu a Obr. 25 ukazuje pásma akustického tlaku v exteriéru. Obr. 25 prozrazuje, že v případě, kdy do modelování přidáme hluk z přilehlých komunikací, stanou se hlavním zdrojem hluku komunikace, ačkoliv při pohledu na strojovnu DUPS vidíme stále stejné 3 dominantní zdroje hluku, čímž jsou místa pro sání a odvod vzduchu.



Obr. 24 Izofony v simulačním programu 3 m nad zemí s vlivem silnice



Obr. 25 Zobrazení hlukových pásem v simulačním programu 3 m nad zemí s vlivem silnice

## 9 Závěr

Instalace takto hlučných zařízení do samostatných strojoven v exteriéru není ideální variantou. Pokud se plánuje použití záložního zdroje DUPS v blízkosti zástavby, měl by být stroj umístován do nově budovaných staveb (například do sklepení těchto budov), kde si projektant může navrhnout dostatečná hluková opatření, aby provoz stroje nepůsobil negativně na okolí stavby.

Pokud se přejde k instalaci do nevhodného objektu, je zapotřebí provést detailní hlukovou analýzu, aby se předem dalo odhadnout, kde dává smysl investovat do ochranných opatření. Mohlo by se stát, že specialista špatně zadá akustický výkon jednotlivých prvků, dojde k utlumení např. VZT sacích komor, ale útlum stěnou je tak malý, že se stěna stane dominantním zdrojem hluku, což se za provozu špatně napravuje. Pokud je znám potřebný útlum stěnou a útlum VZT tlumiči předem, lze problém řešit elegantněji.

Referenční strojovna byla postavená z keramických tvárnic, které by ale naprosto nedostačovaly z hlediska útlumu, proto byl ještě vnitřní prostor dozděn akustickými cihlami, kdy celkový útlum stěnou (východní) vychází na  $R=55$  dB. Strop strojovny nebyl nijak akusticky řešen, proto pro lepší výsledky by bylo potřebné ještě vyřešit útlum stropem. Dále bych pro příště navrhl menší průměr odvodu spalin (DN450 je instalován), jelikož u DUPS je stroj v provozu po celý rok a takto velká trubka působí do exteriéru jako větší zdroj hluku. Referenční strojovna je ale vzhledem k instalovanému akustickému zdroji řešena velmi kvalitně.

Šíření zvuku v exteriéru bylo provedeno v simulačním programu. Stroj byl detailně změřen v exteriéru a povedlo se zadat parametry do programu. Následně se přišlo ke kalibraci, kde byla snaha dostat se co nejlíže k reálným podmínkám. Jak tato práce ukázala, ani snahou o detailní kalibraci modelu nebylo plně dosaženo stejných parametrů modelu jako v realitě. Nelze tedy jen uvažovat s akustickým výkonem například fasády a prostoru pro sání vzduchu, ale je také potřeba uvažovat směrovost zdroje. Dále je potřebné mít kvalitní mapové podklady, protože kopcovitý terén bude mít na výpočet v kontrolních bodech podstatný vliv.

Při ověřování akustických parametrů stroje došlo k překvapivému zjištění, že i měření ve vysoce odrazivém a málo pohltivém prostředí lze ověřit akustické parametry stroje. Výrobce udává  $L_{p=1m}=103$  dB(A) a měření se potvrdila hodnota  $L_{p=1m}=103,2$  dB(A). Došlo k tomu pravděpodobně tím, že výrobce měří svá zařízení na podobných instalacích za

reálných provozních podmínek. Nevýhodou podkladů od výrobce je zadávání parametrů v oktávovém kmitočtovém pásmu. Na celkovou hladinu hluku takto zadané parametry nemají vliv, ale problém pro projektanta je, že si nemůže ověřit, zda zdroj nemá tónovou složku, čímž by se předem při navrhování strojovny mohl připravit na přísnější hygienické limity. Naštěstí referenční stroj v kondičním režimu tónovou složku neobsahoval.

