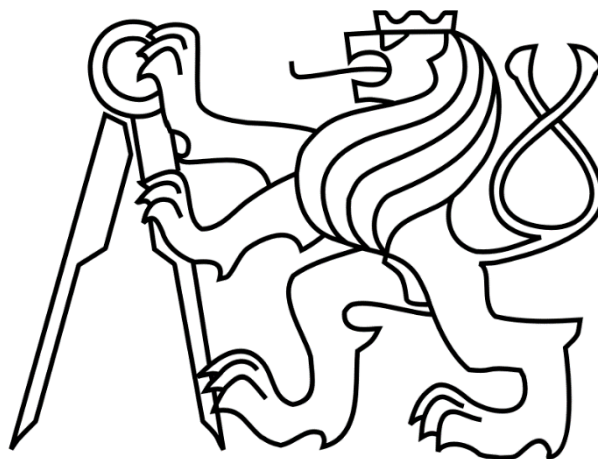


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy dle  
ČSN ISO 230-5



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rubeš** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **483938**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy dle ČSN ISO 230-5**

Název bakalářské práce anglicky:

**Determination of emission sound pressure levels at the place of operation according to ČSN ISO 230-5**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Hluk je nežádoucím projevem práce obráběcího stroje. Hygienické limity hluku jsou uvedeny v platných zákonech a normách. Hlukovou expozicí obsluhy je nutno správně měřit dle platných předpisů. Cílem práce je určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy MCU 700 VT-5X RAPID dle CSN ISO 230-5. Osnova práce: Osvojení si základních akustických měření, která lze provádět na obráběcích strojích. Studie normy CSN ISO 230-5 a Nařízení č. 272/2011 Sb. Seznámení se s integrujícím hlukoměrem B&K. Provedení měření na pracovišti MCU 700VT-5X RAPID. Rozsah grafické části: 0 stran. Rozsah textové části: 40-60 stran.

Seznam doporučené literatury:

[1] ČSN ISO 230-5. Zkušební předpisy pro obráběcí stroje: Část 5: Určení emise hluku. Praha: ÚNMZ, 2001.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Miroslav Janota, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **30.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

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

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v přiloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 30.5.2021

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Miroslavovi Janotovi Ph.D. za odborné rady a připomínky při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu v průběhu celého studia a v neposlední řadě bych chtěl také poděkovat svým přátelům, zejména svému spolubydlícímu, za psychickou podporu.

# Anotace

<i>Autor:</i>	Jakub Rubeš
<i>Název BP:</i>	<b>Určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy dle ČSN ISO 230-5</b>
<i>Rozsah práce:</i>	53 stran
<i>Akad. rok vyhotovení:</i>	2021
<i>Škola:</i>	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
<i>Ústav:</i>	Ústav výrobních strojů a zařízení
<i>Vedoucí BP:</i>	Ing. Miroslav Janota, Ph.D.
<i>Konzultant:</i>	-
<i>Zadavatel tématu:</i>	ČVUT FS, Ú12135
<i>Využití:</i>	Získání základních hodnot hladiny emisního akustického tlaku v místě obsluhy
<i>Klíčová slova:</i>	stanoviště obsluhy, hladina emisního akustického tlaku, integrující zvukoměr, obráběcí stroj
<i>Anotace:</i>	Tato práce se zabývá stanovením hladin emisního akustického tlaku podle stanovené normy ČSN ISO 230-5. V teoretické části jsou popsány základní akustické pojmy, měřicí zařízení a měřené veličiny. Dále je pak popsán návrh měření, včetně teoretických výpočtů. Praktická část popisuje realizované měření, zpracování naměřených hodnot a vyhodnocení výsledků.

# Annotation

<i>Author:</i>	Jakub Rubeš
<i>Title of bachelor's thesis:</i>	<b>Determination of emission sound pressure levels at the place of operation according to ČSN ISO 230-5</b>
<i>Extent:</i>	53 pages
<i>Academic year:</i>	2021
<i>University:</i>	CTU in Prague, Faculty of Mechanical engineering
<i>Department:</i>	12135 Department of Production Machines and Equipment
<i>Supervisor:</i>	Ing. Miroslav Janota, Ph.D.
<i>Consultant:</i>	-
<i>Submitter of the theme:</i>	CTU FME, D12135
<i>Application:</i>	Obtaining fundamental data of emission sound pressure levels at the place of operation
<i>Key words:</i>	place of operation, emission sound pressure level, integrating sound level meter, machine tool
<i>Annotation:</i>	This work deals with the estimation of emission sound pressure levels according to ČSN ISO 230-5. Theoretical part describes basic acoustic terms, measuring device and measured quantities. Then the suggestion of measurement is introduced, including theoretical calculations. Practical part represents realized measurement, processing the data and evaluation of results.

# Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	11
1. Úvod .....	14
2. Literární rešerše .....	15
2.1 Rešerše norem.....	15
2.2 Rešerše zvukoměrů .....	16
3. Základní pojmy.....	17
3.1 Zvuk .....	17
3.2 Hluk.....	17
3.2.1 Zdroje hluku.....	17
3.2.2 Expozice hluku.....	18
3.2.3 Prevence proti hluku.....	18
3.3 Místo obsluhy .....	18
3.4 Obsluha.....	18
3.5 Pracovní perioda .....	18
3.6 Pracovní cyklus .....	19
3.7 Časový interval měření.....	19
3.8 Časový průběh .....	19
3.9 Měřicí zařízení .....	19
3.9.1 Mikrofon.....	19
3.9.2 Zvukoměr.....	19
3.9.3 Kalibrace zvukoměrů .....	20
4. Základní veličiny .....	21
4.1 Hladina akustického tlaku .....	21
4.2 Časově průměrovaná hladina akustického tlaku.....	21
4.3 Váhové filtry .....	21
4.4 Korekce.....	22



4.4.1	Korekce na hluk pozadí $K_1$ .....	22
4.4.2	Korekce na vliv prostředí místa $K_3$ .....	22
5.	Návrh měření emisního akustického tlaku .....	23
5.1	Podmínky stroje při zkoušce .....	23
5.2	Polohy mikrofonu .....	23
5.2.1	Poloha (polohy) mikrofonu pro sedící obsluhu .....	23
5.2.2	Poloha (polohy) mikrofonu pro obsluhu stojící na stálém místě .....	24
5.2.3	Poloha (polohy) mikrofonu pro obsluhu pohybující se po stanovené určité dráze .....	24
5.2.4	Polohy mikrofonu pro místa, kde se mohou vyskytovat pracovníci a pro bezobslužné stroje .....	25
5.3	Měřené veličiny .....	25
5.3.1	Hladina emisního akustického tlaku .....	25
5.4	Korekce na vliv prostředí místa .....	26
5.4.1	Přibližná metoda pro určení $A$ .....	26
5.4.2	Dozvuková metoda pro určení $A$ .....	27
5.5	Rozšířená nejistota $U$ .....	28
5.5.1	Směrodatná odchylka $\sigma_{omc}$ .....	28
5.5.2	Směrodatná odchylka reprodukovatelnosti $\sigma_{RO}$ .....	29
5.5.3	Celková směrodatná odchylka $\sigma_{tot}$ .....	32
5.5.4	Rozšířená nejistota měření $U$ .....	32
6.	Vlastní měření .....	33
6.1	Zkušební místnost .....	33
6.2	Zkoušený stroj .....	34
6.2.1	Umístění stroje ve zkušební místnosti .....	35
6.3	Měřicí zařízení .....	36
6.3.1	Kalibrace měřícího zařízení .....	37
6.4	Umístění zvukoměru do požadované polohy .....	38
6.5	Příprava zkoušeného stroje .....	40
6.6	Měření požadovaných veličin .....	41

7.	Zpracování dat .....	43
7.1	Ekvivalentní plocha pohlcování $A$ .....	43
7.2	Korekce $K_{3A}$ .....	43
7.3	Hladina emisního akustického tlaku $L_{pA}$ .....	44
7.4	Nejistota měření $U$ .....	45
8.	Závěr .....	49
9.	Seznamy .....	50
9.1	Seznam použitých zdrojů.....	50
9.2	Seznam použitého softwaru.....	51
9.3	Seznam obrázků .....	51
9.4	Seznam tabulek .....	52
9.5	Seznam příloh .....	52
9.5.1	Textové přílohy.....	52
9.5.2	Elektronické přílohy .....	53

## Přehled použitých zkratek a symbolů

$\Delta L_A$	[dB]	Rozdíl mezi změřenou hladinou akustického tlaku, váženou funkcí A, při chodu zkoušeného stroje, $L'_{pA}$ a hladinou akustického tlaku, váženou funkcí A, $L''_{pA}$
$a$	[m]	Vzdálenost mezi stanoveným místem a nejbližším hlavním zdrojem zvuku zkoušeného stroje
$A$	[m <sup>2</sup> ]	Ekvivalentní plocha pohlcování v místnosti na frekvenci 1 kHz
$a$	[m]	Délka zkušební místnosti
$b$	[m]	Šířka zkušební místnosti
$c$	[m]	Výška zkušební místnosti
$c_{(B)}$	[-]	Činitel citlivosti způsobený nejistotou korekce na hluk pozadí
$c_{env}$	[-]	Činitel citlivosti související s nejistotou způsobenou vlivem prostředí
$c_i$	[-]	Činitel citlivosti
$c_{L'_p}$	[-]	Činitel citlivosti spojený s nejistotou $L'_p$
$c_{pos}$	[-]	Činitel citlivosti související s volbou měřicího místa
$c_{slm}$	[-]	Nejistota související se zvukoměrem
$i$	[-]	Celkový počet časových intervalů jednotlivých měření
$k$	[-]	Činitel rozšíření
$K_1$	[dB]	Korekce na hluk pozadí
$K_2$	[dB]	Korekce na vliv prostředí
$K_3$	[dB]	Korekce na vliv prostředí místa
$K_{3A}$	[dB]	Korekce na vliv prostředí místa vážená funkcí A
$L_p$	[dB]	Hladina akustického tlaku

$L'_p$	[dB]	Naměřená (nekorigovaná) hladina akustického tlaku
$\overline{L'_p}$	[dB]	Střední hladina akustického tlaku spočítaná pro N opakování
$L_{p(B)}$	[dB]	Naměřená hladina akustického tlaku hluku pozadí
$L_{pA}$	[dB]	Hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí A
$L'_{pA}$	[dB]	Hladina akustického tlaku vážená funkcí A při chodu zkoušeného stroje
$\overline{L'_{pA}}$	[dB]	Střední hladina akustického tlaku vážená funkcí A při chodu zkoušeného stroje
$L''_{pA}$	[dB]	Hladina akustického tlaku pozadí vážená funkcí A
$\overline{L''_{pA}}$	[dB]	Střední hladiny akustického tlaku pozadí vážená funkcí A
$L_{pA,T(i)}$	[dB]	Hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí A v průběhu časového intervalu $T_i$
$L_{pC,peak}$	[dB]	Špičková hladina akustického tlaku vážená funkcí C
$\overline{L_{pC,peak}}$	[dB]	Střední hodnota špičkové hladiny akustického tlaku vážené funkcí C
$L_{peqT}$	[dB]	Časově průměrovaná hladina akustického tlaku
$p$	[Pa]	Akustický tlak
$p_0$	[Pa]	Referenční hodnota akustického tlaku
$S_v$	[m <sup>2</sup> ]	Celková plocha ohraničující povrch zkoušené místnosti (stěny, strop a podlaha)
$T$	[s]	Časový interval měření
$T$	[s]	Celkový časový interval měření
$T$	[s]	Doba dozvuku zkušební místnosti
$T_{20}$	[s]	Doba dozvuku zkušební místnosti při teplotě 20 °C
$T_i$	[s]	Časové intervaly jednotlivých měření
$U$	[dB]	Rozšířená nejistota měření
$u_{(B)}$	[dB]	Nejistota určení korekce na hluk pozadí

