

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OBJEKTIVNÍ KRITÉRIA HODNOCENÍ KVALITY POSLECHOVÝCH
PROSTORŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ ZWINS

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OBJEKTIVNÍ KRITÉRIA HODNOCENÍ KVALITY POSLECHOVÝCH PROSTORŮ

OBJECTIVE CRITERIA FOR ROOM ACOUSTICS ASSESSMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ ZWINS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ SCHIMMEL, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Jiří Zwins
Ročník: 3

ID: 106278
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Objektivní kritéria hodnocení kvality poslechového prostoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V programu Matlab realizujte aplikaci s vlastním grafickým rozhraním, které z impulsní charakteristiky prostoru načtené ze zvukového souboru vypočítá dobu dozvuku a následující objektivní kritéria kvality poslechového prostoru: míra přímého zvuku C7, míra zřetelnosti C50, míra jasnosti C80, zřetelnost D50, čas těžiště impulsové odezvy t_s , míra dozívání H, činitel interaurální vzájemné korelace IACC, akustická podpora pódia ST (early, late, total) a kritérium ozvěny EK pro řeč a hudbu. Funkce také zobrazí impulsní charakteristiku, kmitočtovou charakteristiku, Schroederův integrál a dozvukový pokles.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Everest, F., A., Master Handbook of Acoustics, 4th ed. McGraw-Hill, 2001. ISBN: 0-07-136097-2
- [2] Merhaut, J. a kol., Příručka elektroakustiky. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1964.
- [3] ČSN 73 0525, Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Všeobecné zásady. Český normalizační institut, 1997.
- [4] ČSN EN ISO 3382-2, Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Doba dozvuku v běžných prostorech. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

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

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, 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.

ABSTRAKT

Cílem semestrální práce je definování základních pojmů v oblasti akustiky, bližší seznámení s definovanými objektivními kritérii hodnocení akustických prostorů a praktické zpracování výpočetních algoritmů v prostředí Matlab. Stěžejní částí je prezentovaná technika výpočtu doby dozvuku pomocí integrace změřené impulsní charakteristiky místnosti a její grafický výstup. Doba dozvuku je právě jedním z objektivních kritérií hodnocení akustiky prostorů. Algoritmus výpočtu vychází z principu vybuzení uzavřeného prostoru Diracovým impulsem a následném určení poklesu energie dozvuku z časového průběhu akustického tlaku. K analýze dat posloužily zadané vzorky prostorů areálu VUT v Brně.

KLÍČOVÁ SLOVA

Objektivní kritéria kvality poslechových prostorů, doba dozvuku, impulsní charakteristika, Schroederův integrál.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to define basic concepts of acoustics, a closer acquaintance with the defined objective criteria for evaluation of acoustic spaces and practical processing algorithms in Matlab. The central part is presented technique of calculating the reverberation time by integrating the measured room impulse response and its graphical output. The reverberation time is just one of objective assessment criteria acoustic spaces. The calculation algorithm is based on the principle of a closed space Dirac excitation pulse and the subsequent decline in energy determination of the reverberation time of the acoustic pressure. The analysis of the data samples were used specified areas in VUT Brno.

KEYWORDS

Objective criteria for quality listening rooms, reverberation time, impulsion characteristics, Schroeder integral.

ZWINS, J. *Objektivní kritéria kvality poslechových prostorů: bakalářská práce.*
Brno: FEKT VUT v Brně, 2012. 41 stran, 1 příloha. Vedoucí práce Ing. Jiří Schimmel,
Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **Objektivní kritéria kvality poslechových prostorů** 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 autorského 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 31. května 2012

.....
podpis autora

OBSAH

Úvod.....	8
1 Systém klasifikace akustických poměrů	9
1.1 Jednočíselná klasifikace akustické kvality sálů	9
2 Objektivní kritéria kvality poslechových prostorů	12
2.1 Doba dozvuku	12
2.2 Míra přímého zvuku	15
2.3 Míra zřetelnosti	16
2.4 Míra jasnosti	16
2.5 Zřetelnost	17
2.6 Čas těžiště impulsové odezvy	17
2.7 Míra doznívání	18
2.8 Činitel interaurální vzájemné korelace	18
2.9 Akustická podpora pódia	19
2.10 Kritérium ozvěny pro řeč a hudbu	20
3 Realizace výpočetní funkce a její výstupy.....	22
3.1 Teoretické předpoklady	22
3.2 Grafické uživatelské rozhraní	23
3.3 Výstupy výpočetní funkce	25
4 Závěr	28
POUŽITÁ LITERATURA.....	29
SEZNAM ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ.....	30
SEZNAM PŘÍLOH	31
PŘÍLOHY	32

Úvod

Akustika je rozsáhlý vědní obor, zabývající se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem. Hudební akustika zkoumá fyzikální základy hudby, hudebních nástrojů a prostorů. Objektivní kritéria kvality hudebních prostorů se snaží ukázat jeden z možných způsobů klasifikace akustické kvality prostorů a vzájemnou korelaci se subjektivním hodnocením.

Akustická kritéria prostorů popisujících jejich kvalitu můžeme rozdělit na subjektivní a objektivní. V teoretické části si přiblížíme jednotlivé dílčí parametry, které slouží k určování kritérií. V praktické části se budeme zabývat pouze hodnocením objektivních kritérií, jak časových, frekvenčních, tak energetických. Pomocí programu Matlab se pokusíme realizovat výpočetní funkce, které nám z impulsní charakteristiky prostoru načteného zvukového souboru vypočítají dobu dozvuku a další objektivní kritéria kvality poslechových prostorů. Výstupem těchto funkcí bude zobrazení impulsní charakteristiky, kmitočtové charakteristiky, Schroederova integrálu a dozvukového poklesu. Cílem je vytvoření aplikace s grafickým rozhraním, která uživatelům usnadní práci a přehledně zobrazí získané výsledky.

1 Systém klasifikace akustických poměrů

Ucelený použitelný systém jednočíslné klasifikace akustických poměrů na základě vyhodnocení dílčích kritérií dosud neexistuje. V současné době existují minimálně tři použitelné modely jednočíslné predikce subjektivní kvality sálů na základě jejich objektivně měřitelných parametrů. [5]

- Shuo-xian Wu (1991) – používá matici hodnot Early Decay Time, InterAural Cross correlation Coefficient, derivaci $\partial EDT / \partial f$ a rozptyl InterAural Cross correlation Coefficient v sále pro prázdný a plně obsazený sál.
- Beranek (1996) – systém ortogonálních parametrů [1-IACC_{E3}], Initial Time Delay Gap, Strength of arriving energy G_{mid} , Early Decay Time, Bass Ratio a Surface Diffusion Index.
- Ando (1997) – na základě InterAural Cross correlation Coefficient, Initial Time Delay Gap, Listening Level a Subjective Reverberation Time.

Právě Berankův model je nyní široce používán při úpravách sálů, kdy na základě naměřených hodnot jsou hledány a napravovány jeho největší slabiny. [5]

1.1 Jednočíslná klasifikace akustické kvality sálů

Na základě pokusů v syntetickém poli objevil Ando, že pomocí párového srovnávání subjektivních preferencí lze koncertní sály škálovat na stupnici. [5] Ando předpokládal n fyzikálně měřitelných ortogonálních atributů popisujících všechny signály dopadající na obě uši posluchačů. Tyto atributy tvoří N -rozměrný prostor se souřadnicemi x_1, x_2, \dots, x_n . Škálová hodnota jednorozměrné subjektivní odpovědi je potom funkcí těchto souřadnic.

$$S = g(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1.1)$$

Psychoakustické studie dokázaly, že pro celkové subjektivní hodnocení platí

$$S = \sum g(x_i) = \sum S_i, \quad (1.2)$$

kde S_i jsou subjektivní preference jednotlivých parametrů zvukového pole.

