



Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.spolky-csvts.cz/cms

Metodika provozního měření

MPM 8.2.1/04/24

Metodika stanovení akustických polí

Praha

říjen 2024

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2024
Číslo úkolu: VII/3/24

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět metodiky

Tato metodika se zabývá specifikami při měření hluku průmyslových zařízení.

2 Související normy a metrologické předpisy

Číslo normy	Název
ČSN ISO 1996-1	Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení [L1]
ČSN ISO 1996-2	Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 2: Určování hladin akustického tlaku [L2]
ČSN EN ISO 11200	Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Návod pro používání základních norem pro určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech [L3]
ČSN EN ISO 11202	Akustika – Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními – Směrnice pro používání základních norem pro určování hladin emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech s použitím přibližných korekcí na prostředí [L4]
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 [L5]
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 [L6]
ČSN EN ISO 3746	Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Provozní metoda s měřicí obalovou plochou nad odrazivou rovinou [L7]
ČSN EN ISO 2151	Akustika – Zkušební předpis pro hluk vyzařovaný kompresory a vývěvami – Technická metoda (třída přednosti 2) [L8]
ČSN ISO 9613-1	Akustika. Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru – Část 1: Výpočet pohlcování zvuku v atmosféře [L9]
ČSN EN 60268-4	Elektroakustická zařízení – Část 4: Mikrofony [L10]

	(Zrušená)	[L11]
ČSN EN 60942	Elektroakustika – Akustické kalibrátory (zrušená)	[L12]
ČSN EN 61260	Elektroakustika – Oktávové a zlomkooktávové filtry (zrušená)	[L13]
ČSN EN 61672-1	Elektroakustika – Zvukoměry – Část 1: Technické požadavky	[L14]
ČSN EN ISO 3095	Železniční aplikace – Akustika – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly	[L15]
ČSN EN ISO 354	Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti	[L16]
Zákon č. 505/1990 Sb.	Zákon o metrologii v platném znění	[L17]
Vyhláška č. 345/2002 Sb.	Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu v platném znění	[L18]
Nářízení vlády č. 272/2011 Sb.	Nářízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací	[L19]
MZČR – 1. 11.2010	Ministerstvo zdravotnictví – hlavní hygienik ČR Metodický návod pro hodnocení hluku v chráněném venkovním prostoru staveb	[L20]
O. Jiříček a kol.:	Hluk a vibrace	[L21]
Bruel&Kjaer	Měření zvuku, firemní materiály	

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, nebo certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách [L1, L2] a v publikacích o metrologické terminologii. Pro účely tohoto dokumentu platí následující termíny a definice:

4.1 Zvuk

Zvuk je vjem sluchového orgánu, jehož objektivní příčinou je akustické vlnění. Jedná se o mechanické vlnění pružného prostředí v kmitočtovém rozsahu slyšitelném lidskému uchu (u zdravého člověka přibližně 20 Hz – 20 kHz). Rychlost šíření zvuku ve vzduchu je za

běžných klimatických podmínek 340 m/s.

4.2 Hluk

Hluk je každý nežádoucí zvuk, který vyvolává rušivý nebo nepříjemný vjem, případně i poškozuje lidské zdraví.

Norma [L1] člení hodnotící hladiny hluku pro jeden zdroj, kombinované zdroje nebo složené celodenní hodnotící hladiny.

Emise hluku je hodnota hluku produkovaného daným zařízením měřená na stanovištích obsluhy v blízkosti zdroje.

Imise hluku je hodnota hluku na místě pozorovatele v daném prostředí v určité vzdálenosti od zdroje.

4.3 Zvukoměr

Zvukoměr je elektrické zařízení převádějící zvuk na elektrickou veličinu, která je následně zobrazena a je k dispozici k dalšímu zpracování. Převod má podobné vlastnosti jako lidský sluch a umožňuje objektivní a reprodukovatelné měření hladin zvuku.

4.4 Váhový filtr

Lineární charakteristika mikrofону s konstantní citlivostí je upravována váhovými filtry. Pokud je zpracování signálu bez úprav, pracuje v poloze „LIN“. Váhové filtry upravují frekvenční charakteristiku měřicí soustavy (tj. zvukoměru s měřicím mikrofonom a zesilovačem tak, aby výsledná charakteristika odpovídala citlivosti (vjemu) lidského ucha. Nejrozšířenějším je váhový filtr „A“. Filtry „B“ a „C“ lépe vyjadřují subjektivní vjem při vyšších hladinách hluku, které odpovídají křivkám slyšitelnosti 70–100 fonů. Váhový filtr „D“ je používán při měření vysokých hladin v letecké dopravě. Váhový filtr „G“ se používá v případě měření hladiny infrazvuku.

Hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ a maximální hladinou akustického tlaku $A L_{Amax}$. Ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ se v denní době stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin $L_{Aeq,8h}$, v noční době pro nejhlučnější 1 hodinu $L_{Aeq,1h}$.

4.5 Akustická výchylka

Akustická výchylka je vektorová veličina charakterizující okamžitou vzdálenost částice prostředí od její rovnovážné polohy. Značí se písmenem u a je udávána v metrech.

$$u = u_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (4.1)$$

kde

u_0	(m)	amplituda akustické výchylky
φ_0	(rad)	fázový úhel

4.6 Rychlost zvuku

Je to rychlost šíření rozruchu, značí se písmenem c a je udávána v metrech za sekundu

Pro určení okamžité akustické výchylky je nutné stanovit odlehlost y od počátku šíření vlnění a čas Δt , který je nutný k uražení této dráhy rychlostí zvuku.

$$\Delta t = \frac{y}{c} \quad (4.2)$$

kde:

y	(m)	vzdálenost od počátku šíření akustického vlnění
c	(m/s)	rychlost šíření akustické vlny

Pro výchylku kmitajícího bodu lze napsat:

$$u = u_0 \sin \omega \left(t \pm \frac{y}{c} \right) \quad (4.3)$$

Záporné znaménko je ve vzorci uvedeno pro šíření akustické vlny v kladném smyslu, kladné znaménko naopak.