$u_{env}$	[dB]	Nejistota způsobená vlivem prostředí
$u_i$	[dB]	Standardní nejistota
$u_{L'_p}$	[dB]	Nejistota spojená s hladinou akustického tlaku naměřenou v místě obsluhy
$u_{pos}$	[dB]	Nejistota způsobená volbou měřicího místa
$u_{slm}$	[dB]	Nejistota měřicího zařízení
$V$	[m <sup>3</sup> ]	Objem zkušební místnosti
$\alpha$	[-]	Střední činitel zvukové pohltivosti
$\delta_{(B)}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující nejistotu korekce na hluk pozadí
$\delta_{env}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující nejistotu způsobenou lokálním prostředím
$\delta_{met}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující nejistotu určení meteorologických podmínek
$\delta_{mount}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující proměnnost montážních podmínek zkoušeného stroje
$\delta_{oc}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující odchylku provozních podmínek zkoušeného zdroje od jmenovitých podmínek
$\delta_{pos}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující nejistotu způsobenou volbou měřicího místa
$\delta_{slm}$	[-]	Vstupní veličina zahrnující nejistotu způsobenou měřicími přístroji
$\sigma_{omc}$	[dB]	Směrodatná odchylka
$\sigma_{R0}$	[dB]	Směrodatná odchylka reprodukovatelnosti
$\sigma_{tot}$	[dB]	Celková směrodatná odchylka

# 1. Úvod

Hluk působí negativně na psychickou i fyzickou stránku člověka, proto se při konstrukci a instalaci obráběcích strojů musí dbát i na tento aspekt. Nejen z tohoto důvodu jsou vyvíjeny nové progresivnější stroje, které se snaží potlačit množství produkovaného hluku.

Stroje v pracovním prostředí podléhají normám, které mimo jiné vymezují přípustnou velikost hladiny emisního akustického tlaku či způsob měření samotného hluku, přičemž zastřešujícími normami pro obráběcí stroje jsou normy ČSN ISO 230.

Tato bakalářská práce se zabývá určením emisního akustického tlaku. Vychází z normy ČSN ISO 230-5, Zkušební předpisy pro obráběcí stroje – Část 5: Určení emise hluku. Po legislativní stránce tato norma deklaruje a ověřuje hodnoty emise hluku. Pomocí této normy je možné:

- a) určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy, což představuje zátěž, které je obsluha vystavena;
- b) určení hladin akustického výkonu vyzařovaného obráběcím stroje, které jsou měřeny na určené měřicí ploše. Akustický výkon vyjadřuje hodnotu hluku zdroje, jehož následkem je akustický tlak. [4]

Cílem této práce je určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy obráběcího stroje, a to podle výše zmíněné normy ČSN ISO 230-5.

## 2. Literární rešerše

### 2.1 Rešerše norem

Vzhledem k povaze celé bakalářské práce, která je založena na práci s normami, je schopnost jejich pochopení zcela zásadní pro její úspěšné zvládnutí. Normy se pravidelně odkazují na normy jiné, které mají buď doplňující nebo rozšiřující funkci.

Základním prvkem této práce bylo pečlivé nastudování normy ČSN ISO 230-5, podle které se měření provádělo. Jsou zde popsány základní akustické veličiny, přístrojové vybavení a postupy měření pro deklarování a ověření hodnot emise hluku či určení hladin akustického tlaku nebo výkonu.

Normou ČSN ISO 230-5, sloužící k zjištění údajů o emisi hluku obráběcích strojů, je popsáno kompletně pouze určení výsledků s třídou přesnosti 3 (provozní metoda). Pro získání výsledků s třídou přesnosti 2 (technická metoda) musí být použity také jiné normy. Mezi normy popisující různé třídy přesnosti patří:

- ČSN EN ISO 11201: Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech v přibližně volném poli nad odrazivou rovinou se zanedbatelnými korekcemi na prostředí;
- ČSN EN ISO 11202: Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přibližných korekcí na prostředí;
- ČSN EN ISO 11203: Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech z hladin akustického výkonu;
- ČSN EN ISO 11204: Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přesných korekcí na prostředí.

Tyto normy se od sebe liší přesností určování korekcí na prostředí. Výsledkům třídě přesnosti 2 odpovídá z výše vypsanych pouze norma ČSN EN ISO 11204. Pro metody určení hladin emisního akustického tlaku popsané v této práci je dostačující třída přesnosti 3. Z toho důvodu byla vybrána norma ČSN EN ISO 11202, pomocí které bylo postupováno při výpočtu nejistot měření.

Jako alternativní normy pro určení hladin emisního akustického tlaku by vedle norem, na které se odkazuje ČSN ISO 230-5, bylo možné použít normy:

- VDI 3742 Blatt 2: Characteristic noise emission values of technical sound sources; cutting machine tools; milling machines;
- JIS Z 8733:2000 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane.

Norma ČSN ISO 230-5 nepopisuje limity pro dovolenou expozici hluku, a proto je potřeba řídit se Nařízením vlády č. 272/2011 Sb. Nařízením vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Nařízení stanovuje například povolenou denní časovou expozici hluku na pracovišti vzhledem k povaze vykonávané práce či vymezuje způsoby měření a hodnocení hluku. Přípustný expoziční limit ustáleného a proměnného hluku pro obsluhu obráběcího stroje je 85 dB v rámci 8h pracovní doby. [6]

## 2.2 Rešerše zvukoměrů

Dle ČSN ISO 230-5 musí přístrojové vybavení, včetně mikrofónů a kabelů, přednostně vyhovovat požadavkům na přístroj typu 1, specifikovaným v IEC 60651, nebo v případě integrujících-průměrujících zvukoměrů požadavkům na přístroj typu 1, specifikovaným v IEC 60804. Není-li to možné, lze použít přístroje typu 2, což vede k výsledkům zkoušky třídě přesnosti 3 (provozní metoda). V tabulce 1 jsou vypsány některé integrující zvukoměry, včetně jejich základních vlastností. [4]

Tabulka 1 - Vybrané integrující zvukoměry a jejich základní vlastnosti [10], [11], [15], [16], [17]

	Brüel & Kjær type 2239A	Brüel & Kjær type 2250	Extech SDL600	Testo 816-1	Voltcraft SL-200
Typ přístroje	1	1	2	2	2
Frekvenční rozsah	8 Hz – 16 kHz	8 Hz – 16 kHz	31,5 Hz – 8 kHz	20 Hz – 8 kHz	31,5 Hz – 8 kHz
Paměť	40 měření	SD card / USB	20000 měření	31000 měření	pouze max. hodnoty
Rozsah měření	30 – 140 dB	21,4 – 140,8 dB	30 – 130 dB	30 – 130 dB	30 – 130 dB
Doba odezvy	1 s / 0,125 s / 0,035 s	1 s / 0,125 s / 0,035 s	1 s / 0,125 s	1 s / 0,125 s	1 s / 0,125 s



## 3. Základní pojmy

V této části se objasní několik základních pojmů, které s prací souvisí. Alespoň jejich základní pochopení usnadní čtenáři v porozumění textu.

### 3.1 Zvuk

Z fyzikálního hlediska se jedná o mechanické vlnění pružného prostředí v kmitočtovém rozsahu lidského sluchu od 20 Hz do 20 kHz. Akustické kmitání s kmitočtem menším jak 20 Hz se označuje jako infrazvuk a naproti tomu kmitání s kmitočtem nad 20 kHz jako ultrazvuk. [1]

Zvuk se může šířit v plynech, kapalinách či pevných látkách. Vlnění se dělí dle kmitání částic prostředím na podélné a příčné. Směr kmitu u podélného vlnění je určen směrem šíření vlnění a toto vlnění může nastat pouze v plynech a kapalinách. V pevných látkách se jedná o vlnění příčné, kdy je směr kmitu kolmý na vlnění. [2]

### 3.2 Hluk

Hlukem se dá označit jakýkoliv škodlivý, rušivý nebo pro člověka nepříjemný zvuk, který může mít za následek poškození zdraví. Ochrana před nepříznivým působením hluku a vibrací je upravena zákonem a zákoníkem práce. Hygienické limity hluku jsou v České republice dány nařízením vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. [3]

#### 3.2.1 Zdroje hluku

Zdrojem hluku může být předmět nebo zařízení, ve kterém se tvoří akustická energie, která se pak přenáší od zdroje do okolního prostředí. Příkladem mohou být strojní zařízení, stroje či dopravní prostředky. Je důležité rozlišovat hluk daný provozem pohonné jednotky, který bývá deklarován na štítku zařízení na základě výsledků typové zkoušky, a hluk z vlastní technologie pracovní činnosti vyplývající z interakce nástroje a materiálu. [3]

Při posuzování hluku na pracovišti se rozlišuje na:

- měření hluku na pracovním místě;
  - Pracovník setrvává převážně na jednom místě a zbylá expozice je nepodstatná.

- měření hluku v pracovním prostoru;
  - V pracovním prostoru je vícero zdrojů hluku a pracovník mění své pracovní místo.
- měření hlukové zátěže jednotlivce.
  - Hluk se na jednotlivých místech výrazně liší a pracovník mění své pracovní místo.

Výsledky všech měření musí být získány za stanovených podmínek. [3]

### 3.2.2 Expozice hluku

Povolená expozice ustáleného a proměnného hluku dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. je při zátěži 85 dB 8 hodin. Toto platí v případě práce bez nároků na soustředění. V případě práce náročné na pozornost a soustředění, či tvůrčí činnosti je tento limit stanoven na hodnotu 50 dB v časovém období 8 hodin. [6]

### 3.2.3 Prevence proti hluku

- Pořízení strojního zařízení s nižší deklarovanou hodnotou hluku. Nejúčinnější bývají originální protihlukové kryty zařízení.
- Izolace zvuku nebo další cílené omezení cest šíření zvuku omezí vyzařování hluku do chráněného pracovního prostoru.
- Zlepšení akustických vlastností pracovních prostorů pomocí akustických obkladů stěn a stropů.
- Střídání pracovníků obsluhy hlučných strojů či povinnost pravidelných přestávek pracovníků.
- Aplikovat ochranné pomůcky proti hluku. [3]

## 3.3 Místo obsluhy

Místo v blízkosti zkoušeného stroje, které je určeno pro obsluhu. [4]

## 3.4 Obsluha

Jednotlivec, který pracuje v blízkosti stroje a který vykonává pracovní úkony související s tímto strojem. [4]

## 3.5 Pracovní perioda

Časový interval, během kterého vykonává zkoušený stroje stanovený proces (například obráběcí centrum, které vyměňuje nástroj, nebo vyvrtává). [4]

### 3.6 Pracovní cyklus

Specifický sled pracovních period vyskytujících se při vykonávání kompletního pracovního cyklu zkoušeným strojem. [4]

### 3.7 Časový interval měření

Část nebo násobek pracovní periody nebo pracovního cyklu, v němž se určuje hladina emisního akustického tlaku, nebo v průběhu kterého se hledá největší hladina emisního akustického tlaku. [4]

