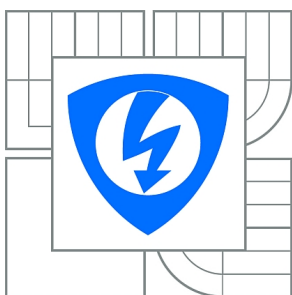


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

AKUSTICKÁ SIMULACE JEDOUcíHO AUTOMOBILU

ACOUSTICAL SIMULATION OF GOING CAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

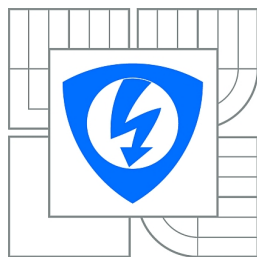
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ LACKO

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN SIGMUND, CSc.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Tomáš Lacko

ID: 83538

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Akustická simulace jedoucího automobilu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami záznamu a reprodukce zvukových signálů na počítači v reálném čase a s běžnými formáty zvukových souborů. Zpracujte rešerši dostupných publikací pojednávajících o akustické simulaci a diagnostice automobilových motorů. Pořídte vybrané zvukové záznamy motoru uvnitř jedoucích automobilů značky Škoda, Volkswagen a další (startování, vypnutí, řazení, brzdění, neúmyslné zhasnutí) v různých variantách jízdy. Proveďte analýzu zvukových záznamů v souvislosti s činnostmi řidiče. Na základě analýzy záznamů vytvořte odpovídající syntetické audio signály s nastavitelnými parametry. Vypracujte program na akustickou simulaci chodu motoru, který umožní uživateli průběžně zadávat základní parametry ovládání automobilu při plynulé jízdě.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ŠEBESTA, V., SMÉKAL, Z. Signály a soustavy. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.
- [2] JAN, J. Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů. Brno: VUT v Brně, 2002.
- [3] KADLEC, F. Zpracování akustických signálů. Skriptum. Praha: ČVUT v Praze, 2005.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Táto práca zahŕňa prehľad jednotlivých metód spracovania zvukových záznamov. Zameriava sa predovšetkým na časovo - frekvenčnú analýzu spracovanú pomocou rýchlej Fourierovej transformácie (STFT). Hlavnou podstatou je vyhodnotenie časovo – frekvenčnej analýzy jednotlivých nahrávok motora automobilu, pri rôznych variantoch jazdy, spoločne s analýzou činnosti vodiča pri týchto variantoch. Na základe výsledkov analýzy pojednáva o tvorbe syntetických audio signálov jednotlivých nahrávok motora automobilu. Ďalej rieši tvorbu programu pre akustickú simuláciu chodu motora pri plynulej jazde automobilu. Spracovanie nahratých signálov a ich vyhodnotenie je prevádzané pomocou programu Matlab 7.7.0 (R2008b).

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Spektrogram, matlab, STFT, analýza, spektrum, zvuk, transformácia, akustická simulácia

ABSTRACT

This project includes an overview of different processing methods phonograms. It focuses primarily on time - frequency analysis carried out using Fast Fourier Transform (STFT). The main essence is to evaluate the time - frequency analysis of recorded motor vehicle, driving at different options, together with an analysis of driver activity in these variants. Based on the results of the analysis deals with the creation of synthetic audio signals of motor vehicle records. Further addresses the creation of the program for acoustic simulation engine is running smoothly when driving a car. Processing recorded signals and their evaluation is transferred using Matlab 7.7.0 (R2008)

KEYWORDS

Spectrogram, matlab, STFT, analyse, spectrum, acoustic, transform, acoustic simulation

PREHLÁSENIE

Ako autor diplomovej práce na téma *Akustická simulace jedoucího automobilu* ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. Díl 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa 19. mája 2011

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Milanovi Sigmundovi, CSc. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovávaní môjho semestrálneho projektu.

V Brne dňa 19. mája 2011

.....

(podpis autora)

Obsah

ÚVOD	8
1. ZVUK.....	9
1.1 VLASTNOSTI ZVUKU.....	9
1.2 DELENIE A CHARAKTERISTIKY ZVUKOV.....	9
2. ANALÓGOVÉ SPRACOVANIE ZVUKU	11
2.1 ANALÓGOVÝ ZÁZNAM ZVUKU.....	11
2.2 SPRACOVANIE ZVUKU	11
2.3 REPRODUKCIA ZVUKU.....	11
3. DIGITÁLNE SPRACOVANIE ZVUKU.....	12
3.1 DIGITÁLNY ZÁZNAM ZVUKU	12
4. ZARIADENIA MULTIMEDIÁLNEHO PC PRE PRÁCU SO ZVUKOM.....	13
4.1 FORMÁTY ZVUKOVÝCH SÚBOROV	13
5. SPEKTRÁLNA ANALÝZA	17
5.1 DISKRÉTNÁ FOURIEROVA TRANSFORMÁCIA (DFT)	17
5.2 KRÁTKODOBÁ FOURIEROVA TRANSFORMÁCIA (STFT)	17
5.3 ČASOVO – FREKVENČNÁ ANALÝZA	18
5.4 TYPY VÁHOVÝCH OKIEN	19
5.4.1 Obdĺžnikové okno.....	19
5.4.2 Hannovo okno	20
5.4.3 Hammingovo okno.....	20
5.4.4 Blackmanovo okno	21
6. ANALÝZA ZVUKOVÝCH ZÁZNAMOV MOTORA.....	23
6.1 ŠTART AUTOMOBILU	23
6.2 VOENOBĚH.....	25
6.3 ROZBEH AUTOMOBILU	26
6.4 RADENIE PREVODOVÝCH STUPŇOV	27
6.5 BRZDENIE AUTOMOBILU	29
6.6 ZHASNUTIE MOTORA.....	30
7. SYNTÉZA ZVUKOVÝCH ZÁZNAMOV	32
8. SYNTÉZA ZVUKOVÝCH NAHRÁVOK V PROGRAMOVACOM PROSTREDÍ MATLAB	37
8.1 POUŽITÉ FUNKCIE V NAVRHNUTÝCH PROGRAMOCH.....	40
9. REŠERŠ O AKUSTICKEJ SIMULÁCII A DIAGNOSTIKE AUTOMOBILOVÝCH MOTOROV	41
9.1 DIAGNOSTIKA AUTOMOBILOVÝCH MOTOROV	41
9.2 AKUSTICKÁ SIMULÁCIA AUTOMOBILOVÝCH MOTOROV	43
ZÁVER.....	44
POUŽITÁ LITERATÚRA	45

ZOZNAM SKRATIEK.....	47
ZOZNAM PRÍLOH	48

Zoznam obrázkov

Obr. 1: Časovo - frekvenčná rovina (TF rovina) (prevzaté z [8])	18
Obr. 2: Priebeh váhovacích okien, N=1000	20
Obr. 3: Zobrazenie spektrogramu pri použití rôznych typov okien	22
Obr. 4: Broadcast rekordér Tascam DR-100.....	23
Obr. 5: Oscilogram štartu automobilu.....	23
Obr. 7: Časovo – frekvenčná analýza voľnobehu motora.....	25
Obr. 8: Oscilogram rozbehu automobilu.....	26
Obr. 9: Časovo – frekvenčná analýza rozbehu automobilu	27
Obr. 10: Oscilogram preradenia rýchlostných stupňov.....	27
Obr. 11: Časovo – frekvenčná analýza radenia prevod. stupňov	28
Obr. 12: Oscilogram brzdenia automobilu	29
Obr. 13: Časovo – frekvenčná analýza brzdenia automobilu.....	30
Obr. 14: Oscilogram zhasnutia motora automobilu	30
Obr. 15: Časovo – frekvenčná analýza zhasnutia motoru	31
Obr. 16: Časový priebeh a spektrum hluku okolia.....	32
Obr. 17: Bloková schéma princípu syntézy zvukových záznamov.....	33
Obr. 18: Vplyv nastavenia prahu na syntetický signál.....	34
Obr. 19: Modul voľby orezania nahrávky v programe modeling	37
Obr. 20: Modul voľby parametrov syntézy nahrávky v programe modeling.....	37
Obr. 21: Modul prehrávanie zvuku v programe modeling.....	38
Obr. 22: Voľba vykreslenia požadovaného priebehu.....	38
Obr. 23: Modul uloženia syntetickej nahrávky v programe modeling.....	39
Obr. 24: Grafické rozhranie programu simulator	40

Zoznam tabuliek

Tab. 1: Časové úseky štartu.....	24
Tab. 2: Časové úseky rozbehu automobilu	26
Tab. 3: Časové úseky oscilogramu radenia prevodových stupňov automobilu	28
Tab. 4: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Citroen C3	35
Tab. 5: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Škoda Fabia	35
Tab. 6: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Škoda Octavia	35
Tab. 7: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Chevrolet Kalos.....	36
Tab. 8: Technické parametre analyzovaných vozidiel	36

Úvod

Zvuk je každodennou súčasťou našich životov. Sluch a teda vnímanie zvuku je jeden zo základných ľudských zmyslov, bez ktorého si väčšina ľudí nevie predstaviť život.

Človek sa každodenne stretáva a prepravuje pomocou motorových vozidiel, ktoré sa stali neodmysliteľnou súčasťou ľudského života. Každý druh motoru vydáva špecifický zvuk, ktorý je zložený z dominantných a postranných harmonických zložiek. Analýzou a zisťovaním frekvenčných zložiek zvukov motorových vozidiel sa zaoberá táto práca.

Spoločne s analýzou sa práca zaoberá metódami záznamu a reprodukcie zvukových signálov, jeho analógovej a digitálnej formy na počítači v reálnom čase a bežnými formátmi zvukových súborov. Hlavnou podstatou práce je analýza zvukov motora idúceho automobilu späť s činnosťou vodiča. Autor v práci analyzuje jednotlivé varianty jazdy motorového vozidla od štartu až po zastavenie a zhasnutie automobilu.

V práci je zahrnutá rešerše dostupných publikácií pojednávajúcich o akustickej simulácii a diagnostike automobilových motorov.

Analýza zvukových záznamov je spracovaná pomocou programovacieho prostredia Matlab.

1. Zvuk

Podstatou zvuku je kmitanie častíc. Zvuk sa šíri kmitajúcimi časticami prostredia a šírenie prebieha od zdroja kmitania. Kmitanie má svoju frekvenciu a amplitúdu. Hlbšie sa problematikou kmitania zaoberá akustika. V rôznych materiáloch je rýchlosť šírenia zvuku rôzna.

Pokiaľ hodnotíme zvuk z hľadiska toho, ako ho vníma ľudské ucho, najpodstatnejšie sú tri jeho vlastnosti :

- amplitúda,
- frekvencia,
- zafarbenie.

1.1 Vlastnosti zvuku

Amplitúda zvukovej vlny je graficky reprezentovaná maximálnou hodnotou vlnovej funkcie. Keď uvažujeme hlasný zvuk, vlna je vysoká a amplitúda veľká. Naopak, menšia amplitúda reprezentuje tichší zvuk.

Každý cyklus zvuku obsahuje jednu kondenzáciu (zhluk), oblasť so zvýšeným tlakom a jedno zriedenie, oblasť, kde je tlak menší ako normálny. Frekvencia zvukovej vlny vyjadruje počet cyklov, ktoré prejdú daným miestom za jednu sekundu. Fyzikálnou jednotkou frekvencie je 1 Hertz (Hz). Ak sa zdroj pohybuje hore – dole s frekvenciou 900 Hz, potom generuje každú sekundu 900 zhlukov a za každým z nich nasleduje zriedenie a spolu vytvárajú zvukovú vlnu ktorej frekvencia je 900 Hz. Frekvencia určuje výšku zvuku (tónu). Čím je frekvencia vyššia, tým je aj výška zvuku vyššia. Každý tón má svoju frekvenciu. V technickej praxi sa ako základný tón používa tón s frekvenciou 1 kHz (tzv. referenčný tón).

