



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

AUTOMATIZACE MĚŘENÍ HLUKŮ SE ZVUKOMĚREM XL2

AUTOMATION OF NOISE MEASUREMENTS USING XL2 SOUND LEVEL METER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Švihálek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Audio inženýrství**

Ústav telekomunikací

Student: Filip Švihálek

ID: 164955

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Automatizace měření hluků se zvukoměrem XL2

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte sešit aplikace Excel, který ze změřených hodnot veličin používaných při měření hluku vypočítá průměrné hodnoty, korekci hluku pozadí a nejistoty měření typu A a B a to pro širokopásmovou a třetino-oktávovou analýzu. Nejistoty měření budou zahrnovat nejistotu metody, opakovatelnosti měření a nejistoty způsobené měřením vzdálenosti, korekcí hluku pozadí a atmosférickými podmínkami. Vypočítá rozšířenou nejistotu měření a výsledky znázorní graficky. Měřené hodnoty budou získány z textového výstupu zvukoměru XL2 a přímým měřením pomocí modulu Remote Measurement zvukoměru. Údaje pro výpočet nejistoty měření způsobené atmosférickými podmínkami z formátovaného textového výstupu měřiče teploty a vlhkosti. U výsledků třetino-oktávové analýzy bude možné provést korekci pro váhový filtr A a C.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] SCHIMMEL, J. Elektroakustika. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2013. 167 s. ISBN 978-80-214-4716-5.
- [2] ISO 3744: Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. International Organization for Standardization, 2010.
- [3] CEI IEC 61672-1: Electroacoustics – Sound Level Meters – Part 1: Specifications. International Electrotechnical Commission, 2002.

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 1.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá měřením hluku, charakterizuje používané veličiny a nejistoty způsobené měřením těchto veličin. Cílem je vytvoření aplikace, která zautomatizuje měření hlukoměrem XL2. Automatizace bude využívat textový výstup XL2 a modul Remote Measurement. Aplikace je vytvořena ve vývojovém prostředí Visual Basic for Application.

Klíčová slova: Měření hluku, časové a frekvenční váhování, zvukoměr, nejistoty, Visual Basic for Application.

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on noise measurement, characterizes used quantities and uncertainties due to the measurement of these quantities. The goal is to develop application, which will automate measurement with sound level meter XL2. Automation will use text output of the XL2 and modul for Remote Measurement. Application is developed in development environment Visual Basic for Applications.

Keywords: Noise measurement, time and frequency weighting, sound level meter, uncertainties, Visual Basic for Applications

ŠVIHÁLEK, F. *Automatizace měření hluků se zvukoměrem XL2*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Schimmel, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Automatizace měření hluků se zvukoměrem XL2“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doktoru Jiřímu Schimmelovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne

.....
podpis autora

Výzkum popsany v této bakalářské práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	3
1 Zvuk	4
1.1 Šíření zvuku	4
2 Hluk	4
2.1 Hlasitost zvuku	5
2.2 Typy hluku	7
2.3 Typy zvukových polí	7
2.4 Měřené veličiny a jejich jednotka	7
2.4.1 Decibel	8
2.4.2 Akustický tlak	8
2.4.3 Hladina akustického tlaku	8
2.4.4 Hladina akustického tlaku v kmitočtových pásmech	10
2.4.5 Ekvivalentní hladina akustického tlaku	10
2.4.6 Hluková expozice	11
2.5 Váhové filtry	11
2.5.1 Frekvenční váhování	11
2.5.2 Časové váhování	12
2.6 Zvukoměr	13
2.6.1 Mikrofon zvukoměru	14
2.6.2 Dynamický rozsah zvukoměru	14
2.6.3 Kvalitativní třídy zvukoměrů	14
2.7 Nejistoty měření	15
2.7.1 Standardní nejistota typu A	16
2.7.2 Standardní nejistoty typu B	16
2.7.3 Výsledné nejistoty	18
2.8 Analyzátor XL2	18
2.9 Textový výstup analyzátoru XL2	19
3 Aplikace VBA	19

3.1	Visual Basic for Applications	19
3.2	Komunikace se zvukoměrem XL2	19
3.2.1	Příkazová struktura	20
3.2.2	Hlavní příkazy.....	20
3.2.3	Automatická detekce portu COM.....	21
3.3	Analýza dat z textových souborů.....	21
3.3.1	List „ReportRTA“	21
3.3.2	List „ReportRTABG“	22
3.3.3	List „MěřičTeploty“	22
3.3.4	List „Parametry“	23
3.3.5	List „Nejistoty“	23
3.3.6	List „LogEKV“	24
3.3.7	List „Filtr A,C“	25
3.3.8	List „Grafy“	25
3.4	Analýza dat z přímého měření	26
3.4.1	List „EKV“	26
3.4.2	List „RTA“	27
3.4.3	List „BackG“.....	28
3.4.4	List „X12 RTA“.....	28
3.	Závěr	29
	Literatura	30
	A SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	31
	B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD	32

ÚVOD

Cílem práce je vytvořit sešit aplikace Excel, který zautomatizuje měření zvukoměrem XL2. Aplikaci jsem vytvořil ve vývojovém prostředí Visual Basic for Applications, běžící v sešitě programu Excel.

Jako první se budu věnovat zvuku a hlukům obecně, jejich vzniku a šíření, veličinám, které se používají při jejich měření a také způsobu, jakým jsou člověkem vnímány. Dále se budu věnovat váhovým filtrům, zvukoměru a měřícím mikrofonom.

Další kapitola bude obsahovat nejistoty měření, jejich rozdělení, výpočet a konkrétní nejistoty používané při měření hluku. Následujícím tématem je analyzátor XL2 a jeho výstupy.

Poslední kapitola je věnována samotné aplikaci, komunikaci zvukoměru a počítače, hlavním příkazům zvukoměru a příkazové struktuře, vysvětlení jednotlivých listů aplikace.

Vyhotovená aplikace by měla komunikovat s analyzátozem, posílat a přijímat příkazy, spouštět a číst měření. Tato měření by měla být schopná zpracovávat a vypočítat konkrétní nejistoty. Dále by měla být schopna importovat textové výstupy analyzátoru, vybrat z nich potřebná data a spočítat nejistoty. V neposlední řadě by měla zvládnout importovat formátovaný výstup měřiče teploty a vlhkosti, spočítat související nejistoty a v poslední řadě by měla aplikace poskytnout přehledné zobrazení výsledků včetně spočítaných nejistot jak číselně, tak graficky

1 ZVUK

Zvuk je mechanické vlnění částic v pružném prostředí šířící se jak ve skupenství pevném, kapalném, tak i plynném. V kapalném a plynném prostředí se zvuk šíří v podobě podélného vlnění a to z důvodu nepřítomnosti smykových napětí. Částice vychýlené mechanickým podnětem tedy kmitají pouze ve směru šíření zvuku kolem své rovnovážné polohy [1]. Pevná prostředí mají pravidelnou strukturu a tak se proti silám, které způsobují vlnění, vytvářejí příčné reaktivní složky síly a zvuk se tedy šíří více způsobem kmitání [1].

1.1 Šíření zvuku

Díky pružnosti prostředí se při kmitání částic prostředí vytvářejí místa s relativním zhuštěním nebo zředěním částic. Ty postupují od zdroje kmitání předáváním kinetické energie částic prostředí rychlostí zvuku [1]. Při pokojové teplotě udávané jako $t = 20^\circ\text{C}$ a atmosférickém tlaku $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$, můžeme pro rychlost zvuku c_0 použít hodnotu 343 m/s [1]. Změnu hustoty v prostředí vzniklou kmitáním částic označujeme jako zvukovou vlnu a plochu, kam zvuková vlna od svého zdroje za stejný čas, označujeme jako vlnoplochu [1]. Z důvodu složitého tvaru vlnoplochy se věnujeme jen několika případům vlnění. Nejčastěji rovinnému, válcovému a kulovému. Pro popis vlastností zvukové vlny používáme periodu zvukového vlnění T , kmitočet vlnění $f = 1/T$ a vlnovou délku λ . Vlnovou délku pak můžeme popsat rovnicí [1]

$$\lambda = c_0 T = \frac{c_0}{f} = 2\pi \frac{c_0}{\omega}, \quad (1.1)$$

kde ω je úhlový kmitočet

2 HLUK

Hluk jako takový, řadíme do skupiny slyšitelných zvuků, tedy akustickému kmitání pružného prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem a to v pásmu od 16 Hz do 20 kHz . Zvuky, které se nachází pod hranicí tohoto pásma nazýváme infrazvuky a naopak ultrazvukem míníme zvuk, který se nachází nad tímto pásmem.

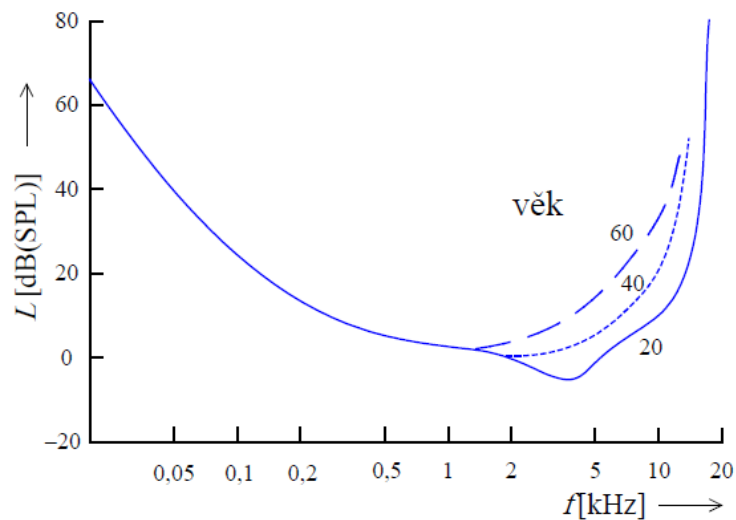
Hluk je zvuk, který má neblahé nebo rušivé účinky na člověka, což má za vznik ztrátu koncentrace či její zhoršení. Účinky mohou být i škodlivé s neblahým vlivem na zdraví, proto dochází při vystavení vyšší hladině hluku k posunutí sluchové prahu a ke snaze přizpůsobit se prostředí. Při delším pobytu v tomto prostředí nastává takzvaná sluchová únava a to již po sedmi minutách. Tato únava ovšem odezní v rámci několika hodin.

Při hladině akustického tlaku větší než 85 dB již může dojít k trvalému poškození sluchu, tedy takovému, kdy již nedochází k obnovení původního sluchového prahu. Takovému poškození označujeme jako sluchové trauma. Nejvíce škodlivé jsou hluky úzkopásmové, impulsové a hluky spojené s vibrací [1].