### 3.8 Časový průběh

Spojité záznam hladiny emisního akustického tlaku jako funkce času obdrženy v průběhu jedné, nebo více pracovních period pracovního cyklu. [4]

### 3.9 Měřicí zařízení

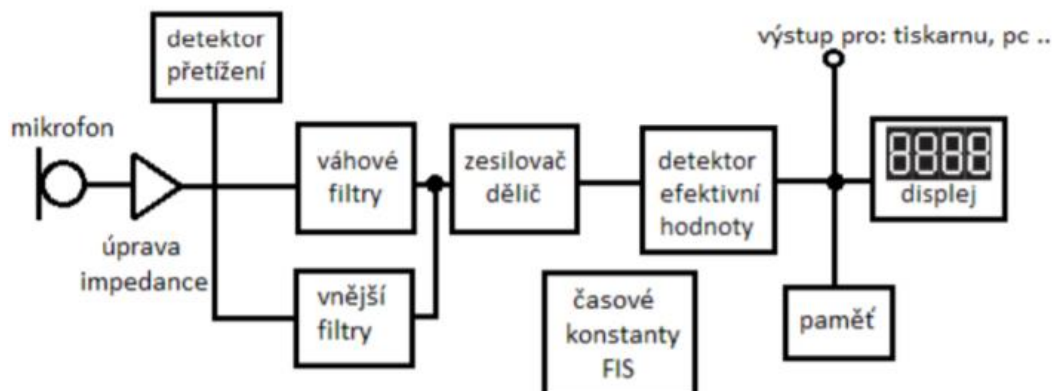
Měřicí zařízení slouží k měření veličin, bez kterých by nebylo možné dopracovat se k hledaným výsledkům, neboť právě měřicí zařízení nám poskytují hodnoty, se kterými lze dále pracovat.

#### 3.9.1 Mikrofon

Mikrofon je akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který převádí snímané kmitočty na elektrický signál. V hlukoměrné technice se nejčastěji využívají reciproké měniče. Pro měření hluku se pak výhradně využívají kondenzátorové mikrofony s elektrostatickým měničem. [9]

#### 3.9.2 Zvukoměr

Hlavní součástí zvukoměru je mikrofon zaznamenávající přicházející zvukové vlny z okolí. Ten bývá doplněn zesilovačem, který snižuje vysokou impedanci mikrofonu a upravuje celkový rozsah mikrofonu na vhodnou velikost. Další součástí zvukoměrů bývají váhové filtry, pomocí nichž lze dosáhnout lineární charakteristiky. Na obrázku 1 je zobrazeno blokové schéma zvukoměru. Rychlost a reakce na změnu signálu je závislá na mechanických a elektrických vlastnostech měřidla, které jsou vyjádřeny časovými konstantami (FIS). Při variantě Fast je tato hodnota nastavena na 0,125 s, Impulse 0,035 s a Slow 1 s. [7]



Obrázek 1 - Blokové schéma zvukoměru [7]

### 3.9.3 Kalibrace zvukoměrů

Před a po každé sérii měření musí být pro ověření kalibrace celého měřicího systému na jedné nebo více frekvencích sledovaného frekvenčního rozsahu přiložen k mikrofonu akustický kalibrátor, jehož přesnost je  $\pm 0,3$  dB (třída 1 specifikovaná v IEC 60942).

Shoda kalibrátoru s požadavky IEC 60942 musí být ověřena alespoň jednou za rok. Shoda integrujících-průměrujících systémů s požadavky IEC 60804 musí být ověřována jednou za dva roky.

Všechny kalibrace musí být provedeny v laboratoři, která provádí kalibrace odpovídající příslušným normám pro měření. [4]

## 4. Základní veličiny

V této části jsou popsány základní veličiny, které se v rámci měření hladiny emisního tlaku používají.

### 4.1 Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku  $L_p$  je v pracovním prostředí vyjádřena vztahem:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2(t)}{p_0^2} \quad dB \quad (1)$$

kde  $p$  je hodnota měřeného tlaku;

$p_0$  referenční hodnota akustického tlaku 20  $\mu\text{Pa}$ .

Jednotkou je decibel (značeno dB), což je bezrozměrná veličina obecně vyjadřující logaritmický poměr. Vyjádření úrovně hluku v decibelech jednak vystihuje fyziologii slyšení, kdy lineární přírůstek sluchového vjemu odpovídá relativní změně podnětu, jednak umožňuje přehlednější třídění hlukových údajů, neboť dynamický rozsah od prahu slyšení 20  $\mu\text{Pa}$  do prahu bolesti 200 Pa je pokryt rozsahem 140 dB. [3] [4]

### 4.2 Časově průměrovaná hladina akustického tlaku

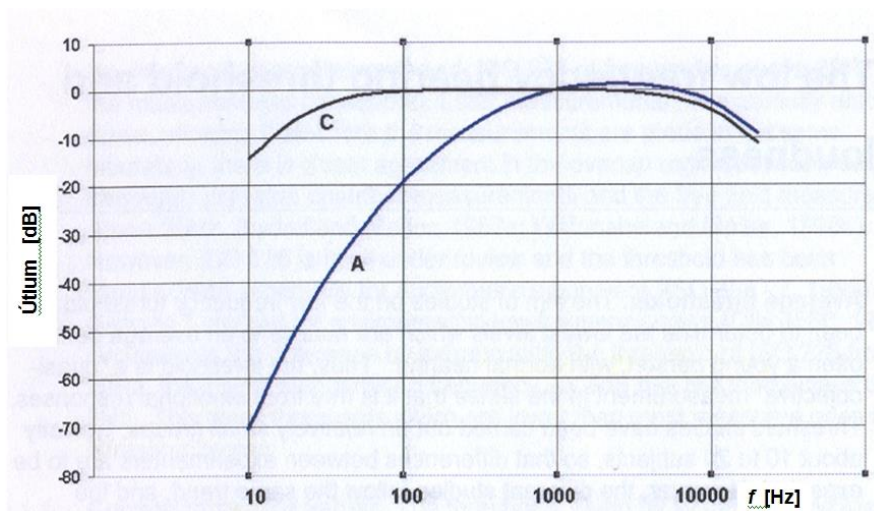
Hladina akustického tlaku trvalého ustáleného zvuku, který má v časovém intervalu měření  $T$  stejnou střední hodnotu kvadrátu akustického tlaku jako posuzovaný zvuk, který se v průběhu času mění je vyjádřen vztahem:

$$L_{peqT} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad dB \quad (2)$$

kde  $T$  je časový interval měření. [4]

### 4.3 Váhové filtry

Citlivost sluchu není v závislosti na kmitočtu konstantní a dochází tedy ke zkreslení. Aby se předešlo tomuto zkreslení ve výsledcích, zavádí se váhové filtry A, B, C a D. Jinými slovy, zavedením váhových filtrů se minimalizuje rozdíl mezi subjektivním vnímáním a objektivním měřením. V případě této práce postačí pouze filtry A a C. Na obrázku 2 lze vidět jejich průběh. [3]



Obrázek 2 - Průběh váhových filtrů A a C [5]

## 4.4 Korekce

Pomocí korekcí lze eliminovat vlivy, které narušují měření. V akustice se využívají korekce na hluk pozadí  $K_1$ , korekce na vliv prostředí  $K_2$  a korekce na vliv prostředí místa  $K_3$ . V rámci této práce se budou uvažovat pouze korekce  $K_1$  a  $K_3$ .

### 4.4.1 Korekce na hluk pozadí $K_1$

Korekce pro hladinu akustického tlaku, která je požadována, je-li rozdíl  $\Delta L_A$  mezi měřenou hladinou akustického tlaku váženou funkcí A,  $L'_{pA}$ , při chodu zkoušeného stroje a hladinou akustického tlaku pozadí váženou funkcí A,  $L''_{pA}$ , ve stanoveném místě menší než specifikované hodnoty. [4]

### 4.4.2 Korekce na vliv prostředí místa $K_3$

Korekce, která vyjadřuje vliv odraženého zvuku na hladinu emisního akustického tlaku ve stanoveném místě (například v místě obsluhy) u zkoušeného stroje. [4]

## 5. Návrh měření emisního akustického tlaku

Postup měření hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy a v dalších stanovených místech je stanoven dle ČSN ISO 230-5. Tato norma uvádí požadavky na zkušební prostředí a na korekci na vliv prostředí místa, které umožňují dosažení výsledků s třídou přesnosti 2 (technická metoda) nebo s třídou přesnosti 3 (provozní metoda).

Hladiny emisního akustického tlaku jsou váženy funkcí A a funkcí C. [4]

### 5.1 Podmínky stroje při zkoušce

Při měření hluku musí být použity pracovní podmínky, které odpovídají specifickým normám, které odpovídají danému typu stroje. Pokud takové normy neexistují, musí stroj pracovat, je-li to možné, způsobem, který je typický pro normální použití. V takovém případě musí být použita jedna nebo více z následujících pracovních podmínek:

- a) stroj, při pracovních podmínkách s charakteristickým pracovním cyklem;
- b) stroj při stanovených pracovních podmínkách (při zatížení, při chodu naprázdno a/nebo při stanoveném pracovním cyklu. [4]

### 5.2 Polohy mikrofону

Obsluha, je-li přítomna, na sobě nesmí mít oblečení s abnormálními vlastnostmi pohltivosti zvuku. [4]

#### 5.2.1 Poloha (polohy) mikrofону pro sedící obsluhu

Není-li obsluha přítomna a ke zkoušenému stroji je připevněno sedadlo, pak musí být mikrofón umístěn  $0,80 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$  nad středem sedadla, pokud normy nestanoví jinak.

Jestliže ke zkoušenému stroji není připevněno sedadlo a obsluha není přítomna, musí být mikrofón umístěn tak, jak je popsáno v normách, specifických pro daný typ stroje. Pokud takové normy neexistují, pak se musí poloha mikrofónu popsat v protokolu o zkoušce.

Je-li obsluha přítomna, musí být sedadlo nastaveno tak, aby obsluha mohla pohodlně dosáhnout na ovladače. Vzdálenost od roviny sedadla k temenu hlavy obsluhy je předpokládána  $0,91 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ . [4]

### 5.2.2 Poloha (polohy) mikrofonu pro obsluhu stojící na stálém místě

Je-li obsluha přítomna, pak musí být poloha mikrofonu umístěna  $0,20 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m}$  na stranu od střední roviny hlavy obsluhy, a sice na stranu, kde je vyšší hodnota hladiny akustického tlaku.

Není-li obsluha přítomna, mikrofon se umístí nad referenční bod, kde by za normálních okolností obsluha stála, a to do výšky v rozsahu  $1,55 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$ . Pokud existují odpovídající normy pro zkoušky hluku, je specifikovaná výška obvykle uvedena. [4]

### 5.2.3 Poloha (polohy) mikrofonu pro obsluhu pohybující se po stanovené určité dráze

Pokud se obsluha pohybuje po určité dráze musí být pro určení hladiny akustického tlaku dostatečný počet poloh mikrofonu podél stanovené dráhy, nebo pohybující se mikrofon. Provádí se buď použitím průběžné integrace či dostatečným počtem měření v jednotlivých polohách v určeném čase za aplikace následujícího vzorce:

$$L_{pA} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i 10^{0,1L_{pA,T(i)}} \right] \text{ dB} \quad (3)$$

kde  $T$  je celkový časový interval měření;

$$T = \sum_{i=1}^N T_i$$

$T_i$  jsou časové intervaly jednotlivých měření;

$i$  je celkový počet časových intervalů jednotlivých měření;

$L_{pA,T(i)}$  hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí  $A$  v průběhu časového intervalu  $T_i$ .