Zafarbenie zvuku nám umožní rozoznávať zvuky, ktoré sú zhodné z frekvenčného aj amplitúdového hľadiska. Napríklad dva zhodné tóny, vo frekvenčnej oblasti a amplitúdovej oblasti zahraté na rozdielnych hudobných nástrojoch, ľudské ucho bez problémov rozozná. To je možné práve vďaka zafarbeniu zvuku, čo je vlastne výsledné znenie zvuku pre ľudské ucho a je určené obsahom vyšších harmonických frekvencií obsiahnutých v zvuku. Znamená to teda, že tón neobsahuje len vlastnú tzv. nosnú frekvenciu ale aj ďalšie frekvencie vyššie od nosnej, ktoré po súčte s nosnou dodávajú zvuku jeho charakteristické zafarbenie, textúru, jeho typické "znenie".

1.2 Delenie a charakteristiky zvukov

Zvuky delíme z rôznych hľadísk a parametrov.

Z hľadiska vzniku delíme zvuky na:

- **prirodzené** - pochádzajúce z prírodného fyzikálneho zdroja.
- **syntetické** - zvuky vytvorené pomocou zvukovej syntézy.

Z hľadiska formy delíme zvuky na:

- **reč** - je dominantou komunikácie medzi ľuďmi. Ľudský hlas je monotónny, má rôznu intenzitu, zafarbenie, prízvuk, melodiku a rýchlosť.
- **nerečové zvuky** - hudba, šum. Hudba má mnoho podôb, jej základom je rytmus a melódia. Šum možno definovať ako najmenej užitočnú formu zvuku, ktorá sa vyskytuje samostatne ako ruch a hrmot a väčšinou doprevádza ostatné dôležité formy zvuku, ako sú reč alebo hudba.

Z hľadiska spracovania a uchovania:

- **analogový** - spracovaný a zaznamenaný analogovým rekordérom na analogové médium - LP, MC
- **digitálny** - spracovaný a zaznamenaný softvérom na digitálne médium- CD, MD, DVD, vo formátoch - *.cda, *.wma, *.mp3, *.ogg....
- **digitalizovaný** - prípad, keď je analogovo spracovaný a zaznamenaný zvuk prevedený pomocou prevodníka na digitálny. napr. súbory typu *.wav.

Z hľadiska prezentácie možno zvuk rozdeliť na:

- **monotónny** - jeden zvukový kanál
- **stereofónny** - dva zvukové kanály, reprezentované najmä hudobnými CD nosičmi.
- **priestorový** - obvykle 5+1, príp. 7+1 hudobných kanálov, princípom je posun jednej zvukovej stopy, vzhľadom k inej, a priestorové rozmiestnenie reproduktorov. Využíva sa v hlavne v systémoch domáceho kina. Prvé číslo označuje počet reproduktorov rozmiestnených v určitom priestore, kde 2 reproduktory sú hlavné, alebo nazývané aj predné, ďalší reproduktor je centrálny, určený najmä na reprodukciu rečových zvukov, a ďalšie dva alebo štyri reproduktory označované ako zadné, alebo efektové, slúžia na vytvorenie efektu priestorového zvuku. Posledný reproduktor +1 označovaný ako subwoofer slúži na reprodukciu nízkych frekvencií: od 20 do 250Hz. [5]

2. Analógové spracovanie zvuku

Pri zvuku sa budeme zaujímať najmä o jeho záznam a reprodukciu. Sú tri aspekty, ktoré využívame pri analógovom spracovaní zvuku

- Záznam zvuku,
- Spracovanie zvuku,
- Reprodukcia zvuku.

2.1 Analógový záznam zvuku

Ako názov napovedá pôjde o záznam založený na podobnosti (analógií), k zmenám akustického tlaku. Záznamovým médium teda môže byť teoreticky akýkoľvek materiál, na ktorý je možné mechanicky, magneticky, alebo iným spôsobom zaznamenať krivku analogicky reprezentujúcu zvukové vlny. Analógový systém pre záznam a prehrávanie zvuku môže teoreticky byť akýkoľvek systém, ktorý je schopný zachytiť zvukové vlny na záznamový materiál a následne ich z neho čítať. [6]

Spôsoby záznamu analógového zvuku:

- Mechanický
- Optický
- Magnetický

2.2 Spracovanie zvuku

Zvuk sa po zázname ďalej spracováva. Najskôr sa naň aplikuje orezanie (obmedzenie rozsahu signálu), aby sa privysokým signálom nepoškodila elektronika a zachovali korektné výsledky. Následne sa odstránia vyššie než 20 – 22 kHz a nižšie než 20 Hz zložky. Tieto nie je schopné ľudské ucho zachytiť. Nakoniec sa zo záznamu odfiltruje aj frekvencia napájania (50 Hz), ktorá sa v ňom často objavuje z dôvodu výkyvov v elektrickom napájaní prístrojov.

2.3 Reprodukcia zvuku

Na reprodukciu zvuku sa využívajú dve hlavné metódy. Prvou metódou sú slúchadlá. Reprodukory slúchadiel sú len nepatrne vzdialené od ušného bubienka, preto môže byť ich výkon veľmi malý. To umožňuje zmenšiť ich rozmer a dať im kvalitatívne atribúty za omnoho nižšiu cenu, v porovnaní so samotnými reproduktormi.

Najrozšírenejším spôsobom reprodukcie sú samotné reproduktory. Nachádzajú sa na stenách, na stoloch, v mobilných telefónoch alebo na koncertných pódiov. Každý z nich je niečím špecifický. Konštrukcia membrány reproduktora spôsobuje, že niektoré frekvencie dokáže reprodukovat' veľmi dobre a niektoré horšie alebo vôbec.

3. Digitálne spracovanie zvuku

V predchádzajúcej kapitole sme si predstavili zvuk v jeho prirodzenom, spojitom tvare. Je to forma, v ktorej ho môžeme počuť, zaznamenávať, reprodukovať. Dokonca aj uchovávať.

Je niekoľko analógových spôsobov archivácie zvuku. Napríklad gramofónová LP platňa alebo magnetická páska. Tým, že sú analógové, dokážu v ideálnom prípade zo svojej podstaty zachytiť zvyčajnú zvukovú informáciu ako celok, tzn. bez nutnej straty dynamiky, frekvenčného spektra atď. To je však len teória.

V praxi sa stretávame s obmedzením na technologickej úrovni. Kvantové javy nám diktujú nutnosť existencie najmenšieho zaznamenateľného signálu, konštrukcia úložného zariadenia zasa obmedzuje maximálny signál. Použitá elektronika, ktorá upravuje signál, aby bol vhodný na záznam, má svoju frekvenčnú charakteristiku, harmonické skreslenie, odstup signálu od šumu, medzikanálový presluch, nelineárny útlm signálu, ... Dôsledkom je, že aj keď sa snažíme o „dokonalý“ prenos, vždy vznikajú chyby, skreslenia. Každé viacnásobné spracovanie skreslenie len zvyšuje, odchýlka od originálu sa „hromadí“, je stále viac počuteľná. Prirodzenou snahou je teda používať čím kvalitnejšie zariadenia, aby bolo skreslenie minimálne – to však znamená predraženie celkového riešenia. Druhým nepriateľom je šum, ktorý vzniká na (analógových) záznamových médiách nielen používaním, ale aj samovoľne, časom. Znova platí, čím kvalitnejšie zariadenia, tým sú starosti so šumom menšie.

Prevod zvuku z analógovej podoby do digitálnej zabezpečuje A/D - analógovo - digitálny prevodník. Najrozšírenejšia forma kódovania je pulzná kódová modulácia - PCM. Než sa z analógového signálu stane PCM zvuk, musí najprv prejsť vzorkovaním, kvantovaním a kódovaním.

3.1 Digitálny záznam zvuku

Záznam zvuku v podobe rady čísel, ktoré číselne popisujú tvar priebehu akustického tlaku. Zvuk sa akusticky vhodným spôsobom prevedie na elektrický signál. Takto získaná veličina sa zapíše na nejaký nosič - digitálny magnetofón, CD, disk počítača a pod. vo forme kódu. Pri rekonštrukcii zvuku, sa z nosiča prečíta okamžitá hodnota veličiny a digitálno-analógovým prevodníkom sa zmení na elektrickú veličinu. Takto získaná elektrická veličina sa ďalej spracováva obdobným spôsobom ako u klasických analógových zariadení.

Oproti analógovému záznamu, má digitálny záznam množstvo výhod. Pri digitálno-digitálnom kopírovaní (bez prevodu na analógový signál), sa nestráca kvalita záznamu ani pri teoreticky nekonečnom počte kopírovaní. Digitálny záznam je omnoho menej náchylný na starnutie a opotrebovanie pri zapisovaní či snímaní.

4. Zariadenia multimediálneho PC pre prácu so zvukom

Zvuk (audio)

Audio dáta môžeme rozdeliť do troch skupín: reč, hudba, šum. Reč sa dá použiť tak pre vstup dát (rozpoznávanie hovorenej reči), ako aj pre výstup dát z počítača. Šumy a hudba slúžia k podkresleniu vizuálne podávanej informácie na obrazovke. Na druhej strane však môžu zvuky samy o sebe predstavovať zdroj informácie, napríklad alarm - signál pre diagnostiku. Aby sme mohli zvuk spracovávať na počítači, musíme ho najskôr digitalizovať t.j. previesť ho zo spojitého signálu na digitálny.

Zvuková karta (Sound Card)

Zvuková karta slúži k záznamu a prehrávaniu digitálne spracovaných zvukov. Patrí sem predovšetkým reč, hudba a rôzne šumy. Karta sa inštaluje do voľného slotu počítača. Zvukové karty majú celú radu rozhraní pre pripojenie reproduktorov, sluchátok, HiFi, mikrofónu, zosilňovača alebo joysticku. Niektoré zvukové karty majú aj rozhranie pre riadenie CD-ROM jednotky. Tak vzniká možnosť bezprostredného predávania audio dát z CD cez zvukovú kartu pomocou priameho prepojenia. Užívateľ môže pomocou zvukovej karty, mikrofónu prípadne pripojeného HiFi nahrávať a ukladať zvuky, ale aj vytvárať svoje vlastné kompozície s použitím syntetizátora, ktorý sa pripojí cez MIDI rozhranie.

MIDI (Musical Instrument Digital Interface)

MIDI rozhranie bolo vyvinuté výrobcami syntetizátorov. MIDI je dôležitým rozšírením MPC štandardu. Špecifikácia MIDI popisuje štandardizovaný dátový formát pre prenos a ukladanie zvukových súborov. MIDI rozhranie je špeciálny sériový port, určený pre výstup resp. vstup dát z externých MIDI periférií. MIDI Interface karta sa lepšie hodí na profesionálne účely, ako zvuková karta.

Výhoda MIDI zápisu a komunikácie, oproti digitálnemu záznamu a reprodukcii spočíva aj v podstatne nižších nárokoch na kapacitu pamäte. Pre porovnanie 1 min. skladby v MIDI formáte zaberie asi 20 kB. Pri 16 bitovom A/D prevodníku, stereo signále, 44,1 kHz vzorkovacej frekvencii, potrebujeme asi 10 MB pamäte.