Přesto, že hluk nemusí dosahovat úrovně škodlivé pro sluch, mlže mít neblahé účinky na psychiku člověka. Jsou to hluky s intenzitou od 50dB(A). Takové hluky limitují člověka ve výkonu a zhoršují soustředění. Hluky s intenzitou od 65dB(A) mohou již ovlivnit oblast nervů a tím způsobit ujmu tělesným ústrojím.

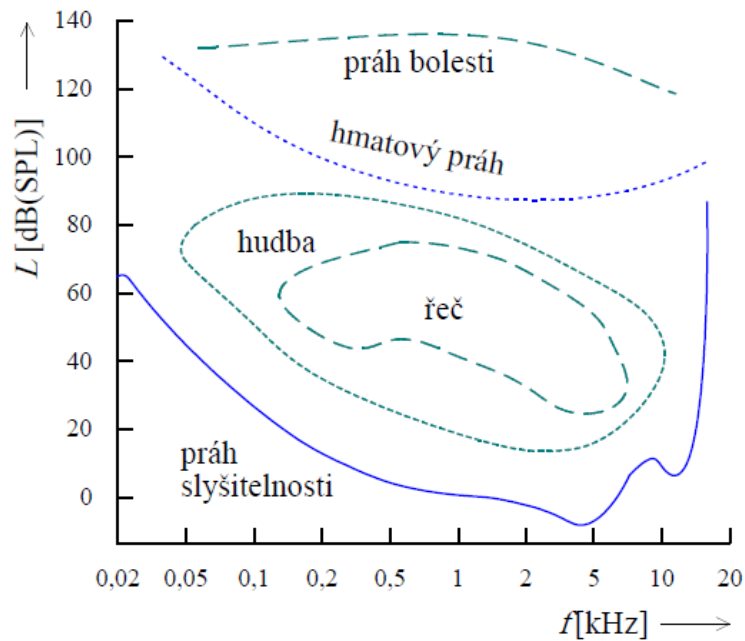
2.1 Hlasitost zvuku

Je nutné podotknout, že vnímání hlasitosti zvuku lidským sluchem je kmitočtově závislé. Na různých frekvencích tedy slyšíme referenční tón jinak hlasitě. Minimální hodnoty, které je lidské ucho schopno slyšet jsou dány prahem slyšitelnosti obr. 1.1.



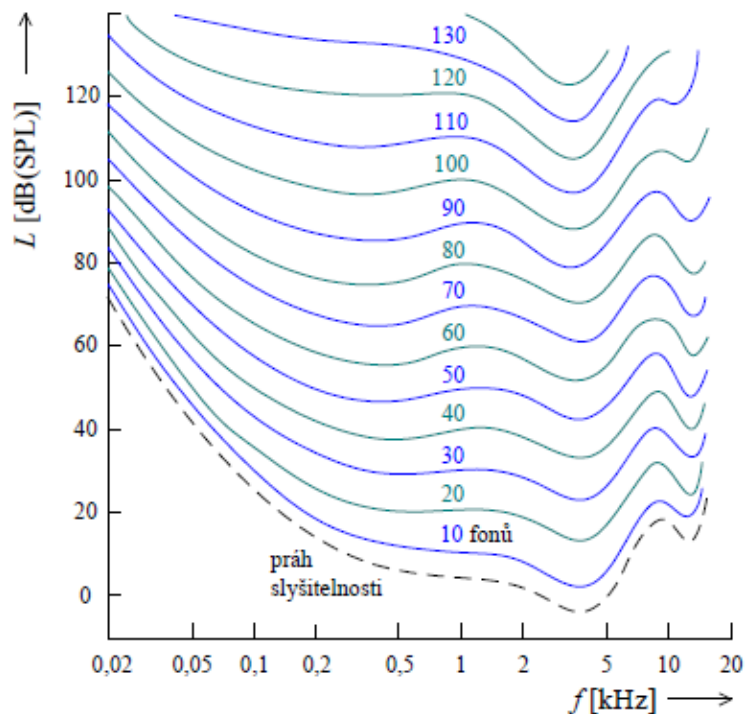
Obr. 1.1: Práh slyšitelnosti a jeho změny s věkem [1].

Rozsah těchto slyšitelných kmitočtů je značně individuální. Rozmezí je však 16 Hz až 20 kHz. S přirůstajícím věkem horní hranice klesá. Sluch se také může poškodit opakovaným vystavováním hluku, nebo při jednorázovém vystavení hluku překračující práh bolesti. Práh bolesti je oblast mezi 130 až 140 dB_{SPL}. To jsou intenzity, při kterých pocítujeme bolest. U intenzity okolo 120 dB se jedná o hmatový práh, kdy jsou podrážděna i hmatová tělíska [1].



Obr. 1.2: rozdělení oblasti slyšitelnosti [1].

Kvůli subjektivnímu vnímání hlasitosti byly stanoveny takzvané křivky stejné hlasitosti. Tyto křivky nám udávají, jaký akustický tlak na různých kmitočtech je třeba, aby byl sluchový vjem stejný, jako u referenčního tónu 1000 Hz.



Obr. 1.3: Křivky stejné hlasitosti [1].

Jednotkou těchto křivek je fon [Ph].

2.2 Typy hluku

Z hlediska časového průběhu můžeme hluk rozdělit do několika skupin.

Ustálený hluk je takový, jehož hladina akustického tlaku se ve sledovaném úseku nemění v čase o více než 5 dB.

O hluku proměnném hovoříme tehdy, když se hladina akustické tlaku změní ve sledovaném časovém úseku o více jak 5 dB.

Jako impulsní hluk označujeme takový, který je vytvářen zvukovými impulsy, jejichž trvání není delší než 200 ms.

2.3 Typy zvukových polí

Rozlišujeme čtyři typy polí, volné, difúzní, blízké a vzdálené. Hovoříme-li o poli volném, znamená to, že v daném prostoru nedochází k odrazům šířící se primární vlny. Pokud k odrazům dojde, vznikají vlny sekundární.

Při dalším odrazu sekundárních vln od překážek vznikají odrazy mnohonásobné. U takového akustického pole není možné určit směr šíření, jedná se tak o pole difúzní.

Pokud se však nacházíme v blízkosti zdroje zvuku a hustota akustické energie sekundárních vln je menší než u vln primárních, můžeme sekundární vlny zanedbat. V takovém případě je možné považovat i uzavřený prostor za pole volné. Ze vzorců pro výpočet hustoty akustické energie primárních vln w_V a sekundárních vln w_D [1]

$$w_V = \frac{P}{c_0 S}, w_D = 4 \frac{P}{c_0 A}, \quad (1.2)$$

kde P je akustický výkon zdroje zvuku, c_0 rychlost šíření zvuku, S obsah povrchu a A je celková pohltivost prostoru, můžeme určit hranici mezi volným a difúzním polem. Tuto hranici považujeme za vzdálenost od zdroje zvuku, ve které se hustoty akustických energií primárních a sekundárních vln rovnají. Označujeme ji jako dozvukovou vzdálenost.

Blízké pole vzniká interferencí rozměrnějších zdrojů zvuků a nachází se v blízkosti těchto zdrojů [1]

$$kr \ll 1, \quad (1.3)$$

k je vlnové číslo a r vzdálenost od zdroje zvuku.

Vzdálené pole pak uvažujeme v uzavřeném prostoru tehdy, kdy je zdroj zvuku dostatečně vzdálen.

2.4 Měřené veličiny a jejich jednotka

Při měření hluků využíváme několika veličin. Jsou to veličiny základní, jako je efektivní hodnota akustického tlaku, ale také veličiny popisující statistické vlastnosti, jako je

ekvivalentní hladina akustického tlaku nebo veličiny jako hladina sekundové zvukové expozice, používané např. pro výpočet průměrné hlučnosti. Jejich jednotky jsou decibely [dB]

2.4.1 Decibel

Vhledem k tomu, že je nepoškozený lidský sluch schopen vnímat akustický tlak už od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa a naopak maximální možná hodnota vnímaná lidským sluchem je asi milionkrát větší, používáme pro akustické veličiny logaritmické hladiny. Tyto hladiny mají jednotku Bel [Bel]. Abychom získali jemnější stupnici, používáme jednotku zvanou deci Bel [dB], což je desetina jednotky Bel.

2.4.2 Akustický tlak

Rozdíl mezi okamžitou velikostí celkového tlaku p_c v daném bodě zvukového pole za přítomnosti zvuku a statickou hodnotou atmosférického tlaku p_{00} označujeme jako Akustický tlak. Díky průběhu zvukového vlnění se celkový tlak, vzniklý součtem barometrického a akustického tlaku, v každém bodě zvukového pole s časem mění. Akustický tlak definujeme jako sílu působící na jednotku plochy [1]:

$$p(t) = \frac{F(t)}{S} [Pa]. \quad (1.4)$$

2.4.3 Hladina akustického tlaku

Základní používanou veličinou je hladina akustického tlaku L_p , odvozená od efektivní hodnoty akustického tlaku p [1]

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} [\text{dB}_{\text{SPL}}], \quad (1.5)$$

kde p je efektivní hodnota akustického tlaku a $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ [Pa], což je referenční hodnota odpovídající prahu slyšení v okolí kmitočtu 1 kHz, tedy pro 0 dB [1].

Zkratka SPL (Sound Pressure Level) se používá v anglicky psané literatuře pro označení hladiny akustického tlaku L_p . Zkratka se píše do dolního indexu u jednotky tak, aby bylo patrné, že daná hladina akustického tlaku je vztažena k hodnotě $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Pro označení dle mezinárodního systému jednotek SI je však třeba použít vztažnou hodnotu 1 Pa, které odpovídá hladina 94 dB_{SPL} [1].

Tab. 1.1: Hladiny akustických tlaků různých zdrojů zvuku [1].

Zdroj zvuku	SPL (dB)	Intenzita (W/m ²)	
	160		bezprostřední poškození
tryskový motor z 10 m	150	103	
	140		práh bolesti
	130		
start letadla z 500 m	120	1	nepříjemné
rocková hudba	110		
řetězová pila z 1 m	100		fff
motorová sekačka z 1,5m	90	10 ⁻³	
orchestr se 75 nástroji ze 7 m	80		f
městský provoz z 15 m	70		
normální řeč z 1 m	60	10 ⁻⁶	p
byt	50		
knihovna	40		ppp
prázdná přednášková místnost	30	10 ⁻⁹	
nahrávací studio	20		
dech	10		
práh slyšení	0	10 ⁻¹²	neslyšitelné

Při větším množství nekoherentních zdrojů zvukových signálů je třeba sčítat hladiny akustického tlaku výkonově, výsledná hladina akustického tlaku L_c je pak [1]

$$L_c = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right) [\text{dB}_{\text{SPL}}], \quad (1.6)$$

kde N je počet zdrojů zvuku a L_i jsou hladiny akustických tlaků vytvořené těmito zdroji. Pro korekci hluku pozadí potřebujeme hladiny akustického tlaku odečítat. Zde platí [1]

$$L_c = 10 \log \left(10^{L_1/10} - \sum_{i=2}^N 10^{L_i/10} \right) [\text{dB}_{\text{SPL}}], \quad (1.7)$$

kde L_1 je hladina s nejvyšší intenzitou. Pokud je rozdíl mezi měřeným zdrojem hluku a hlukem pozadí menší než 3dB, nedoporučuje se hluk pozadí odečítat [1].