Tato rovnice je analogická k principu superpozice u lineárních elektronických systémů. Ando dále předpokládal, že optimální bude, když hodnota každé subjektivní preference bude rovna nule. To ovšem vyžaduje, aby všechny atributy byly vyjadřovány v logaritmických souřadnicích. Pro jednotlivé subjektivní preference potom platí

$$S_i = -a_i \cdot \sqrt{|x_i|^3}, \quad (1.3)$$

kde a_i jsou váhové koeficienty jednotlivých atributů a x_i jsou hodnoty příslušného kritéria pro konkrétní parametry. Za nezávislé atributy Ando považoval prostorovost, intimitu, hlasitost a doznívání.

Na Andovy práce navázal Beranek. [5] Srovnáváním dotazníků dirigentů, sólistů a kritiků s objektivními měřitelnými parametry mnoha desítek sálů dospěl k závěru, že existuje šest ortogonálních parametrů. Čtyři z nich jsou shodné s Andem, další dva jsou spektrální závislost doznívání a difuzita doznívajícího zvukového pole. Podle subjektivních hodnocení Beranek stanovil šest kategorií pro hodnocení sálů. Jsou jimi “Superior/Dokonalé” A+, “Excellent/Špičkové” A, “Good to Excellent/Velmi dobré” B+, “Good/Dobré” B, “Fair to Good/Přijatelné” C+ a “Fair/Dostatečné” C.

Pro celkovou subjektivní preferenci akustického prostředí potom platí součet

$$S = \sum S_i = \sum -a_i \cdot \sqrt{|x_i|^3}. \quad (1.4)$$

Beranek dále identifikoval jednotlivé atributy s objektivními kritérii, jejich váhové koeficienty a rozmezí optimálních hodnot, které zobrazuje Tab. 1.1: Váhové koeficienty a rozmezí optimálních hodnot objektivních kritérií podle Beranka.). Pro predikci subjektivně hodnocené akustické kvality koncertního sálu pak sepsal meze, platící s 95% pravděpodobností. [5]

Tab. 1.1: Váhové koeficienty a rozmezí optimálních hodnot objektivních kritérií podle Beranka.

i	atribut	kritérium	váhový koeficient a_i	x_i	Preferovaná hodnota
1	prostorovost	$LACC_{E3}$	1,2	$1 - IACC_{E3}$	neexistuje
2	intimita	$ITDG$	1,42	$\log(ITDG/ITDG_{pref})$	20 ms nebo méně
3	hlasitost	G_{mid}	0,04 pro $G_{mid} < 4,0$, 0,07 pro $G_{mid} > 5,5$	$G_{mid} - G_{mid, pref}$ [dB]	4 až 5,5
4	doznívání	EDT	9 pro $EDT < 2,0$ 12 pro $EDT > 2,3$	$\log(EDT/EDT_{pref})$	2 až 2,3
5	spektrální průběh doznívání	BR	10 pro $BR < 1,1$ 10 pro $BR > 1,25$ a $T_{60} > 2,3$ 100 pro $BR > 1,45$ a $T_{60} < 1,8$	$\log(BR/BR_{pref})$	1,1 až 1,25 pro $T_{60} = 2,2$ 1,1 až 1,45 pro $T_{60} = 1,8$
6	difuzita zvukového pole	SDI	1	$\log(SDI/SDI_{pref})$	1,0

2 Objektívni kritéria kvality poslechových prostorů

Akustické hodnocení poslechových prostorů může být subjektivní a objektivní. Objektívni kritéria dělíme na časová, frekvenční, energetická a ostatní, která nejdou zařadit do ani jedné z uvedených skupin.

Časová a frekvenční kritéria se stanovují z časového úseku poklesu dozvukové křivky. Mezi nejpoužívanější patří doba dozvuku, počáteční doba dozvuku a poměr basových a vysokých kmitočtů.

Energetická kritéria vychází z energetických poměrů signálů pro definované časové úseky průběhů získané impulsové odezvy prostoru.

2.1 Doba dozvuku

Máme-li v uzavřeném prostoru zdroj konstantního výkonu, vydávaná energie se zčásti odráží od stěn. Dochází k interferenci mezi vlněním odraženým od stěn a vlněním vycházejícím ze zdroje, čímž se zvyšuje celková hladina intenzity zvuku v prostoru. V důsledku této interference se přerozdělí energie zvuku v uzavřeném prostoru. Vzhledem k tomu, že zdroj zvuku je stále v provozu, je do prostoru dodávána další akustická energie. Při vyšší hladině energie dochází k vyššímu pohlcování stěnami, takže při postupném navyšování hladiny energie nastane nakonec rovnovážný stav. To je stav, kdy je veškerá vyzařovaná energie zdroje pohlcována stěnami. Doba, po kterou se nastoluje rovnovážný stav se nazývá názvuk, nebo doba názvuku. Při větší pohltivosti stěn se vytvoří ustálený stav dříve a při nižší hladině intenzity zvuku. Jestliže stěny pohlcují méně, je rovnovážného stavu dosaženo později, při vyšší hladině intenzity zvuku. Hlasitost zvuku se postupně zvyšuje, až dosáhne svého maxima, které je závislé právě na pohlcování stěn.

Po nastavení ustálené hladiny intenzity zvuku vypneme zdroj zvuku. Od tohoto okamžiku bude zdrojem zvuku v místnosti akustická energie rozložená v prostoru. Tato energie je pohlcována stěnami a hladina intenzity zvuku klesá až na hodnotu, kdy bude v prostoru „ticho“. Průběh závislosti hlasitosti zvuku na čase je exponenciální a půjde o

klesající funkci. Tento jev se nazývá dozvuk. Doba, po kterou vnímáme dozvuk závisí na parametrech prostoru, parametrech zdroje a fyziologických parametrech. Má-li být doba dozvuku chápána pouze jako parametr prostoru, je třeba vyloučit poslední dva z uvedených parametrů. Proto byl zaveden pojem standardní doba dozvuku, která se stala hlavním měřítkem pro posouzení akustické kvality sálů. Standardní doba dozvuku je taková doba, za kterou klesne hladina intenzity zvuku v daném prostoru o 60 dB, tedy intenzita zvuku klesne 10^6 krát.

Doba dozvuku nemusí být vždy vhodným ukazatelem pro provozovanou činnost v daném prostoru. Experimentováním se zjistilo, že obecně pro hudbu a velké sály je vhodnější delší doba dozvuku, pro řeč či malé místnosti pak kratší doba dozvuku. Doba dozvuku závisí na pohltivosti stěn a frekvenci zvuku podle toho, jaké materiály byly při konstrukci interiéru použity. Cílem je vždy mít sál s dozvukem frekvenčně nezávislým. Při odvozování vzorce pro výpočet doby dozvuku se pro akustické pole počítá s jistými předpoklady. Prvním je, že v uzavřeném prostoru je objemová hustota akustického energie a intenzita zvuku stejná. Druhým předpokladem je, že v kterémkoliv místě takového prostoru je intenzita zvuku rovna součtu intenzit všech zvuků, které do tohoto místa dospívají, a to ať už přímo či odrazem. Třetím předpokladem je, že všechny úhly dopadu zvuku do kteréhokoliv místa jsou stejně pravděpodobné. Na základě těchto předpokladů existují tři vzorce, pomocí nichž je možné dobu dozvuku určit. [3, 4]

2.1.1 Wallace Clement Sabine

Na základě svých experimentů určil vztah mezi kvalitou akustiky, velikostí prostoru a velikostí absorpční plochy. Formálně pak definoval dobu dozvuku, která je stále nejdůležitější vlastností pro měření akustické kvality prostor. Pro svoje odvození užil dalších dvou zjednodušujících předpokladů. Prvním je spojitě klesající intenzita zvuku v prostoru, druhým pomínutí rozdílů vlastností jednotlivých ploch na dobu dozvuku a použití celkové pohltivosti všech předmětů při odvozování. Na základě těchto předpokladů pak Sabine stanovil následující vzorec:

$$T = 55,3 \cdot \frac{V}{\alpha \cdot S} = 55,3 \cdot \frac{V}{A \cdot v} = 0,163 \cdot \frac{V}{A} = 0,163 \cdot \frac{V}{\sum \alpha_i \cdot S_i}, \quad (2.1)$$

kde V je objem místnosti, α je pohltivost stěn, S je plocha stěn místnosti, A je celková pohltivost stěn a v je rychlost zvuku ve vzduchu při pokojové teplotě.