Na podlaze musí být stanovená referenční čára, která bude ležet přímo pod středem hlavy obsluhy při pohybu po stanovené dráze. Není-li v příslušných normách uvedena výška, musí být mikrofon umístěn ve výšce  $1,55 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$  nad referenční čarou.

Pokud existují normy pro specifický druh strojů, pak musí být polohy mikrofonu umístěny ve všech pevně stanovených místech po stanovené dráze. V opačném případě musí být stanoveny nejméně čtyři polohy mikrofonu tak, aby záznam adekvátně odpovídal zvukovému poli podél stanovené dráhy. [4]



## 5.2.4 Polohy mikrofону pro místa, kde se mohou vyskytovat pracovníci a pro bezobslužné stroje

Nelze-li být identifikováno žádné místo obsluhy, musí být stanoveno „obvyklé“ místo obsluhy (například pro údržbu, servis či opravu) nebo jedno či více míst, kde se pracovníci mohou vyskytovat.

Pokud neexistují žádné příslušné normy pro měření hluku specifického druhu strojů, pak musí být provedeno měření ve čtyřech nebo více polohách umístěných 1 m od každé strany referenčního rovnoběžnostěnu<sup>1</sup> ve výšce  $1,55 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$  nad základní rovinou. Jako hladina emisního akustického tlaku zkoušeného stroje musí být zaznamenána největší hodnota hladiny emisního akustického tlaku. Poloha, ve které byla tato hodnota zjištěna musí být zaznamenána. [4]

## 5.3 Měření veličiny

Pro každou polohu mikrofónu se odečtou hodnoty hladin akustického tlaku vážené funkcí A a špičkových hladin akustického tlaku vážených funkcí C. Doba sledování musí být alespoň 30 s, pokud není uvedeno jinak. Při měření hladiny emisního akustického tlaku musí být určeny následující veličiny:

- hladina akustického tlaku vážená funkcí A při chodu zkoušeného stroje,  $L'_{pA}$ ;
- hladina akustického tlaku vážená funkcí A, způsobené hlukem pozadí,  $L''_{pA}$ ;
- špičková hladina akustického tlaku vážená funkcí C,  $L_{pC,peak}$ , v místech specifikovaných v 5.2.

Pro určení hladiny emisního akustického tlaku musí být použita jak korekce na hluk pozadí  $K_1$ , tak korekce na vliv prostředí místa  $K_3$ . U špičkových hladin akustického tlaku  $L_{pC,peak}$  se tato korekce nepoužívá, neboť zde není dovolena žádná. [4]

### 5.3.1 Hladina emisního akustického tlaku

- Je-li ve stanoveném místě rozdíl  $\Delta L_A$ , mezi změřenou hladinou akustického tlaku, váženou funkcí A, při chodu zkoušeného stroje,  $L'_{pA}$  a hladinou akustického tlaku, váženou funkcí A,  $L''_{pA}$ , větší než 10 dB (15 dB pro třídu přesnosti 2), pak se hladina emisního akustického tlaku ve stanoveném místě spočítá podle vztahu: [4]

$$L_{pA} = L'_{pA} - K_{3A} \text{ dB} \quad (4)$$

---

<sup>1</sup> Hypotetická plocha, která je tvořena nejmenším rovnoběžnostěnem, který těsně ohraničuje zdroj a končí na odrazivé rovině, nebo na odrazivých rovinách.

- b) Je-li ve stanoveném místě  $\Delta L_A$  mezi 3 dB a 10 dB (15 dB pro třídu přesnosti 2), pak se hladina emisního akustického tlaku ve stanoveném místě určí dle vztahu:

$$L_{pA} = 10 \log \left[ 10^{0,1L'_{pA}} - 10^{0,1L''_{pA}} \right] - K_{3A} \quad \text{dB} \quad (5)$$

Pokud  $\Delta L_A$  přesahuje 6 dB, výsledky odpovídají třídě přesnosti 2, v ostatních případech třídě přesnosti 3. [4]

- c) Je-li  $\Delta L_A$  menší než 3 dB je měření neplatné. [4]

## 5.4 Korekce na vliv prostředí místa

Korekce  $K_{3A}$  bere v potaz vliv odraženého zvuku na hladinu emisního akustického tlaku ve stanoveném místě.

Je-li zamýšleno použít technickou normu, odpovídající třídě přesnosti 2, pak se musí při určování  $K_{3A}$  postupovat podle ISO 11204.

Níže popsaná norma dává výsledky odpovídající třídě přesnosti 3 (provozní metoda) a která obvykle podhodnocuje hodnotu  $K_{3A}$ . Korekce na vliv prostředí místa  $K_{3A}$  nesmí být větší než 2,5 dB. Pokud je vypočtená hodnota větší než 2,5 dB, pak se zvolí právě hodnota 2,5 dB jako hodnota odhadnutá.

Korekce na vliv prostředí místa  $K_{3A}$  se pro provozní metodu určí ze vztahu:

$$K_{3A} = 10 \log \left[ 1 + 4 \left( \frac{2\pi a^2}{A} \right) \right] \quad \text{dB} \quad (6)$$

kde  $a$  je vzdálenost v metrech mezi stanoveným místem a nejbližším hlavním zdrojem zvuku zkoušeného stroje;

$A$  ekvivalentní plocha pohlcování v místnosti na frekvenci 1 kHz v  $\text{m}^2$ .

Velikost ekvivalentní plochy pohlcování  $A$  lze určit dvěma způsoby, a sice přibližnou metodou či dozvukovou metodou. [4]

### 5.4.1 Přibližná metoda pro určení $A$

Vztah pro výpočet ekvivalentní plochy pohlcování  $A$  v metrech čtverečních přibližnou metodou je: [4]

$$A = \alpha \cdot S_V \quad \text{m}^2 \quad (7)$$

kde  $\alpha$  je střední činitel zvukové pohltivosti, udaný pro veličiny vážené funkcí  $A$ ;

$S_V$  celková plocha ohraničující povrch zkoušené místnosti (stěny, strop a podlaha), v metrech čtverečních.

V tabulce 2 jsou vypsané přibližné hodnoty středního činitele pohltivosti  $\alpha$ .

Tabulka 2 - Přibližné hodnoty středního činitele pohltivosti  $\alpha$  [4]

<b>Střední činitel zvukové pohltivosti, <math>\alpha</math></b>	<b>Druh místnosti</b>
0,05	Téměř prázdná místnost s hladkými tvrdými stěnami z betonu, cihel, omítky nebo dlaždic
0,1	Částečně prázdná místnost s hladkými stěnami
0,15	Místnost zařízená nábytkem; pravoúhlá dílna; pravoúhlá průmyslová provozovna
0,2	Místnost nepravidelného tvaru zařízená nábytkem; dílna nebo průmyslová provozovna nepravidelného tvaru
0,25	Místnost zařízená čalouněným nábytkem; průmyslový provoz nebo dílna s malým množstvím materiálu pohlcujícím zvuk stropu nebo stěn (např. částečně pohlcující strop)
0,35	Místnost s materiálem pohlcujícím zvuk na stěnách a stropu
0,5	Místnost s velkým množstvím materiálu pohlcujícím zvuk na stropu a stěnách

### 5.4.2 Dozvuková metoda pro určení $A$

Hodnotu ekvivalentní plochy pohlcování  $A$  lze určit měřením doby dozvuku zkušební místnosti, která je vybudena širokopásmovým hlukem nebo impulsním zvukem s vážením funkce  $A$  na snímacím systému. Tato hodnota je dána vztahem:

$$A = 0,16 \left( \frac{V}{T} \right) m^2 \quad (8)$$

kde  $V$  je objem zkušební místnosti, v kubických metrech;

$T$  doba dozvuku zkušební místnosti, v sekundách.

Aby byla zkušební místnost vyhovující podle požadavků ISO 230, musí platit:

$$\frac{A}{S} \geq 1 \quad (9)$$

Pokud tento požadavek nevyhovuje, musí být zvolena nová měřicí plocha. [4]

## 5.5 Rozšířená nejistota $U$

Kombinovaná nejistota  $u(L_p)$  v decibelech související s hladinou emisního akustického tlaku se odhaduje pomocí celkové směrodatné odchylky  $\sigma_{tot}$  v decibelech:

$$u(L_p) \approx \sigma_{tot} \quad (10)$$

Celková směrodatná odchylka se vyjadřuje pomocí směrodatné odchylky  $\sigma_{omc}$ , vyjadřující nejistotu typu A, a směrodatné odchylky reprodukovatelnosti  $\sigma_{R0}$ , vyjadřující nejistotu typu B. Celková směrodatná odchylka tedy představuje kombinovanou nejistotu, která je popsána rovnicí:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{omc}^2 + \sigma_{R0}^2} \quad dB \quad (11)$$

Rozšířená nejistota  $U$  v decibelech musí být odvozena z  $\sigma_{tot}$ :

$$U = k \cdot \sigma_{tot} \quad dB \quad (12)$$

V kapitolách níže jsou pak uvedené jednotlivé nejistoty. [13]

### 5.5.1 Směrodatná odchylka $\sigma_{omc}$

Směrodatná odchylka  $\sigma_{omc}$ , vyjadřující nejistotu typu A, kvantifikuje nejistotu související s nestabilitou provozních a montážních podmínek pro konkrétní zkoušený zdroj. Může být určena zvlášť z opakovaných měření jednoho zdroje, na stejném místě, stejnou osobou, stejným měřicím zařízením a ve stejných měřicích bodech. Směrodatná odchylka je popsána rovnicí:

$$\sigma_{omc} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L'_{p,j} - \bar{L}'_p)^2} \quad dB \quad (13)$$

kde  $L'_{p,j}$  je hladina akustického tlaku změřená v předepsaném místě pro  $j$ -té opakování za předepsaných provozních a montážních podmínek;

$\overline{L}_p$  střední hladina akustického tlaku spočítaná pro N opakování.

Pro účely tohoto měření nepotřebují  $L'_{p,j}$  a  $\overline{L}_p$  žádné další korekce. Pro každé z těchto měření je třeba znovu nastavit provozní a montážní podmínky. Montážní a provozní podmínky používané při měření emisí hluku bývají již předem definovány zkušebním předpisem pro hluk pro daný stroj nebo zařízení. V opačném případě musí být tyto podmínky přesně stanoveny v protokolu o zkoušce. [13]

### 5.5.2 Směrodatná odchylka reprodukovatelnosti $\sigma_{R0}$

Pro výpočet směrodatné odchylky reprodukovatelnosti  $\sigma_{R0}$ , vyjadřující nejistotu typu B, lze použít buď mezilaboratorní porovnávací zkoušku, nebo modelový přístup. V rámci této práce se bude používat modelový přístup.

Horní mezní hodnoty  $\sigma_{R0}$  určují třídu přesnosti. Třída přesnosti 2 odpovídá hodnotě 1,5 dB, třída přesnosti 3 hodnotě 3 dB.