2.4.4 Hladina akustického tlaku v kmitočtových pásmech

Pro zjištění hladin akustických tlaků na určitých kmitočtech je nejprve zvukový signál zaznamenaný mikrofonom filtrován kmitočtovým filtrem. Poté je získána hodnota akustického tlaku označovaná $L_{\Delta f}$ pomocí vzorce [1]

$$L_{\Delta f} = 20 \log \frac{p_{\Delta f}}{p_0} [\text{dB}_{\text{SPL}}], \quad (1.8)$$

kde $p_{\Delta f}$ je efektivní hodnota akustického tlaku v daném kmitočtovém pásmu.

Při spektrálním měření se využívá zejména měření veličin v oktávových, třetino-oktávových, 1/12-oktávových a 1/24-oktávových pásmech [5].

Mikrofonom změřený signál je filtrován pásmovými filtry, u kterých určujeme střední kmitočet f_S a šířku pásma B . Ty rostou logaritmicky stejně tak, jak subjektivně vnímá člověk výšku signálu [1]. Takováto analýza se označuje jako CPB (Constant Percentage Bandwidth), nebyli analýza v kmitočtových pásmech s konstantní relativní šířkou. Pro banku filtrů obecně platí [1]:

$$f_{Si+1} = \sqrt[n]{2} f_{Si}, B_{i+1} = \sqrt[n]{2} B_i, f_{Di} = \frac{f_{Si}}{2^{n\sqrt[n]{2}}}, f_{Hi} = f_{Si} 2^{n\sqrt[n]{2}}, \quad (1.9)$$

kde i je pořadí pásma, n je počet pásem na oktávu, f_D je dolní kmitočet pásma a f_H je horní kmitočet pásma.

Tab. 1.2: Střední kmitočty třetino-oktávových pásem

f [Hz]	25	50	100	200	400	800	1600	3150	6300	12500
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
	40	80	160	315	630	1250	2500	5000	10000	20000

Z tabulky můžeme vyčíst střední kmitočty třetino – oktávových pásem, přičemž zvýrazněný řádek udává kmitočty oktávových pásem.

Grafickým výstupem CPB analýzy je spektrogram. Ten je tvořen řadou sloupcových indikátorů, kde šířka sloupce značí frekvenci a výška aktuální hodnotu hladiny akustického tlaku

2.4.5 Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Mnohdy potřebujeme zjistit statické vlastnosti hladiny akustického tlaku. V takovýchto případech využíváme veličinu s názvem ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{eq,T}$. Tato veličina nám udává, jaká je střední hodnota akustického tlaku v daném časovém úseku [1]

$$L_{eq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A(t)/10} dt [\text{dB}]. \quad (2.0)$$

V časovém úseku zjišťujeme i veličiny, jako je maximální L_{max} a minimální L_{min} hladina akustického tlaku.

Další veličiny se zjišťují na základě histogramu a distribuční funkce. Histogram je grafické znázornění rozložení dat ve zvoleném intervalu hodnot, využívající sloupcového grafu. Šířka sloupců zde představuje zvolený interval hodnot a výška sloupců pak četnost výskytu sledované veličiny v tomto intervalu.

V histogramu často sledujeme pravděpodobnostní hladinu L_N , která nám udává hladinu zvuku A (viz kapitola Filtry), překročenou v N procentech.

2.4.6 Hluková expozice

Hluková expozice je kvadrát efektivní hodnoty akustického tlaku váženého filtrem A (viz kapitola Filtry), integrován po dobu trvání expozice [1]

$$E_{A,T} = \int_0^T p_A^2(t) dt \text{ [Pa}^2\text{s]}, \quad (2.1)$$

Kde $p_A(t)$ je efektivní hodnota akustického tlaku váženého filtrem A a T je časový interval. Hluková expozice je mírou, zda u sluchu dochází po dlouhodobém vystavení hluku k vratným změnám či nikoliv.

Hladina sekundové expozice (Sound Exposure Level) je ekvivalentní hladina hlasitosti integrovaná po dobu 1 sekundy [1]

$$SEL = L_{eq} + 10 \log T \text{ [dB]}, \quad (2.2)$$

používá se například pro výpočet průměrné hlučnosti.

2.5 Váhové filtry

U měření hluků se používají dva typy váhování signálu, frekvenční a časové. Frekvenční váhové funkce se používají z důvodu subjektivního vnímání hlasitosti lidského ucha, které je frekvenčně závislé. Časové váhové funkce se používají podle charakteru hluku a mění časovou konstantu integračního članku.

2.5.1 Frekvenční váhování

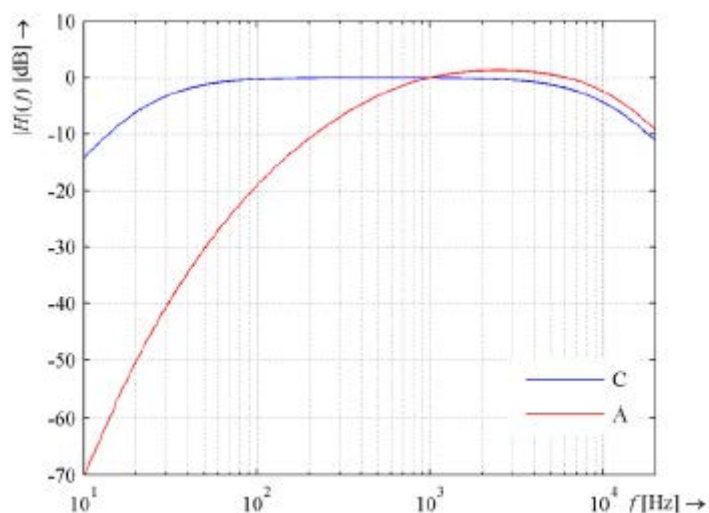
Abychom se přiblížili kmitočtově závislé citlivosti lidského sluchu, používáme frekvenční váhové filtry. Kmitočtová charakteristika těchto filtrů je aproximací křivky inverzní ke křivce stejné hlasitosti [1]. Tyto korekční křivky se sčítají se spektrem signálu získaným zvukoměrem. Experimentálně zjištěné křivky stejné hlasitosti mají jednotku fon [Ph]. Nejčastěji se setkáváme s filtrem typu A a C. Filtr typu A se běžně používá v měření nižších hodnot hladin akustických tlaků. Filtr typu C je potom využíván při měření velmi vysokých hodnot hladin akustických tlaků.

Tab. 1.3: Váhové filtry [1].

40 Ph	váhový filtr typu A
70 Ph	váhový filtr typu B
100 Ph	váhový filtr typu C

Při aplikaci těchto filtrů se u měřených veličin uvádí typ použitého filtru a to i v její jednotce. Ekvivalentní hladina zvuku A je tedy [1]

$$L_{eqA,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A(t)/10} dt \text{ [dB(A)]} \quad (2.3)$$



Obr. 1.4: Modulové kmitočtové charakteristiky váhových filtrů A a C. [1]

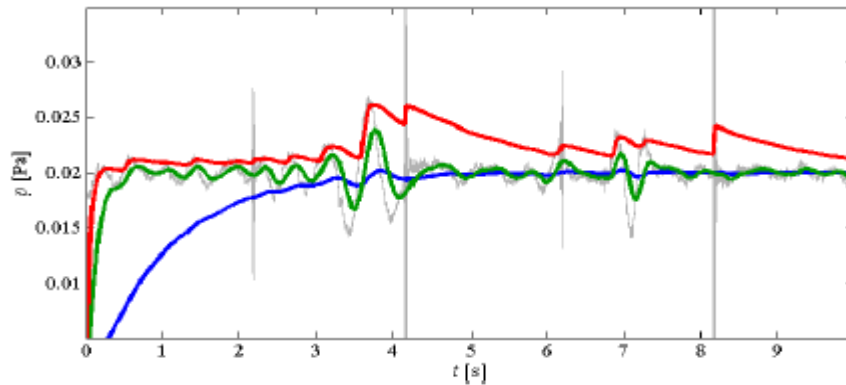
2.5.2 Časové váhování

Podle toho, zda je měřený hluk časově neproměnný, krátkodobě časově proměnný nebo impulzní, použijeme danou časovou konstantu.

Časová konstanta slow se používá při měření stacionárních, tedy časově neproměnných hluků, kde $\tau=1$ s.

Pro krátkodobě proměnné hluky se používá konstanta fast, u hlukoměru XL2 je $\tau=125$ ms.

U měření impulsního hluku pak použijeme konstantu impulse, kde v případě hlukoměru XL2 platí $\tau=35$ ms pro dobu náběhu a $\tau=1500$ ms pro dobu poklesu.

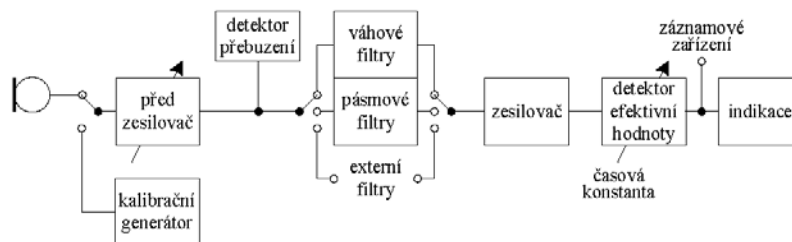


Obr. 1.5: Vstupní a výstupní signál zvukoměru při různých konstantách. [1]

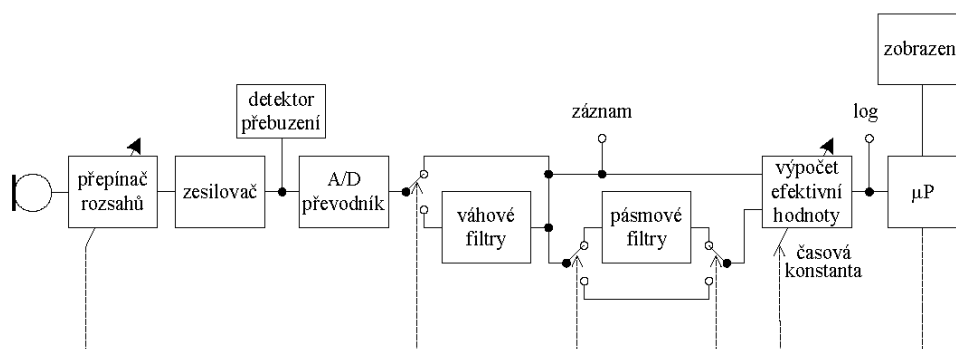
Na obr. 1.5 je znázorněn časový průběh efektivní hodnoty vstupního a výstupního signálu. Modrá křivka představuje časovou konstantu slow

2.6 Zvukoměr

Zvukoměr je elektrický přístroj, který měří efektivní hodnotu napětí na výstupu měřiče, nejčastěji mikrofonu, a je schopen ji převést na hodnotu hladiny akustického tlaku. Jedná se tedy o zařízení umožňující měřit a zobrazovat hladinu zvuku, ale i další veličiny, např. ekvivalentní hladinu akustického tlaku. Většina zvukoměrů disponuje funkcí měřit tyto veličiny v určitých kmitočtových pásmech, nejčastěji oktávových a třetino-oktávových. Výstupem takového měření je potom spektrogram, který nám lépe umožní zkoumat charakter měřeného hluku. Pomocí časových konstant integračního článku je zvukoměr schopen přesně měřit i hluky, které jsou časově proměnné. Přístroj může být analogový i digitální.