Jak bylo zjištěno v dalších letech, některé zjednodušující předpoklady nebyly úplně relevantní, protože intenzita zvuku klesá skokově vždy při odrazu od předmětu či stěny a také závisí na individuální pohltivosti daných povrchů. Než se však toto prakticky ověřilo, byl uvedený vztah v akustice zaveden a pro svoji jednoduchost se někdy používá i dnes. V současnosti víme, že vyhovuje pouze pro sály s malou pohltivostí do $\alpha_s = 0,2$. Výpočet doby dozvuku zpřesnil Eyringův a Millingtonův vzorec. [4]

2.1.2 Carl F. Eyring

Při odvozování vzorce pro standardní dobu dozvuku neutil zjednodušení o spojitěm poklesu intenzity zvuku a správně předpokládal, že intenzita zvuku klesá skokově, vždy při odrazu na pevném povrchu. Ostatní předpoklady použil jako Sabine.

Eyringův vzorec pro střední dobu dozvuku je:

$$T = \frac{-6,4 \cdot V}{S \cdot v \cdot \ln(1 - \alpha) \cdot \log e} = \frac{-0,163 \cdot V}{S \cdot \ln(1 - \alpha)}, \quad (2.2)$$

kde V je objem místnosti, S je celková plocha všech ohraničujících stěn místnosti, v je rychlost zvuku ve vzduchu. [4]

2.1.3 Millingtonův vzorec

Odvození vychází z předpokladu, že k poklesu energie dochází po skocích a faktu, že různé předměty mají různé koeficienty pohltivosti a při každém odrazu se pohltí jiná část energie.

Vztah, ze kterého lze vyjádřit standardní dobu dozvuku podle Millingtona:

$$T = \frac{-6,4 \cdot V \cdot \ln 10}{v \cdot \sum_{i=1}^k S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i)} = \frac{-0,163 \cdot V}{\sum_{i=1}^k S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i)}, \quad (2.3)$$

kde V je objem místnosti, S jsou plochy předmětů, od kterých se zvuk odráží, v je rychlost zvuku ve vzduchu.

Tento Millingtonův vzorec je nejpřesnější, ale dlouhou dobu se nepoužíval. Chyběla totiž výpočetní technika, která by dokázala takto složité výpočty realizovat. V místnosti totiž mohou být až stovky ploch různé velikosti a s různými koeficienty pohltivosti. [4]

2.2 Míra přímého zvuku

Míra přímého zvuku C_7 je definována jako poměr energií přicházejících do 7 ms k energii od 7 ms. Její hodnota je udávána v decibelech. Míra přímého zvuku C_7 se používá při lokalizaci přímého zvuku zdroje.

$$C_7 = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{7 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{7 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \cdot \log \frac{E_7}{E_{\infty} - E_7}, \quad (2.4)$$

kde E_7 je energie přicházející do 7 ms.

Výsledné hodnoty nad -15 dB připouští dobrou lokalizaci zdroje zvuku. Čím více se výsledná hodnota blíží nule, tím lepší je možnost lokalizace zdroje. [1]

2.3 Míra zřetelnosti

Míra zřetelnosti C_{50} udává akustické kritérium srozumitelnosti pro řeč. Je difonována jako poměr energie přicházející do 50 ms k energii přicházející po 50 ms. Její hodnota je udávána v decibelech.

$$C_{50} = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \cdot \log \frac{E_{50}}{E_{\infty} - E_{50}}, \quad (2.5)$$

kde E_{50} je energie přicházející do 50 ms.

Hodnoty nad 0 dB ve standardní místnosti ukazují na dobrou srozumitelnost mluveného slova. Naopak hodnoty pod -5 dB značí víceodraznou místnost, která není vhodná pro přednes mluveného slova. [1]

2.4 Míra jasnosti

Míra jasnosti C_{80} udává akustické kritérium pro hudbu a je definována desetinásobkem dekadického logaritmu poměru zvukové energie do 80 ms a po 80 ms, pro oktávové pásmo 1 kHz. Je zakotvena v ČSN 73 0525.

$$C_{80} = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \cdot \log \frac{E_{80}}{E_{\infty} - E_{80}}, \quad (2.6)$$

kde E_{80} je energie přicházející do 80 ms.

V současnosti představuje míra jasnosti C_{80} nejlepší možnost časového rozlišení tónů v rychlých hudebních pasážích. Optimální hodnoty závisí na hudebním žánru, obecně se za ideální považuje hodnota 1 ± 2 dB. Podle [5] je hodnota maximální difference ΔC_{80} pro příslušný styl hudby rovna ± 3 dB. Pro romantickou hudbu by

hodnoty měly ležet v rozsahu hodnot -2 dB až +4 dB, pro klasickou a moderní hudbu v rozsahu hodnot 0 dB až +6 dB. Podle [2] jsou ideální hodnoty pro jednotlivé hudební žánry následující: varhanní hudba nebo dechové nástroje při pomalejším tempu 0 ± 2 dB, smyčcové nástroje, instrumentální hudba prezentovaná v sálech a rychlejším tempu a sborový zpěv 2 ± 2 dB, drnkací a trsací nástroje, folková hudba v rychlejším tempu 4 ± 2 dB, pro hudbu nástrojů s perkusním průběhem, rock and roll a moderní hudbu 6 ± 2 dB. Hodnota 8dB by v žádném místě neměla být překročena! [1]

2.5 Zřetelnost

Zřetelnost D_{50} je definována poměrem energií časových úseků.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t) dt} = \frac{E_{50}}{E_{\infty}}, \quad (2.7)$$

kde E_{50} je energie přicházející do 50 ms.

Hodnoty zřetelnosti jsou svou hodnotou ekvivalentem parametru míry zřetelnosti. [1]

2.6 Čas těžiště impulsové odezvy

Čas těžiště impulsové odezvy t_s je úzce svázán s hodnotou C_{80} a má obdobné využití. Tato veličina vypovídá o prostorovém dojmu a jasnosti pro hudbu a mluvené slovo. Čas těžiště impulsové odezvy je dán rovnicí

$$t_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{E_{\infty}}. \quad (2.8)$$

Pro hudbu se hodnoty v oktávovém pásmu 1000 Hz pohybují v rozsahu 70 až 150 ms, pro řeč v oktávových pásmech 500 Hz až 4000 Hz jsou hodnoty v rozsahu 60 až 80 ms. [1]

2.7 Míra doznívání

Míra doznívání H popisuje dozvukový prostorový dojem hudebního výkonu. Pro oktávové pásmo 1000 Hz se vypočítá z dekadického logaritmu poměru zvukové energie od 50 ms ku energii přicházející v čase do 50 ms.

$$H = 10 \cdot \log \frac{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{50ms} p^2(t) dt} = 10 \cdot \log \frac{E_{\infty} - E_{50}}{E_{50}}, \quad (2.9)$$

kde E_{50} je energie přicházející do 50 ms.