Vlnová délka λ je vzdálenost mezi dvěma body akustické vlny, v nichž je v daném časovém okamžiku stejný akustický stav. Mezi délkou vlny, frekvencí a rychlostí šíření zvuku platí vztah:

$$\lambda f = c \quad (4.4)$$

kde

f	(Hz)	frekvence kmitání
-----	------	-------------------

4.7 Akustická rychlost

Akustická rychlost je rychlost, s jakou kmitají částice prostředí, v němž se šíří akustické vlnění. Označuje se písmenem v a jednotkou jsou metry za sekundu. Výraz pro její výpočet se získá derivací akustické výchylky podle času.

$$v = \frac{du}{dt} = \omega u_0 \cos \left[\omega \left(t \pm \frac{y}{c} \right) \right] \quad (4.5)$$

Součin amplitudy výchylky a kruhové frekvence dává amplitudu akustické rychlosti.

$$v_0 = \omega u_0 \quad (4.6)$$

Akustická rychlost je o mnoho řádů menší než rychlost šíření zvuku.

4.8 Akustický tlak

Akustický tlak je základní akustickou veličinou, jeho jednotkou je pascal. Je to skalární veličina, která má vlnový charakter a je přímo měřitelná. Celkový statický tlak je součet středního barometrického tlaku a tlaku akustického. Hodnota barometrického tlaku je

přibližně 100 kPa, kdežto akustický tlak je mnohonásobně nižší. Hodnoty slyšitelné lidským uchem se pohybují od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (referenční akustický tlak).

Pro harmonický průběh akustického tlaku platí vztah:

$$p = p_0 \cos\left[\omega \left(t \pm \frac{y}{c}\right)\right] \quad (4.7)$$

kde

p_0 (Pa) amplituda akustického tlaku

Pro plyny a kapaliny platí, že změna tlaku je úměrná modulu objemové pružnosti K a podílu změny objemu ku celkovému objemu plynu nebo kapaliny:

$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V} \quad (4.8)$$

kde

Δp (Pa) změna tlaku
 K ($\text{kg}^2 \text{s}^{-2} \text{m}^{-1}$) modul objemové pružnosti
 ΔV (m^3) změna objemu kapaliny nebo plynu
 V (m^3) objem kapaliny nebo plynu

Modul objemové pružnosti závisí na rychlosti šíření vlnění a hustotě prostředí dle vzorce:

$$K = c^2 \rho \quad (4.9)$$

kde

ρ (kg/m^3) hustota prostředí

Pro nekonečně malý element prostředí dy platí:

$$p = -K \frac{du}{dy} \quad (4.10)$$

Derivací akustické výchylky u dle y se získá výraz:

$$\frac{du}{dy} = u_0 \left(-\frac{\omega}{c}\right) \cos\left[\omega \left(t - \frac{y}{c}\right)\right] \quad (4.11)$$

Akustické veličiny jsou obvykle měřeny v hladinách L a jejich jednotkou je decibel (dB). Hladina akustického tlaku se značí L_p a výpočet se provádí logaritmem poměru efektivní hodnoty akustického tlaku k referenčnímu tlaku.

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (4.12)$$

kde

p_0 (Pa) referenční akustický tlak, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa
 p (Pa) sledovaný akustický tlak
 L_p 0 dB práh slyšitelnosti
 L_p 140 dB práh bolesti

4.9 Časové konstanty

Časové konstanty SLOW, FAST a IMPULS upravují charakteristiku výstupního měřidla na zvukoměru tak, aby bylo možné údaj na displeji měřidla dobře přečíst.

4.10 Sledovaný frekvenční rozsah

Frekvenční rozsah zahrnující oktávová pásma se středními frekvencemi (125 až 8000) Hz.

4.11 Ekvivalentní hladina akustického tlaku

V případech, kdy hluk výrazněji kolísá s časem, není možné jednočíslně charakterizovat hlukovou situaci hladinou akustického tlaku A . Proto byla pro hodnocení proměnných akustických signálů zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku A , $L_{Aeq,T}$ (dB). Je to ustálená hladina akustického tlaku A , která má během sledovaného časového úseku T stejné účinky jako proměnlivá hladina akustického tlaku A . Celkový účinek hluku je úměrný celkové emisi akustické energie za sledovaný čas T dle rovnice:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(\tau)}{p_0^2} dt \right] = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_{pA}} dt \right] \quad (4.13)$$

kde

$p_A(\tau)$ (Pa) okamžitý akustický tlak A zvukového signálu

4.12 Měřicí plocha

Měřicí plocha je imaginární plocha v blízkosti měřeného průmyslového zařízení, na níž jsou umístěny měřicí body.

4.13 Zkušební prostředí

Zkušební prostředí mohou být ve vnitřním prostředí nebo venku s jednou nebo více rovinami odražejícími zvuk, na které, nebo blízko kterých je zkoušený zdroj zvuku upevněn.

4.14 Hluk pozadí

Hluk pozadí je každý měřený hluk mimo hluku zkoušeného objektu (měřeného průmyslového zařízení).