Obr. 1.6: Blokové schéma analogového zvukoměru [1].



Obr. 1.7: Blokové schéma číslicového zvukoměru [1].

2.6.1 Mikrofon zvukoměru

Zvukoměry používají elektrostatické mikrofony. Vyžadují sice polarizační napětí, ale mají konstantní kmitočtovou charakteristiku, stálou citlivost a všesměrovou charakteristiku. Z hlediska konstrukce se používají různé typy mikrofonů [1]

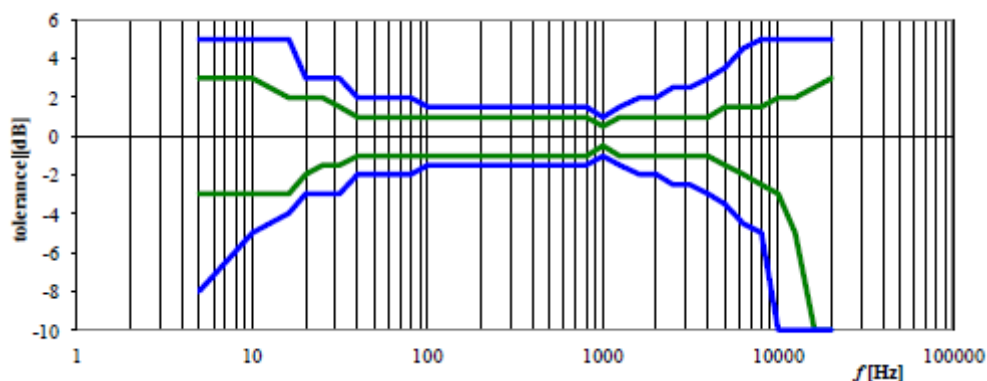
- Mikrofony pro použití ve volném poli – mikrofon je nasměrován tak, jako by ve zvukovém poli nebyl, tedy obráceně ke směru dopadu signálu
- Mikrofony pro použití v difúzním poli – díky vlastní kompenzaci nezáleží na směru dopadu signálu
- Tlakové mikrofony – tyto mikrofony nedisponují vlastní kompenzací a měří skutečný akustický tlak.

2.6.2 Dynamický rozsah zvukoměru

Jelikož se citlivost měřících mikrofonů pohybuje v řádu desítek mV/Pa a vstupní napětí zvukoměru se pohybuje od mikrovoltů po volty, je třeba volit správné rozsahu. Pokud nastavíme dynamický rozsah malý, hlasité signály mohou způsobit přebuzení vstupu a následnou limitaci signálu. V případě nastavení velkého dynamického rozsahu může vlastní šum zvukoměru znehodnotit měření tišších signálů.

2.6.3 Kvalitativní třídy zvukoměrů

Podle nejčastěji používané normy IEC 61672 jsou zvukoměry rozděleny do dvou tříd a to z hlediska tolerance vůči chybám [1]. Třída jedna je přesnější, má nižší toleranci vůči chybám a využíváme je v laboratořích a prostorech, kde jsou požadovány velmi přesná měření. Třída 2 je méně přesná, používá se k obecným měřením [5].



Obr. 1.8: Toleranční pásma modulové kmitočtové charakteristiky zvukoměru. [1]

Na tomto obrázku můžeme vidět modulové kmitočtové charakteristiky zvukoměru třídy 1, který představuje zelená křivka a také charakteristiky zvukoměru třídy 2, jež představuje křivka modrá.

Zvukoměry jsou přesné měřicí přístroje, proto je třeba provádět pravidelnou kalibraci. Zákon o metrologii uvádí: „Kalibrace je soubor úkonů, kterými se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony.“ Kalibraci je možno provést přesným zdrojem kalibračního napětí. Tento zdroj bývá často integrován přímo do zvukoměru, takovouto kalibraci označujeme jako elektrickou. Kalibraci akustickou provádíme za pomoci pistonfonu nebo tónového kalibrátoru. Oba tyto přístroje fungují podobně, neboť po zasunutí mikrofonu vytvářejí přesně definovanou hladinu akustického tlaku, často o hodnotě 94 dB s frekvencí 1000 Hz.

2.7 Nejistoty měření

Při reálném měření je třeba dbát na to, že mezi skutečnou a naměřenou hodnotou dané veličiny bude vždy odchylka. Ta je způsobená různými negativními vlivy, jako jsou nepřesnost zvukoměru, nepřesnost způsobená operátorem, ale i vlivy prostředí, jako je vlhkost, teplota či atmosférický tlak. Nejistota měření charakterizuje rozsah hodnot naměřených okolo výsledku. Tento rozsah lze po zdůvodnění přiřadit k hodnotě veličiny. Nejistota se nepojí pouze s výsledkem měření, ale týká se i samotných měřicích přístrojů, použitých konstant, korekce hodnot a několik dalších zdrojů, které mohou výsledek ovlivnit. Udaná hodnota se může od skutečné hodnoty odchýlovat podle rozdělení pravděpodobnosti. Standardní nejistota u představuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty, kdy mírou nejistoty je směrodatná odchylka veličiny a udává se samostatně, anebo za hodnotu výsledku přidáme znaménko \pm [6]. Standardní nejistoty se dělí na nejistotu A a B.

Nejistotu typu A je třeba určit opakovaným měřením hodnot dané veličiny. Zdroje těchto nejistot považujeme za neznámé, jelikož jsou způsobeny náhodnými chybami. Označujeme ji jako u_A [4].

Nejistoty typu B stanovujeme na základě známých nebo odhadnutelných příčin jejich vniku. Vychází z různých zdrojů, např. nepřesností zvukoměru či chybou

způsobenou změnou vlhkosti, atmosférického tlaku a podobně. Sečtením všech těchto zdrojů dostaneme standardní nejistotu typu B označovanou jako u_B .

Většinou se uvádí kombinovaná standardní nejistota u_C , která je dána součtem nejistot typu A a B. Pokud je třeba ještě zvýšit pravděpodobnost, že skutečná hodnota leží v daném intervalu, používáme rozšířenou nejistotu U . Tuto nejistotu získáme vynásobením kombinované standardní nejistoty u_C se součinitelem k_u . Za součinitel k_u většinou dosazujeme hodnotu 2, tedy $U = 2u_C$. Tímto určíme pravděpodobnost 95%, že skutečná hodnota leží v daném intervalu [4].

2.7.1 Standardní nejistota typu A

Jak už bylo zmíněno, tato nejistota je stanovena opakovaným měřením jedné hodnoty dané veličiny. Platí [2]

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L_{p,j} - L_{pav})^2} \quad [\text{dB}], \quad (2.4)$$

kde $L_{p,j}$ je hladina akustického tlaku opakovaně měřená na daném místě za stejných podmínek s použitím korekce hluku pozadí a L_{pav} je aritmetický průměr všech těchto opakovaných měření. Předpokládá se normální rozdělení náhodných chyb.

2.7.2 Standardní nejistoty typu B

Tyto nejistoty vychází ze známých příčin jejich vzniku.

Nejistota metody

Jedná se o nejistoty způsobenou metodou měření. Může být odvozena pouze opakovaným laboratorním testováním, což je v našem případě obtížné a nepraktické. Z tohoto důvodu použijeme předpokládanou hodnotu [2] $u_{method} = 0,4 \text{ dB}$

Nejistota opakovatelnosti měření

Tato nejistota nám udává přesnost shody mezi postupnými výsledky měření za stejných podmínek [2]

$$u_{L'_{p(ST)}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L'_{p,j} - L'_{pav})^2} \quad [\text{dB}], \quad (2.5)$$

kde $L'_{p,j}$ je hladina akustického tlaku bez korekce hluku pozadí, opakovaně měřená na dané pozici za stejných montážních podmínek. L'_{pav} je aritmetický průměr počítaný pro všechna opakování měření.

Každé opakované měření musí splňovat následující podmínky [2]: Stejně postupy měření, stejný pozorovatel, totožný měřicí přístroj, totožné místo měření a

provést opakovaná měření v krátkém časovém intervalu. Pro každé měření je také běžné znovusložení měřicího nástroje a dalšího vybavení. Citlivostní koeficient je podle [2]

$$c_{L'p(ST)} = 1 + \frac{1}{10^{\Delta L_p} - 1} \quad [-] \quad (2.6)$$

Nejistota měření vzdálenosti

Jedná se o nejistotu způsobenou nepřesností při měření vzdálenosti. Za předpokladu, že má nejistota rovnoměrné rozložení, platí [2]

$$u_s = \frac{\Delta r}{\sqrt{3}} \quad [\text{dB}] \quad (2.7)$$

a pro citlivostní koeficient [2]

$$c_s = \frac{8,7}{r} \quad [-] \quad (2.8)$$

Nejistota korekce hluku pozadí

Při odečítání hluku pozadí od měřeného zdroje hluku vzniká také nejistota. Ta je dána podle [2]

$$u_{K_1} = -10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L_i}) \quad [\text{dB}], \quad (2.9)$$

kde ΔL_i je dán rozdílem hladin akustických tlaků při zapnutém a vypnutém zdroji hluku a vztahuje se ke stejnému kmitočtu a stejné pozici měření. Pro citlivostní koeficient platí [2]

$$|c_{K_1}| = 1 + \frac{1}{10^{\Delta L_p} - 1} \quad [-] \quad (3.0)$$

Nejistota teploty

V případě, že v rámci měření proběhne pokles či nárůst teploty, je třeba započítat nejistotu, vzniklou změnou teploty. Za podmínek rovnoměrného rozložení nejistot je dáno [2]

$$u_\theta = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{3}} \quad [\text{dB}], \quad (3.1)$$

kde $\Delta\theta$ je právě rozsah změny teploty. Je třeba započítat i koeficient citlivost, kde [2]

$$c_\theta = \frac{-0,57 + 0,25 \lg(2,6f)}{1 + 0,0011H + 0,007\theta} (1 - 10^{-K_2/10}) \quad [-], \quad (3.2)$$

kde H je relativní vlhkost, vyjádřená v procentech a f je nejvyšší frekvence, který významně ovlivňuje hladiny filtru A.