Ze vztahů (2.5) a (2.9) můžeme vyjádřit vzájemnou souvislost mezi mírou doznívání H a mírou zřetelnosti C_{50}

$$H = -C_{50}. \quad (2.10)$$

Obdobně můžeme pomocí vztahů (1.7) a (1.9) vyjádřit vzájemnou souvislost mezi mírou doznívání H a zřetelností D_{50} [1]

$$H = 10 \cdot \log \frac{1 - D_{50}}{D_{50}}. \quad (2.11)$$

2.8 Činitel interaurální vzájemné korelace

Proces slyšení je binaurální. Studie poslechových prostorů ukázaly, že činitelé interaurální vzájemné korelace $IACC$, měřené za pomoci reálného posluchače, dobře korelují se subjektivní kvalitou prostorového dojmu v koncertním sále.

Normalizovaná funkce interaurální vzájemné korelace $IACF$ je definována

$$IACF_{t_1, t_2}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_l(t) \cdot p_r(t + \tau) dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} p_l^2(t) dt \int_{t_1}^{t_2} p_r^2(t) dt}}, \quad (2.12)$$

kde $p_l(t)$ je impulsová odezva na vstupu do levého ušního kanálu a $p_r(t)$ je impulsová odezva na vstupu do pravého ušního kanálu.

Činitel interaurální vzájemné korelace *IACC* je dán rovnicí

$$IACC_{t_1, t_2} = \max |IACF_{t_1, t_2}(\tau)|, \quad -1ms < \tau < 1ms. \quad (2.13)$$

Hodnoty $IACC_E$ by se měly podle nejpřísnějších požadavků pohybovat v rozsahu 0,4 až 1,0 v oktákových pásmech 500, 1000 a 2000 Hz, kde maximum znamená rozdílnot zvukových signálů na obou uších. Písmena E, L a A určují, z jakých integračních časových mezí se parametr *IACC* určí (pro $IACC_E$ jsou meze $t_1 = 0ms, t_2 = 80ms$, $IACC_L$ jsou meze $t_1 = 80ms, t_2 = 1000ms$, $IACC_A$ jsou meze $t_1 = 0ms, t_2 = 1000ms$). Číslo za písmenem udává, pro která třetinooktávová pásma je hodnota *IACC* určena (3 pro 500 Hz, 1000 Hz a 2000 Hz; 4 pro 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz a 4000 Hz). Nejlépe hodnocené sály mají hodnoty $[1 - IACC_{E3}]$ okolo 0,6. [1]

2.9 Akustická podpora pódia

Akustická podpora pódia *ST* je definována jako poměr energií zvuku v intervalech 0 až 10 ms a 20 až 100 ms, vyjádřený v logaritmickém měřítku. Tento poměr charakterizuje vzájemný přenos zvuku mezi hudebníky. Akustická podpora pódia je určována z kvadrátu časového průběhu akustického tlaku monaurální impulsové odezvy snímané všesměrovým mikrofonem ze vzdálenosti jednoho metru od všesměrového zdroje zvuku.

$$ST = 10 \cdot \log \frac{\int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt}{\int_0^{t_3} p^2(t) dt} = 10 \cdot \log \frac{E_{t_1} - E_{t_2}}{E_{t_3}}. \quad (2.14)$$

Akustickou podporu pódia rozlišujeme ve třech variantách. Varianta „early support“ má hodnoty $t_1 = 100ms$, $t_2 = 20ms$, $t_3 = 10ms$, varianta „late support“ má hodnoty $t_1 = 1000ms$, $t_2 = 100ms$, $t_3 = 10ms$ a varianta „total support“ má hodnoty $t_1 = 1000ms$, $t_2 = 20ms$, $t_3 = 10ms$.

Optimální hodnoty ST_{early} leží v rozmezí -12 ± 2 dB. [1]

2.10 Kritérium ozvěny pro řeč a hudbu

Důležitým parametrem akustické kvality prostoru související s odrazy je přítomnost či nepřítomnost vnímatelné či rušivé ozvěny. První práce v tomto směru publikoval v 50-tých letech Helmuth Haas. [1] Na vzorku 80 osob, kterým přehrával pomocí dvou reproduktorů řečový signál, sledoval procento posluchačů rušených zpožděným signálem stejné úrovně v závislosti na časovém odstupu. V dalším experimentu zkoumal rušivý účinek zpožděného odrazu v závislosti na časovém odstupu a jeho relativní úrovni. Výsledkem pro střední kadenci řeči byl graf závislosti stejně hlasitě vnímaného odrazu na časovém odstupu. Z něho je patrné, že při zpoždění o 10 až 30 ms musí stejně hlasitě slyšitelný odraz mít o +10 dB vyšší úroveň. Tento výsledek bývá označován jako Haasův jev. Nesmíme jej však zaměňovat s precedenčním jevem – v oblasti pod křivkou stejné hlasitosti Haasova jevu není zpožděný signál vnímán rušivě. Pro hudební signály se obdobné výzkumy konaly v 80-tých letech. Výsledkem práce Dietsche a Kraaka je Kürerova definice těžiště kvadrátu impulsové odezvy, u které sledují průběh náběhu času těžiště váženého kvadrátu impulsové odezvy. [1]

$$t_s(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} |p^2(t)|^n t dt}{\int_0^{\tau} |p^2(t)|^n dt} \quad (2.15)$$

kde pro řeč je váhový koeficient $n = 0,67$ a pro hudbu $n = 1,00$.

Kritérium ozvěny EK je pak definováno vztahem

$$EK(\tau) = \frac{\Delta t_s(\tau)}{\Delta t_E} \quad (2.16)$$

kde pro řeč je $\Delta t_E = 9$ ms a pro hudbu $\Delta t_E = 14$ ms.

Meze pro takto definovaná kritéria jsou pro řeč $EK_{09} - EK_{10\%} > 0,9$ a $EK_{50\%} \geq 1,0$ a pro hudbu $EK_{14} - EK_{10\%} > 1,5$ a $EK_{50\%} \geq 1,8$. Indexy 10% a 50% značí počet posluchačů, kteří jsou některým z odrazů rušení. V současnosti je kritérium ozvěny pro řeč a hudbu součástí pouze jediného akustického měřicího programu, a tím je EASEA.

[1]

3 Realizace výpočetní funkce a její výstupy

Pro realizaci zadaných výpočtů jsme vybrali prostředí Matlab ve verzi 7.12.0 (R2011a). Jedná se o integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, paralelní výpočty, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. [6]

Základním požadavkem bylo, zobrazit v přehledném grafickém prostředí vypočítané hodnoty a impulsní charakteristiku, kmitočtovou charakteristiku, Schroederův integrál a dozvukový pokles pro vybraný vzorek akustických parametrů místnosti.

3.1 Teoretické předpoklady

Impulsní charakteristika je odezva systému na Diracův impuls na vstupu. Při realizaci se udává, že musí mít co největší amplitudu a co nejkratší dobu trvání. Matematicky dosahuje Diracův impuls nenulové hodnoty pouze v čase $t = 0$.

Kmitočtový přenos je poměrem výstupních a vstupních harmonických kmitů systému a kmitočtová charakteristika je grafickým znázorněním $G(j\omega)$ v komplexní rovině, přičemž proměnným parametrem je úhlová rychlost frekvence ω , kterou měníme od nuly do nekonečna.

Schroederův integrál je definován vztahem

$$S(t) = \int_t^{\infty} p^2(t) dt \quad (3.1)$$

kde p je impulsní odezva korespondující příchodu přímého zvuku v čase $t = 0$.