4.15 Kritéria hluku pozadí

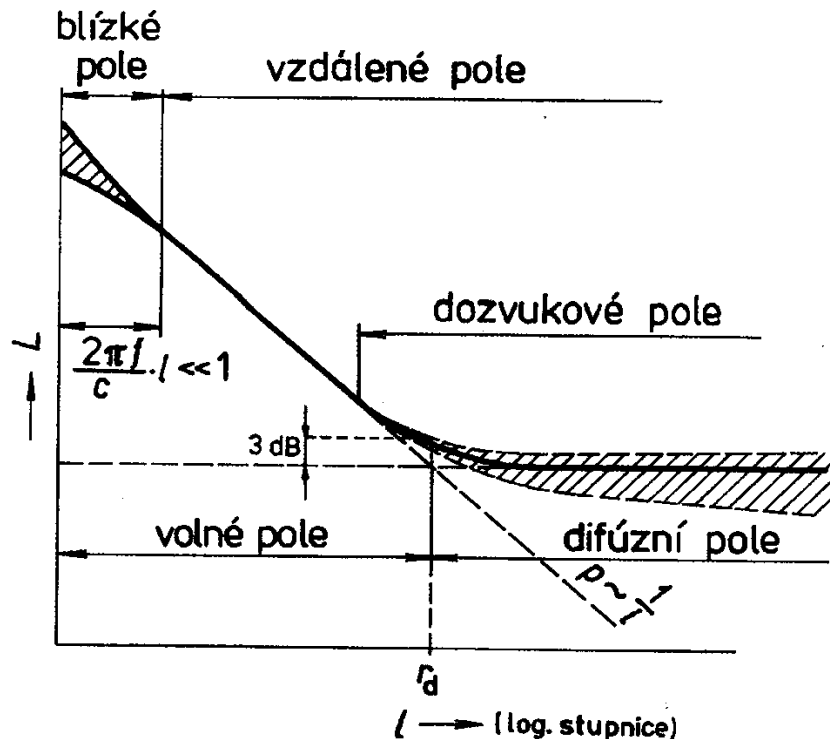
Hladiny akustického tlaku A hluku pozadí, průměrované přes polohy nebo dráhy mikrofonu na měřicí ploše musí být alespoň o 3 dB nižší než hladina střední hodnoty akustického tlaku zkoušeného zdroje hluku v provozu, měřené za přítomnosti tohoto hluku

pozadí.

Výsledná hladina hluku zkoumaného objektu po odečtení hluku pozadí:

$$L_p = L_{pC} + 10 \log[1 - 10^{-0,1(L_{pC}-L_{pN})}] \quad (4.14)$$

4.16 Druhy akustických polí



Obr. č. 1: Druhy akustických polí [L20]

4.16.1 Blízké pole (Fresnellův prostor)

Toto pole se nachází v uzavřeném prostoru, kde se vyskytují rozměrné zdroje zvuku/hluku a vzniká tak interference jednotlivých složek. Tento prostor je až do vzdálenosti

$$2 \pi f l / c < 1, \quad (4.15)$$

Ve větší vzdálenosti lze vytvořit volné pole.

4.16.2 Vzdálené pole

Pokud jsme dostatečně vzdáleni od zdroje zvuku/ hluku, označujeme toto pole jako vzdálené.

4.16.3 Volné pole

Teoreticky je možné podmínky volného zvukového pole splnit jen na vrcholu hory nebo na vrcholu velmi vysokého stožáru ve venkovním prostoru nebo v prostoru bezodrazových a bezdozvukových (tzv. tichých) laboratořích. Ve volném poli se šíří zvuk pouze jedním

směrem od zdroje a např. při dvojnásobné vzdálenosti od bodového zdroje dojde k poklesu hladiny akustického tlaku o 6 dB.

4.16.4 Difúzní pole

I v uzavřených prostorech se uplatňují odražené vlny, ale difúzní pole nastává teprve, když jsme dostatečně vzdáleni od zdroje zvuku/ hluku a v tomto prostoru se nachází nejen signály ze zdroje, ale i signály odražené. Hustota akustická energie odražených vln je v tomto případě srovnatelná, popř. větší než hustota energie signálu ze zdroje.

4.16.5 Dozvukové pole

Tj. takové pole, kde se v uzavřeném prostoru uplatňují odražené signály ve slyšitelné oblasti.

Dozvukové pole lze nalézt v každém, i jen částečně uzavřeném prostoru. V tomto poli lze sice určit směr šíření akustické energie i vyznačit jednotlivé postupující vlnoplochy, ale daný prostor není jednoznačně ohraničen. Toto pole zahrnuje oblast širší než je pole difúzní.

V tomto poli se někdy definuje tzv. dozvuková vzdálenost (poloměr doznívání):

$$R_d = 0,14 \cdot A = 0,057 \cdot V/T, \quad (4.16)$$

kde A pohltivost prostoru (m^2)
V objem prostoru (m^3)
T doba dozvuku (s)

Někdy je potřeba v takovém poli provádět měření, což provádí k tomuto účelu zbudovaných dozvukových laboratořích.

4.16.6 Bezodrazová, bezdozvuková (tichá) laboratoř

Tyto prostory mají stěny obloženy jehlaný z vysoko pohltivých materiálů. Výška jehlanů a velikost místnosti má vliv na frekvence signálu, které lze takto zatlumit.

Delší pobyt v těchto místnostech je nepříjemný.

4.16.7 Dozvuková laboratoř

Dozvuková místnost je určena k měření činitele zvukové pohltivosti akustických materiálů (konstrukcí) používaných pro úpravu stěn a stropů nebo ekvivalentní pohltivé plochy objektů, nábytku, různých akustických těles nebo osob. Zvukové pole vybuzené v dozvukové místnosti se musí blížit difúznímu poli. Aby se tak stalo, musí dozvuková místnost kromě téměř dokonalé zvukové odrazivosti hraničních ploch místnosti (tvrdý a hladký povrch) vykazovat i další vlastnosti, které jsou zde prověřovány z hlediska doporučení normy [L20].