Nejistota relativní vlhkosti

Tato nejistota je způsobena kolísáním hodnot relativní vlhkosti během měření. Pokud opět uvažujeme rovnoměrné rozložení této nejistoty, můžeme ji spočítat jako [2]

$$u_H = \frac{\Delta H}{\sqrt{3}} \text{ [dB]}, \quad (3.3)$$

kde H je rozsah změny relativní vlhkosti. Pro citlivostní koeficient platí [2]

$$c_H = \frac{-2,6 + 1,6 \lg(0,7f)}{1 + 0,5H} (1 - 10^{-K_2/10}) \text{ [-]}, \quad (3.4)$$

kde H je opět procentuální vyjádření relativní vlhkosti a f je nejvyšší frekvence znatelně ovlivňující hladiny filtru A. Tento koeficient citlivost platí pouze v případě, že je relativní vlhkost $H > 10\%$

2.7.3 Výsledné nejistoty

Standardní nejistota typu B je poté dána sumací jednotlivých součástí, tedy podle [2]

$$u_B = \sqrt{u_{method}^2 + u_{L'_{p(ST)}}^2 + u_S^2 + u_{K_1}^2 + u_\theta^2 + u_H^2} \text{ [dB]} \quad (3.5)$$

Pro kombinovanou standardní nejistotu platí [2]

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \text{ [dB]} \quad (3.6)$$

a pro rozšířenou standardní nejistotu můžeme použít [2]

$$U = 2u_c \text{ [dB]} \quad (3.7)$$

2.8 Analyzátor XL2

Jedná se o digitální zvukoměr přesnější třídy 1. Je vybaven analýzou v reálném čase (RTA) a také možností výpočtu Fourierovy transformace (FFT). Obsahuje XLR vstup pro připojení externího mikrofону a vestavěný akumulátor. Dále obsahuje RCA vstup pro nesymetrické připojení audio signálu, digitální výstup TOSLink, interní mikrofón pro nahrávání zvukových poznámek, Reprodukční, výstup pro připojení sluchátek a programovatelné digitální vstupy/výstupy. Veškerá data zaznamenává na SD kartu, která je přístupná po připojení USB kabelu. Podporuje jak širokopásmovou, tak třetino-oktávovou analýzu a dále také frekvenční i časové váhování signálu [7].

2.9 Textový výstup analyzátoru XL2

Analyzátor XL2 ukládá datové výstupy do textových souborů. Vytváří dva soubory „log” a dva soubory „report”. Jeden ze souborů je vždy pro širokopásmovou analýzu a druhý pro analýzu třetino-oktávovou. Všechny soubory obsahují hardwarovou konfiguraci, výrobní číslo přístroje, citlivost mikrofону a datum poslední kalibrace. Tato data jsou pro všechny textové výstupy stejná, ve zbytku se již liší

Do souborů „log” ukládá analyzátor hodnoty změřených veličin v intervalech během celé periody doby měření. Tyto intervaly si může volit sám uživatel

Soubory „report” obsahují výsledné změřené hodnoty za celou periodu času měření, nikoliv ve všech intervalech jako v souboru „log”.

Ve všech textových výstupech jsou pak uloženy informace o citlivosti mikrofónu, datum poslední kalibrace a zvolený rozsah zvukoměru. Veškeré tyto informace a dále také naměřená data jsou oddělné tabulátory, takže je možné použít funkci import dat sešitu Excel, což výrazně urychlí zpracování dat a je možné provést automatizaci [8].

3 APLIKACE VBA

Aplikaci pro automatizaci měření s analyzátozem XL2 jsem vytvořil v programovacím jazyku VBA (Visual Basic for Applications). Aplikaci bych rozdělil do dvou hlavních částí. Část první získává data z textových výstupů a druhá část získává data z přímého měření pomocí modulu Remote Measurement zvukoměru XL2.

3.1 Visual Basic for Applications

Vývojové prostředí Visual Basic for Applications je snadno dostupné všem uživatelům, kteří vlastní kancelářský balíček Microsoft Office. Prostředí je odvozené z původního Visual Basicu, ale je určeno právě pro produkt Office. Použijeme jej v případech, kdy už nám funkce samotného programu Excel nestačí, nebo by to bylo příliš složité. VBA je okamžitě dostupný po stlačení klávesové zkratky „Alt + F11“ přímo v sešitu aplikace Excel.

3.2 Komunikace se zvukoměrem XL2

Zvukoměr XL2 od firmy NTi komunikuje s počítačem prostřednictvím USB portu, s použitím virtuálního portu COM. Pro komunikaci jsou potřeba ovladače zařízení, ty se nainstalují se softwarem XL2 Projector [7]

3.2.1 Příkazová struktura

Příkazy jsou posílány v ASCII formátu skrze virtuální port COM. Tyto příkazy jsou rozděleny do šesti skupin

Tab.: 1.4: Příkazová struktura [7].

<i>Podsystem</i>	<i>Funkce</i>
*	Příkazy pro stav zařízení
INITiate	Kontrola stavu měření
MEASurement	Příkazy pro dotazování výsledků
INPUt	Nastavení pro složku vstupního napětí
CALlbrate	Příkazy pro kalibraci mikrofону
SYSTem	Příkazy pro stav systému

3.2.2 Hlavní příkazy

Jeden ze základních příkazů je „*RST“. Příkaz provede reset zařízení (obnovení do původního stavu). Měl by být spuštěn jako první před začátkem měření. Příkaz smaže pořadník chyb, zastaví všechna měření, zastaví všechny běžící skripty, zruší veškeré aktivní profily, vybere měření hladiny akustického tlaku a zamkne tlačítka [7]

Příkaz „INITiate“ spustí, případně zastaví měření. Procedura spuštění může trvat až několik vteřin.

Příkaz „INITiate:STATe?“ vyžádá informaci, v jaké fázi je měření, tedy jestli je spuštěno, zastaveno, pozastaveno, připravuje se a, nebo neodpovídá.

Příkaz „MEASure:FUNction“ definuje aktivní měřenou funkci. Například hladinu akustického tlaku (SLMeter), Fourierovu transformaci (FFT) nebo harmonické zkreslení (THD).

Příkaz „MEASure:SLM:123?“ získá širokopásmové výsledky zvolené veličiny (maximální hladina akustického tlaku, minimální hladina akustického tlaku, typ filtru atd.).

Příkaz „MEASure:SLM:RTA?“ získá oktávové nebo třetino – oktávové výsledky zvolené veličiny.

Příkaz „MEASure:SLM:RTA:WEIGhting“ definuje typ použitého filtru, Fast, Slow, frekvenční filtr A, C.

3.2.3 Automatická detekce portu COM

Po připojení zařízení k počítači se automaticky detekuje port COM přiřazený pro toto zařízení. Komunikace probíhá díky systémovému souboru „usbser.sys“, který je integrován do systému Windows. I hned po prvním připojení se vytvoří klíč registru „Enum“ a zde se zjišťuje, zda je připojené zařízení hlukoměr XL2.

3.3 Analýza dat z textových souborů

3.3.1 List „ReportRTA“

Tento list obsahuje celkem tři tlačítka. První tlačítko „Import“ slouží pro importování dat z textového dokumentu „Report“, který je výstupem zvukoměru. Po kliknutí na tlačítko se zobrazí dialogové okno pro výběr daného měření. Je třeba, aby byl vložen správný soubor, tedy soubor typu „Report RTA“, což je soubor obsahující třetino-oktávové výsledky několika veličin. Pro správné fungování programu je nutné vložit nejméně dva soubory s výsledky. Aplikace importuje data ze souboru až od 19. řádku, začíná tedy datem a časem měření. Každý další importovaný soubor se zařadí na volné místo pod předchozí.

Následuje tlačítko „Vypočítat nejistoty“. Po kliknutí začne aplikace kopírovat čtyři veličiny z importovaných dat do pomocného listu. Maximální hladinu akustického tlaku, minimální hladinu akustického tlaku, ekvivalentní hladinu akustického tlaku a hladinu zvuku překročenou v 50%. Z pomocného listu se začnou počítat nejistoty a průměry. V závislosti na počtu vybraných dat se bude odvíjet rychlost výpočtu. Z důvodu použití for cyklu pro vybrání a zkopírování správné buňky do pomocného listu je proces výpočtu pomalejší.