Reproduktory a mikrofón

Pri používaní zvukovej karty je použitie reproduktorov nevyhnutné. Ich prostredníctvom dokážeme exportovať zaznamenané zvuky do priestoru. Pri voľbe reproduktorov máme možnosť voľby medzi reproduktormi pasívnymi (napr. slúchadlá) a aktívnymi (so zosilňovačom a vlastným napájaním). Pre nahrávanie reči a zvukov sa dá k zvukovej karte pripojiť mikrofón. Voľba vhodného mikrofónu závisí od toho, čo chceme robiť, a k čomu bude mikrofón pripojený.

4.1 Formáty zvukových súborov

Za najpoužívanejšie, môžeme považovať tieto tri:

- **AU.** Navrhla ho firma Sun Microsystems pre svoje pracovné stanice. Vzhľadom k jej významu pri vytváraní a rozvoji Internetu sa formát *.au veľmi rozšíril. Dokonca aj

dnes môžeme na Internete nájsť mnoho zvukov, v tomto formáte. Podporuje ho väčšina programov pre prácu so zvukom.

- **WAV** prišiel spoločne s Microsoft Windows. Vzhľadom k rozšíreniu tohto operačného systému predstavuje "nástupcu" formátu *.au.
- **MPEG** bol pôvodne určený pre ukladanie pohyblivého obrazu. V novších verziách, populárne mp3-ky, sa však používa aj pre zvukové informácie. Môže ponúknuť vysokú kvalitu zvuku a jeho radikálnu kompresiu. Výroba však spravidla vyžaduje dodatočné technické prostriedky.
- **Špeciálny prípad:**
 - **MIDI** - komunikácia prebieha pomocou digitálnych správ na 1 až 16 kanáloch. Keďže vlastnosti midi stôp sú zapísané v textovej podobe, majú midi súbory malú veľkosť (rádovo desiatky kB) a sú preto vhodné pre web, prezentáciu a podobne. Zvuková karta je kľúčové miesto celého reťazca, lebo tá určuje výstupnú kvalitu MIDI súboru (mala by mať GM).
- **Ostatné formáty:**
 - **OGG Vorbis** - dokáže pri 96 kbps dosiahnuť kvalitu 128 kbps MP3. Výhodou je, že je voľný a postupne ho začínajú podporovať všetky programy. Je to "systémový" codec, čiže sa dá rovnako ako MP3 Fraunhofer Codec použiť v akomkoľvek programe či filme.
 - **AUP** - (Audacity Project format) je optimalizovaný za účelom urýchlenia spracovania audio projektov. Rozdeľuje projekt na viacero menších súborov, ktoré ukladá do jedného informačného súboru a jedného adresára s menom *nazovprojektu_data*. Táto forma nie je kompatibilná so žiadnym audio programom.
 - **WMA** - Windows Media formát. Zo strany Microsoftu zrejme ide o šikovný marketingový ťah, na druhej strane však treba priznať, že tento formát ponúka dvojnásobné množstvo hudby, než vyše desať rokov starý MP3 bez zníženia kvality. Takisto treba spomenúť, že formát Windows Media je "vraj" najkvalitnejší, najbezpečnejší a najkomplexnejší spomedzi digitálnych formátov určených pre osobné počítače, nezanedbateľná je aj podpora pre streamovanie hudby vďaka technológii Fast Streaming.
 - **VQF** - znamená Vector Quantization File. Tuto technológiu vyvinuli v Japonsku v inštitúte NNT Human Interface Laboratories . VQF dosahuje lepších kompresných pomerov ako MP3. Najpoužívanejší bitrate u MP3 je 128kb/s. Kvalitatívne tomu u VQF zodpovedá bitrate 80kb/s. Ešte lepšie je na tom VQF pri bitrate 96kb/s, ktorá kvalitou predčí 256kb/s u MP3, čo je v podstate CD kvalita. Výsledné VQF súbory sú asi o 30% menšie ako MP3 samozrejme pri ešte lepšej kvalite. Tam, kde si WinAmp(mp3 prehrávač pre OS Windows) berie asi 20% výkonu potrebuje prehrávač od Yamahy asi 33%, čo ešte nie je také hrozné. Kódovanie je ale strašne pomalé. Päťminútová pesnička, ktorú máme do MP3 formátu hotovú za 10 minút trvá s VQF enkóderom 45 minút.
 - **AAC** - Za vývojom formátu, vyhláseného za nasledovníka MP3 stoja veľké mena. Licence pro Advanced Audio Coding (AAC) majú AT&T, Dolby,

Fraunhofer a Sony. Zaviesť technológiu AAC teda niečo stojí. Medzitým sa tiež plánuje AAC ako časť špecifikácie MPEG-4 a tým ako štandardná audiostopa pre súbory MP4. Formát má tak dve opory – ako v oboru audio, tak tiež v oboru video.

WAV(waveform–audioformat)

Súbory WAV (waveform – audio formát) sú pravdepodobne najjednoduchším z formátov pre ukladanie audia. Na rozdiel od MPEGu a ostatných komprimovaných formátov, ukladá WAV vzorkovaný zvuk v nezmenenej podobe. WAV bol vytvorený v spolupráci medzi Microsoftom a IBM. Tento formát je pre Web nevhodný. Nepoužíva sa pre jeho objemnosť.

Pre / Proti

- Dá sa prehrať na ktoromkoľvek počítači so zvukovou kartou (PC XT a lepšie).
- Uchováva kompletnú zvukovú informáciu.
- Iba nekomprimovaný zvuk.
- Príliš veľké súbory.

MP3(Mpeg1–Layer3)

Formát MP3 je špecializovaný na spracovanie zvukových súborov. Je založený na kompresnom algoritme odvodenom z algoritmu MPEG pre kompresiu videa. MP3 vzniklo skrátením MPEG1-Layer 3, čo je označenie kompresného algoritmu.

STRATOVÁ KOMPRESIA - MP3 kompresia funguje na princípe znalostí psychoakustiky. Využíva nedokonalosť ľudského sluchu. Naše ucho napr. nie je schopné začuť niektoré nízke tóny, ak sú prekryté vyššími, silnejší signál prekryva slabší signál. Zjednodušene možno povedať, že v mp3 sa zložky zvuku, ktoré by sme aj tak nepočuli, vymažú. Kompresia odstráni pri prepočte práve tieto signály. Celý proces je samozrejme zložitejší, ale toto je základ kompresie formátu mp3.

Oproti tradičnému zvukovému formátu WAV, môže MP3 skladba obsahovať tzv. ID3 TAG (v preklade etiketa, visačka). Čo je blok dát pripojený na koniec súboru, do ktorého sa mimo iného ukladá plný názov skladby, meno interpreta, alebo názov albumu, z ktorého skladba pochádza. Prehrávače vedú s týmito TAG-mi pracovať, čo uľahčuje orientáciu v rozsiahlych zvukových knižniciach. O výhodách kompresie nás presviedča hlavne veľkosť výsledného súboru. Základná veličina, ktorá ovplyvňuje kvalitu mp3 súboru je tzv. bitrate - rýchlosť dátového toku (udáva sa v jednotkách kbps - kilobit za sekundu). Čím je bitrate vyšší, tým je lepšia kvalita. U AUDIO CD je bitrate 1,4Mb/s, súbor mp3 s kvalitou považovanou za vyhovujúcu má bitrate 128kb/s.

Midi(Musical Instrument Digital Interface)

Midi (Musical Instrument Digital Interface) je medzinárodný štandard, ktorý používajú rôzne hudobné nástroje a zariadenia (syntetizátory, samplery, zvukové moduly, počítače, audio technika, videotechnika, svetelná technika), za účelom vzájomnej komunikácie. Ide vlastne o druh sériového rozhrania, po ktorom putujú informácie o hudobných dátach. Tvar týchto dát je štandardizovaný podľa normy (používa sa už skoro 2 desaťročia - štandard GM - General Midi, či novší XG).

Pre / Proti

- Malá veľkosť – súbory s "normálne" dlhou skladbou majú veľkosť rádovo desiatky KB (Na rozdiel od *Wav*, kde sa veľkosti pohybujú v MB).
- Možnosť robiť zmeny – v tomto formáte sa dajú (pomocou množstva programov) robiť úpravy hudobných informácií.

Nedajú sa používať ľubovoľné zvuky – pretože sa prenášajú iba riadiace informácie, dajú sa reprodukovat' iba zvuky z knižnice operačného systému "pospájané podľa návodu".

5. Spektrálna analýza

Spektrálna analýza slúži k popisu signálu pomocou jeho zložiek v spektrálnej oblasti. Budeme sa zaoberať spektrami v zmysle Fourierovej transformácie. Budeme sa teda venovať harmonickým komponentom rôznych frekvencií. Ak sa podarí nájsť popis signálu vo frekvenčnej oblasti, tým máme na mysli veľkosť a vzájomný fázový posun harmonických zložiek určitých kmitočtov, možno z toho signál klasifikovať a rozpoznať. [5]

5.1 Diskrétna Fourierova transformácia (DFT)

Jednou z najdôležitejších operácií v číslicovom spracovaní signálov je diskretná Fourierova transformácia (DFT). Diskretná Fourierova transformácia (DFT) je Fourierova transformácia aplikovaná na rad diskretných komplexných čísel. Diskretná Fourierova transformácia vychádza z Fourierovej transformácie, ktorá je určená nasledujúcim vzťahom

$$H(f_n) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{2\pi i f_n t} dt, \quad (5.1)$$

kde $f_n = \frac{n}{N\Delta}$, $n = 0, \dots, N-1$, $h(t)$ je analyzovaná funkcia. Aproximáciou integrálu definovaného vzťahom (1) diskretnou sumou dostávame vzťah pre výpočet diskretnéj Fourierovej transformácie

$$H_n \equiv \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{\frac{2\pi i k n}{N}} = \sum_{k=0}^{N-1} W^{nk} h_k, \quad (5.2)$$

kde H_n je n -tá komponenta Fourierovej transformácie, H je periodická s periódou N a symetrická, N určuje počet diskretných vzoriek signálu, h_k je k -tá vzorka vzorkovaného signálu, $W^{nk} = e^{\frac{2\pi i}{N}}$, $n = 0, \dots, N-1$. [7]

5.2 Krátkodobá Fourierova transformácia (STFT)

Pri analýze a reprezentácii zvukových signálov sa často krát využíva transformácia, ktorá reprezentuje signál v časovo – frekvenčnej oblasti. Jednou z takýchto transformácií je oknová krátkodobá Fourierova transformácia (STFT).