Obecně je  $\sigma_{R0}$  závislá na několika dílčích složkách nejistoty  $c_i u_i$ , které souvisejí s různými parametry měření, například nejistota přístrojů, korekce na prostředí či poloha mikrofonu. Pokud se uvažují tyto parametry jako nekorelované, může být směrodatná odchylka reprodukovatelnosti popsána následující rovnicí:

$$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2} \quad dB \quad (14)$$

Modelový přístup zahrnuje zejména existenci rovnic, které umožňují odhadnout složky nejistoty z parametrů měření a podmínek prostředí. Podle předběžných odhadů je výpočet konečného výsledku měření hladiny emisního akustického tlaku včetně všech korekcí dán rovnicí:

$$L_p = L_p(L'_p, \delta_{(B)}, \delta_{env}, \delta_{slm}, \delta_{mount}, \delta_{oc}, \delta_{pos}, \delta_{met}) \quad (15)$$

kde  $L'_p$  je naměřená (nekorigovaná) hladina akustického tlaku;

$\delta_{(B)}$  vstupní veličina zahrnující nejistotu korekce na hluk pozadí;

$\delta_{env}$  vstupní veličina zahrnující nejistotu způsobenou lokálním prostředím;

$\delta_{slm}$  vstupní veličina zahrnující nejistotu způsobenou měřícími přístroji;

$\delta_{mount}$  vstupní veličina zahrnující proměnnost montážních podmínek zkoušeného stroje;

$\delta_{oc}$  vstupní veličina zahrnující odchylku provozních podmínek zkoušeného zdroje od jmenovitých podmínek;

$\delta_{pos}$  vstupní veličina zahrnující nejistotu způsobenou volbou měřicího místa;

$\delta_{met}$  vstupní veličina zahrnující nejistotu určení meteorologických podmínek.

Složky nejistoty  $\delta_{mount}$  a  $\delta_{oc}$  jsou již zahrnuty v  $\sigma_{omc}$ , a proto se ve výpočtu  $\sigma_{R0}$  nebudou uvažovat. Dále se nebude uvažovat  $\delta_{met}$ , neboť měření je prováděno ve vnitřních prostorech, kde se bude zanedbávat vliv meteorologických podmínek.

Rozdělení pravděpodobnosti (normální, rovnoměrné, Studentovo) je spojeno s každou jednotlivou vstupní veličinou.

Tabulka 3 poskytuje vzorce pro výpočet složek  $c_i u_i$ , které jsou nezbytné pro výpočet  $\sigma_{R0}$ . [13]

Tabulka 3 – Rozpis nejistot pro určení hladiny emisního akustického tlaku [13]

Veličina	Odhad [dB]	Standardní nejistota $u_i$ [dB]	Rozdělení pravděpodobnosti	Činitel citlivosti $c_i$	Příspěvek nejistoty $c_i u_i$ [dB]
$L_p$					
$L'_p$	$\bar{L}'_p$	$s_{L'_p} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_j (\bar{L}'_p - L'_{p,j})^2}$	normální	$c_{L'_p} = \frac{1}{1 - 10^{-0.1[L'_p - L_{p(B)}]}}$	$s_{L'_p} \cdot c_{L'_p}$
$\delta_{(B)}$	$K_1$	$u_{(B)} = \sqrt{u_{L'_p}^2 + u_{L_p}^2}$	normální	$c_{(B)} = \frac{1}{1 - 10^{0.1\Delta L}}$	$u_{(B)} \cdot c_{(B)}$
$\delta_{env}$	$K_3$	$u_{env} = \frac{K_3}{2\sqrt{3}}$	normální	$c_{env} = 1$	$u_{env} \cdot c_{env}$
$\delta_{stim}$	0	$u_{stim} = 0,5$	normální	$c_{stim} = 1$	$u_{stim} \cdot c_{stim}$
$\delta_{pos}$	0	$u_{pos} = 0,2$	normální	$c_{pos} = 1$	$u_{pos} \cdot c_{pos}$
$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2} \text{ dB}$					

### 5.5.3 Celková směrodatná odchylka $\sigma_{tot}$

Celková směrodatná odchylka  $\sigma_{tot}$ , vyjadřující kombinovanou nejistotu, se získá pomocí modelového přístupu popsaného v ISO/IEC Guide 98-3, kde je  $\sigma_{tot}$  definována jako aproximace odpovídající  $u(L_p)$ . Její vzorec vyplývá ze směrodatné odchylky  $\sigma_{omc}$  a směrodatné odchylky reprodukovatelnosti  $\sigma_{R0}$ : [13]

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{omc}^2 + \sigma_{R0}^2} \text{ dB} \quad (11)$$

### 5.5.4 Rozšířená nejistota měření $U$

Výpočtem celkové směrodatné odchylky z kapitoly 5.5.3 se získala kombinovaná standardní nejistota. Pro zvýšení přesnosti výsledku se vybírá činitel rozšíření  $k$ , jehož pomocí se docílí odhadu rozšířené nejistoty měření  $U$  při zvoleném pravděpodobnostním pokrytí, který je vyjádřen rovnicí:

$$U = k \cdot \sigma_{tot} \text{ dB} \quad (12)$$

Konvenčně se tato pravděpodobnost pokrytí volí 95 % a za předpokladu normálního rozdělení je odpovídající činitel rozšíření roven 2. K předejití dezinterpretace se doporučuje tato pravděpodobnost pokrytí uvést v protokolu o zkoušce spolu s rozšířenou nejistotou měření. [13]

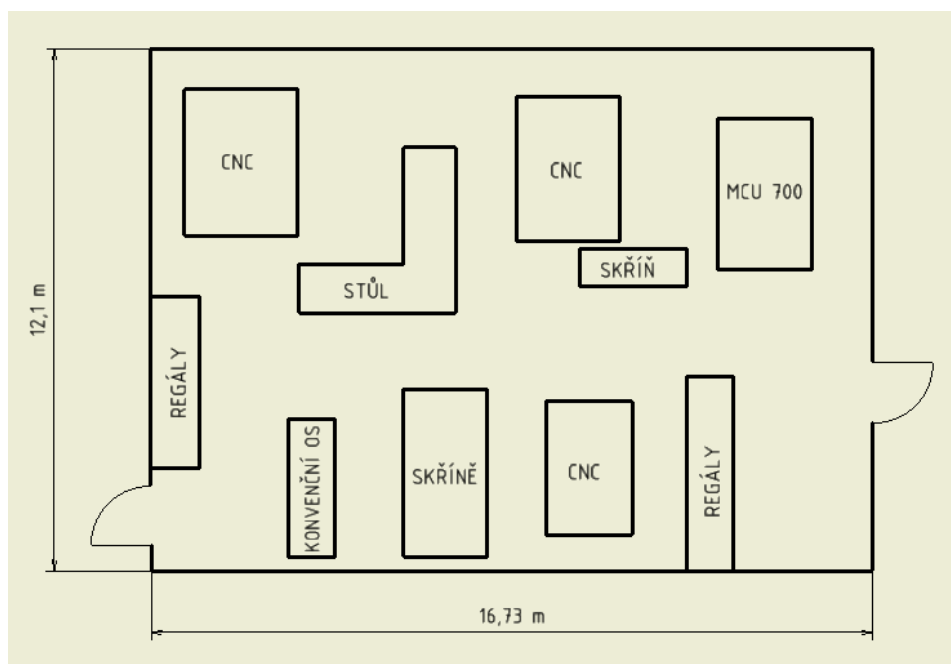


## 6. Vlastní měření

V této kapitole se vymezí zařízení, se kterými se bude pracovat a prostory, ve kterých se budou užívat. Dále pak veškerá příprava před měřením a měření požadovaných veličin.

### 6.1 Zkušební místnost

Místnost, ve které je měření prováděno, je obvyklá dílenská hala. V místnosti se nachází 4 číslicově řízené stroje a jeden konvenční soustruh. Zbytek haly je místy vybaven odkládacím prostorem, jako jsou regály nebo úložné skříně, či poměrně rozměrným pracovním stolem. Zdi haly jsou zděné bez jakýchkoliv protihlukových úprav. Výška stropu je 3,4 m. Zbylé rozměry a celková koncepce rozvržení vybavení v hale je naznačena na obrázku 3.



Obrázek 3 - Zjednodušený plán dílenské haly

## 6.2 Zkoušený stroj

Měření bude probíhat na multifunkčním pětiosém obráběcím centru MCU 700 VT-5X RAPID. Stroj disponuje nejširším technologickým využitím. Je možné souvislé pětiosé frézování, soustružení, vrtání, vyvrtávání, vystružení či řezání závitů. Pyšní se maximální produktivitou, vysokou přesností, dálkovou diagnostikou stroje, monitoringem výroby nebo automatizací a paletizací. Stroj je schopen obrábět materiály z ocelí, litin, železných i neželezných kovů, plastu, dřeva či grafitu. [8]

Stanovená maximální hodnota hladiny emisního akustického nabývá dle výrobce 78 dB. Tuto hodnotu lze v rámci této práce brát jako ukazatel, který se nesmí překročit. Na obrázku 4 je vyobrazeno zkoušené obráběcí centrum. V tabulce 4 jsou vypsané vybrané technické parametry. [14]



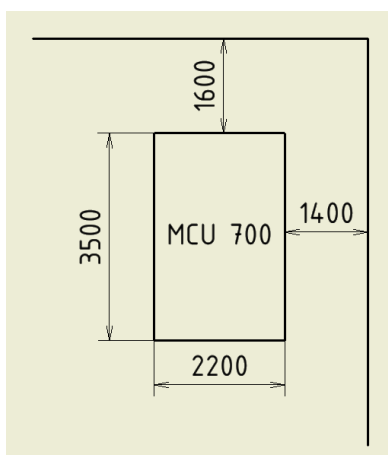
Obrázek 4 - Multifunkční pětiosé obráběcí centrum MCU 700 VT-5X RAPID [8]

Tabulka 4 - Vybrané technické parametry MCU 700 VT-5X RAPID [8]

Pojezd v ose X	700 mm
Pojezd v ose Y	820 mm
Pojezd v ose Z	550 mm
Pracovní posuv v osách X/Y/Z	1-60000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychloposuv v osách X/Y/Z	60000 mm.min <sup>-1</sup>
Programovatelný krok	0,001 mm
Upínací plocha stolu	Ø630 mm
Maximální zatížení stolu	1300 kg
Maximální otáčky	24000 min <sup>-1</sup>
Maximální krouticí moment S1/S6-40 %	67/87 Nm
Jmenovitý výkon vřetena S1/S6-40 %	20/26 kW
Rozměry půdorysu stroje	4200 x 2500 mm
Výška stroje	3600 mm
Hmotnost stroje	18000 kg

### 6.2.1 Umístění stroje ve zkušební místnosti

Umístění stroje má vliv na výslednou hodnotu hladiny emisního akustického tlaku a je proto důležité jeho polohu ve zkušební místnosti zaznamenat. Zkoušený stroj je umístěn na podlaze pomocí sady podložek. Na obrázku 5 je jeho poloha zakreslena. Vzhledem k tomu, že zkušební místnost je poměrně rozměrná, lze uvažovat jen nejbližší zdi. Hodnoty jsou uvedeny v milimetrech.