Poslední je tlačítko „Smazat“, které smaže importované měření a také data v pomocných listech.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1		Start:	2015-02-21, 13:59:16																						
2		End:	2015-02-21, 14:00:35																						
3																									
4	# RTA Results																								
5	Band [Hz]		6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
6	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
7	LAFmax	-72,7	-57	-40,8	-27,4	-25,9	-25,3	-19,4	-20,1	-7,8	-10,5	-8,7	-4,1	-7,4	-8,5	-8,9	-8,3	-6,4	-4,3	-2,6	-0,8	0	1,7	3,1	
8	LAFmin	-103	-88	-67,2	-54,6	-46,7	-47,4	-44,1	-37,9	-16,2	-22,1	-29	-27,3	-24,8	-20,4	-18,4	-16,2	-13,9	-10,7	-8,8	-6,5	-4,5	-2,9	-0,5	
9	LAEq	-83,1	-65,9	-52,5	-41,3	-35,3	-36	-31,1	-27,8	-13	-15,4	-19,9	-20,2	-18,3	-15,4	-13,6	-11,9	-9,7	-7,6	-5,4	-3,3	-2,1	-0,3	1,4	
10	L_Capt	83,4	76,9	82,1	101,2	92,2	94,9	91,4	82,4	79,4	80,3	86,4	81,6	78,5	77,3	76,8	63,7	72,2	80,2	75	80,6	75,6	79	104,9	
11	LAE	-64	-46,9	-33,4	-22,3	-16,3	-16,9	-12,1	-8,7	6,1	3,6	-0,9	-1,1	0,8	3,6	5,4	7,2	9,3	11,5	13,6	15,8	17	18,8	20,5	
12	LAF1%	-,-	-,-	-46,1	-34,1	-29,1	-30,1	-25,1	-23,1	-11,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-13,1	-11,1	-10,1	-8,1	-6,1	-4,1	-2,1	-1,1	0,9	1,9	
13	LAF5%	-,-	-,-	-49,1	-38,1	-32,1	-33,1	-28,1	-25,1	-12,1	-13,1	-18,1	-18,1	-16,1	-14,1	-12,1	-11,1	-9,1	-6,1	-4,1	-2,1	-1,1	-0,1	1,9	
14	LAF10%	-,-	-,-	-50,1	-39,1	-33,1	-34,1	-29,1	-26,1	-12,1	-14,1	-18,1	-19,1	-17,1	-14,1	-12,1	-11,1	-9,1	-7,1	-5,1	-3,1	-2,1	-0,1	1,9	
15	LAF50%	-,-	-,-	-54,1	-44,1	-37,1	-37,1	-33,1	-29,1	-13,1	-16,1	-21,1	-22,1	-19,1	-16,1	-14,1	-12,1	-10,1	-8,1	-6,1	-4,1	-2,1	-1,1	0,9	
16	LAF90%	-,-	-,-	-49,1	-41,1	-41,1	-37,1	-32,1	-15,1	-19,1	-24,1	-25,1	-22,1	-18,1	-16,1	-14,1	-12,1	-9,1	-7,1	-5,1	-3,1	-1,1	-0,1	0,9	
17	LAF95%	-,-	-,-	-51,1	-42,1	-42,1	-38,1	-33,1	-15,1	-19,1	-24,1	-25,1	-22,1	-19,1	-16,1	-14,1	-12,1	-10,1	-7,1	-5,1	-3,1	-1,1	-0,1	0,9	
18	LAF99%	-,-	-,-	-53,1	-45,1	-45,1	-41,1	-35,1	-15,1	-21,1	-26,1	-26,1	-23,1	-20,1	-17,1	-15,1	-13,1	-10,1	-8,1	-6,1	-4,1	-2,1	-0,1	0,9	
19																									
20	Start:	2015-02-21, 14:03:10																							
21	End:	2015-02-21, 14:04:29																							
22																									
23	# RTA Results																								
24	Band [Hz]		6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
25	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
26	LAFmax	-72	-55,1	-39	-27,2	-24,9	-24	-21,6	-18,4	-8,8	-8,1	-7,7	2,4	-9,7	-8,1	-6,5	-4,2	-1,2	2,6	3,3	4,4	7	8,6	7,4	
27	LAFmin	-102	-83,8	-65,7	-55,4	-46,2	-47,4	-42,5	-38,5	-17,2	-22,3	-29	-27	-25,1	-21,5	-18,5	-15,4	-12,2	-10,5	-8,2	-6,4	-4,2	-2,5	-0,6	
28	LAEq	-82,9	-64,2	-49	-37,9	-34,5	-35,3	-31,3	-26,2	-13,3	-14,7	-16,3	-2,2	-15,2	-12,9	-11,1	-9,4	-5,9	-2,9	-1,4	-0,2	1,1	2,7	3,4	
29	L_Capt	83,4	76,9	82,1	101,2	92,2	94,9	91,4	82,4	79,4	80,3	86,4	81,6	78,5	77,3	76,8	63,7	72,2	80,2	75	80,6	75,6	79	104,9	
30	LAE	-63,8	-45,1	-29,9	-18,9	-15,4	-16,2	-12,2	-7,1	5,8	4,3	2,8	16,9	3,8	6,2	7,9	9,7	13,1	16,1	17,6	18,9	20,2	21,7	22,5	
31	LAF1%	-,-	-,-	-41,1	-31,1	-28,1	-29,1	-25,1	-20,1	-11,1	-12,1	-12,1	0,9	-12,1	-9,1	-8,1	-7,1	-3,1	-0,1	1,9	2,9	4,9	5,9	5,9	
32	LAF5%	-,-	-,-	-44,1	-33,1	-30,1	-31,1	-28,1	-23,1	-12,1	-13,1	-13,1	0,9	-13,1	-11,1	-9,1	-7,1	-4,1	-1,1	0,9	1,9	3,9	4,9	4,9	
33	LAF10%	-,-	-,-	-46,1	-35,1	-32,1	-33,1	-29,1	-24,1	-13,1	-13,1	-14,1	-0,1	-13,1	-11,1	-10,1	-8,1	-4,1	-1,1	-0,1	0,9	2,9	3,9	3,9	
34	LAF50%	-,-	-,-	-52,1	-40,1	-36,1	-37,1	-33,1	-28,1	-14,1	-15,1	-17,1	-2,1	-16,1	-13,1	-12,1	-10,1	-6,1	-3,1	-2,1	-1,1	-0,1	1,9	2,9	
35	LAF90%	-,-	-,-	-46,1	-41,1	-41,1	-36,1	-31,1	-15,1	-18,1	-21,1	-20,1	-19,1	-17,1	-15,1	-13,1	-10,1	-8,1	-6,1	-4,1	-3,1	-1,1	-1,1	0,9	
36	LAF95%	-,-	-,-	-48,1	-42,1	-42,1	-37,1	-32,1	-15,1	-19,1	-22,1	-22,1	-20,1	-17,1	-15,1	-13,1	-11,1	-9,1	-7,1	-5,1	-3,1	-1,1	-1,1	0,9	
37	LAF99%	-,-	-,-	-52,1	-44,1	-45,1	-40,1	-35,1	-16,1	-20,1	-25,1	-25,1	-23,1	-20,1	-16,1	-15,1	-12,1	-10,1	-8,1	-6,1	-4,1	-2,1	-0,1	0,9	
38																									

Obr. 1.9: List pro výběr reportu s již importovanými daty

3.3.2 List „ReportRTABG“

List slouží pro import dat měřeného hluku pozadí. Funguje obdobně jako list „ReportRTA“ a i zde je třeba dbát na výběr správného textového souboru. Po importování dat provede aplikace kopírování do pomocného listu, průměrování, výpočet korekce hluku pozadí a její nejistoty. U výpočtu korekce hluků pozadí je dodržena podmínka, že rozdíl mezi hlukem zdroje a hlukem pozadí nesmí být menší než 3dB pokud je podmínka splněna, vrátí aplikace korigovanou hodnotu, pokud ne, vrátí nulu. Z důvodu špatného výběru měření uživatelem je zde také tlačítko „Smazat“, které smaže dosavadní importovaná data. Také zde se data importují až od 19. řádku a každý další soubor se zařadí první volné místo.

3.3.3 List „MěřičTeploty“

Do nejistot je třeba zahrnout i nejistotu způsobenou změnou teploty a vlhkosti. K tomuto účelu slouží tento list. Najdeme zde jediné tlačítko „Import“, sloužící ke vložení dat z formátovaného výstupu měřiče teploty a vlhkosti. Po kliknutí se opět otevře dialogové okno pro výběr „csv“ souboru. Program importuje data do a v pomocném listu vypočítá změnu teploty a vlhkosti a tím způsobené nejistoty. Zde se vybírá pouze jeden soubor, v případě vložení dalšího bude předchozí importovaný smazán.

	A	B	C	D	E	F
1	Typ snímače	Sériové číslo	Import			
2	T7318	9961894	Import			
3						
4	Lokální datum PC	Lokální čas PC	Teplota (°C)	Relativní vlhkost (%)	Rosný bod (°C)	Atmosférický tlak (hPa)
5	29.9.2014	17:07:18	24,5	48,9	13,1	989,8
6	29.9.2014	17:07:19	24,5	48,9	13,1	989,8
7	29.9.2014	17:07:20	24,5	48,9	13,1	989,8
8	29.9.2014	17:07:21	24,5	48,9	13,1	989,8
9	29.9.2014	17:07:22	24,5	48,9	13,1	989,8
10	29.9.2014	17:07:23	24,5	49	13,1	989,8
11	29.9.2014	17:07:24	24,5	48,9	13,1	989,8
12	29.9.2014	17:07:25	24,5	48,9	13,1	989,8
13	29.9.2014	17:07:26	24,5	48,9	13,1	989,8
14	29.9.2014	17:07:27	24,5	49	13,1	989,8
15	29.9.2014	17:07:28	24,5	48,9	13,1	989,8
16	29.9.2014	17:07:29	24,5	48,9	13,1	989,8
17	29.9.2014	17:07:30	24,5	49	13,1	989,8
18	29.9.2014	17:07:31	24,5	49	13,1	989,8
19	29.9.2014	17:07:32	24,5	48,9	13,1	989,8
20	29.9.2014	17:07:33	24,5	49	13,1	989,8

Obr. 2.0: List pro import výstupu měřiče teploty a vlhkosti s již načtenými daty

3.3.4 List „Parametry“

Pro kompletní výčet nejistot je třeba do výpočtů zahrnout i korekci prostředí K_2 , nejistotu měření vzdálenosti r a chybu metody u_m . Pro změnu hodnot stačí buňku přepsat, listy jsou propojeny odkazy, takže se započítá aktuální zadaná hodnota.

	A	B	C	D
1				
2	Korekce prostředí			
3	K_2	1		
4				
5	Vzdálenost	m	Odchylka	m
6	r	1	Δr	0,001
7				
8	Chyba metody			
9	u	0,4		

Obr. 2.1: List pro zadání parametrů potřebných k výpočtům nejistot

3.3.5 List „Nejistoty“

List sloužící k přehlednému zobrazení vypočítaných nejistot. Zobrazuje konečné výsledky všech spočítaných nejistot (kombinovanou nejistotu) a jejich rozšířenou hodnotu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Kombinovaná nejistota										
2	Band [Hz]	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
3		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
4	LAFmax	10,319	8,116	0,628	4,379	1,648	5,131	3,455	1,601	2,768	2,065
5	LAFmin	1,259	3,122	0,544	2,768	0,628	1,486	9,769	1,601	0,723	7,903
6	LAeq	0,410	3,909	0,929	0,723	4,389	3,594	1,147	1,147	0,628	0,410
7	LAF50%	0,410	0,410	1,259	1,259	4,722	4,779	2,416	1,259	1,259	0,410
8											
9											
10	Rozšířená nejistota										
11	Band [Hz]	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
12		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
13	LAFmax	20,638	16,233	1,257	8,758	3,296	10,263	6,909	3,201	5,536	4,129
14	LAFmin	2,518	6,243	1,088	5,536	1,257	2,972	19,537	3,201	1,446	15,806
15	LAeq	0,820	7,819	1,857	1,446	8,778	7,188	2,294	2,294	1,257	0,820
16	LAF50%	0,820	0,820	2,518	2,518	9,444	9,557	4,831	2,518	2,518	0,820

Obr. 2.2: List sloužící k zobrazení vypočítaných nejistot

3.3.6 List „LogEKV“

Tento list slouží výhradně k importování ekvivalentní hladiny akustického tlaku. Tlačítkem „Import“ vybere uživatel textový výstup typu „Log 123“ obsahující veličiny měřené v časových intervalech širokopásmového měření. I zde je dovoleno importovat pouze jedno měření, s každým dalším importem se předchozí měření smaže.