Požadavek optimálního tvaru dozvukové místnosti vyjádřený vztahem

$$L_{\max} < 1,9 V^{1/3}, \quad (4.17)$$

kde

L_{\max} je nejdelší vzdálenost dvou bodů na hranici místnosti, v našem případě tedy

V delší z tělesových úhlopříček,
objem dozvukové místnosti v m^3

Příklad:

Požadavek je splněn, neboť po dosazení příslušných údajů (délky hran místnosti),

$$L_{\max} = \sqrt{6,8^2 + 5,3^2 + 6,1^2} = 10,56 \text{ m}$$

je menší než

$$L_{\max} 1,9 \times 214,9^{1/3} = 11,38 \text{ m.}$$

Poměry stran dozvukové místnosti

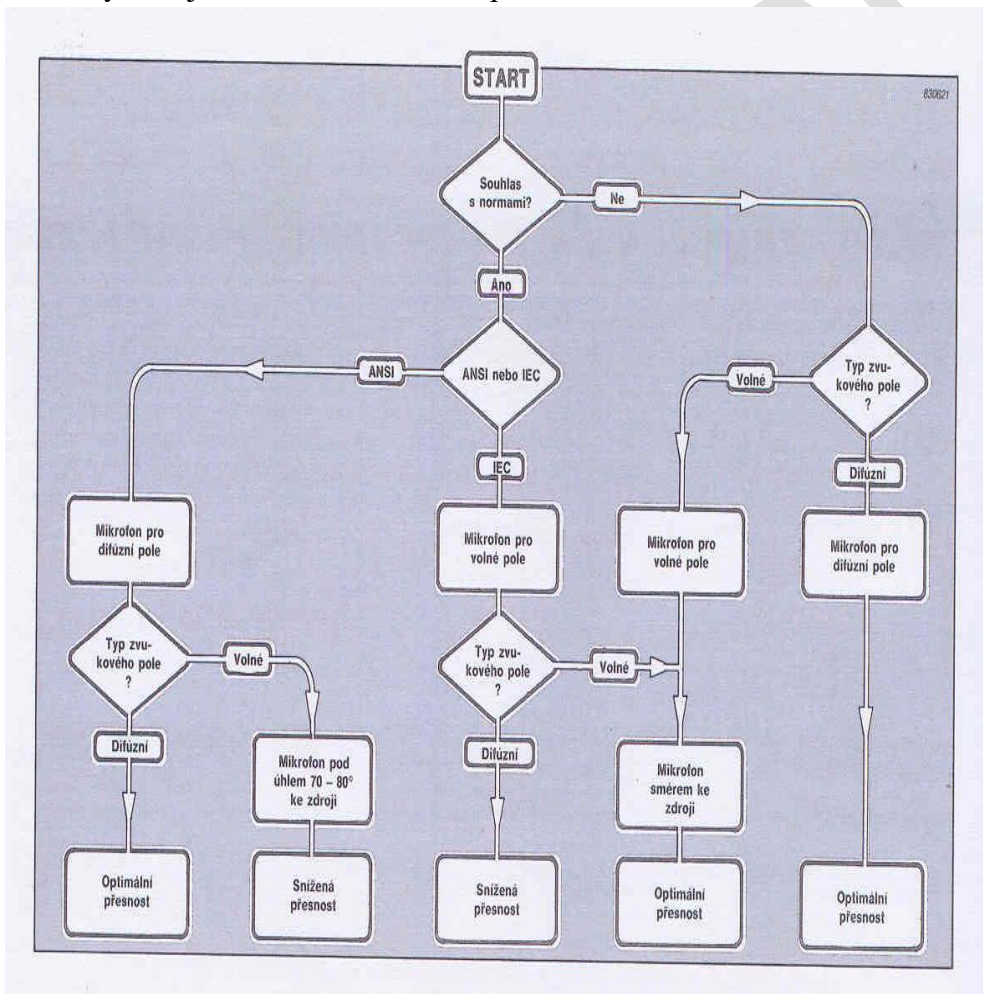
$$6,8 : 5,3 = 1,283,$$

$$6,8 : 6,1 = 1,115,$$

$$5,3 : 6,1 = 0,869$$

se nerovnají malým celým číslům, čímž je splněn další požadavek, zajišťující rovnoměrné spektrální rozložení vlastních kmitů.

Rovnoměrnost rozložení vlastních kmitů je důležitá zejména v pásmech s nízkými kmitočty, kde je hustota těchto kmitů poměrně malá.



Obr. č. 2: Postup pro správné měření jednotlivých polí [L21]

4.16.8 Běžné místnosti

Tyto místnosti se nachází z akustického hlediska mezi předchozími laboratořemi. V takových místnostech je někdy obtížné určit měřicí místo, pokud je nutné měřit hluk vyzařovaný určitým zdrojem. Při měření hluku vyzařovaného více zdroji je třeba dbát na vyloučení nebo alespoň omezení možných metodických chyb. Hladiny hluku měřené ve velmi malé vzdálenosti od zdroje/zdrojů se mohou výrazně lišit i jen při změně polohy (nasměrování) mikrofonu vůči zdroji.

Naopak, pokud se měří hluk spojený s hodnocením pracovního prostředí, tj. s ochranou zdraví, nebývá toto měření obtížné.

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

5.1 Hlavní měřidla

Jedinou přímo měřitelnou akustickou veličinou je tlak. Zařízení pro měření akustického tlaku se nazývá zvukoměr. Mikrofon, který je součástí zvukoměru, snímá hodnotu akustického tlaku a převádí ji na elektrickou veličinu. Nejrozšířenějším typem jsou kapacitní mikrofony, a to především pro jejich vysokou citlivost a konstrukční jednoduchost. Výběr mikrofonu závisí na frekvenčním rozsahu, citlivosti (mV/Pa) a typu zvukového pole (odrazivé/volné). Dalšími částmi zvukoměru jsou předzesilovač, detektor přetížení, váhové filtry, zesilovač, detektor efektivní hodnoty, paměťové a indikační zařízení. Součástí většiny současných zvukoměru je i výstup na PC. Součástí příslušenství zvukoměru bývá i software pro zobrazení a vyhodnocení výsledků, příruční tiskárna apod.

5.2 Pomocná měřidla a pomůcky

Pomocná měřidla umožňují provádět interní kontrolu zvukoměru mezi lhůtami ověřování. Pro interní kontrolu se používá v praxi akustický kalibrátor nebo pistonfon.