Dozvukový pokles úzce souvisí s dobou dozvuku RT , která je určena přímkou se směrnicí b , proloženou dozvukovým poklesem $D(t)$ v úseku mezi hladinami $D = -5\text{ dB}$ až $D = -35\text{ dB}$. Dozvukový pokles je definován vzorcem

$$D(t) = 10 \cdot \log\left(1 - \frac{E_t}{E_\infty}\right) \quad (3.2)$$

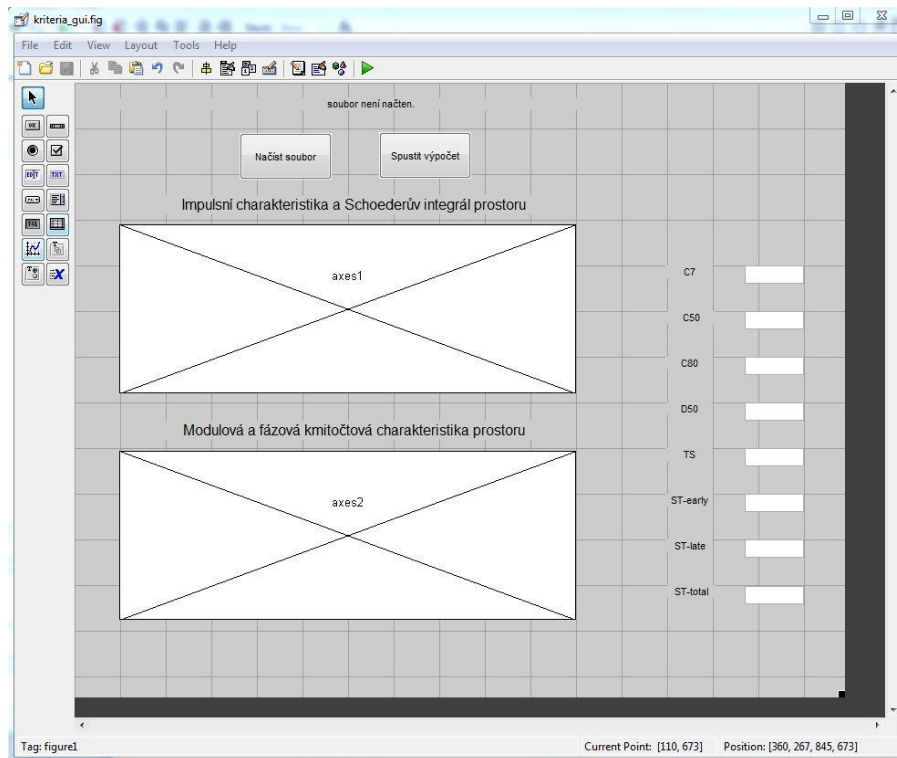
kde E_t je energie v určitém časovém období a E_∞ je energie maximální, za předpokladu, že vybuzenému stavu odpovídá hladina 0 dB. [2]

3.2 Grafické uživatelské rozhraní

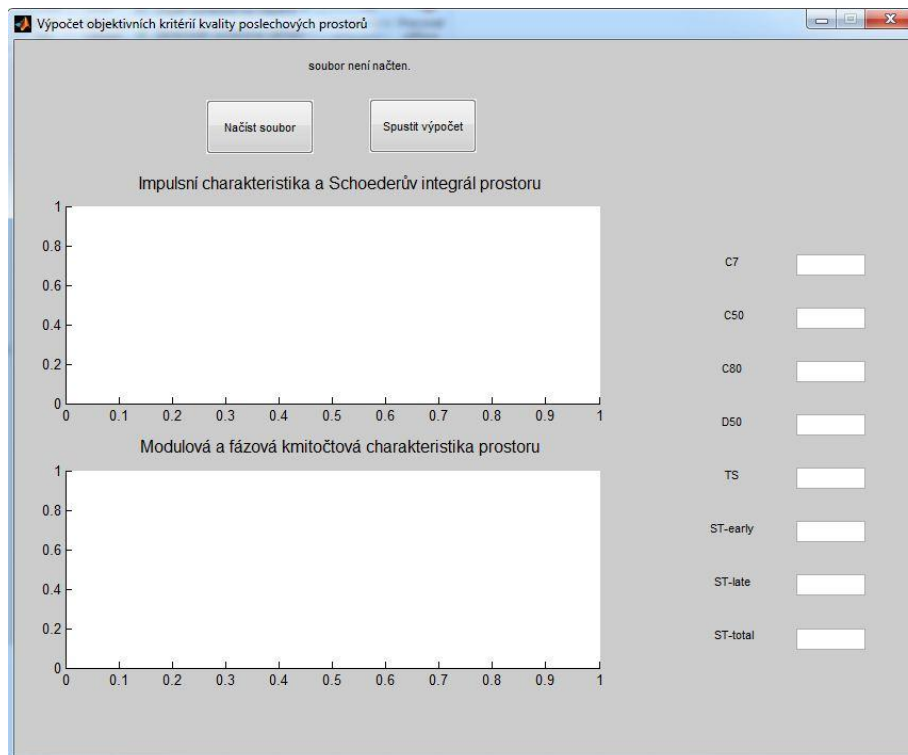
Jedním z cílů realizace bylo vytvoření přehledného grafického rozhraní, které by zjednodušilo ovládání běžným uživatelům.

Práce s konzolí programu MATLAB působila těžkopádně a složitě, takže jsme pomocí funkcí vytvořili jednoduchou nadstavbu výpočetních funkcí. Tato aplikace umožňuje i programování neznalému uživateli snadno načíst soubor s parametry testovaného prostředí a jedním kliknutím spouští výpočet, jehož finálním výsledkem je zobrazení požadovaných grafů a přehledný soupis vypočítaných hodnot všech potřebných parametrů. Konečnou aplikaci je možné exportovat do klasického spustitelného souboru, tedy uživatel by vůbec nepřicházel do styku s programovacím prostředím. Tuto možnost jsme však v této práci nevyužili, protože v akademické verzi programu není běžně k dispozici.

Výsledkem je tedy aplikace, snadno a intuitivně ovladatelná, jako ostatní běžné kancelářské programy.



Obrázek 1 - Vytváření GUI (grafického uživatelského rozhraní) v programu MATLAB.



Obrázek 2 - Výsledné GUI výpočetní aplikace.

3.3 Výstupy výpočetní funkce

Navržená výpočetní aplikace pracuje v plně grafickém režimu. Po spuštění výpočtového algoritmu je třeba na výstupní data počkat, v závislosti na délce zpracovávaného zvukového souboru. Rychlost zpracování se odvíjí od výkonu počítače a i na výkonném dvoujádrovém procesoru může trvat i desítky vteřin.

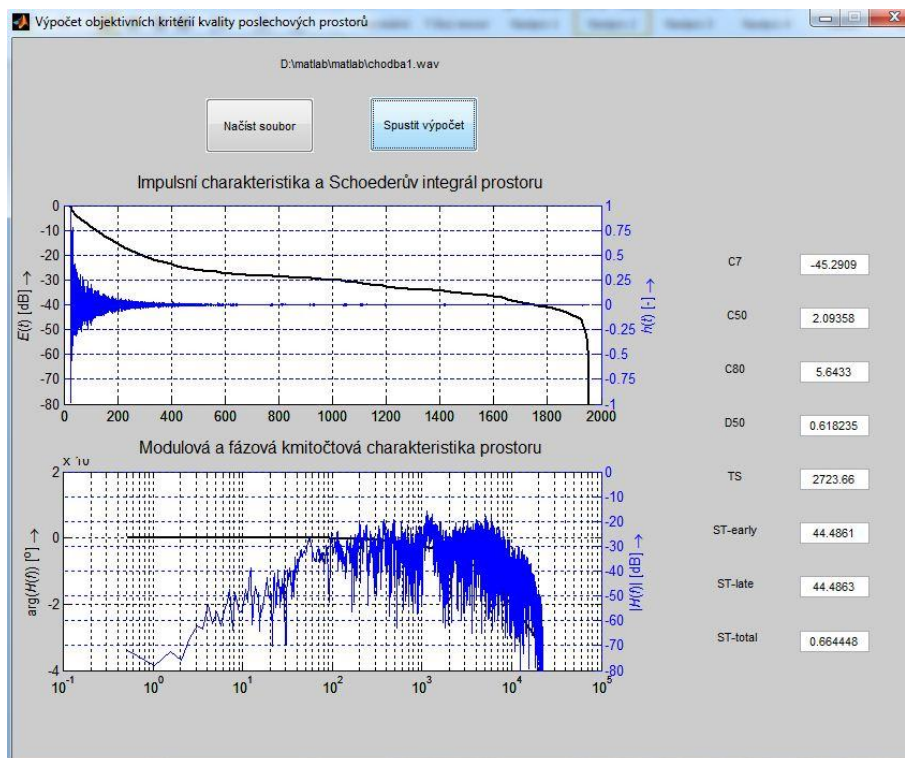
V Tab. 2: Vypočítané hodnoty dílčích objektivních kritérií kvality poslechového prostor.) jsou zobrazeny vypočítané hodnoty objektivních kritérií ve všech třech testovaných lokalitách.