Tlačítkem „Zobraz v grafu“ se opět vyberou, přepočítají hodnoty do pomocných listů a vloží do grafu. Z důvodu počtu intervalů měřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku, jejichž konečný počet není znám, jsou v grafu použity dynamické rozsahy tak, aby byly zobrazeny všechny intervaly importované ze souboru. Nevýhodou použití dynamických rozsahů je zde zobrazení chybové hlášky, když je tento list prázdný a odkaz na dynamický rozsah tak není k dispozici. Chybová hláška však nemá na funkčnost vliv a tak ji stačí zavřít. V případě, že se hodnoty v grafu nezobrazí, je třeba kliknout na tlačítko „Zobraz v grafu“ znovu.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	2015-02-21, 13:21:14										
2	2015-02-21, 13:21:24	Import			Zobrazit v grafu			Smazat			
3											
4											
5	Time	Timer	LASmax_dt	LASmin_dt	LAFmax_dt	LAFmin_dt	LAlmax_dt	LAlmin_dt	LAeq_dt	LAeq	Prev. LAeq
6	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
7	13:21:15	0:00:09	15,8	15,8	15,9	15,6	16,3	16,1	15,8	15,8	-,-
8	13:21:16	0:00:08	15,8	15,7	15,9	15,6	16,1	16	15,7	15,8	-,-
9	13:21:17	0:00:07	15,8	15,7	15,9	15,6	16,2	15,9	15,7	15,7	-,-
10	13:21:18	0:00:06	15,7	15,7	15,9	15,5	16,1	16	15,7	15,7	-,-
11	13:21:19	0:00:05	15,8	15,7	15,9	15,6	16,2	16	15,7	15,7	-,-
12	13:21:20	0:00:04	15,8	15,7	15,9	15,6	16,2	16	15,8	15,7	-,-
13	13:21:21	0:00:03	15,8	15,7	16	15,6	16,3	16	15,8	15,7	-,-
14	13:21:22	0:00:02	15,8	15,7	16	15,6	16,3	16	15,8	15,8	-,-
15	13:21:23	0:00:01	15,8	15,7	16	15,5	16,2	16	15,8	15,8	-,-
16	13:21:24	0:00:00	15,8	15,7	16	15,5	16,3	16	15,8	15,8	-,-
17											
18											
19	13:21:24	0:00:00	15,8	15,7	16	15,5	16,3	15,9	15,8	15,8	-,-

Obr. 2.3: List pro import hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku

3.3.7 List „Filtr A,C“

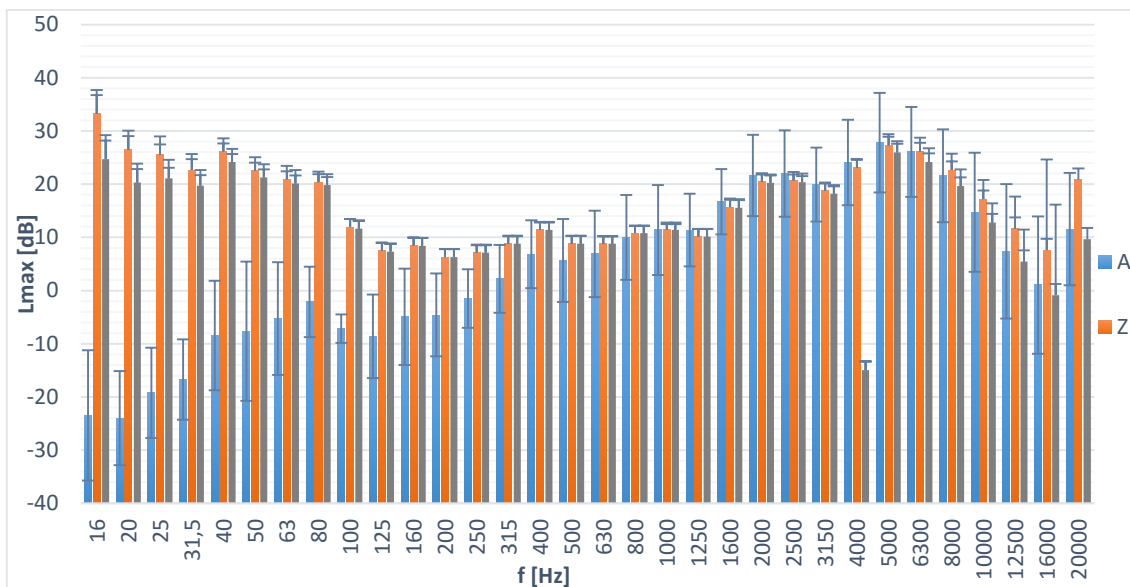
List, ve kterém se provádí frekvenční váhování signálu filtrem A, C. Zobrazuje tabulku s hodnotami korekcí obou filtrů v jednotlivých pásmech a také způsobenou nejistotu, kterou je třeba započítat při aplikování filtrů. List dále obsahuje hodnoty importovaných veličin a jejich nejistoty po aplikování kmitočtových filtrů.

	A	B	C	D	E	F
1	Hodnoty korekcí					
2	Band [Hz]	6,3	8	10	12,5	16
3		[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
4	A	-70,40	-70,40	-70,40	-63,40	-56,70
5	C	-14,30	-14,30	-14,30	-11,20	-8,50
6	Nejistota (kladná)	3,5	3,5	3,5	3	2,5
7	Nejistota (záporná)	-∞	-∞	-∞	-∞	-4,5
8						
9						
10	Aplikovaná korekce Lmax					
11	Band [Hz]	6,3	8	10	12,5	16
12		[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
13	Z	-72,55	-57,05	-42,90	-33,30	-26,55
14	A	-142,95	-127,45	-113,30	-96,70	-83,25
15	C	-86,85	-71,35	-57,20	-44,50	-35,05
16	Celková nejistota (kladná)	24,14	19,73	4,76	11,76	5,80
17	Celková nejistota (záporná)	-20,64	-16,23	-1,26	-8,76	1,20

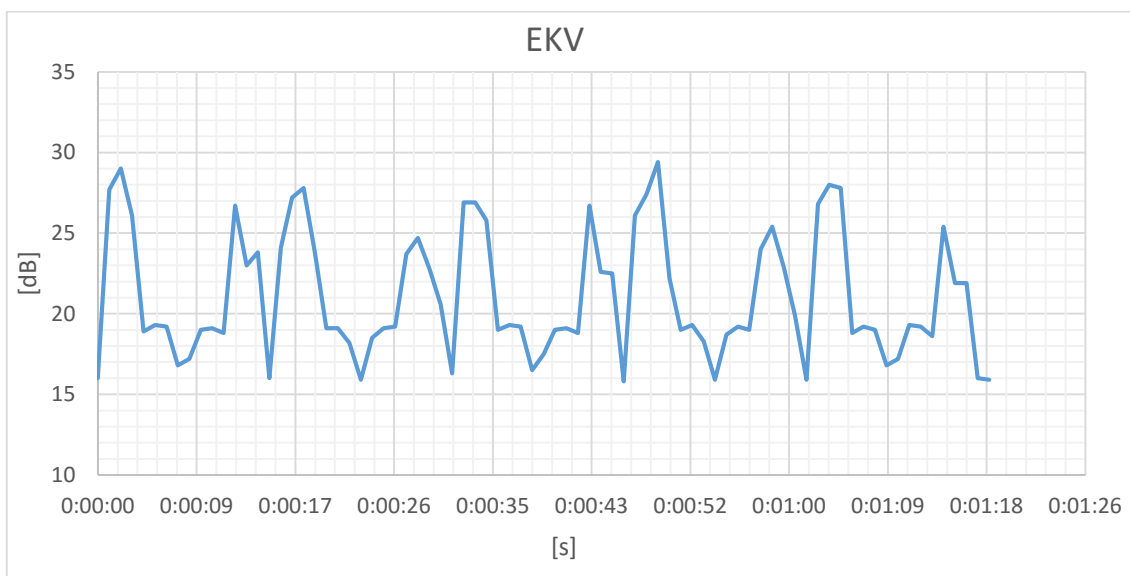
Obr. 2.4: List s hodnotami a aplikováním korekce filtru typu A, C

3.3.8 List „Grafy“

Účelem listu je zobrazit vypočítané hodnoty graficky. List tedy obsahuje spektrogram maximální hladiny akustického tlaku a spektrogram hladiny akustického tlaku překročené v 50%. Oba spektrogramy zobrazují hodnoty veličiny bez použití filtru i s použitím filtru A i C. Dále také zobrazují spočítanou nejistotu, vloženou jako chybu hodnoty. Posledním grafem, který list zobrazuje je průběh ekvivalentní hladiny akustického tlaku, importované v listu „LogEKV“.



Obr. 2.5: Spektrogram zobrazující maximální hladinu akustického tlaku v jednotlivých frekvenčních pásmech



Obr. 2.6: Zobrazení průběhu ekvivalentní hladiny akustického tlaku.

Pomocí tohoto grafu můžeme snadno zjistit, jak se měřený hluk v čase mění a lépe ho charakterizovat.

3.4 Analýza dat z přímého měření

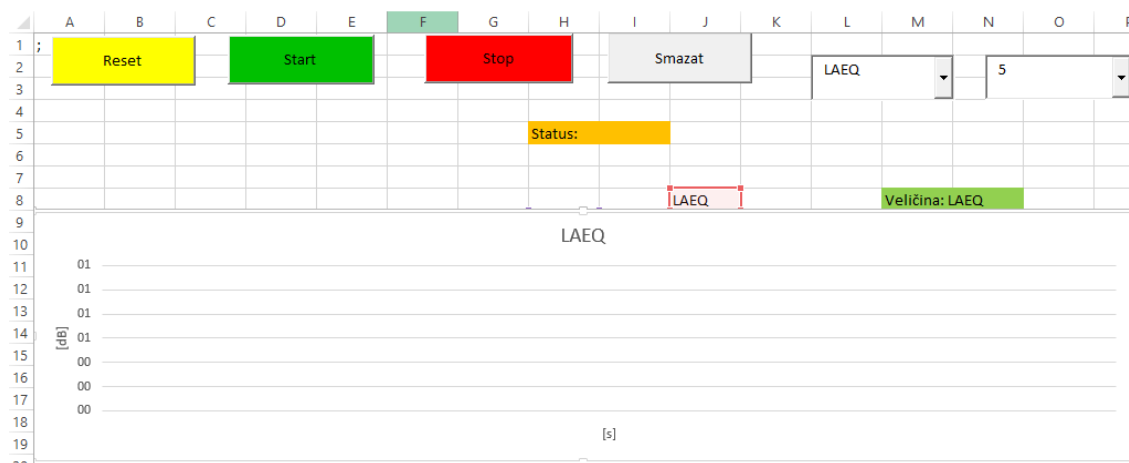
3.4.1 List „EKV“

List slouží pro komunikaci s hlukoměrem XL2 a získání hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku. Jsou zde přítomny celkem čtyři tlačítka, dva boxy a graf. V prvním

boxu vybírá uživatel, zda chce měřit ekvivalentní hladinu akustického tlaku s filtrem A (LAEQ), filtrem C (LCEQ) nebo bez filtru (LZEQ). Druhým boxem si uživatel volí časový interval měření. Hodnoty jsou uvedeny v sekundách [s].