Zvukoměr včetně mikrofonu je doplněn kabely a krytem proti větru, pokud se používá během měření.

Stativy se používají pro nastavení polohy a orientace zvukoměru v kontrolním bodě.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Měření hluku průmyslového zařízení může být prováděno jak ve vnějším prostředí, tak uvnitř budov. Výsledek měření je vždy ovlivněn třídou přesnosti zvukoměru, kterým provedeme měření.

Ve vnějším prostředí může být výsledek ovlivněn i meteorologickými podmínkami (rychlost a směr větru, teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, výskyt srážek, celková stabilita atmosféry, oblačná pokrývka, denní nebo noční doba).

Provádíme-li měření ve vnitřním prostoru, je toto měření ovlivněno kromě přesnosti

zvukoměru jen vlastnostmi prostření a nejistotu související s nestabilitou provozních a montážních podmínek pro konkrétní zkoušené průmyslové zařízení.

7 Metrologické meze využití metody měření

Celý měřicí systém přístroje obsahuje zvukoměr včetně mikrofону, kabelů a krytu proti větru, pokud se používá během měření. Tento systém musí splňovat požadavky normy IEC 61672-1:2002 na přístroje třídy 2. Požadavek na přístroje třídy 2 je akceptovatelný pro ustálené hluky, ale je vhodnější používat přístroje třídy 1.

Hladina hluku je technická veličina, která se v praxi používá pro vyjádření kvantitativních požadavků na hluk a její jednotkou je decibel (dB).

Způsob, jak je zkoušené zařízení instalováno a provozováno, může mít velký vliv na hladinu emisního akustického tlaku na stanovišti obsluhy. Musí být zajištěny stejné montážní (instalace) a provozní podmínky, aby byla zajištěna minimalizace rozdílů při určování hladin emisního hluku.

U zdrojů, kde je hladina hluku závislá na okolní teplotě, musí být okolní teplota ve zkušebním prostředí v bezprostřední blízkosti zkoušeného zařízení o hodnotě (23 ± 2) °C.

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Zvukoměr spolu s mikrofonom jsou stanovenými měřidly (viz §3 zákona 505/1990 Sb. O metrologii v platném znění a vyhláška č. 345/2002 v platném znění) – doba ověření jsou 2 roky a provádí je autorizované metrologické středisko nebo ČMI [L15, L16].

Pokud ve výjimečných případech nepoužíváme zvukoměr jako stanovené měřidlo, pak jej stačí kalibrovat jednou ročně, obdobně jako akustické kalibrátory.

Před použitím zvukoměru se doporučuje vždy provést interní kontrolu jeho provozního nastavení akustickým kalibrátorem nebo pistonfonem, a to jak před vlastním provozním měřením, tak po jeho dokončení.

8.1 Shromáždění informací o měřeném prostoru

Zdroj hluku (průmyslové zařízení) musí být umístěn v prostředí, které vyhovuje podmínkám uvedeným v [L3, L4, L5, L6, L7 nebo L8]. Musí být omezeny takové podmínky, které mají nepříznivý vliv na mikrofony použité při měření (např. ovlivnění vypouštěným vzduchem ze zkoušeného zdroje hluku, vítr, vysoké/nízké teploty, silná elektrická nebo magnetická pole). Akustická energie vyzařovaná zdrojem může být ovlivněna jeho zatížením, provozní rychlostí nebo podmínkami, za kterých je zdroj provozován. Pokud neexistuje pro zkoušené zařízení samostatný předpis pro měření jeho hluku, pak je nutné volit některý z uvedených režimů:

- Zařízení bez zatížení (chod naprázdno),
- Zařízení se stanoveným zatížením (jmenovité podmínky provozu, charakteristické pracovní cykly za stanovených podmínek apod.),

- Zařízení s maximálním zatížením (plné zatížení, max. rychlost apod.),
- Zařízení pracující podle specifických podmínek.

Vybavení dozvukové místnosti smí být jen takové, aby ekvivalentní pohltivá plocha této místnosti bez vloženého vzorku nepřekročila hodnoty uvedené v tabulce 1. Aby se tak nestalo, musí být stěny, strop a podlaha tvrdé, hladké, co nejméně drsné, tudíž spíš lesklé, což lze dosáhnout nalakováním hladkého povrchu kvalitní nátěrovou hmotou, emailovou barvou apod. Pro zvětšení doby dozvuku lze do prostoru umístit difúzory.

Tabulka 1: Maximální ekvivalentní pohltivé plochy v dozvukové místnosti bez vzorku

Kmitočet, Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Ekvivalentní pohltivá plocha, m ²	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Kmitočet, Hz	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Ekvivalentní pohltivá plocha, m ²	6,8	7,3	7,9	8,4	10,0	11,0	12,6	13,6	14,7

Ekvivalentní pohltivá plocha

Plocha pravoúhlého zkušební vzorku musí být 10 m² až 12,6 m². Vzhledem k nejčastějším rozměrům akustických pohltivých panelů 600 mm x 1200 mm je účelné respektovat uvedené rozmezí plochami 3 x 3,6 = 10,8 m² až 3 x 4,2 = 12,6 m². Požadavek, aby zkušební vzorek měl poměr šířky k délce mezi 0,7 a 1, je při této volbě proporcí vzorku splněn. Pro vzorky s malými činiteli zvukové pohltivosti bude samozřejmě používána největší z uvedených ploch.

8.2 Definování kontrolních bodů a polohy pozorovatele

Pro určení hladin emisního akustického tlaku stanovíme kontrolní body a polohu pozorovatele podle podmínek, které jsou uvedeny v [L3, L4, L5, L6, L7 nebo L8].