Oknová krátkodobá Fourierova transformácia posúva okno fixnej veľkosti pozdĺž signálu a extrahuje frekvenčný obsah v danom intervale

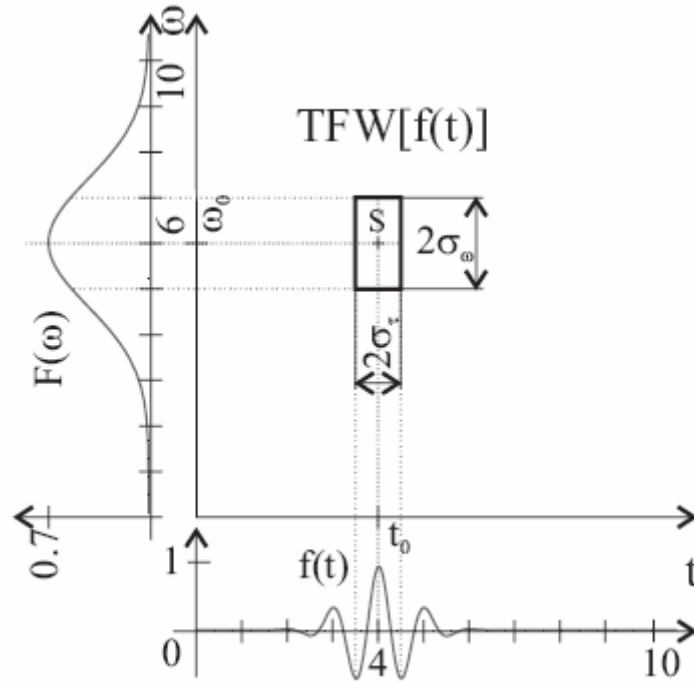
$$F(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) g(t - \tau) e^{-j\omega t} dt = \langle f(t) g(t - \tau), e^{j\omega t} \rangle, \quad (5.3)$$

kde $g(t)$ je oknová funkcia a $f(t)$ je vstupná funkcia. Pokiaľ je oknová funkcia v tvare gaussovskej funkcie, tak sa STFT nazýva Gáborova transformácia. [8]

Pre STFT platí:

- Bázové funkcie sú generované moduláciou a posunom oknovej funkcie $g(t)$.
- STFT má pre danú oknovú funkciu pevné rozlíšenie vo frekvencii.
- Nadbytočnosť STFT môžeme odstrániť vzorkovaním.

Každý signál môže byť znázornený v časovo – frekvenčnej rovine (TF rovina), ktorá charakterizuje napr. energie signálu v čase a frekvencii:



Obr. 1: Časovo - frekvenčná rovina (TF rovina) (prevzaté z [8])

Rozlíšenie v čase a frekvencii pre danú funkciu $x(t)$ a jej Fourierovu transformáciu $X(\omega)$ je dané časovo – frekvenčným oknom (TF okno). Jeho stred je v bode $S = (t_0, \omega_0)$ a veľkosti strán sú $2\sigma_t, 2\sigma_\omega$. ω_0 sa nazýva stredná frekvencia signálu. [8]

Platí:

$$t_0 = \|x(t)\|^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} t |x(t)|^2 dt \quad ; \quad \omega_0 = \|X(\omega)\|^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \omega |X(\omega)|^2 d\omega \quad (5.4)$$

$$\sigma_t^2 = \|x(t)\|^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} (t - t_0)^2 |x(t)|^2 dt \quad ; \quad \sigma_\omega^2 = \|X(\omega)\|^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} (\omega - \omega_0)^2 |X(\omega)|^2 d\omega \quad (5.5)$$

5.3 Časovo – frekvenčná analýza

Pri analýze signálov, ktorých charakter sa v čase rýchlo mení, je účelné uvažovať o frekvenčnom obsahu krátkych signálových úsekov. Účelom časovo – frekvenčnej analýzy je zachytiť vývoj krátkodobého spektra v čase, ktorý je vymedzený oknom zvolenej dĺžky.

Koncept krátkodobých spektier nám dovoľuje sformulovať spektrum ako dvojrozmernú funkciu, závislú na frekvencii a na pozícii v čase. Nazýva sa *časovo - frekvenčná analýza*.

Posun časového okna:

- bez prekryvania,
- s prekryvaním (polovicou okna, tretinou okna,).

Voľba dĺžky časového okna NT:

- ovplyvňuje frekvenčnú rozlišovaciu schopnosť v spektre priamo úmerne,

$$\Delta f = \frac{1}{NT} = \frac{f_{vz}}{N}, \quad (5.6)$$

- ovplyvňuje rozlíšenie v čase nepriamo úmerne, $\Delta t \cong NT$.

Voľba typu časového okna :

- ovplyvňuje presakovanie a dynamické rozlíšenie,
- ovplyvňuje spektrogram.

5.4 Typy váhových okien

Druhou základnou operáciou po rozdelení do rámcov je váhovanie signálu. Váhovanie signálu znamená vymedzenie signálu na časovej osi. Analyzovaný signál sa násobí (váhuje) pomocou časovej funkcie, ktorú nazývame váhovacím oknom. Toto okno sa posúva po časovej ose a pre každú polohu sa aplikuje výpočet spektra. Ideálny prípad nastáva ak je vstupný signál periodický a dĺžka časového okna je rovná jednej perióde signálu. V tomto prípade vypočítané spektrálne čiary po prevode do frekvenčnej oblasti súhlasia s jeho skutočnými harmonickými zložkami. [9]

Je známych mnoho typov váhovacích okien a každé z nich je vhodné pre rôzne situácie a analytické techniky. Pri týchto oknách sa jedná predovšetkým o šírku hlavného laloka a potlačenie takzvaných postranných lalokov. Od tvaru a veľkosti hlavného laloka závisí zobrazenie spektra. Čím širší je hlavný lalok, tým väčšie je prelievanie energie spektra a to má za následok nižšiu ostrosť spektra. Naopak ak je lalok užší, má to za následok viac postranných lalokov a tým pádom aj viac nežiaducich kmitočtov v spektre. [9]

V tejto kapitole sú stručne popísané niektoré základné typy okien ako obdĺžnikové, Hammingovo, Hannovo, Blackmanovo (Obr. 2).

5.4.1 Obdĺžnikové okno

Obdĺžnikové okno patrí medzi najjednoduchšie a vyjadruje všeobecnú okennú funkciu, ktorá nemení svoje funkčné hodnoty. Pre transformovanie je vhodné iba v prípade, že je zaručená rovnaká dĺžka segmentu ako je celočíselný násobok periód analyzovaných kmitočtov. [9]

Obdĺžnikové okno s nulovým centrovaním je definované ako

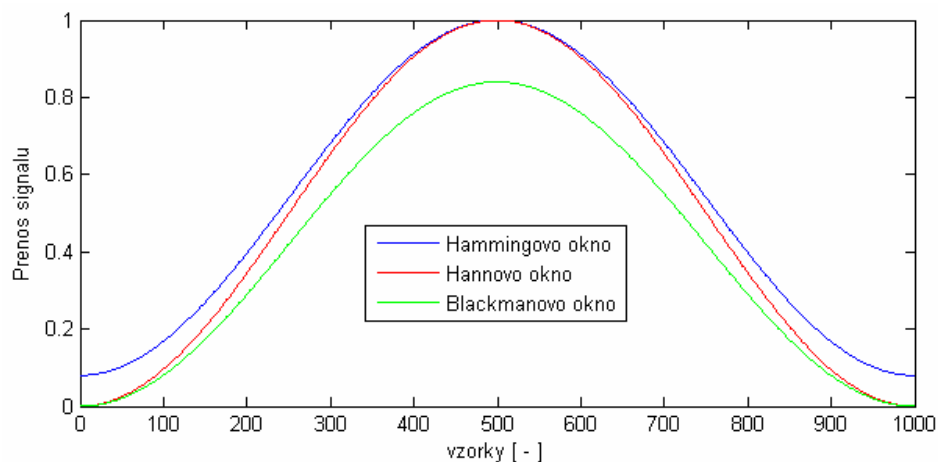
$$v_{\text{OBD}}(n) = \begin{cases} 1 & \text{pre } -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{pre ostatné } n \end{cases} \quad (5.7)$$

5.4.2 Hannovo okno

Hannovo okno (Obr. 2) je špeciálny prípad sínusového okna, často používaným ako kompromis medzi potlačením nežiaducich kmitočtov a ostrosťou spektra. Hlavný lalok je úzky a postranné laloky sú malé. Je používané prevažne v oblasti krátkodobej analýzy. Toto okno sa používa s prekrytím 0,5. [9]

Hannovo okno je definované ako

$$v_{HAN}(n) = 0,5 \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \right]. \quad (5.8)$$



Obr. 2: Priebeh váhovacích okien, N=1000

Vlastnosti Hannovho okna :

- pomalý prechod na nulu pri koncových hodnotách,
- šírka hlavného laloku $4\Omega_N$, kde $\Omega_N = \frac{2\pi}{N}$,
- prvý postranný lalok má pokles -31 dB voči hlavnému laloku,
- bočné laloky klesajú približne -18 dB na októvu.

5.4.3 Hammingovo okno

Hammingovo okno (Obr. 2) sa používa s polovičným prekrytím. Koefficienty Hammingovho okna sa volia za účelom vyrušenia najväčšieho postranného laloka.

Hammingovo okno je definované ako

$$v_{HAM}(n) = 0,54 - 0,46 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right). \quad (5.9)$$

Vlastnosti Hammingovho okna :

- diskontinuálny pokles na nulu v koncových bodoch,
- bočné laloky sú bližšie k rovnakému zvlneniu,

- prvý postranný lalok ma pokles -41 dB voči hlavnému laloku,
- bočné laloky klesajú približne -6 dB na oktávu. [9]

5.4.4 Blackmanovo okno

Blackmanovo okno (Obr. 2) je charakteristické širším hlavným lalokom a lepším potlačením nežiaducich kmitočtov. To má však za následok menšiu ostrosť spektra. Používa sa s 2/3-vým prekryvaním.

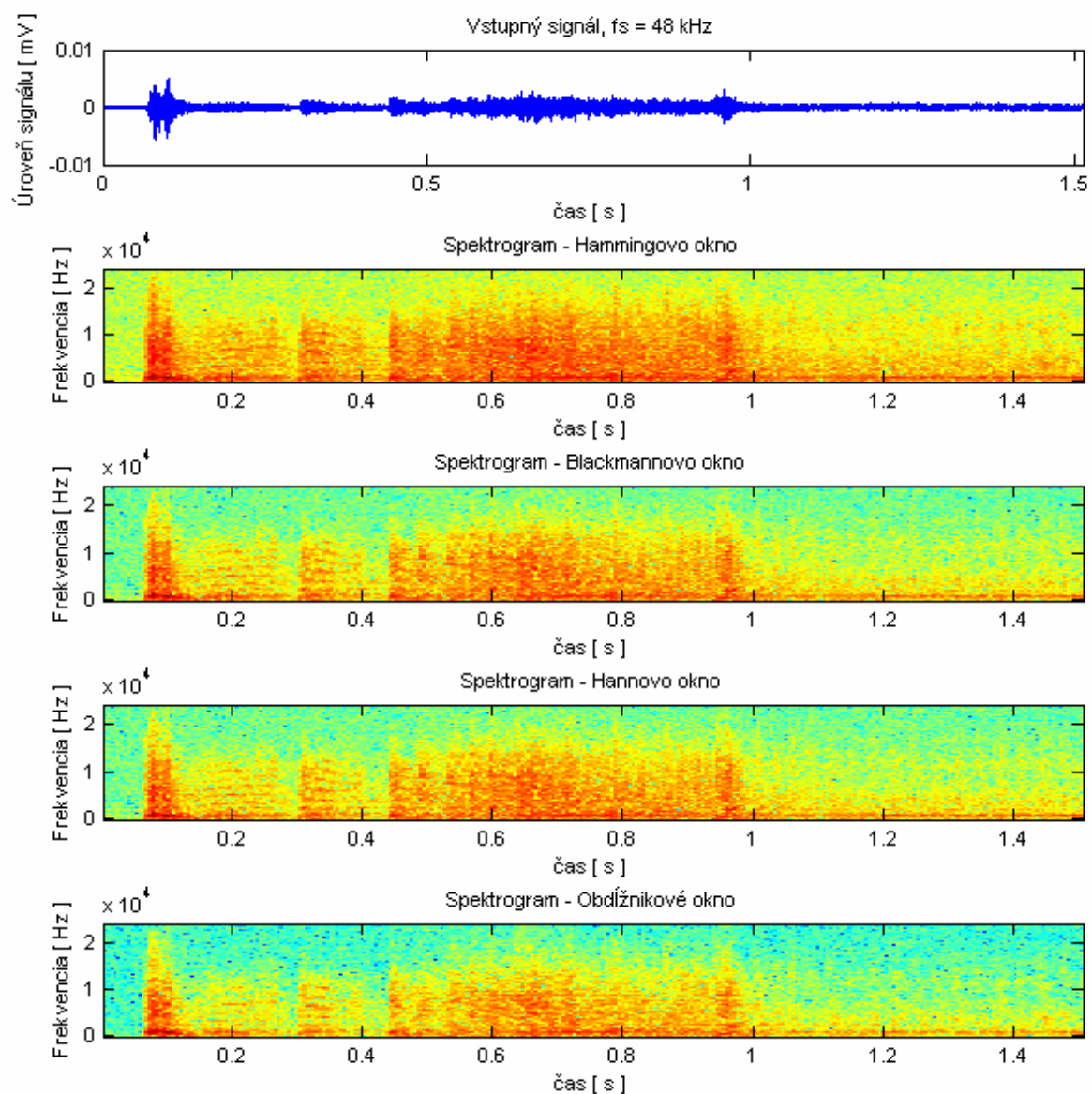
Blackmanovo okno je definované ako

$$v_{BLC}(n) = 0,42 - 0,5 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0,08 \cdot \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right). \quad (5.10)$$