Obrázek 5 - Umístění zkoušeného stroje ve zkušební místnosti

### 6.3 Měřicí zařízení

Zkouška se řídí normou ČSN ISO 230-5, kde je přednostně vyžadováno měřicí zařízení typu 1. Tomuto kritériu odpovídá školou vlastněný zvukoměr Brüel & Kjær typ 2239 A s mikrofonem typu 4188 od stejného výrobce. Tento zvukoměr je nastaven tak, aby byl rychlý a snadno ovladatelný při měření hluku prostředí. Velká LCD obrazovka zobrazuje měření a obsahuje kvazianalogovou lištu zobrazující aktuální hladinu akustického tlaku. Přístroj má dva paralelní detektory, které umožňují současné zobrazení efektivních hodnot a špičkové hladiny akustické tlaku. Na obrázku 6 je zvukoměr znázorněn. [10]



Obrázek 6 - Zvukoměr Brüel &amp; Kjær type 2239 A [10]

V tabulce 5 jsou uvedené základní parametry tohoto zvukoměru.

Tabulka 5 - Základní parametry zvukoměru Brüel & Kjær type 2239 A [10]

Typ přístroje	1
Frekvenční rozsah	8 Hz – 16 kHz
Paměť	40 měření
Rozsah měření	30 – 140 dB
Doba odezvy	1 s / 0,125 s / 0,035 s
Vážené funkce	A, C

Jako alternativu by bylo možné použít zvukoměr Brüel & Kjær typ 2250-S, který také odpovídá přístroji typu 1, který je vzhledem k normě upřednostňován. [11]

Doba odezvy byla nastavena na hodnotu slow, tedy 1 s.

### 6.3.1 Kalibrace měřicího zařízení

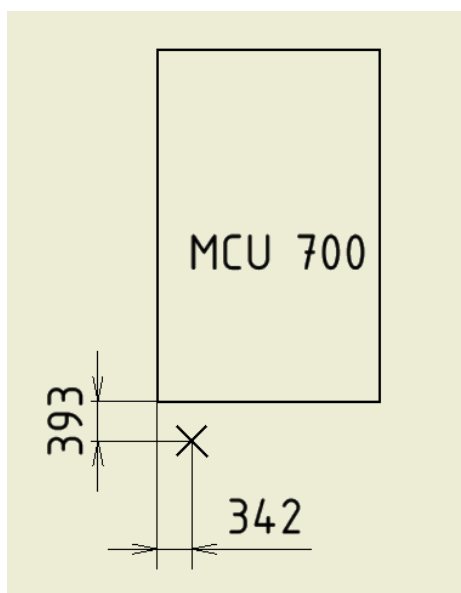
Před každým měřením je nutné daný měřicí aparát zkalibrovat, aby se předešlo chybám způsobeným špatným nastavením. Pro kalibraci se použil akustický kalibrátor Brüel & Kjær typ 4231. Kalibrátor po zapnutí emituje hladinu emisního akustického tlaku o velikosti 93,9 dB. Na tuto hodnotu se při kmitočtu 1 kHz nastaví i integrující zvukoměr a dojde k případné korekci. Ta v tomto případě odpovídala hodnotě 1,5 dB. Na obrázku 7 je zobrazen použitý akustický kalibrátor. [12]



Obrázek 7 - Akustický kalibrátor Brüel & Kjær 4231 [12]

## 6.4 Umístění zvukoměru do požadované polohy

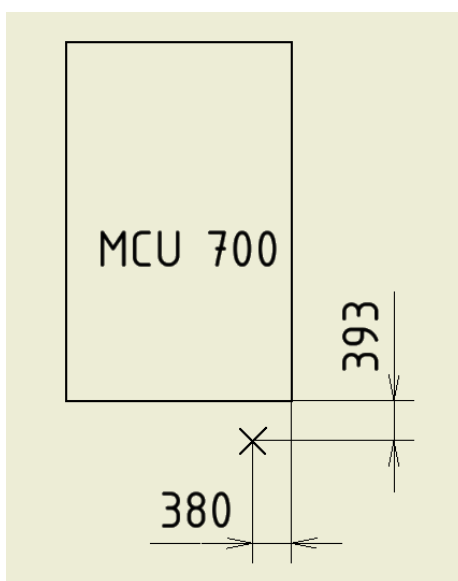
Měření se provádělo ve 2 stanovených místech obsluhy, kdy v obou případech se předpokládalo, že obsluha bude u stroje stát. Zvukoměr se tedy umístil dle 5.2.2 do výšky 1,55m a v obou případech byl umístěn 39,3 cm od nejbližšího zdroje hluku, v tomto případě se jednalo o dveře zkoušeného stroje. Obě polohy jsou vyobrazeny vzhledem k měřenému stroji na obrázcích 8, 9, 10, 11. Hodnoty jsou uvedeny v milimetrech.



Obrázek 8 - Poloha zvukoměru v prvním stanoveném místě obsluhy



Obrázek 9 - Poloha zvukoměru v prvním stanoveném místě obsluhy



Obrázek 10 - Poloha zvukoměru ve druhém stanoveném místě obsluhy

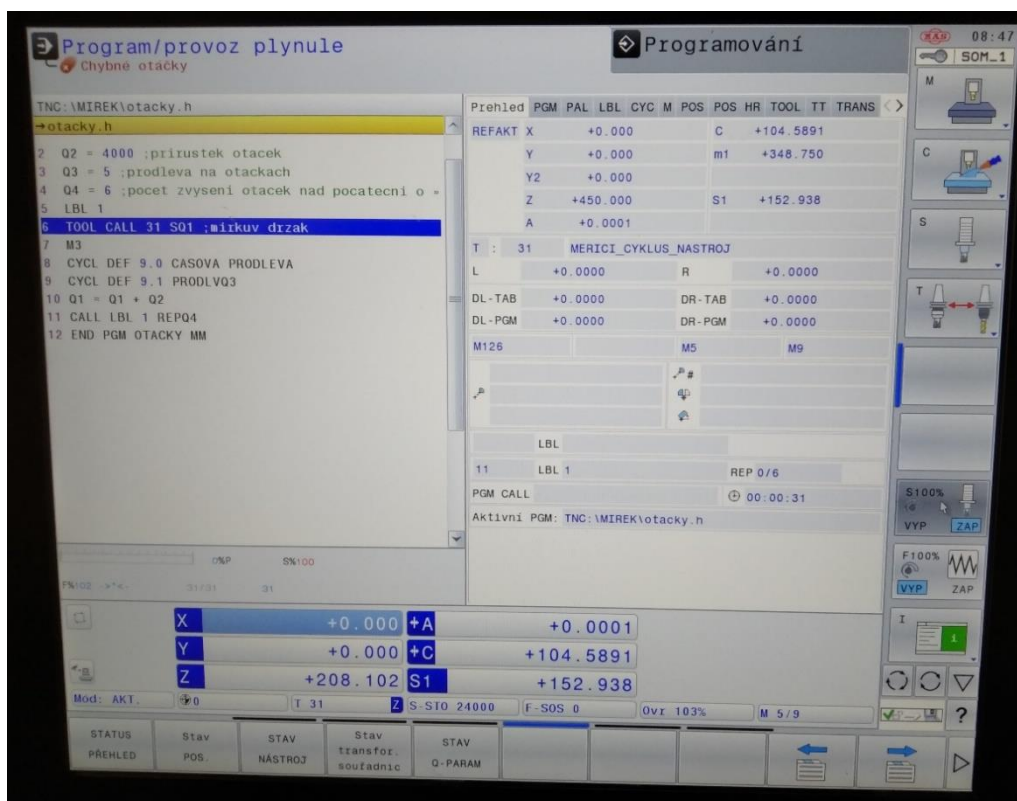


Obrázek 11 - Poloha zvukoměru ve druhém stanoveném místě obsluhy

## 6.5 Příprava zkoušeného stroje

Po zapnutí stroje bylo potřeba zadat do systému CNC program, který by odpovídal požadavkům na měření. Doba měření byla stanovena na 30 s a aby se využilo plného rozsahu otáček vřetena, otáčky se postupně zvyšovaly o hodnotu  $4000 \text{ min}^{-1}$  každých 5 s. Na začátku procesu tedy měl zkoušený stroj 4000 otáček za minutu a na konci procesu již maximálních 24000 otáček za minutu. Na obrázku 12 je vyobrazen CNC program na ovládacím panelu stroje.





Obrázek 12 - CNC program na postupné zvyšování otáček

## 6.6 Měření požadovaných veličin

Po zapnutí programu na zkoušeném stroji se současně spustilo měření hluku na zvukoměru. Pro každou měřenou veličinu se pro jedno místo obsluhy provedlo 10 opakování. Měření hledaných veličin nešlo vzhledem k zvukoměru realizovat současně, a tak se každá veličina musela měřit samostatně. Nejprve se změřila hladina akustického tlaku vážená funkcí A při chodu zkoušeného stroje,  $L'_{pA}$  a špičková hladina akustického tlaku vážená funkcí C,  $L_{pC,peak}$ . Po změření všech hodnot se zvukoměr přesunul do druhého místa obsluhy a měření se provedlo obdobným způsobem. Poté se zkoušený stroj vypnul a v obou stanovených místech obsluhy se změřila hladina akustického tlaku vážená funkcí A způsobená hlukem pozadí,  $L''_{pA}$ . Hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách 6 a 7.

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty zkoušeného stroje v prvním stanoveném místě obsluhy

	<b>Hluk stroje <math>L'_{pA}</math> [dB]</b>	<b>Špičková hladina <math>L_{pC,peak}</math> [dB]</b>	<b>Hluk pozadí <math>L''_{pA}</math> [dB]</b>
#1	69,2	90,7	32,4
#2	69,5	90,7	32,0
#3	68,3	91,1	33,6
#4	68,4	91,0	32,7
#5	71,0	90,8	33,0
#6	69,6	90,3	33,7
#7	69,0	89,8	32,8
#8	68,6	91,6	33,0
#9	68,6	91,4	33,3
#10	68,9	91,4	32,7

Tabulka 7 - Naměřené hodnoty zkoušeného stroje ve druhém stanoveném místě obsluhy

	<b>Hluk stroje <math>L'_{pA}</math> [dB]</b>	<b>Špičková hladina <math>L_{pC,peak}</math> [dB]</b>	<b>Hluk pozadí <math>L''_{pA}</math> [dB]</b>
#1	68,1	90,8	32,6
#2	67,8	90,6	32,4
#3	68,9	91,2	33,3
#4	67,7	91,3	32,2
#5	67,9	91,0	33,3
#6	68,1	90,5	33,0
#7	67,9	91,3	34,1
#8	68,0	91,9	32,6
#9	68,2	91,8	32,8
#10	67,9	91,9	33,3

## 7. Zpracování dat

Tato část se bude zabývat výpočtovou částí této práce, která směřuje k finálnímu výsledku. Vývojový diagram znázorňující postup celého měření lze nalézt v příloze 2. V elektronické příloze je k dispozici tabulkový procesor MS Excel, ve kterém jsou výpočty provedené.

### 7.1 Ekvivalentní plocha pohlcování $A$

Pro výpočet ekvivalentní plochy pohlcování  $A$  je potřeba rovnice (8). Svinovacím metrem se změřil objem místnosti, který se pak spočítá pomocí jednoduchého vzorce:

$$V = a \cdot b \cdot c \quad m^3 \quad (16)$$

$$V = 16,75 \cdot 12,1 \cdot 3,44 = 695,56 \quad m^3$$

Dobu dozvuku byla měřena tak, že se chodilo po zkušební místnosti s dřevěnými deskami, kterými se každých 5 sekund tlesklo. Pomocí mikrofону a výpočetního zařízení se dokázala stanovit doba dozvuku ve zkušební místnosti při teplotě 20 °C, a sice  $T_{20} = 0,86 \text{ s}$ .