Na základě informací o měřeném prostoru se stanoví poloha kontrolních bodů:

- orientace srovnávací roviny,
- výška srovnávací roviny,
- kontrolní body se rozmísťují obvykle pravidelně na celé srovnávací rovině. Pravidla pro stanovení kontrolních poloh jsou uvedena v technické normě.

Zkoušené zařízení se musí instalovat s ohledem na odrazovou rovinu v jedné nebo více polohách, které odpovídají obvyklému používání.

Pokud zkoušené zařízení není upevněno na/u stěny, musí být vzdáleno od všech odrazivých předmětů i stěn nebo stropu. Podrobné informace lze získat v [L3, L4, L5, L6, L7, L8].

8.3 Příprava měřené soustavy

Podle charakteru zařízení (nestacionární hluk) se měření hladiny hluku provádí ve vhodných časových intervalech. Vzdálenost mezi stanovištěm obsluhy a nejbližším významným zdrojem zkoušeného zařízení je označena „d“.

Pro určování hladin emisního akustického tlaku jsou dána vhodná místa, a to:

- Stanoviště obsluhy, které je v blízkosti zkoušeného zařízení,
- Stanoviště obsluhy uvnitř kabiny, která je pevnou součástí zařízení,
- Stanoviště obsluhy, zajištěné úplným nebo částečným krytem,
- Stanoviště dalších osob, které nemají zodpovědnost za provoz zkoušeného zařízení,
- Další stanovená místa, která nemusí být místem obsluhy nebo dalších přítomných osob.

Stanoviště obsluhy mohou být i na dráze, po které se obsluha pohybuje. [L4]

Rozmístění měřicích mikrofونů se provede buď na polokulové ploše nebo (a to častěji) na měřicí ploše ve tvaru kvádrů/krychle. [L6]

Podle toho, kolik je odrazivých rovin, se nastaví poloha mikrofونů, upevněných na jedné odrazivé rovině:

- Každá z částí celkové měřicí plochy je považována za samostatnou a je rozdělena tak, aby měla stejnou velikost o maximální délce strany $= 3 d$, kde d = vzdálenost mezi stanovištěm obsluhy a nejbližším významným zdrojem zkoušeného zařízení. Hlavní polohy mikrofونů jsou umístěny uprostřed jednotlivých dílčích částí.
- Pokud je to požadováno, jsou určeny i doplňkové polohy mikrofونů, viz str. 45 [L6].

8.4 Příprava měřicího přístroje

Měření se provádí stanoveným měřidlem – zvukoměrem s mikrofونem, které mají platné ověření. Pokud není nutné použít měřidlo stanovené, pak k měření používáme měřidlo kalibrované (jednou ročně).

Před měřením provádíme vizuální kontrolu zvukoměru, mikrofону a spojovacích kabelů a provedeme také interní kontrolu nastavení přístroje akustickým kalibrátorem nebo pistonfونem. Na zvukoměru se nastaví typ váhového filtru a časová konstanta pro úpravu měřeného signálu.

Před a po každé sérii měření musí být mikrofون interně kontrolován akustickým kalibrátorem nebo pistonfونem splňujícím třídu 1, aby se ověřilo nastavení celého měřicího systému na jedné nebo více frekvencích sledovaného frekvenčního rozsahu. Bez dalšího nastavování musí být rozdíl mezi odečtenými hodnotami před a po každé sérii měření menší nanejvýš roven 0,5 dB. Kdyby byl rozdíl větší, musí se výsledky této série měření vyřadit.

9 Postup měření

Měření a hodnocení hluku průmyslového zařízení lze členit podle legislativy na:

- Hladina hluku v bezodrazové laboratoři,
- Hladina hluku v dozvukové laboratoři,
- Hladina hluku ve vnitřním prostoru, běžné místnosti
- Hladina hluku ve volném prostředí.

Podle toho, který hluk měříme, postupujeme dále podle legislativy. Proveďte se přesný a reprodukovatelný postup měření, který se následně uvede do Záznamu o měření (viz odst. 11). Před vlastním měřením se provede výběr časového intervalu měření.

Emise hluku průmyslových závodů se dělí podle provozních podmínek. Musí být rozdělené do jednotlivých tříd, kde je kolísání emise zvuku rozumně stacionární, viz [L2]. Takové měření je ovlivněno i meteorologickými podmínkami životního prostředí.

V ostatních případech měříme hluk průmyslového zařízení. Toto měření může být ovlivněno hlukem pozadí, který je nutné pro výsledek měření vyloučit.

9.1 Doplnkové měření

9.1.1 Měření teploty

Doporučuje se provést měření teploty na začátku a konci měření.

9.1.2 Měření rychlosti a směru větru

Rychlost větru se ve vnitřních prostorech neměří

9.1.3 Kontrola napájecího zdroje hlukoměru

Před měřením musí být napájecí zdroj (baterie) hlukoměru ve stavu, který je požadován pro správné měření přístroje.

9.1.4 Hluk pozadí

Hlukem pozadí se označuje každý hluk mimo hluku vyzařovaného zkoumaným objektem. Při zkoušení turbogenerátorů je hlukem pozadí například hluk pohonného motoru, hluk způsobený jinými výrobními činnostmi v blízkosti měřeného stroje a podobně. V ideálním případě se hluk pozadí sníží tak, aby rozdíl celkové hladiny akustického tlaku a hladiny hluku pozadí byl větší než 15 dB. Pak je možné hluk pozadí zanedbat, neboť změřená hladina akustického tlaku nebude hlukem pozadí ovlivněna. Jednou z možností snížení hladiny akustického tlaku je například zakrytí pohonného motoru protihlukovými panely.