Vlastnosti Blackmanovho okna :

- bočné laloky klesajú približne -18 dB na oktávu,
- prvý postranný lalok ma pokles -58 dB voči hlavnému laloku,

Na obrázku 3 je možné vidieť porovnanie spektrogramu pri použití vyššie uvedených typov okien. Ako bolo uvedené v predchádzajúcej časti, očakávané najlepšie optické zobrazenie majú Hammingovo a Hannovo okno. Pri analýze bolo použité okno s veľkosťou 512 vzorkou.



Obr. 3: Zobrazenie spektrogramu pri použití rôznych typov okien

6. Analýza zvukových záznamov motora

V tejto kapitole sa budeme zaoberať analýzou jednotlivých variant jazdy ako sú štart, radenie prevodových stupňov, brzdenie, rozbeh automobilu, voľnobeh a zhasnutie motora. Jednotlivé varianty analyzujeme pomocou časovo – frekvenčnej analýzy, spoločne s analýzou činnosti vodiča. Tú urobíme pomocou rýchlej Fourierovej transformácie. Analýzu jednotlivých zvukových nahrávok spracujeme pomocou programu Matlab R2008b. Pri analýze budeme používať váhovanie pomocou Hammingovho okna a okno s dĺžkou 512 vzorkou.

Analyzované zvukové záznamy sme získali nahrávaním motora automobilu Citroën C3 pomocou nahrávacieho prístroja TASCAM DR-100,

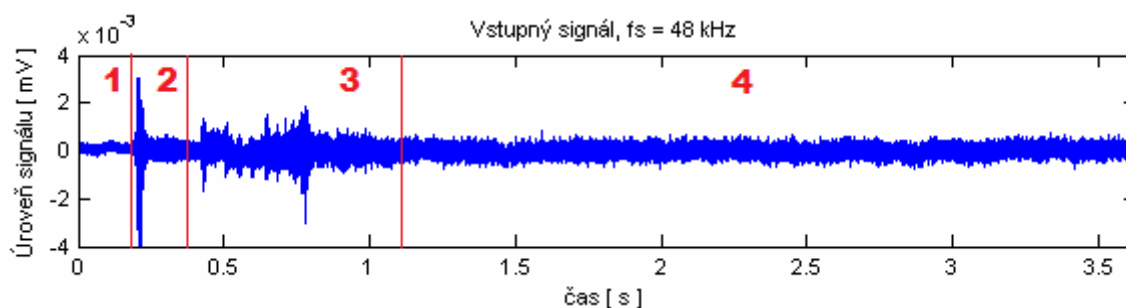


Obr. 4: Broadcast rekordér Tascam DR-100

s možným nastavením vzorkovania 48 kHz, alebo 44,1 kHz. Nahrané zvukové záznamy môžeme zaznamenávať vo formátoch MP3 (32, 64, 96, 128, 256, 320 Kb/s), alebo WAV (16/24 bit).

6.1 Štart automobilu

Každá jazda automobilom začína jeho štartom. Zvukový záznam štartu automobilu (Obr. 5) sa skladá z niekoľkých etáp spojených s činnosťou vodiča.



Obr. 5: Oscilogram štartu automobilu

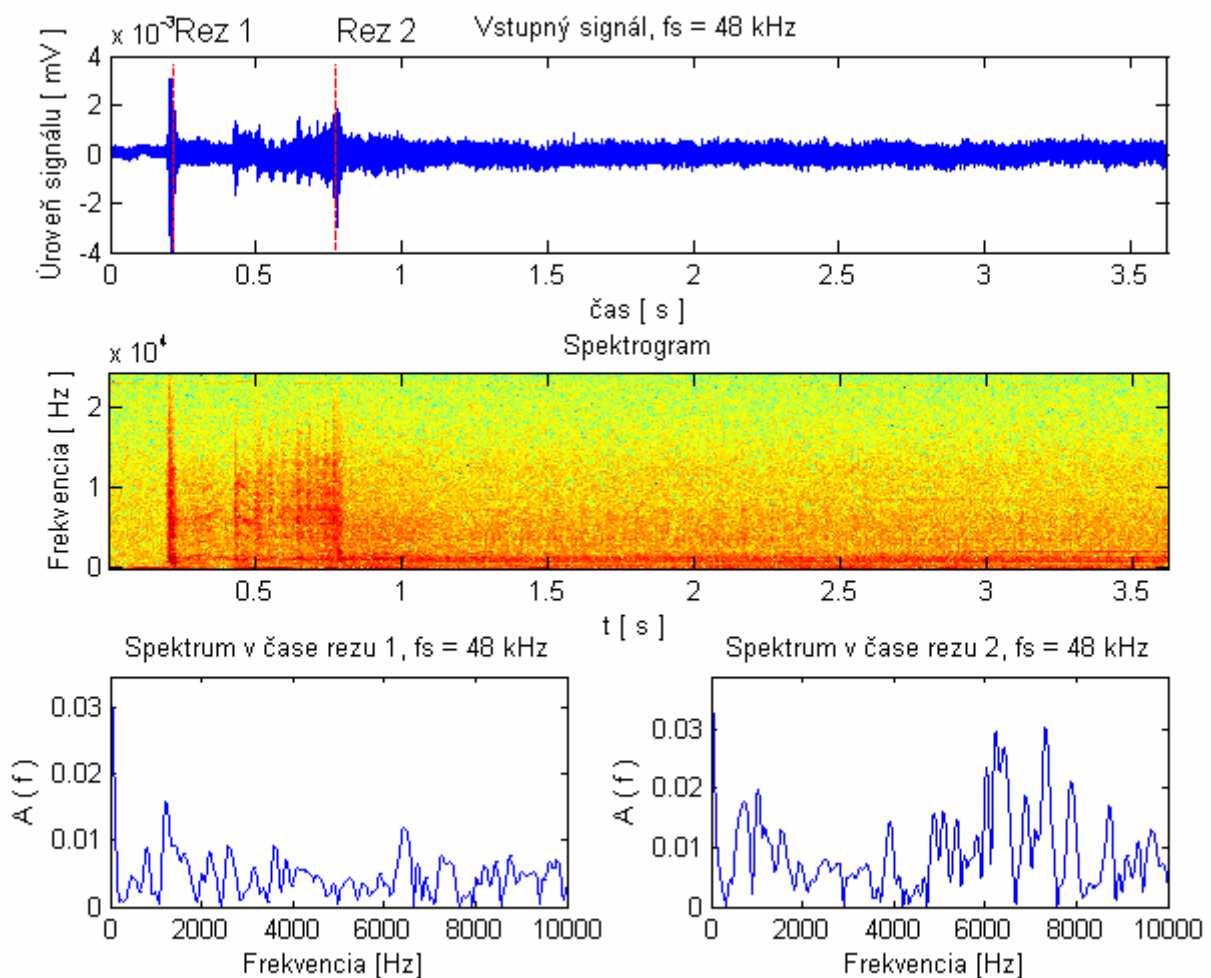
Oscilogram štartu (Obr. 5) predstavuje v bodoch

1. kľudový stav so šumom mikrofónu a prostredia,
2. pootočenie kľúčom a štart motora,
3. prechod motora z vyšších otáčok do voľnobehu,
4. chod v ustálenom stave (voľnobeh).

Tab. 1: Časové úseky štartu

Úsek oscilogramu	1	2	3	4
Čas [ms]	176,2	201,4	755,1	2567

Pomocou časovo – frekvenčnej analýzy (Obr. 6) sme zistili dominantné frekvencie, ktoré sa nachádzajú v analyzovanom zvukovom zázname. Časovo – frekvenčná analýza (Obr. 6) bola vytvorená pomocou programu Matlab a znázorňuje nám oscilogram štartu, jemu zodpovedajúci spektrogram a spektrum v rezoch 1 a 2, ktoré sú v oscilograme znázornené zvislými červenými čiarami. Na spektrograme vidíme, že dominantné frekvencie sa nachádzajú do 10 kHz.



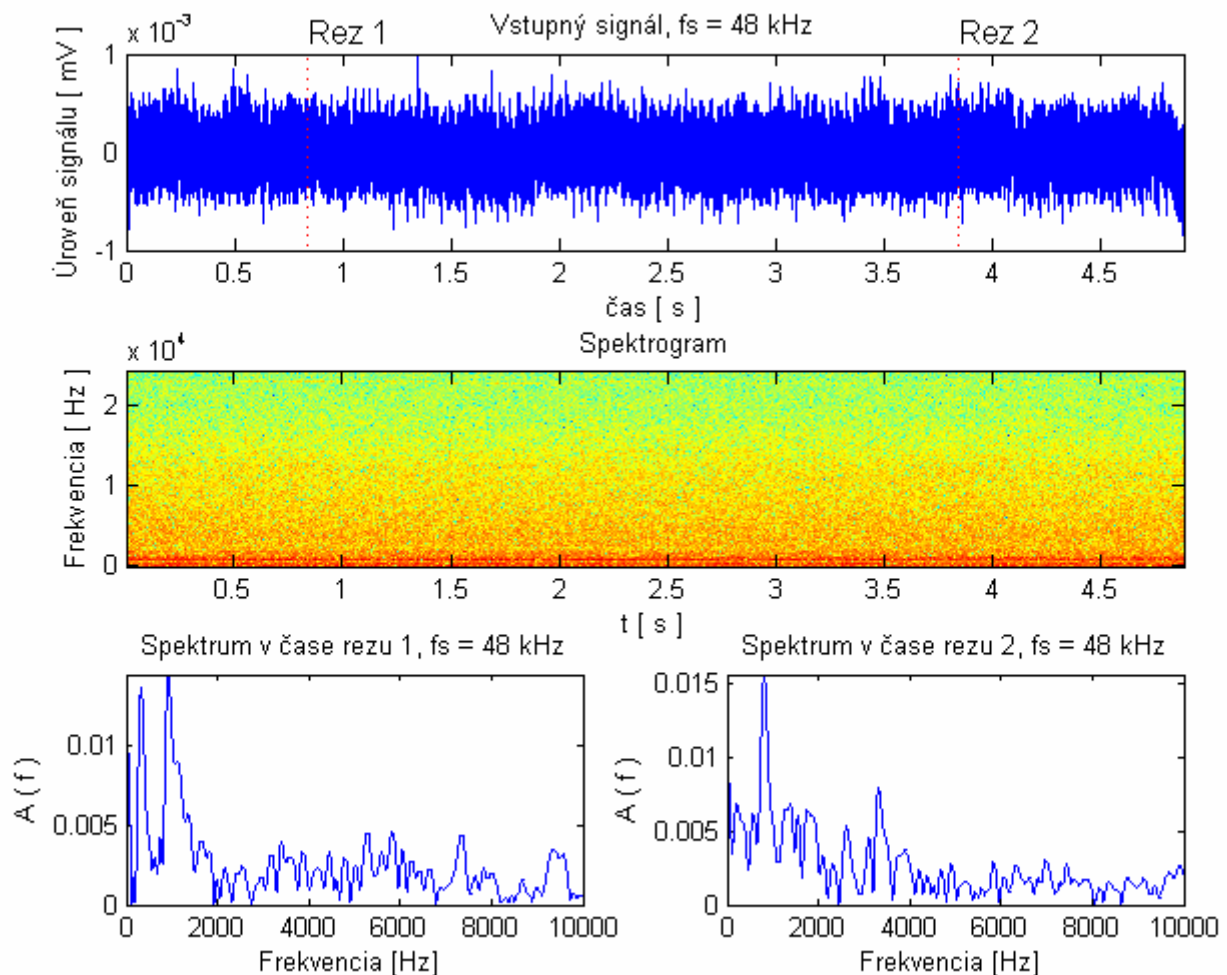
Obr. 6: Časovo – frekvenčná analýza štartu