Dosazením do rovnice (8) se získá:

$$A = 0,16 \left( \frac{695,56}{0,86} \right) = 129,41 \quad m^2$$

### 7.2 Korekce $K_{3A}$

Nejprve se musela změřit vzdálenost mezi mikrofonom a zkoušeným zdrojem  $a$ . Poté se dosazením do rovnice (6) vypočítá korekce na vliv prostředí místa  $K_{3A}$ .

$$K_{3A} = 0,13 \text{ dB}$$

Výsledná hodnota  $K_{3A}$  je menší než 2,5 dB, což odpovídá třídě přesnosti 3 (provozní metoda).

### 7.3 Hladina emisního akustického tlaku $L_{pA}$

Aby se mohlo pracovat s naměřenými hodnotami, je třeba vyvodit jejich výstupní hodnotu. Ta se získá zprůměrováním již uvedených hodnot. Pro první místo obsluhy se tedy získají hodnoty:

$$\overline{L'_{pA}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L'_{pAi} \quad dB \quad (17)$$

$$\overline{L'_{pA}} = \mathbf{69,1 \text{ dB}}$$

$$\overline{L_{pC,peak}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{pC,peaki} \quad dB \quad (18)$$

$$\overline{L_{pC,peak}} = \mathbf{90,9 \text{ dB}}$$

$$\overline{L''_{pA}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L''_{pAi} \quad dB \quad (19)$$

$$\overline{L''_{pA}} = \mathbf{32,9 \text{ dB}}$$

Výsledný vzorec pro hladinu emisního akustického tlaku je závislý na rozdílu hladiny akustického tlaku vážené funkcí A při chodu zkoušeného stroje,  $L'_{pA}$  a hladiny akustického tlaku pozadí vážené funkcí A,  $L''_{pA}$ .

$$\Delta L_A = \overline{L'_{pA}} - \overline{L''_{pA}} \quad dB \quad (20)$$

$$\Delta L_A = 69,1 - 32,9 = \mathbf{36,2 \text{ dB}}$$

Hodnota  $\Delta L_A$  je větší jak 15 dB, a proto se použije rovnice (4), která určí finální hodnotu emisního akustického tlaku v prvním stanoveném místě obsluhy.

$$L_{pA} = \mathbf{69,0 \text{ dB}}$$

Pro druhé místo obsluhy se opět použijí vzorce (17), (18), (19) a (20), čímž se získají hodnoty:

$$\overline{L'_{pA}} = 68,0 \text{ dB}$$

$$\overline{L_{pC,peak}} = 91,2 \text{ dB}$$

$$\overline{L''_{pA}} = 33,0 \text{ dB}$$

$$\Delta L_A = 35,0 \text{ dB}$$

Hodnota  $\Delta L_A$  je opět větší jak 15 dB, a proto dosazením do rovnice (4) se získá finální hodnota emisního akustického tlaku v druhém stanoveném místě obsluhy.

$$L_{pA} = 68,0 \text{ dB}$$

## 7.4 Nejistota měření $U$

Směrodatná odchylka  $\sigma_{omc}$  se získá dosazením do vzorce (13). Výsledná hodnota pro první stanovené místo obsluhy je potom:

$$\sigma_{omc} = 0,8 \text{ dB}$$

Pro výpočet směrodatné odchylky reprodukovatelnosti  $\sigma_{R0}$  v prvním stanoveném místě obsluhy je použit vzorec (14). K získání jednotlivých hodnot v tabulce 8 byly použity informace z tabulky 3.

Tabulka 8 - Rozpis nejistot pro určení hladiny emisního akustického tlaku v prvním stanoveném místě obsluhy [13]

Veličina	Odhad [dB]	Standardní nejistota $u_i$ [dB]	Rozdělení pravděpodobnosti	Činitel citlivosti $c_i$	Příspěvek nejistoty $c_i u_i$ [dB]
$L_p$					
$L'_p$	$\overline{L'_p}$	0,8	normální	1	0,8
$\delta_{(B)}$	$K_1$	1,1	normální	0	0
$\delta_{env}$	$K_3$	0,04	normální	1	0,04
$\delta_{slm}$	0	0,5	normální	1	0,5
$\delta_{pos}$	0	0,2	normální	1	0,2
$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2} \text{ dB} = \mathbf{1,0 \text{ dB}}$					

Dosazením do vzorce (11) se obdrží celková směrodatná odchylka pro první místo obsluhy:

$$\sigma_{tot} = \mathbf{1,2 \text{ dB}}$$

Rozšířená nejistota pro první místo obsluhy se získá dosazením do vzorce (12):

$$U = \mathbf{2,5 \text{ dB}}$$

Pro druhé stanovené místo obsluhy je výpočet obdobný. Směrodatná odchylka  $\sigma_{omc}$  se získá dosazením do vzorce (13):

$$\sigma_{omc} = \mathbf{0,3 \text{ dB}}$$

Za použití vzorce (14) se získají výsledky pro směrodatnou odchylku reprodukovatelnosti  $\sigma_{R0}$  ve druhém stanoveném místě obsluhy. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 9.

Tabulka 9 - Rozpis nejistot pro určení hladiny emisního akustického tlaku ve druhém stanoveném místě obsluhy [13]

Veličina	Odhad [dB]	Standardní nejistota $u_i$ [dB]	Rozdělení pravděpodobnosti	Činitel citlivosti $c_i$	Příspěvek nejistoty $c_i u_i$ [dB]
$L_p$					
$L'_p$	$\overline{L'_p}$	0,3	normální	1	0,3
$\delta_{(B)}$	$K_1$	0,4	normální	0	0
$\delta_{env}$	$K_3$	0,04	normální	1	0,04
$\delta_{slm}$	0	0,5	normální	1	0,5
$\delta_{pos}$	0	0,2	normální	1	0,2
$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2} \text{ dB} = \mathbf{0,6 \text{ dB}}$					

Dosazením do vzorce (11) se obdrží celková směrodatná odchylka pro druhé místo obsluhy:

$$\sigma_{tot} = \mathbf{0,7 \text{ dB}}$$

Rozšířená nejistota pro druhé místo obsluhy se získá dosazením do vzorce (12):

$$U = \mathbf{1,4 \text{ dB}}$$

V tabulce 10 jsou uvedené výsledky vypočtených hodnot pro obě stanovená místa obsluhy:

Tabulka 10 - Vypočtené hodnoty hladin akustického tlaku ve stanovených místech obsluhy

	Místo obsluhy 1	Místo obsluhy 2
Hladina akustického tlaku vážené funkcí A, při chodu zkoušeného stroje, $L'_{pA}$	69,1 dB	68,1 dB
Hladina akustického tlaku vážené funkcí A, způsobené hlukem pozadí, $L''_{pA}$	32,9 dB	33,0 dB
Špičková hladina akustického tlaku vážená funkcí C, $L_{pC,peak}$	90,9 dB	91,2 dB
Časově průměrovaná hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí A, $L_{pA}$	<b>69,0 ± 2,5 dB</b>	<b>68,0 ± 1,4 dB</b>
Činitel rozšíření k	Pro normální rozdělení měřených hodnot a konfidenční úroveň 95 % se zvolilo $k = 2$	
$K_{3A}$	$K_{3A} = 0,1 \text{ dB}$ , určeno měřením doby dozvuku	

Rozhodujícími hodnotami jsou pro tuto bakalářskou práci časově průměrované hladiny emisního akustického tlaku vážené funkcí A,  $L_{pA}$ . Hodnoty jsou v obou místech obsluhy podobné. Rozdílné hodnoty rozšířených nejistot mohou být způsobeny například nepřesností měření.



## 8. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo určení hladin emisního tlaku dle normy ČSN ISO 230-5. Hlavním krokem bylo pečlivé nastudování dané normy a několika dalších norem, které dopomohly k výslednému pochopení práce. Dále pak osvojení si práce s integrujícím zvukoměrem a k němu příslušným kalibrátorem. Další nezbytnou součástí představovalo sestavení vývojového diagramu spolu s výpočtovým programem v tabulkovém procesoru MS Excel, které vedlo k výsledným hodnotám.

Před samotným měřením bylo potřeba připravit si zkoušený stroj a zmapovat místnost, ve které se stroj nacházel, a to především z akustického hlediska. Během veškerých měření byla snaha maximálně zamezit okolnímu hluku, který by mohl výsledky měření zkreslit.

Příprava zkoušeného stroje spočívala v jeho zapnutí a zadání CNC programu. Tento program byl navržen tak, aby se otáčky vřetena každých 5 s zvyšovaly až na maximální možné, přičemž doba měření byla 30 s. Následovalo umístění zvukoměru do 2 předem stanovených míst obsluhy za předpokladu, že obsluha bude u stroje stát. V každém místě obsluhy se pak za chodu stroje změřila hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí A a špičková hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí C. Po vypnutí stroje se ještě změřila hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí A způsobené hlukem pozadí. V každém stanoveném místě obsluhy se pro každou veličinu provedlo 10 opakování. Všechna měření proběhla v souladu s danou normou.

Změřené hodnoty se poté dosadili do výpočtového programu, pomocí kterého bylo možné stanovit výslednou hodnotu hladin emisního akustického tlaku, včetně rozšířené nejistoty měření. V prvním stanoveném místě obsluhy vyšla tato hodnota **69,0 ± 2,5 dB**, ve druhém stanoveném místě obsluhy potom **68,0 ± 1,4 dB**.

Cíl bakalářské práce byl zcela splněn. Naměřené hodnoty hladin emisního akustického tlaku nepřesahují hodnotu stanovenou výrobcem, a sice 78 dB. Zároveň splňují přípustnou hodnotu expozice hluku na pracovišti v rámci 8hodinové pracovní doby bez nároků na soustředění, a to 85 dB. Přesto je důležité brát v potaz, že toto měření spočívalo pouze v roztočení samotného vřetena bez jakéhokoliv odebrání materiálu, a proto se doporučuje používat ochranné sluchové prostředky.

Měření a následné zpracování naměřených hodnot stroje ukázalo, že ačkoliv se jedná o relativně nový druh obráběcího centra, který je zcela zakrytovaný, vytváří se zde i při pouhém roztočení vřetena značný hluk, který může být pro lidský sluch nebezpečný. Proto je velmi důležité zabývat se problematikou měření a hodnocení hluku u obráběcích center i nadále.