Tlačítko „Reset“ slouží pro uvedení zvukoměru do výchozího stavu, například pro zrušení nastavení z minulého měření.

Tlačítko „Start“ spustí komunikaci s analyzátozem a ve zvoleném časovém intervalu začne načítat hodnoty veličiny. Ty se rovnou načítají do grafu, neboť je zde opět zvolen dynamický rozsah. Hodnoty se načítají, dokud uživatel nezmáčkne tlačítko „Stop“ a měření tak nezastaví. Tlačítkem „Smazat“ opět uživatel smaže načtená data z listu.



Obr. 2.7: List pro čtení hodnot ekvivalentní hladiny hlasitosti z přímého měření

3.4.2 List „RTA“

Pro získání hodnot veličiny v třetino – oktávových pásmech je třeba přejít na tento list. Obsahuje dva boxy a celkem šest tlačítek. V prvním boxu si uživatel zvolí typ frekvenčního filtru a typ časové konstanty. První písmeno značí typ frekvenčního filtru tedy buď A, C a nebo Z (žádný). Druhé písmeno značí typ časové konstanty, F pro konstantu Fast a S pro konstantu Slow.

Ve druhém boxu si uživatel volí veličinu, kterou chce měřit, tedy maximální hladinu akustického tlaku, minimální hladinu akustického tlaku, ekvivalentní hladinu akustického tlaku nebo hladinu překročeno v 50%.

Po výběru je třeba kliknout na tlačítko „Uložit“, aby se nastavení načetlo do zvukoměru!

Tlačítkem „Reset“ uživatel opět uvede zařízení do výchozího stavu, to je třeba udělat ještě před uložením hodnot a spuštěním vlastního měření. Pro zastavení vkládání hodnot je opět nutné použít tlačítko „Stop“. Pokud je uživatel spokojen, tlačítkem „nejistoty“ vyvolá počítání nejistot. Tím se opět provede přepočítání do pomocných listů, tak, aby bylo možné spočítat nejistoty.



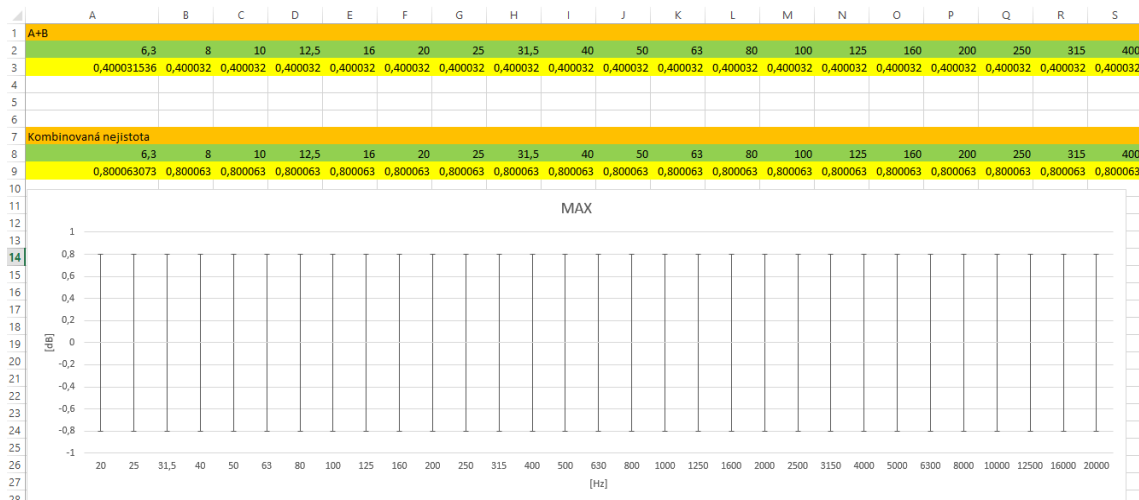
Obr. 2.8: List pro čtení hodnot veličiny v třetino – oktávových pásmech z přímého měření

3.4.3 List „BackG“

List slouží pro získání hodnot hluku pozadí. Funkčnost je totožná s listem „RTA“. Také je třeba nejprve uvést přístroj do původního stavu tlačítkem „Reset“, poté zvolit hodnoty v boxech a ty následně uložit tlačítkem „Ulož“. List opět kopíruje data do pomocných listů, počítá korekci hluků pozadí a její nejistotu. I zde pokud je rozdíl hluku zdroje a pozadí menší než 3 dB korekce nebude provedena, místo toho vrátí funkce nulu.

3.4.4 List „X12 RTA“

Pro souhrnnost výsledků je k dispozici tento list. Zobrazuje tabulku hodnot celkové nejistoty ve třetino – oktávových pásmech a její rozšířeno hodnotu. K dispozici je také spektrogram, který zobrazuje hodnotu změřené veličiny v daných pásmech a také rozšířenou nejistotu formou chyby hodnoty



Obr. 2.9: Zobrazení spočítaných hodnot nejistot a spektrogramu měřené veličiny

3. ZÁVĚR

Výsledkem této bakalářské práce je aplikace vývojového prostředí Visual Basic for Applications, která automatizuje měření zařízení XL2 a provádí následnou analýzu. Aplikace je rozdělena do dvou větších celků.

První celek je věnován importaci textového výstupu analyzátoru typu „Report RTA“, poté importaci výstupu typu „Log 123“ a následně načtení formátovaného výstupu měřiče teploty a vlhkosti. Program ze souboru „Report RTA“ načte požadované veličiny, spočítá nejistoty včetně korekce hluku pozadí, provede korekci frekvenčního filtru A, C a výsledky přehledně zobrazí v tabulce. Z této tabulky pak graficky zobrazí výsledky ve formě spektrogramu a také zobrazí spočítané nejistoty. Při práci se souborem „Log123“, jež obsahuje ekvivalentní hladinu akustického tlaku, měřenou v určitých časových intervalech, vybere data a výsledky zobrazí do grafu. Obdobně si bude počínat s výstupem měřiče teploty a vlhkosti, kde spočítá změnu v teplotě a změnu ve vlhkosti, vypočítá nejistotu způsobenou toutle změnou a tyto výsledky přičte k celkové nejistotě tak, aby bylo měření kompletní.

Druhý celek je věnován přímému měření analyzátozem pomocí modulu Remote Measurement. Při získávání ekvivalentní hladiny akustického tlaku, naváže program komunikaci, pošle příkaz pro měření dle výběru uživatele a začne přijímat výsledky, se v reálném času zobrazí v grafu. Pro získání třetino – oktávové analýzy je třeba změřit jak zdroj hluku, tak i zdroj pozadí. Uživatel tedy provede příkaz pro měření, program opět naváže komunikaci, pošle příkaz pro měření uživatelem vybraných veličina a začne přijímat výsledky. Z výsledků měření zdroje hluku a hluku pozadí a dále také z dat měřiče teploty a vlhkosti vypočítá program nejistoty a výsledky shromáždí do přehledné tabulky. Pomocí spektrogramu ještě zobrazí výsledky graficky.

Vývoj tohoto programu mi dal hodně zkušeností, hlavně co se týče prostředí Visual Basic for Application, kde jsem se naučil spoustu nových a užitečných věcí. Díky velké komunitě uživatelů není většinou problém vyřešit malý zádrhel a pokračovat ve vývoji.

Aplikace je funkční, avšak vytkl bych jí občasnou pomalost, která je způsobená velkým množstvím použitých for cyklů. Bohužel jsem nenašel alternativu pro řešení dané problematiky.

LITERATURA

- [1] SCHIMMEL, J. Elektroakustika. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2013. 167 s. ISBN 978-80-214-4716-5.
- [2] ISO 3744: Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. International Organization for Standardization, 2010.
- [3] CEI IEC 61672-1: Electroacoustics – Sound Level Meters – Part 1: Specifications. International Electrotechnical Commission, 2002.
- [4] NEJISTOTY MĚŘENÍ. ČVUT v Praze, 2009. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/nejistoty1.pdf>
- [5] DAVID A. BIES, COLIN H. Hansen Engineering Noise Control: Theory and Practice, Fourth Edition, 2009
- [6] BARTUŠEK, Karel, Eva GESCHEIDTOVÁ, Radek KUBÁSEK, Jan MIKULKA, Jiří REZ a Miloslav STEINBAUER. Měření v elektrotechnice [online]. 2., přeprac. a dopl. vyd. Brno: VUTIUM, 2010 [cit. 2016-1-15]. 212 s. ISBN 978-80-214-4160-6.
- [7] XL2 REMOTE MEASUREMENT, [online], [cit. 2016-1-28] Schaan, NTi Audio AG, 2016. Dostupné z: <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/XL2-Remote-Measurement-Manual.pdf>
- [8] XL2 OPERATING MANUAL, [online], [cit. 2016-1-27] Schaan, NTi Audio AG, 2016. Dostupné z: <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/XL2-Manual.pdf>

A SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

VBA - Visual Basic for Application

SPL - (Sound pressure level) hladina akustického tlaku

CPB - (Constant Percentage Bandwidth) analýza v kmitočtových pásmech s konstantní relativní šířkou

RTA - (Real Time Analysis) analýza v reálném čase

FFT - (Fast Fourier Transform) rychlá Fourierova transformace

c_0 - rychlost zvuku [m/s]

λ - vlnová délka [m]

ω - úhlový kmitočet

T - perioda [s]

f - frekvence, kmitočet [Hz]

f_D - dolní mezní kmitočet [Hz]

f_H - horní mezní kmitočet [Hz]

p - akustický tlak [Pa]

S - plocha [m²]

LEQ -ekvivalentní hladina akustického tlaku [dBSPL]

W_d -energie zvukové vlny

W_p -energie zvukové vlny po průchodu překážkou

u_A -standardní nejistota typu A

u_B -standardní nejistota typu B

u_C - standardní kombinovaná nejistota

B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

AutomaXL2 – aplikace proautomatizaci

Bakal_Svihalek – elektronická forma textové části bakalářské práce