Sčítání dvou a více akustických tlaků je možné pomocí vzorce:

$$L_p = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{p_0^2} \quad (9.1)$$

Výsledná hladina akustického tlaku je rovna:

$$L_p = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pi}} \quad (9.2)$$

kde

n	(-)	počet měření
L_{pi}	(dB)	hladina akustického tlaku pro i -té měření

Pokud označíme hladinu hluku pozadí L_{pN} a hladinu hluku vyvolanou měřeným objektem L_p , bude celková hladina akustického tlaku L_{pC} rovna:

$$L_{pC} = 10 \log(10^{0,1L_p} + 10^{0,1L_{pN}}) \quad (9.3)$$

Výsledná hladina zkoumaného objektu po odečtení hluku pozadí:

$$L_p = L_{pC} + 10 \log[1 - 10^{-0,1(L_{pC} - L_{pN})}] \quad (9.4)$$

9.1.5 Výpočet průměrné hladiny akustického tlaku na měřicí ploše

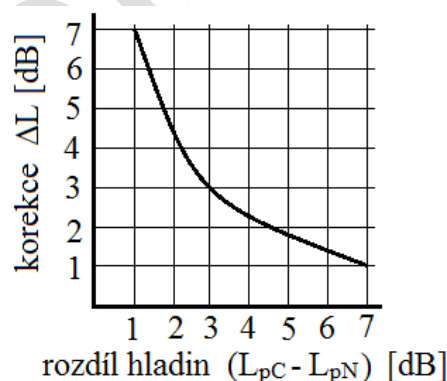
Měřicí plocha je část roviny obklopující stroj ve vzdálenosti 1 metr od jeho povrchu, na níž jsou umístěny měřicí body. Průměrná hladina akustického tlaku na měřicí ploše se vypočítá dle vzorce:

$$\bar{L}_p = 10 \log\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pi}}\right] \quad (9.5)$$

kde:

n	(-)	počet poloh mikrofonu
L_{pi}	(dB)	hladina akustického tlaku v i -té poloze mikrofonu

Korekci na hluk pozadí ΔL lze odečíst z Obr. 3.



Obr. č. 3: Korekce na hluk pozadí

Podrobnější informace o korekcích na hluk pozadí je uvedena např. v [L4, L5].

9.2 Hlavní měření

- Měření imisí hluku se provádí na kontrolních místech, která jsou uvedena na situačním výkresu.
- Zvukoměr se umístí do předepsané polohy.

- Pokud se měření zdroje hluku provádí v chráněném venkovním prostoru staveb, měří se výsledné hladiny hluku při umístění mikrofону ve vzdálenosti 0,5 až 2 m před odrazivým povrchem (viz ČSN příloha B.3, až B.8).
- V předepsané poloze se měřicí systém umístí do předepsané výšky.
- Před měřením je třeba eliminovat všechny parazitní zdroje hluku, které přispívají k emisi hluku v daném místě měření, nebo pokud to není možné, změřit jejich hladiny hluku a uvést je do protokolu jako hluk pozadí.
- Je vhodné o umístění a orientaci měřicího systému pořídít fotodokumentaci.

Měření hladin hluku průmyslových zařízení/zdrojů se provádí většinou ve vnitřním prostoru. Měřicí plochy se definují podle norem [L3, L4, L5, L6, L7 nebo L8]. Na ploše se v čelní části rozvrhne vhodný počet měřicích bodů, podobně se stanoví měřicí body i na bocích měřeného průmyslového zařízení.

Pokud se sleduje změna konstrukčních úprav, provádí se měření ve všech bodech. Nejprve se změří emise hluku na stroji bez jakýchkoliv konstrukčních zásahů a následně po jejich provedení.

Měření akustického tlaku v uzavřeném prostoru

V technické akustice je pole označováno prostředím, ve kterém se nachází zkoušený objekt a v němž se šíří akustické vlnění. Volným polem je nazýváno prostředí, ve kterém se vyskytuje pouze jedna odrazivá rovina a na té je umístěn měřený stroj. V praxi se však často setkáváme s případy, kdy je měřený stroj umístěn v uzavřeném prostoru. Začne-li zdroj zvuku vyzařovat akustickou energii, bude se energie šířit všemi směry, dokud nenarazí na překážku, ve většině případů stěnu místnosti. Část energie se pak odrazí nazpět do prostoru místnosti. Vznikají tím odražené vlny, jejichž dráhy se navzájem kříží a překrývají. Stanovení korekcí pro odrazivé prostory je popsáno v mezinárodních normách.

9.3 Vyhodnocení měření

Měření se vyhodnocuje obvykle některým z validovaných software.

Stanovení korekcí se provádí podle příloh v [L1, L4, L5], z nichž nejpoužívanější jsou dále uvedené.

Korekce pro hodnotící hladiny zdrojů zvuku jsou uvedeny v přílohách:

Příloha A [L1], viz Tabulka A.1 – Typické korekce hladiny podle kategorií zdroje zvuku a denní doby.

Příloha B [L1] řeší výpočty pro vysokoenergetické impulzní zvuky.

Příloha C [L1] podrobněji informuje o zvuku s významným nízkofrekvenčním obsahem.

V příloze D [L1] jsou uvedeny vztahy pro odhad procenta vysoce obtěžované populace a predikčního intervalu 95 %, jako funkce korigovaných hladin zvuku pro den-večer-noc a hladin zvuku pro den-noc.

V příloze E [L1] je uveden odhad výskytu vysoce obtěžované populace jako funkce korigovaných hladin zvuku pro den-večer-noc nebo den-noc s použitím veličiny hladiny společenské tolerance.

10 Stanovení nejistoty měření

10.1 Metodika stanovení nejistot měření

Nejistota měření hladiny akustického tlaku $u(L_p)$ v decibelech je rovna celkové směrodatné odchylce σ_{tot} .