## 9. Seznamy

### 9.1 Seznam použitých zdrojů

- [1] Hluk. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Hluk>
- [2] Šíření akustického vlnění. *WikiSkripta* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD\\_akustick%C3%A9ho\\_vln%C4%9Bn%C3%AD&oldid=419915](https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_akustick%C3%A9ho_vln%C4%9Bn%C3%AD&oldid=419915)
- [3] Hluk v pracovním prostředí. *Státní zdravotnický ústav* [online]. 2007 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/hluk-v-pracovnim-prostredi>
- [4] ČSN ISO 230-5. *Zkušební předpisy pro obráběcí stroje - Část 5: Určení emise hluku*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2001.
- [5] Průběh váhové křivky A a C. In: *KRAJSKÁ HYGIENICKÁ STANICE KRÁLOVÉHRADECKÉHO KRAJE SE SÍDLEM V HRADCI KRÁLOVÉ* [online]. Ústí nad Orlicí, 2013 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola\\_15\\_\\_ven\\_hladina\\_akustickho\\_tlaku.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_15__ven_hladina_akustickho_tlaku.html)
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. *Nářízení vlády č. 272/2011 Sb., ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. In: . 2011. Dostupné také z: [https://www.vlada.cz/assets/urad-vlady/poskytovani-informaci/poskytnute-informace-na-zadost/Priloha\\_4\\_narizeni\\_272-2011.pdf](https://www.vlada.cz/assets/urad-vlady/poskytovani-informaci/poskytnute-informace-na-zadost/Priloha_4_narizeni_272-2011.pdf)
- [7] *Zvuková diagnostika*. Brno, 2015. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství.
- [8] *KOVOSMIT MAS: MCU 700V[T]-5X NEXT GENERATION* [online]. Sezimovo Ústí, 2016 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcu-700vt-5x-next-generation-p39.html#technicaldata>
- [9] *Měření indexu hlasitosti*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací.
- [10] Integrating Sound Level Meter — Type 2239 A. In: *Brüel & Kjær | B&K | Sound and Vibration Measurement* [online]. Nærum [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/media/doc/bp1924.pdf>
- [11] B&K TYPE 2250-S SOUND LEVEL METER / ANALYZER | Brüel & Kjær. *Brüel & Kjær | B&K | SOUND AND VIBRATION MEASUREMENT* [online]. Nærum [cit.

2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/products/measuring-instruments/sound-level-meter/2250-series/Type-2250-S>

[12] Class 1 Sound Calibrator | B&K Type 4231 | Brüel & Kjær. In: *Brüel & Kjær / B&K / Sound and Vibration Measurement* [online]. Nærum [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/calibrators/sound-calibrator-4231>

[13] ČSN EN ISO 11202. *Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními - Určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přibližných korekcí na prostředí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[14] *Návod k používání pětiosého vertikálního obráběcího centra MCU 700V-5X*. 2.06.2. Sezimovo Ústí: KOVOSMIT MAS.

[15] SDL600: Sound Level Meter / Datalogger | Extech Instruments. *Instruments, A FLIR Company* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <http://www.extech.com/products/SDL600>

[16] Hlukoměr testo 816-1 | Zvuk | Vnitřní pohoda prostředí | Parametry | Testo, s.r.o. *Testo, s.r.o. | Profesionální měřicí; přístroje a systémy od světového leadera na trhu Testo SE & Co. KGaA* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-816-1/p/0563-8170>

[17] Hlukoměr SL-200 | Voltcraft. *Voltcraft - internetový obchod* [online]. [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: <http://www.voltcraft.cz/hlukomer-sl-200.k100805>

## 9.2 Seznam použitého softwaru

- Microsoft Word 365 ProPlus
- Microsoft Excel 365 ProPlus
- Autodesk Inventor Professional 2019
- Lucidchart

## 9.3 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Blokové schéma zvukoměru [7] .....	20
Obrázek 2 - Průběh váhových filtrů A a C [5] .....	22
Obrázek 3 - Zjednodušený plán dílenské haly .....	33
Obrázek 4 - Multifunkční pětiosé obráběcí centrum MCU 700 VT-5X RAPID [8] .....	34
Obrázek 5 - Umístění zkoušeného stroje ve zkušební místnosti .....	36
Obrázek 6 - Zvukoměr Brüel & Kjær type 2239 A [10] .....	36

Obrázek 7 - Akustický kalibrátor Brüel & Kjær 4231 [12].....	38
Obrázek 8 - Poloha zvukoměru v prvním stanoveném místě obsluhy .....	38
Obrázek 9 - Poloha zvukoměru v prvním stanoveném místě obsluhy .....	39
Obrázek 10 - Poloha zvukoměru ve druhém stanoveném místě obsluhy.....	39
Obrázek 11 - Poloha zvukoměru ve druhém stanoveném místě obsluhy.....	40
Obrázek 12 - CNC program na postupné zvyšování otáček.....	41

## 9.4 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vybrané integrující zvukoměry a jejich základní vlastnosti [10], [11], [15], [16], [17].....	16
Tabulka 2 - Přibližné hodnoty středního činitele pohltivosti $\alpha$ [4] .....	27
Tabulka 3 - Rozpis nejistot pro určení hladiny emisního akustického tlaku [13] .....	31
Tabulka 4 - Vybrané technické parametry MCU 700 VT-5X RAPID [8].....	35
Tabulka 5 - Základní parametry zvukoměru Brüel & Kjær type 2239 A [10] .....	37
Tabulka 6 - Naměřené hodnoty zkoušeného stroje v prvním stanoveném místě obsluhy .....	42
Tabulka 7 - Naměřené hodnoty zkoušeného stroje ve druhém stanoveném místě obsluhy .....	42
Tabulka 8 - Rozpis nejistot pro určení hladiny emisního akustického tlaku v prvním stanoveném místě obsluhy [13].....	46
Tabulka 9 - Rozpis nejistot pro určení hladiny emisního akustického tlaku ve druhém stanoveném místě obsluhy [13].....	47
Tabulka 10 - Vypočtené hodnoty hladin akustického tlaku ve stanovených místech obsluhy.....	47

## 9.5 Seznam příloh

### 9.5.1 Textové přílohy

Příloha 1 – Protokol o zkoušce

Příloha 2 – Vývojový diagram výpočtového programu

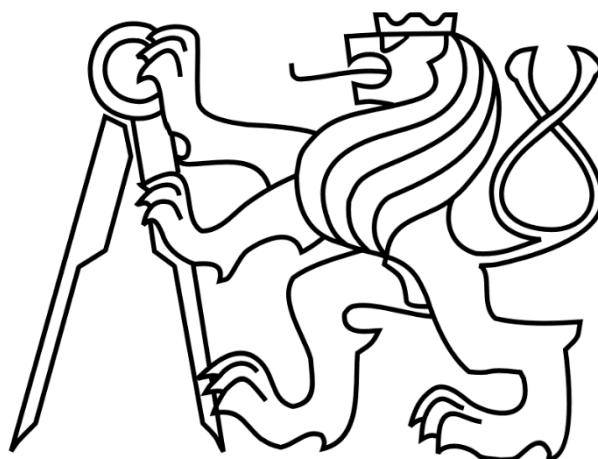
## 9.5.2 Elektronické přílohy

Výpočetní program.xlsx

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



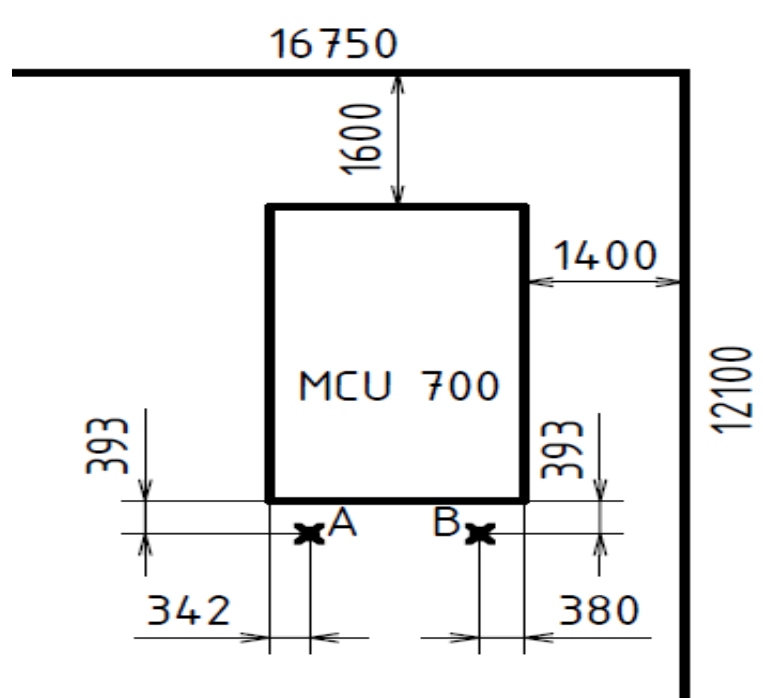
# Bakalářská práce

Určení hladin emisního akustického tlaku v místě obsluhy dle  
ČSN ISO 230-5

# Textové přílohy

**Příloha 1 – Protokol o zkoušce**

<b>Údaje o zkoušce</b>	
Datum měření	2021-02-11
Místo měření	Laboratoře FS ČVUT, ulice Horská 3, Praha 2
Osoba provádějící měření	Jakub Rubeš
Obsluha stroje	Ing. Miroslav Janota, Ph.D.
<b>Zkoušený stroj</b>	
Typ	Multifunkční pětiosé obráběcí centrum MCU 700 VT-5X RAPID
Technická data	Upínací plocha stolu Ø630 mm Maximální zatížení stolu 1300 kg
Rozměry	$l_1 = 4,2$ m
	$l_1 = 2,5$ m
	$l_1 = 3,6$ m
Výrobce	KOVOSVIT MAS
Výrobní číslo stroje	198
Měsíc/rok výroby	9/2019
Hmotnost	18000 kg
<b>Podmínky zkoušky</b>	
Popis pracovních podmínek	Postupné zvyšování otáček vřetena z 4000 $\text{min}^{-1}$ na 24000 $\text{min}^{-1}$
	Konstanta zvyšování otáček vřetena 4000 $\text{min}^{-1}$
	Perioda zvyšování otáček vřetena 5 s
	Celkový čas měření 30 s
	Počet opakování 10
Podmínky připevnění	Stroj uložen na podlaze pomocí sady podložek
Umístění stroje	cca 1,5 m od stěny montážní místnosti
Popis zdroje hluku	Motor vřetena
Akustické prostředí	Uvnitř, žádné fyzické úpravy zdí
<b>Měřicí přístroje</b>	
Výrobce, typ, sériové číslo integrující zvučoměru	Brüel & Kjær, 2239 A, 2382104
Výrobce, typ, sériové číslo 1/2" mikrofónu	Brüel & Kjær, 4188, 2372087
Výrobce, typ sériové číslo akustického kalibrátoru	Brüel & Kjær, 4231, 2376652
Datum, místo a výsledek kalibrace	2019-09-24; ČMI v Praze, číslo kalibračního listu 8012-KL-10466-19; Hladina akustického tlaku: 93.93 dB, měřicí kmitočet: 1000 Hz, činitel zkreslení TD: 0.61 %
Vlastnosti clony proti větru	Žádná nebyla použita

Údaje o hluku - hladina emisního akustického tlaku v místě obsluhy		
	Místo obsluhy 1	Místo obsluhy 2
Hladina akustického tlaku vážené funkcí A, při chodu zkoušeného stroje, $L'_{pA}$	69,1 dB	68,1 dB
Hladina akustického tlaku vážené funkcí A, způsobené hlukem pozadí, $L''_{pA}$	32,9 dB	33,0 dB
Špičková hladina akustického tlaku vážená funkcí C, $L_{pC,peak}$	90,9 dB	91,2 dB
Časově průměrovaná hladina emisního akustického tlaku vážená funkcí A, $L_{pA}$	<b>69,0 ± 2,5 dB</b>	<b>68,0 ± 1,4 dB</b>
Činitel rozšíření k	Pro normální rozdělení měřených hodnot a konfidenční úroveň 95 % se zvolilo k = 2	
$K_{3A}$	$K_{3A} = 0,1$ dB, určeno měřením doby dozvuku	
Polohy mikrofону		
 <p>A - Místo obsluhy 1 B - Místo obsluhy 2</p>		



## Příloha 2 - Vývojový diagram výpočtového programu