Analýza činnosti vodiča pri štarte automobilu

Vodič zasunie kľúčik do zapalovania. V prípade, že je zaradená rýchlosť, musí vodič zošliapnuť spojku. V prípade, že nie je zaradená rýchlosť, vodič pootočí kľúčom a zároveň jemne zošliapne plyn, až pokiaľ sa motor nenašartuje. V prípade zaradenej rýchlosti je proces rovnaký, ale počas celého procesu musí byť spojka automobilu zošliapnutá. Po naštartovaní motora povolíme plyn a motor prejde do voľnobehu.

6.2 Voľnobeh

Voľnobeh (Obr. 7), je variant chodu motora pri kľudovom stave napr. po naštartovaní motora a jeho chode bez pridávania plynu. Pomocou spektrálnej analýzy zvukového záznamu sme zistili, že dominantné frekvencie sú v okolí 30 Hz, 300 Hz a 1 kHz.



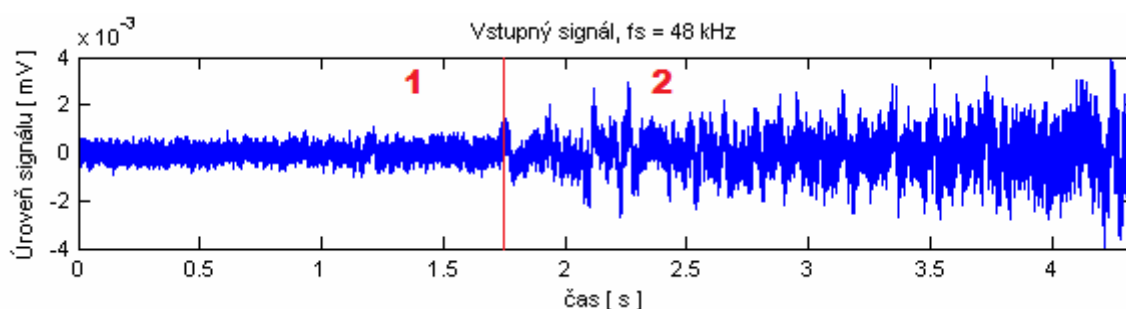
Obr. 7: Časovo – frekvenčná analýza voľnobehu motora

Analýza činnosti vodiča pri voľnobehu automobilu

Vodič pri voľnobehu motora nevykazuje v podstate žiadnu činnosť. Do stavu voľnobehu dostane vodič automobil zošliapnutím spojky a zaradeným neutrálom, pokiaľ je zaradená rýchlosť. Po zaradení neutrálu vodič povie spojku a nechá motor voľne bežať na voľnobeh. Voľnobeh možno dosiahnuť aj pri zaradenej rýchlosti, ale v tejto variante musí mať vodič celý čas zošliapnutú spojku automobilu.

6.3 Rozbeh automobilu

Rozbeh automobilu (Obr. 8) je činnosť pri ktorej dostaneme automobil z kľudovej pozície do pohybu. Jedná sa o plynulé narastanie rýchlosti vozidla až na určitú hodnotu.



Obr. 8: Oscilogram rozbehu automobilu

Oscilogram rozbehu automobilu (Obr. 9) predstavuje v bodoch

1. voľnobeh motora,
2. plynulý rozbeh automobilu (plynulé zvyšovanie rýchlosti).

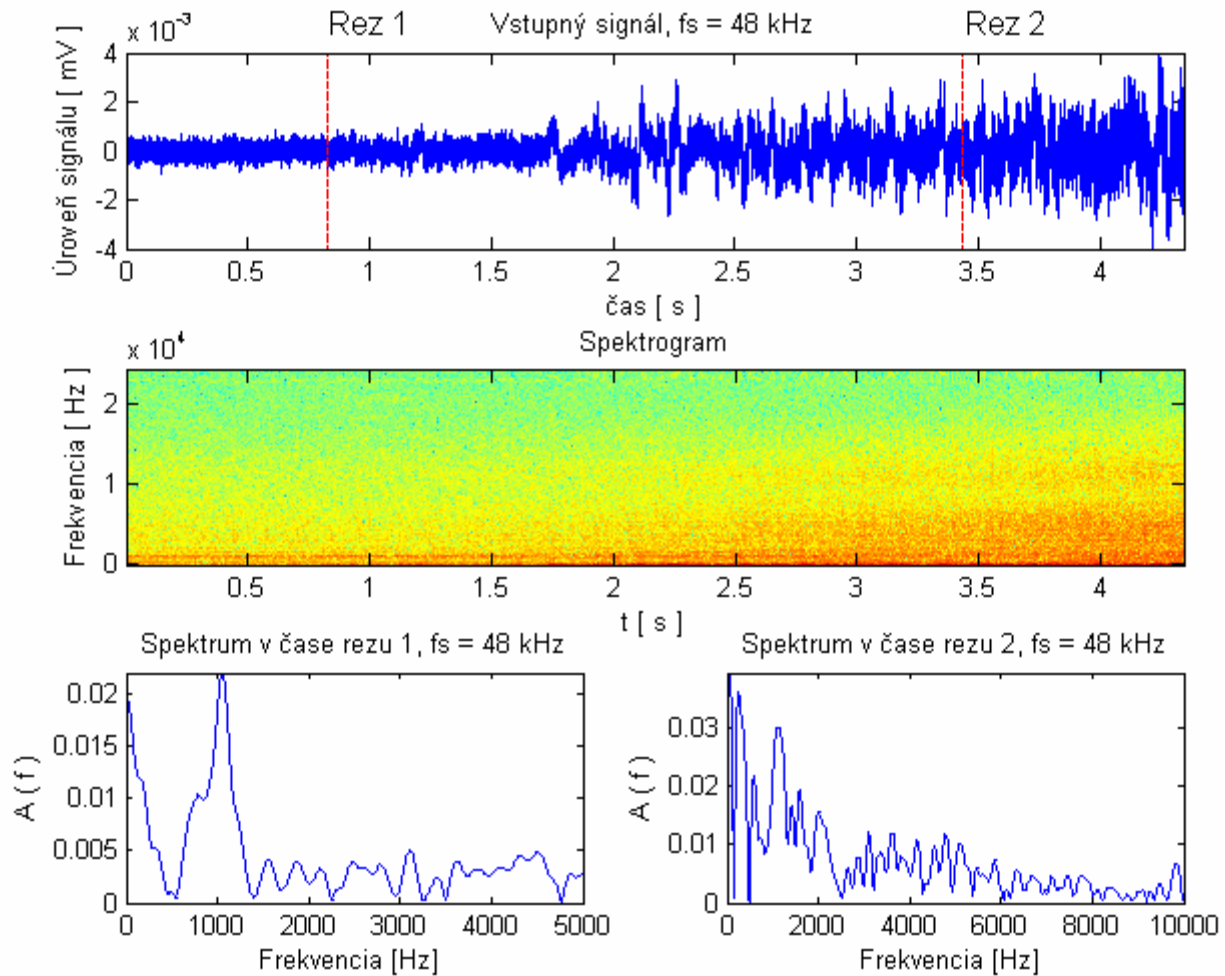
Tab. 2: Časové úseky rozbehu automobilu

Úsek oscilogramu	1	2
Čas [s]	1,8	2,7

Analýza činnosti vodiča pri rozbehu automobilu

Vodič pri rozbehu automobilu prechádza zo stojatého stavu (voľnobeh) do stavu pohybu. V prvom kroku musí vodič zošliapnuť spojku automobilu a zaradiť prvý rýchlostný stupeň. Po zaradení rýchlosti vodič plynulo súčasne pridáva plyn a zároveň povie spojku automobilu. Povoľovanie spojky musí byť plynulé aby nedošlo k zhasnutiu motora.

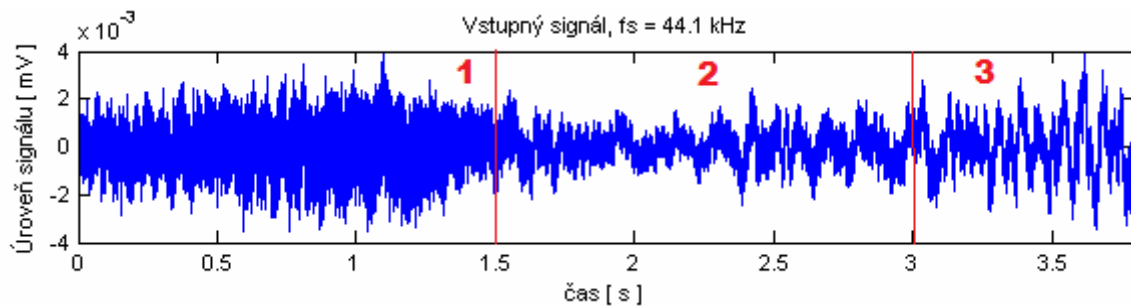
Na obrázku 9 môžeme pomocou časovo – frekvenčnej analýzy zo spektrogramu vidieť, že dominantné frekvencie v prvej časti sú nemenné, avšak s postupným zvyšovaním rýchlosti automobilu, analyzovaný zvukový záznam nadobúda frekvenčné zložky približne lineárnym priebehom.



Obr. 9: Časovo - frekvenčná analýza rozbehu automobilu

6.4 Radenie prevodových stupňov

V nasledujúcej podkapitole sa budeme venovať analýze radenia prevodových stupňov. Analýza bude robená na radení z prvého prevodového stupňa do druhého. Oscilogram so záznamom zvuku pri radení možno vidieť na obrázku 10.