## 10 Použitá literatura

- [1] Hluk elektrických strojů točivých. *Http://www.hlukovekryty.cz* [online]. Brno: Výzkumný ústav elektrických strojů, [cca 1990] [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <http://www.hlukovekryty.cz/documents/hluk-elektrickych-stroju-tocivych.pdf>
- [2] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 4. přepracované vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2019. ISBN 9788001065549.
- [3] NORTON, M.P. a D.G. KARZUB. *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*. Second edition. Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2003. ISBN 978-0-521-49561-6.
- [4] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění novely č. 217/2016 Sb.
- [5] 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
- [6] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. Vyd. 2., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 8021430605.
- [7] Celostátní sčítání dopravy 2020. Ředitelství silnic a dálnic [online]. 2021 [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: [https://scitani.rsd.cz/CSD\\_2020/pages/informations/default.aspx](https://scitani.rsd.cz/CSD_2020/pages/informations/default.aspx)
- [8] Blackout. *Krizport* [online]. Brno, 2016 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.krizport.cz/rady/chytre-blondynky-radi/blackout>
- [9] *Technical Data Sheet TDS 2615: mtu Kinetic PowerPack Single, data sheet pro referenční zařízení*. Belgie, 2021.
- [10] *Protokol o zkoušce č. F/037/11: měření hluku v mimopracovním prostředí*. Liberec, 2012.
- [11] Efektivní volba záložního systému napájení DC. *Lepsi-reseni.cz* [online]. Praha: PRONIX, 2013, 10.4.2013 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://lepsi-reseni.cz/images/docs4/10042014-4-Efektivni-volba-systemu-zalozniho-napajeni-DC.pdf>
- [12] *Mtu Kinetic PowerPack* [online]. Belgie: Rolls-Royce, 2023 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.mtu-solutions.com/cn/en/applications/power-generation/power-generation-products/mtu-kinetic-powerpack.html>
- [13] Technický katalog DW-KL: Třívrstvý tlakotěsný systémový spalínovod z nerezové oceli s kónicky utěsněným připojením. *Jeremias.cz* [online]. Praha: Jeremias, 2022 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: [https://jeremias.cz/index.php?eID=tx\\_nawsecured1&u=38805&g=1&t=1673330119&hash](https://jeremias.cz/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=38805&g=1&t=1673330119&hash)

=ae66923387d814a0f070efe56f6a2fb143525ded&file=fileadmin/user\_upload/cz\_data/soubory/service-kontakt/downloads/secure-downloads/Technicky\_katalog/DW-KL.pdf

[14] HCBT/4-710 H Ex axiální nevybušný ventilátor. *Www.elektrodesign.cz* [online].

Praha: Elektrodesign, 2023 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z:

<https://www.elektrodesign.cz/eshop/hcbt-4-710-h-ex-nevybusny-ventilator/>

[15] HCBT/4-800 H-X Ex axiální nevybušný ventilátor. *Www.elektrodesign.cz* [online].

Praha: Elektrodesign, 2023 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z:

<https://www.elektrodesign.cz/eshop/hcbt-4-800-h-x-ex-nevybusny-ventilator/>

[16] Nejistoty výpočtu hluku. *Hlukplus.cz* [online]. Praha: Hluk+, 2022 [cit. 2023-01-09].

Dostupné z: [https://www.hlukplus.cz/index.php?p=h\\_nejistoty](https://www.hlukplus.cz/index.php?p=h_nejistoty)

[17] *Rolls Royce mtu Product brochure: Kinetic-PowerPack*. Belgie: Rolls Royce, 2021.

[18] JANSEN, Yves. How the mtu Kinetic Powerpack can protect sensitive processes & equipment. Belgie: Rolls Royce, 2021.

[19] AULEHLA, Ing. Jiří a Bc. Michael SOUKUP. D.1.4.4.001 – TECHNOLOGIE ZÁLOŽNÍHO ZDROJE: Technická zpráva k referenčnímu zařízení. Praha: PRONIX, 2022.

## 11 Seznam tabulek

Tab. 1 Složení střešní konstrukce .....	- 21 -
Tab. 2 Složení podlahy .....	- 21 -
Tab. 3 Technické parametry ventilátoru na přívodu vzduchu [14].....	- 23 -
Tab. 4 Akustické parametry ventilátoru na přívodu vzduchu [14] .....	- 24 -
Tab. 5 Technické parametry ventilátoru na odvodu vzduchu [15] .....	- 24 -
Tab. 6 Akustické parametry ventilátoru na odvodu vzduchu [15] .....	- 25 -
Tab. 7 Parametry dieselového motoru [9] .....	- 26 -
Tab. 8 Parametry stato-alternátoru [9] .....	- 27 -
Tab. 9 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – conditioning mode .	- 27 -
Tab. 10 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – měřeno s běžícím dieselovým motorem.....	- 27 -
Tab. 11 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – na výstupu z odvodu spalin stroje.....	- 28 -
Tab. 12 Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje – emergency mode ..	- 28 -