Směrodatná odchylka se spočte dle vzorce:

$$u(L_p) = \sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{omc}^2}$$

kde:

σ_{R0}	(dB)	směrodatná odchylka, která kvalifikuje různé vyzářovací charakteristiky zkoušeného stroje, různé přístrojové vybavení
σ_{omc}	(dB)	směrodatná odchylka, která kvalifikuje nejistotu související s nestabilitou provozních a montážních podmínek pro konkrétní měřené zařízení

Rozšířená nejistota závisí na pořadovém stupni confidence. Pokud je konfidenční interval 95 % a předpokládáme pravděpodobnostní rozdělení normální, je činitel rozšíření $k = 2$. Pokud se ale změřená hladina emisního akustického tlaku srovnává s nějakou limitní hodnotou, je vhodnější použít činitel rozšíření $k = 1,6$; který odpovídá jednostrannému normálnímu rozdělení.

10.2 Příklad

1. Odhad směrodatné odchylky podle třídy zvukoměru:

- | | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------------|
| a) Standardní nejistota u | zvukoměru třídy 1 | $\sigma_{RD} = 0,5$ dB |
| b) Standardní nejistota u | zvukoměru třídy 2 | $\sigma_{MP} = 1,5$ dB |

(viz Tab. 1 – Příklad rozpočtu nejistoty pro měřenou hodnotu [L2])

2. Odhad standardní nejistoty související s nestabilitou provozních a montážních podmínek pro konkrétní měřené zařízení $\sigma_{omc} = 1,5$ dB

3. Celková standardní nejistota měření:

- | | |
|---|----------------------|
| a) $u(L_p) = \sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{RD}^2 + \sigma_{omc}^2} = 1,58$ | zaokrouhloeno 1,6 dB |
| b) $u(L_p) = \sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{MP}^2 + \sigma_{omc}^2} = 2,12$ | zaokrouhloeno 2,2 dB |

4. Rozšířená nejistota měření

– normální pravděpodobnostní rozdělení:

- | | |
|--------------------------|----|
| a) $U = 2 u_{tot} = 3,2$ | dB |
| b) $U = 2 u_{tot} = 4,4$ | dB |

– jednostranné normální pravděpodobnostní rozdělení:

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| a) $U = 1,6 u_{tot} = 2,56$ | zaokrouhloeno 2,6 dB |
| b) $U = 1,6 u_{tot} = 3,52$ | zaokrouhloeno 3,6 dB |

11 Záznamy o měření

Protokol o provozním měření dopravního hluku má obsahovat následující informace potřebné pro kontrolu a možnost reprodukce měření:

- označení umístění a rozměry měřeného prostoru,
- typ, technická data výrobce, výrobní číslo měřeného zařízení, rok výroby,
- datum a čas měření,
- účel, druh a stupeň přesnosti měření,
- informace o použitých měřicích přístrojích (list ověření),
- charakteristika umístění zdroje hluku (rozměry, účel apod.),
- podmínky a postup měření,
- časový interval (referenční, dlouhodobý),
- výkresy se zakreslením kontrolních bodů a poloh pozorovatele,
- výsledky měření v podobě tabulky nebo zápisu do výkresu, použité korekce,
- vyhodnocení měření, porovnání výsledků s požadavky,
- seznam osob účastnících se měření,
- objednatel,
- podpis odpovědného pracovníka.

Protokol o provozním měření hluku má mít jedinečné kódové označení pro jeho jednoznačnou identifikaci. Jednotlivé strany protokolu mají být očíslovány.

Příklad struktury protokolu o provozním měření, viz níže.

A. Identifikační údaje

- A1 Název projektu;
- A2 Druh měření (měřené veličiny, typ měření);
- A3 Objednatel;
- A4 Zpracovatel;
- A5 Osoby provádějící měření;
- A6 Datum a čas měření.

B. Podklady

- B1 Seznam vstupních podkladů (projektová dokumentace, fotodokumentace);
- B2 Seznam použitých technických norem a právních předpisů.

C. Prostředí, okolí

- C1 Popis posuzovaného místa včetně topologie, geometrie;
- C2 Typ průmyslového zařízení (typ, označení, účel);
- C3 Stínící překážky hluku.

D. Měřená soustava

- D1 Popis zdroje hluku nebo zdrojů zahrnutých do referenčních časových intervalů;
- D2 Popis provozních podmínek zdroje/zdrojů zvuku.

E. Parametry prostředí

- E1 Popis meteorologických podmínek během měření, pokud se měření provádí vně objektu;
- E2 Teplota prostředí.

F. Měřicí přístroje

- F1 Hlavní měřicí přístroje (zvučkoměr a mikrofon s dešťovou krytkou a protivětrnou ochranou), typ, výrobce, číslo, ověření;
- F2 Pomocné měřicí přístroje (anemometr, teploměr).

G. Měření

- G1 Stav měřené soustavy;
- G2 Typ měření, časové intervaly měření (referenční, dlouhodobý);
- G3 Měřená pole (umístění a výška), hodnotící hladina a její složky;
- G4 Kontrolní body měření;
- G5 Naměřené (popř. korigované) hodnoty (tabulka);
- G6 Korekční činitele a nejistoty měření;
- G7 Stanovení požadovaných korigovaných hodnot s vyjádřením rozšířené nejistoty.

H. Vyhodnocení měření

- H1 Odstraní se všechna data, která obsahují nežádoucí události;
- H2 Proveďte se úprava neúplných nebo poškozených dat;
- H3 Stanoví se standardní nejistota jako kombinovaná nejistota hladiny hluku zdroje a nejistota související s nestabilitou provozních a montážních podmínek pro konkrétní měření;
- H4 Porovnání výsledků s požadavky legislativy;
- H5 Zhodnocení měření (zda hladina hluku vyhovuje/nevyhovuje);
- H6 Podpis zodpovědné osoby.

Přílohy

- P1 Výkres situace s rozmístěním zdrojů hluku;
- P2 Naměřené hodnoty hladin hluku v kontrolních bodech;
- P3 Listy ověření stanovených měřidel (zvučkoměrů a mikrofonů);
- P4 Odborná způsobilost osoby zodpovědné za měření.

12 Péče o metodický postup

Originál metodického postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele nebo metrolog organizace.

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.