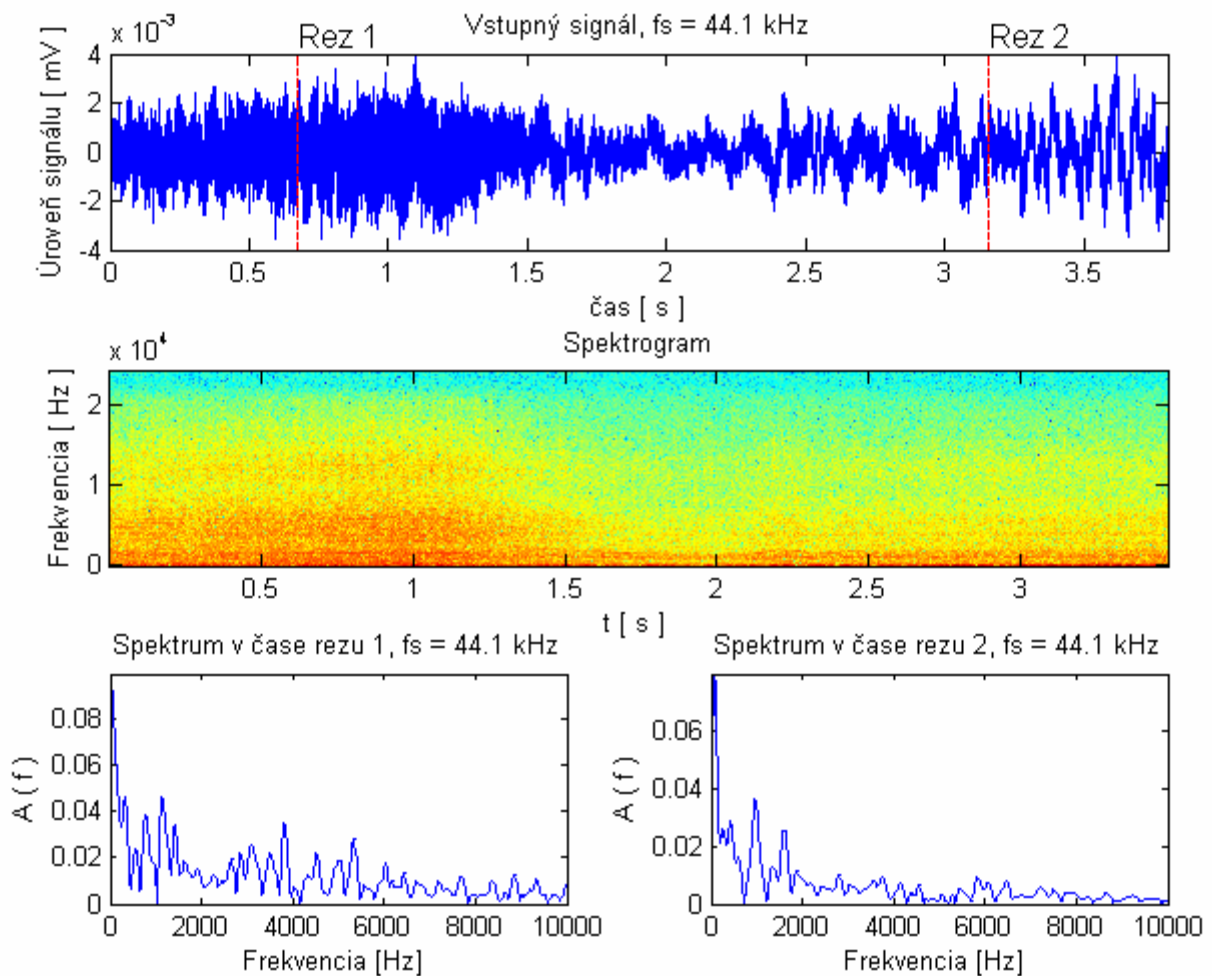
Obr. 10: Oscilogram preradenia rýchlostných stupňov

Oscilogram preradenia rýchlostných stupňov automobilu (Obr. 10) predstavuje v bodoch

1. zrýchľovanie na prvom prevodovom stupni,
2. preradenie z prvého rýchlostného stupňa na druhý,
3. zrýchľovanie na druhom prevodovom stupni.

Tab. 3: Časové úseky oscilogramu radenia prevodových stupňov automobilu

Úsek oscilogramu	1	2	3
Čas [s]	1,5	1,5	0,8



Obr. 11: Časovo – frekvenčná analýza radenia prevod. stupňov

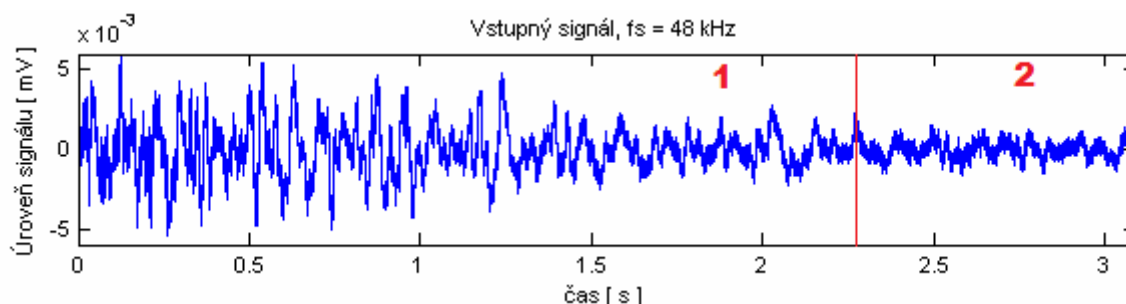
Frekvenčné zložky obsiahnuté vo zvukovom zázname radenia prevodových stupňov sa skladajú z frekvenčných zložiek, jednotlivých variantov jazdy. Jedná sa o zrýchlenie jazdy, voľnobeh počas preradovania a opäť zrýchľovaniu jazdy.

Analýza činnosti vodiča pri radení prevodových stupňov

Vodič pri preradovaní z nižších rýchlostných stupňov na vyššie sa najskôr na nižšom prevodovom stupni dostane do mierne vyšších otáčok, ako sú menovité otáčky motora. Potom povolí plyn, zošliapne spojku automobilu a riadiacou pákou preradí na vyšší stupeň. Po preradení plynulo púšťa spojku a pridáva plyn.

6.5 Brzdenie automobilu

Brzdenie môžeme považovať za opačnú činnosť ako je rozbeh automobilu. Budeme analyzovať plynulé brzdenie z určitej rýchlosti na stojatú pozíciu.



Obr. 12: Oscilogram brzdenia automobilu

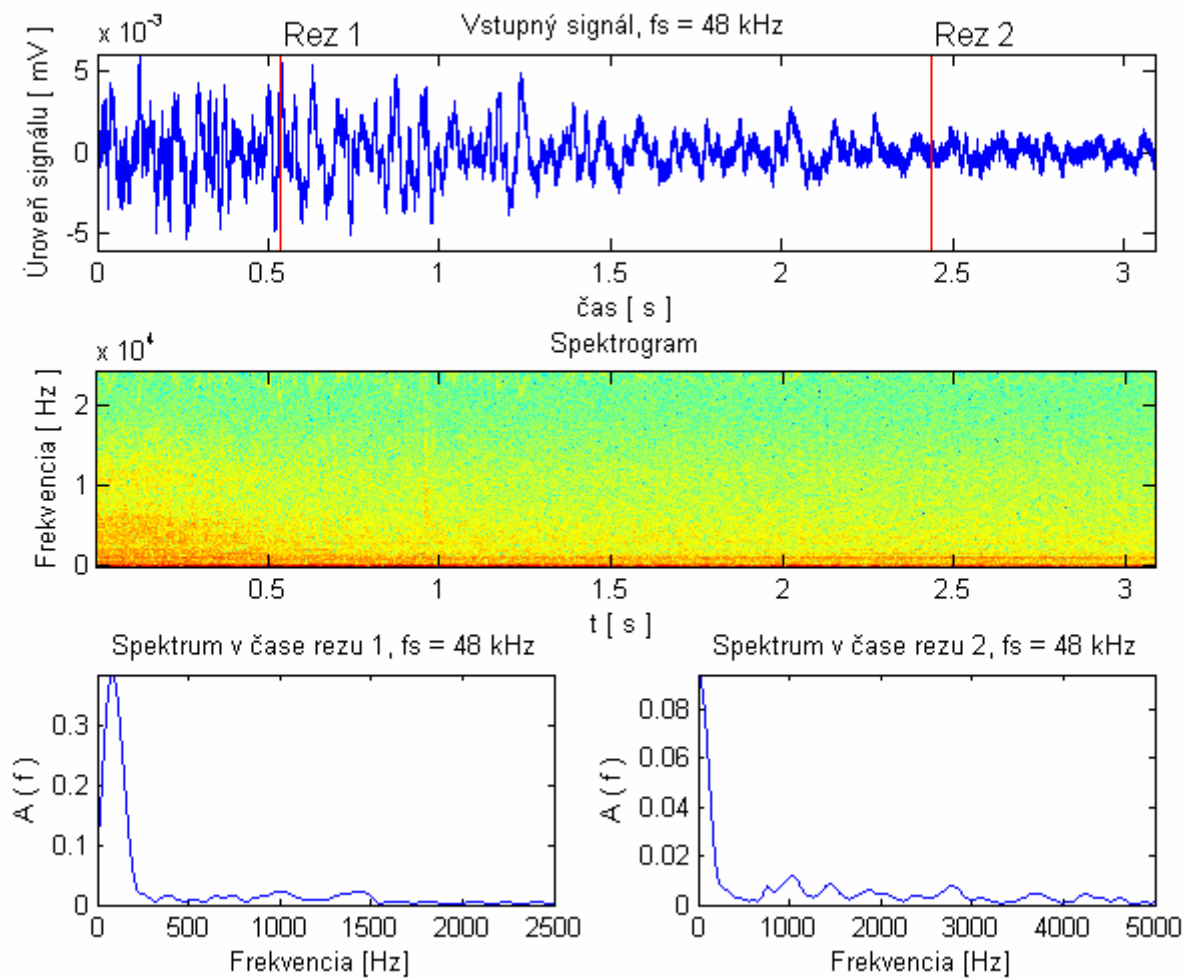
Oscilogram brzdenia automobilu (Obr. 12) predstavuje v bodoch

1. plynulé spomaľovanie automobilu na kľudový stav,
2. zastavenie automobilu (voľnobeh).

Zo spektrogramu (Obr. 13) zvukového záznamu brzdenia automobilu, môžeme pozorovať inverznú situáciu ako pri rozbehu automobilu. Frekvenčné zloženie signálu spolu s klesajúcou rýchlosťou automobilu, nadobúda pokles jednotlivých frekvenčných zložiek obsiahnutých v zázname približne lineárnym charakterom.

Analýza činnosti vodiča pri brzdení

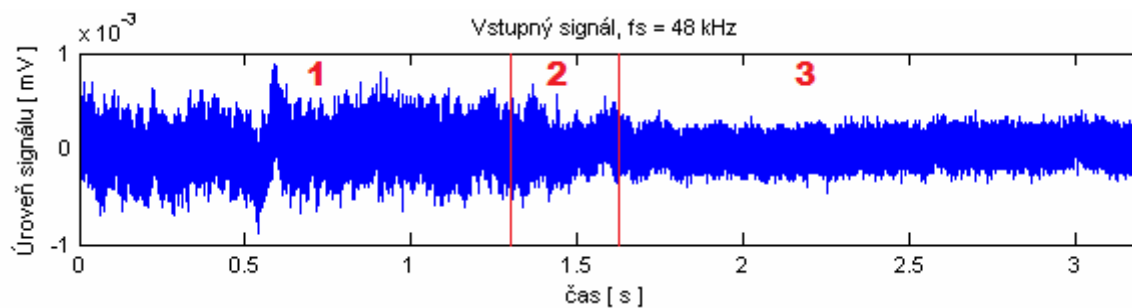
Vodič pri plynulom brzdení plynulo zatláča na brzdú. Pri brzdení do kľudovej pozície musí vodič zošliapnuť spojku a dobrzdiť na kľudový stav. Po zastavení vodič zaradí neutrálny prevodový stupeň a povolí spojku.