Tab. 13 Rozměry stroje, charakteristické rozměry a plošný obsah měřicí plochy .....	- 32 -
Tab. 14 Výsledky měření $L_p$ ve strojovně.....	- 34 -
Tab. 15- Akustický tlak $L_p$ v 0,5 m.....	- 34 -
Tab. 16 Akustický výkon $L_w$ DUPS .....	- 35 -
Tab. 17 Akustický tlak $L_p$ v 1m .....	- 36 -
Tab. 18 Srovnání vypočtených hodnot z naměřených dat a parametrů výrobce .....	- 36 -
Tab. 19 Výsledky měření $L_p$ v exteriéru .....	- 41 -
Tab. 20 Kontrolní body pro kalibraci výpočtu, umístění bodů viz Obr. 5, měřeno ve výšce 3 m .....	- 42 -
Tab. 21 Měření hlukového pozadí dle protokolu č. F/0,37/11 .....	- 43 -
Tab. 22 Ověření měření hlukového pozadí.....	- 43 -
Tab. 23 Výsledek měření pro měřicí bod č. 18.....	- 47 -
Tab. 24 Výsledek 1. iterace a rozdíl oproti výsledku měření .....	- 47 -
Tab. 25 Nový parametr pro simulační program.....	- 47 -
Tab. 26 Výsledek 2. iterace a rozdíl oproti výsledkům měření v bodě č. 18.....	- 47 -
Tab. 27 Výsledek měření v exteriéru a parametr, tedy $L_w$ na fasádě.....	- 49 -
Tab. 28 $L_p=1m$ od fasády a rozdíl od skutečně naměřené hodnoty .....	- 49 -
Tab. 29 Vstupní parametr a odečtený rozdíl.....	- 49 -
Tab. 30 Druhý výpočet $L_p=1m$ od fasády a rozdíl od skutečně naměřené hodnoty .....	- 50 -
Tab. 31 První parametr a odečtený rozdíl.....	- 50 -
Tab. 32 Třetí výpočet $L_p=1m$ od fasády a rozdíl od skutečně naměřené hodnot.....	- 50 -
Tab. 33 Srovnání celkových hladin $L_p$ dle měření a dle výpočtového modelu bez zapnutých liniových zdrojů .....	- 53 -
Tab. 34 Kontrolní body z měření v porovnání s modelem .....	- 53 -
Tab. 35 Parametry A z webu ŘSD pro komunikaci v simulačním programu .....	- 55 -
Tab. 36 Parametry B z webu ŘSD pro komunikaci v simulačním programu .....	- 55 -
Tab. 37 Srovnání celkových hladin $L_p$ dle měření a dle výpočtového modelu se zapnutými liniovými zdroji.....	- 56 -
Tab. 38 Kontrolní body z měření v porovnání s modelem se zapnutými komunikacemi-	57
-	-

## 12 Seznam obrázků

Obr. 1 Popis jednotlivých částí DUPS [18] .....	- 14 -
---	--------



Obr. 2 Vnitřní a vnější rotor [17] .....	- 14 -
Obr. 3 Schéma kondičního režimu DUPS [18].....	- 15 -
Obr. 4 Schéma záložního módu DUPS [18] .....	- 15 -
Obr. 5 Katastrální mapa s vyznačením kontrolních měřicích bodů v exteriéru .....	- 20 -
Obr. 6 Půdorysné zobrazení VZT nasávacích kanálů.....	- 22 -
Obr. 7 Řez nasávacím kanálem a kanálem pro odvod vzduchu .....	- 23 -
Obr. 8 Přívod vzduchu u stropu strojovny .....	- 24 -
Obr. 9 Odvod vzduchu.....	- 24 -
Obr. 10 Bod číslo 33, měření u aku-rotoru .....	- 29 -
Obr. 11 Bod číslo 38, měření u motoru stroje, za mikrofonem je vidět nádrž s PHM ...	- 29 -
Obr. 12 Dispoziční výkres měřicích bodů ve strojovně.....	- 30 -
Obr. 13 Stanovení obalové plochy kolem zdroje hluku [5].....	- 31 -
Obr. 14 Akustický výkon $L_w$ , graf. vyjádření Tab. 16.....	- 35 -
Obr. 15 Akustický tlak $L_p$ v 1 m od stroje, graf. vyjádření tabulky 17 .....	- 35 -
Obr. 16 Grafické srovnání vypočtených hodnot z naměřených dat a parametrů výrobce DUPS .....	- 37 -
Obr. 17 Dispoziční výkres měřicích bodů vně strojovny .....	- 39 -
Obr. 18 Měřicí bod 1, cílem bylo určit hluk generovaný PDŽ na odvodu vzduchu ze strojovny .....	- 40 -
Obr. 19 Měřicí bod 7, cílem bylo změřit útlum fasádou.....	- 40 -
Obr. 20 3D zobrazení ze simulačního programu, zapnutý zdroj č. 18 .....	- 45 -
Obr. 21 3D zobrazení ze simulačního programu - zapnuté všechny zdroje .....	- 48 -
Obr. 22 Izofony v simulačním programu 3 m nad zemí .....	- 51 -
Obr. 23 Zobrazení hlukových pásem v simulačním programu 3 m nad zemí .....	- 52 -
Obr. 24 Izofony v simulačním programu 3 m nad zemí s vlivem silnice.....	- 58 -
Obr. 25 Zobrazení hlukových pásem v simulačním programu 3 m nad zemí s vlivem silnice .....	- 59 -