Tab. 2: Vypočítané hodnoty dílčích objektivních kritérií kvality poslechového prostor.

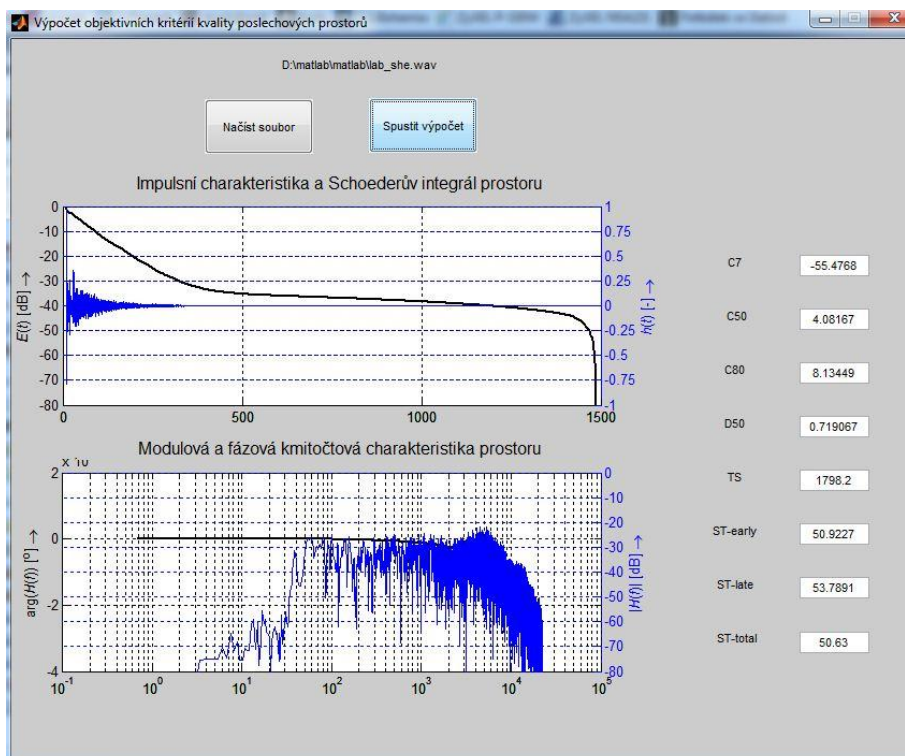
	Chodba	Laboratoř	Malá místnost
Míra přímého zvuku C_7	-45,29 dB	-55,48 dB	-39,45 dB
Míra zřetelnosti C_{50}	2,09 dB	4,08 dB	9,00 dB
Míra jasnosti C_{80}	5,64 dB	8,14 dB	14,68 dB
Zřetelnost D_{50}	0,62 dB	0,72 dB	0,89 dB
Čas těžiště impulsové odezvy t_s	2724 ms	1798 ms	974 ms
Míra doznívání H	-2,09 dB	-4,08 dB	-9,00 dB
Akustická podpora pódia ST	early – 44,49 late – 44,49 total – 0,66	early – 50,92 late – 53,79 total – 50,63	early - -2,07 late – 2,77 total – 1,05

Zhodnoťme si nyní dílčí objektivní kritéria, která se nám podařilo vyhodnotit z analyzovaných vzorků různých místností na VUT.

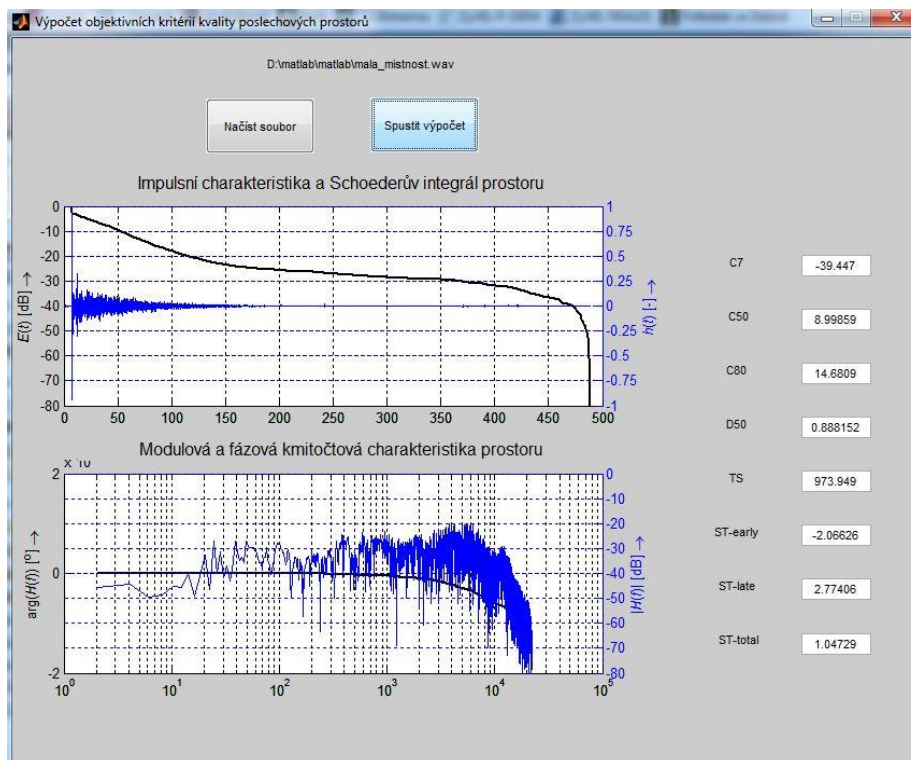
Míra přímého zvuku nám určuje dobrou lokalizaci zdroje zvuku. Ze zjištěných hodnot vychází nejlépe malá místnost, určená pravděpodobně k výuce, kde se nejlépe lokalizuje zdroj, tedy přednášející. Horší akustiku má chodba a nejhůře dopadla laboratoř. To je nejspíše způsobeno velkým množstvím přístrojů, které zvuk odráží a tlumí.



Obr. 3.1: Výsledné hodnoty výpočetní aplikace z analyzovaného vzorku z chodby VUT.



Obr. 3.2: Výsledné hodnoty výpočetní aplikace z analyzovaného vzorku z laboratoře VUT.



Obr. 3.3: Výsledné hodnoty výpočetní aplikace z analyzovaného vzorku z malé místnosti VUT.

Míra zřetelnosti nám udává srozumitelnost řeči. Všechny ověřované prostory vykazují dobrou srozumitelnost mluveného slova. Nejlépe vychází opět malá místnost, která tím jen potvrzuje vhodné prostředí k výuce. Nejhorší srozumitelnost má chodba, což je způsobeno i velkou vzdáleností. O žádném ověřovaném prostoru se nedá říci, že by byl vyloženě víceodrazivý.

Míra jasnosti je obdobným parametrem, určujícím zda je prostor ideální pro poslech hudby. Z toho nám nejlépe vyšla chodba, která svým podlouhlým prostorem imituje arénu či koncertní sál a dosahuje téměř ideálních parametrů. Naopak laboratoř i malá místnost mají již hodnoty překročené a nejsou tedy vhodné např. pro poslech moderní hudby.

Ostatní parametry zobrazují vzájemné přenosy mezi hudebníky či specifické rozdíly pro různá oktavová pásma.

4 Závěr

Tato práce slouží k seznámení a pochopení některých objektivních kritérií kvality poslechových prostor a činitelů, které tuto kvalitu ovlivňují. Cílem bylo nejen shrnout teoretické poznatky, ale také naprogramovat aplikaci, která by tato kritéria vyhodnocovala.

Pro zpracování akustických signálů bylo využito prostředí Matlab 7.12.0. Jako vstupní data posloužily tři zvukové soubory formátu WAV o vzorkovací frekvenci 44100 Hz a bitové rychlosti 128 kbps, obsahující impulsní charakteristiky testovaných prostorů na VUT v Brně.

Z analyzovaných souborů se počítaly počty vzorků a následně energie do a od stanovené doby, která posloužila k výpočtům míry přímého zvuku C_7 , míry zřetelnosti C_{50} , míry jasnosti C_{80} , zřetelnosti D_{50} a míry doznívání H . Poté byl proveden výpočet Schroederova integrálu a zobrazeny grafické výstupy impulsní charakteristiky, kmitočtové charakteristiky, Schroederova integrálu a dozvukového poklesu. Všechna tato výstupní data jsou prezentována v části Výstupy výpočetní funkce, v kapitole 3. Z výsledků plyne, že malá místnost je téměř ideálním prostředím pro výuku. Má dobrou lokalizaci zvuku a srozumitelnost řeči. Oproti tomu chodba je spíše vhodná pro poslech hudby, kde se využije jejího prostorového efektu. Z hlediska šíření zvuku je na tom nejhůře laboratoř, jejíž vybavení tlumí či ruší spoustu zvukových vln, a proto není vhodná ani pro přednes či pro poslech.

Jádro navržené aplikace je obsaženo v souboru *kriteria_gui.m*, grafické rozhraní poté v souboru *kriteria_gui.fig*. Zdrojový kód je uveden v příloze a na přiloženém médiu. Přiloženy jsou také všechny tři zvukové soubory prostředí, které sloužily k analýze dat. Výpočet probíhá v grafickém rozhraní GUI. To by se dalo dále rozšiřovat o různé druhy vzhledu či by bylo možné aplikaci exportovat do spustitelného formátu a vytvořit k ní instalátor. To však již nebylo cílem naší práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VONDRÁŠEK, M.; ANTEK, M., ml.. Porovnání objektivních kritérií kvality koncertních sálů. Akustické listy. Září 2005, ročník 11, číslo 3. Dostupné z URL: <<http://www.czakustika.cz/listy/casopis/11-3.pdf>>
- [2] JELÍNEK, J. Porovnání objektivních kritérií prostorové akustiky, Praha. Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, 2008. Dostupné z URL: <http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/BP_2008_Jelinek_Jan_locked.pdf>
- [3] JEŠKO, P. Návrh a realizace akustických úprav laboratoře, Brno. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 58s.
- [4] REICHL, J.; VŠETIČKA, M. Encyklopedie fyziky. Dostupné z URL: <<http://fyzika.jreichl.com/>>
- [5] VONDRÁŠEK, M.; ANTEK, M., ml.. Porovnání objektivních kritérií kvality koncertních sálů. Dostupné z URL: <<http://radio.feld.cvut.cz/AES/schuze2004/vondrasek.pdf>>
- [6] Webová prezentace firmy HUMUSOFT s.r.o.. MATLAB, Simulink. Dostupné z URL: <<http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/>>

SEZNAM ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ

BR	Bass Ratio – míra hlubokých tónů
EASEA	akustický měřicí program
EDT	Early Decay Time – počáteční doba dozvuku
EK	Echo Criterion – kritérium ozvěny
G_{mid}	Strength of arriving energy – síla zvuku
GUI	Graphical User Interface – grafické uživatelské rozhraní
IACC	InterAural Cross correlation Coefficient – činitel interaurální vzájemné korelace
IACF	InterAural Cross correlation Function – normalizovaná funkce IACC
ITDG	Initial Time Delay Gap – časové zpoždění prvních odrazů
LE	rozptyl
LL	Listening Level
SDI	Surface Diffusion Index – míra hodnoty rozptylovosti povrchu
WAV	Waveform audio file format – zvukový formát pro ukládání zvuku na počítači

SEZNAM PŘÍLOH

- A** Zdrojový kód výpočetní funkce

- B** CD-ROM médium
 - B.1** Semestrální práce (SP_Zwins_106278.pdf)
 - B.2** Výpočetní aplikace (kriteria_gui.m, kriteria_gui.fig)
 - B.3** Zdrojové soubory (chodba1.wav, lab_she.wav, mala_mistnost.wav)

PŘÍLOHY

Zdrojový kód výpočetní aplikace - Matlab (kriteria.m)

```
function varargout = kriteria_gui(varargin)
% KRITERIA_GUI M-file for kriteria_gui.fig
%   KRITERIA_GUI, by itself, creates a new KRITERIA_GUI or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = KRITERIA_GUI returns the handle to a new KRITERIA_GUI or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   KRITERIA_GUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in KRITERIA_GUI.M with the given input arguments.
%
%   KRITERIA_GUI('Property','Value',...) creates a new KRITERIA_GUI or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before simple_gui_OpeningFunction gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to kriteria_gui_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help kriteria_gui

% Copyright 2001-2003 The MathWorks, Inc.

% Last Modified by GUIDE v2.5 27-May-2012 22:43:33

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',   @kriteria_gui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',    @kriteria_gui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',    [], ...
                  'gui_Callback',     []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before kriteria_gui is made visible.
function kriteria_gui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to kriteria_gui (see VARARGIN)
global nacten;
nacten=0;
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
```

```

function varargout = kriteria_gui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function fileopen_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
global signal;
global Fs;
global nacten;
[FileName,PathName] = uigetfile('*.wav','Otevřeni souboru .wav');
% Načtení impulsní charakteristiky zvukového souboru
nacten=0;
[signal, Fs, Nbits] = wavread(fullfile(PathName, FileName));
[N, channels] = size(signal);
signal=signal';
disp('soubor nacten');
set(handles.text4,'String',fullfile(PathName, FileName));
if (size(signal)>0)
    nacten=1;
end;

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function start_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
global signal;
global Fs;
global ahl;
global ah2;
global nacten;

if (nacten==1)
disp('probiha vypocet');
% Výpočet T60 (2.1)
E = sum(signal.^2);
Et = zeros(1,length(signal));

for k = 1:length(signal),
    Et(k) = sum(signal(1:k).^2);
end;

% Výpočet C7 (2.2)
vzorky_do7ms=(Fs*7)/1000;
signal_do7ms=zeros(1,vzorky_do7ms);

for n=1:length(signal_do7ms)
signal_do7ms(n)=signal(n);
end

energie_do7ms=0;
for n=1:length(signal_do7ms)
energie_do7ms=energie_do7ms+(signal_do7ms(n)*signal_do7ms(n));
end

energie_vse=0;
for n=1:length(signal)
energie_vse=energie_vse+(signal(n)*signal(n));
end

C7=10*log10(energie_do7ms/(energie_vse-energie_do7ms));

% Výpočet C50 (2.3)
vzorky_do50ms=(Fs*50)/1000;
signal_do50ms=zeros(1,vzorky_do50ms);

```

```

for n=1:length(signal_do50ms)
signal_do50ms(n)=signal(n);
end

energie_do50ms=0;
for n=1:length(signal_do50ms)
energie_do50ms=energie_do50ms+(signal_do50ms(n)*signal_do50ms(n));
end

C50=10*log10(energie_do50ms/(energie_vse-energie_do50ms));

% Výpočet C80 (2.4)
vzorky_do80ms=(Fs*80)/1000;
signal_do80ms=zeros(1,vzorky_do80ms);

for n=1:length(signal_do80ms)
signal_do80ms(n)=signal(n);
end

energie_do80ms=0;
for n=1:length(signal_do80ms)
energie_do80ms=energie_do80ms+(signal_do80ms(n)*signal_do80ms(n));
end

C80=10*log10(energie_do80ms/(energie_vse-energie_do80ms));

% Výpočet D50 (2.5)
D50=energie_do50ms/energie_vse;

% Výpočet TS (2.6)
pom=0;

for n=1:length(signal)
pom=pom+(n*signal(n)*signal(n));
end

TS=pom/energie_vse;

% Výpočet H (2.7)
H=10*log10((energie_vse-energie_do50ms)/energie_do50ms);

% Výpočet IACC (2.8)

% Výpočet ST-early (2.9)
vzorky_do10ms=(Fs*10)/1000;
signal_do10ms=zeros(1,vzorky_do10ms);
vzorky_do20ms=(Fs*20)/1000;
signal_do20ms=zeros(1,vzorky_do20ms);
vzorky_do100ms=(Fs*100)/1000;
signal_do100ms=zeros(1,vzorky_do100ms);

for n=1:length(signal_do10ms)
signal_do10ms(n)=signal(n);
end

for n=1:length(signal_do20ms)
signal_do20ms(n)=signal(n);
end

for n=1:length(signal_do100ms)
signal_do100ms(n)=signal(n);
end

energie_do10ms=0;
for n=1:length(signal_do10ms)
energie_do10ms=energie_do10ms+(signal_do10ms(n)*signal_do10ms(n));
end

energie_do20ms=0;
for n=1:length(signal_do20ms)
energie_do20ms=energie_do20ms+(signal_do20ms(n)*signal_do20ms(n));
end

```

```

end

energie_do100ms=0;
for n=1:length(signal_do100ms)
energie_do100ms=energie_do100ms+(signal_do100ms(n)*signal_do100ms(n));
end

STe=10*log10((energie_do100ms-energie_do20ms)/energie_do10ms);

% Výpočet ST-late (2.9)
vzorky_do1000ms=(Fs*1000)/1000;
signal_do1000ms=zeros(1,vzorky_do1000ms);

%for n=1:length(signal_do1000ms)
%signal_do1000ms(n)=signal(n);
%end

energie_do1000ms=0;
for n=1:length(signal_do1000ms)
energie_do1000ms=energie_do1000ms+(signal_do1000ms(n)*signal_do1000ms(n));
end

STl=10*log10((energie_do1000ms-energie_do100ms)/energie_do10ms);

% Výpočet ST-total (2.9)
STt=10*log10((energie_do1000ms-energie_do20ms)/energie_do10ms);

% Výpočet EK (2.10)
n=0.67; %váhový koeficient - n=0.67 pro řeč, n=1.00 pro hudbu
delta_te=0.009; %koeficient - te=0.009 pro řeč, te=0.014 pro hudbu

tau=zeros(1,201);
pom=-0.001;
for nn=1:201
tau(nn)=pom;
pom=pom+0.00001;
end

ts_tau=zeros(1,length(tau));
for nn=1:length(tau)
pom1=0;
for mm=1:nn
pom1=pom1+((abs(signal(mm))*signal(mm))^n)*mm);
end
pom2=0;
for mm=1:nn
pom2=pom2+(abs(signal(mm))*signal(mm))^n);
end
ts_tau(nn)=pom1/pom2;
end

EK=zeros(1,length(tau));
for nn=1:length(tau)-1
EK(nn)=(ts_tau(nn+1)-ts_tau(nn))/delta_te;
end

% Výpočet Schroederova integrálu a zobrazení impulsní charakteristiky
N = length(signal);
n = 0:N-1;
t = n./Fs;

E = sum(signal.^2);
Et = zeros(1,length(signal));
for k = 1:length(signal),
Et(k) = sum(signal(1:k).^2);
end;
disp('hotovo');

[AX,H1,H2] = plotyy(ah1, 1e3*t, 10*log10((1-Et./E)), 1e3*t, signal);
ax1 = axis(AX(1));
axis(AX(1),[ax1(1) ax1(2) -80 0]);
ax2 = axis(AX(2));
axis(AX(2),[ax2(1) ax2(2) -1 1]);
linkaxes(AX,'x');
set(get(AX(2),'Ylabel'),'String','{\itE}({\itt}) [-] \rightarrow');
set(get(AX(1),'Ylabel'),'String','{\itE}({\itt}) [dB] \rightarrow');

```

```

set(AX(1), 'YTick', [-80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0]);
set(AX(2), 'YTick', [-1 -0.75 -0.5 -0.25 0 0.25 0.5 0.75 1]);
set(AX(1), 'XGrid', 'on');
set(AX(1), 'YGrid', 'on');
set(AX(2), 'XGrid', 'on');
set(AX(2), 'YGrid', 'on');
set(AX(2), 'YColor', 'b');
set(AX(2), 'XColor', 'k');
set(AX(1), 'YColor', 'k');
set(AX(1), 'XColor', 'k');
set(H2, 'Color', 'b')
set(H1, 'Color', 'k')
set(H1, 'LineWidth', 2)
grid( 'on');

% Výpočet a zobrazení kmitočtové charakteristiky
fa = Fs/N.*n;
H = 1./sqrt(N).*(fft(signal));

[AX,H1,H2] = plotyy(ah2, fa(1:floor(N/2)), 180/pi*unwrap(angle(H(1:floor(N/2)))), fa(1:floor(N/2)),
20*log10(abs(H(1:floor(N/2)))), 'semilogx');
ax1 = axis(AX(1));
ax2 = axis(AX(2));
axis (AX(2),[ax2(1) ax2(2) -80 0]);
linkaxes(AX, 'x');
set(get(AX(2), 'Ylabel'), 'String', '|{\itH}({\itf})| [dB] \rightarrow');
set(get(AX(1), 'Ylabel'), 'String', 'arg({\itH}({\itf})) [°] \rightarrow');
set(AX(2), 'YTick', [-80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0]);
set(AX(1), 'XGrid', 'on');
set(AX(1), 'YGrid', 'on');
set(AX(2), 'XGrid', 'on');
set(AX(2), 'YGrid', 'on');
set(AX(2), 'YColor', 'b');
set(AX(2), 'XColor', 'k');
set(AX(1), 'YColor', 'k');
set(AX(1), 'XColor', 'k');
set(H2, 'Color', 'b')
set(H1, 'Color', 'k')
set(H1, 'LineWidth', 2)
grid( 'on');

% Výpočet a zobrazení dozvukového poklesu
Dt=zeros(1,length(signal));

for n=1:length(signal)
    Dt(n)=10*log10(1-(Et(n)/energie_vse));
end
set(handles.edit2, 'String', C7);
set(handles.edit3, 'String', C50);
set(handles.edit4, 'String', C80);
set(handles.edit5, 'String', D50);
set(handles.edit6, 'String', TS);
set(handles.edit9, 'String', STe);
set(handles.edit10, 'String', STl);
set(handles.edit11, 'String', STt);
end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function figure1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
global ahl;

```

```

ah1=hObject;
% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
global ah2;
ah2=hObject;
% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes2

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```