Obr. 13: Časovo – frekvenčná analýza brzdenia automobilu

6.6 Zhasnutie motora

Každá jazda končí zhasnutím motora. Motor môže byť zhasnutý úmyselne alebo neúmyselne. Nasledujúca analýza skúma úmyselné zhasnutie motora.



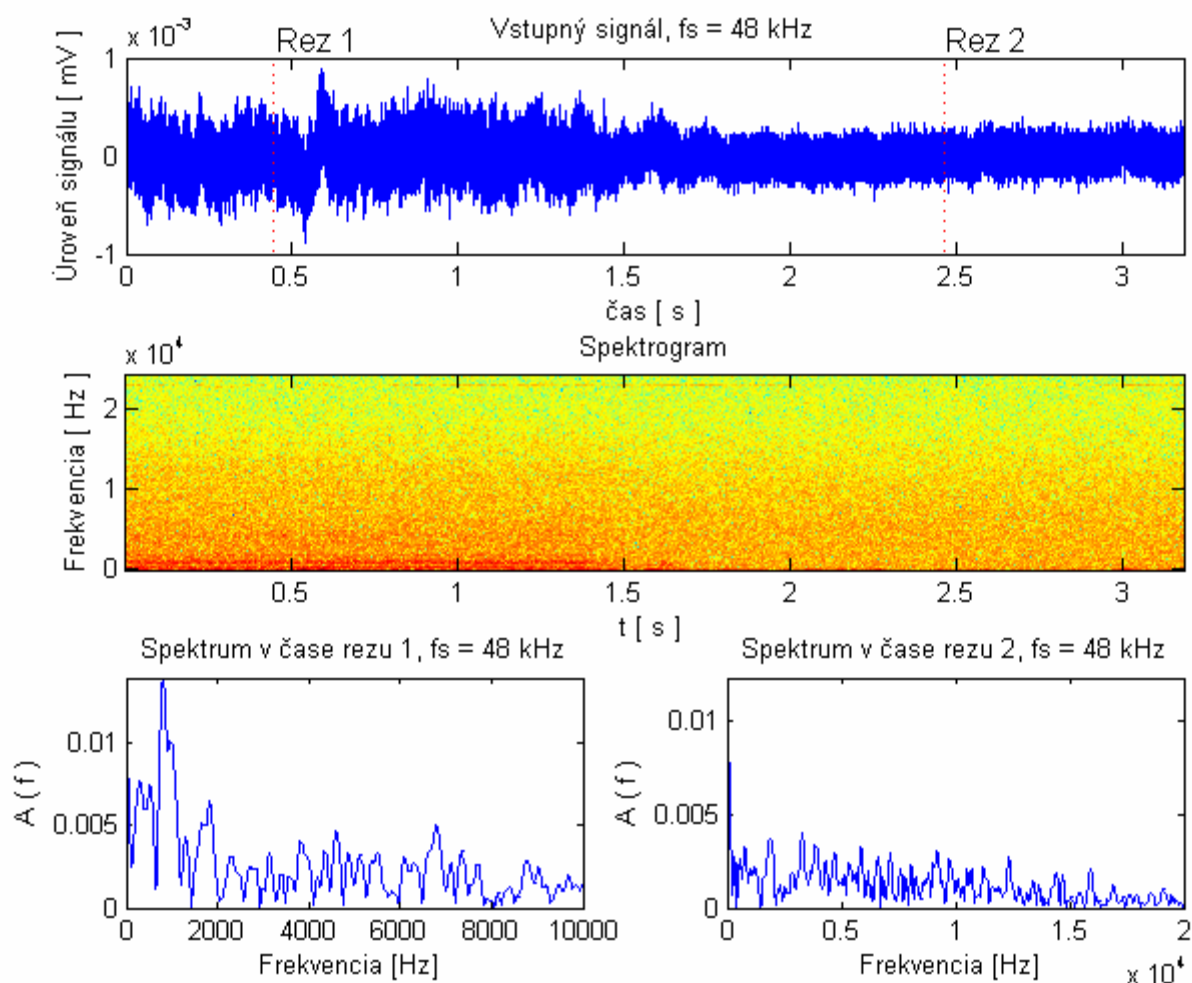
Obr. 14: Oscillogram zhasnutia motora automobilu

Oscilogram zhasnutia motora automobilu (Obr. 14) predstavuje v bodoch

1. stojatý automobil bežiaci na voľnobeh,
2. zhasnutie motora,
3. šum mikrofónu a prostredia.

Analýza činnosti vodiča pri zhasínaní motora

Vodič pri úmyselnom zhasínaní motora zastaví vozidlo a pri voľnobehu na neutrálnej rýchlosti, alebo so zašliapnutou spojkou a zaradenou rýchlosťou zhasne motor kľúčom. Zhasnutie motora môže nastať aj neúmyselne, čo môže byť spôsobené rýchlym pustením spojky pri rozbiehaní, zlým zaradeným stupňom pri rozbiehaní.



Obr. 15: Časovo – frekvenčná analýza zhasnutia motora

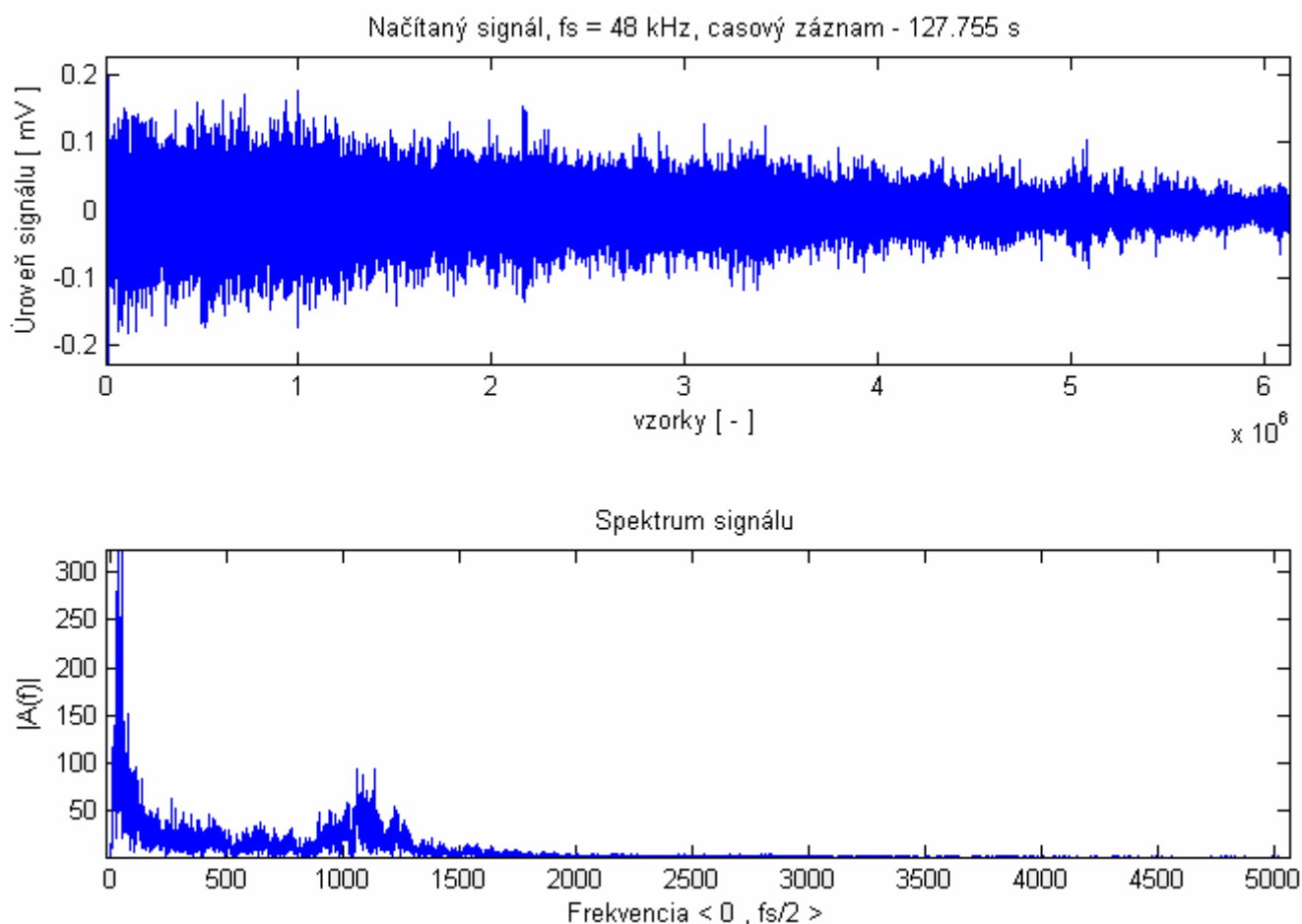
Frekvenčné zložky obsiahnuté vo zvukovom zázname zhasnutia motora obsahujú zložky voľnobehu a zložky šumu mikrofónu a prostredia.

Všetky zvukové záznamy použité na analýzu jednotlivých variant jász boli nahrávané na cestnej komunikácii bez nerovnosti a za rovnakých podmienok.

7. Syntéza zvukových záznamov

Skôr ako začneme vytvárať jednotlivé zvukové nahrávky idúceho automobilu, musíme z daného signálu odstrániť nežiaduce zložky. Medzi nežiaduce zložky signálu môžeme zaradiť hluk okolo idúcich automobilov, hluk prúdenia vzduchu pod kapotou a hluk okolia.

Nahrávanie nežiaducich zložiek motora bolo realizované tak, že sme motorové vozidlo rozbehli približne na rýchlosť 90 km/h, vyradili sme rýchlosť a následne sme zhasli motor. Motor bol zhasnutý pokiaľ auto nespomalilo na rýchlosť 40 km/h. Z nahrávky nežiaducich zložiek sme spočítali spektrum, v ktorom sme videli frekvenčné zložky okolitého šumu. Na obrázku 16 je zobrazený časový priebeh a spektrum hluku okolia.



Obr. 16: Časový priebeh a spektrum hluku okolia

Na obrázku 16 vidíme, že nežiaduce zložky sa nachádzajú v pásme do 100 Hz a taktiež v pásme od 900 Hz do 1100 Hz. Na odstránenie šumu bol použitý filter typu horná priepust s cutoff frekvenciou 1500 Hz a strmosťou 24 dB/oktáva. Filtrovanie šumu okolia bolo prevádzané v programovom prostredí Audacity1.3 Beta, pretože v tento programe poskytuje jednoduché ovládanie s viacerými funkciami ako napríklad filtrovanie a zosrihanie signálu.

Prvou a základnou myšlienkou pri vytváraní syntetických signálov je to, aby sme si uvedomili, z čoho sa skladá zvuková vlna. Zvuková vlna sa skladá z presného počtu harmonických zložiek (signálov) o danej frekvencii, amplitúde a fáze. Harmonický signál môžeme matematicky popísať pomocou goniometrických funkcií sínus (sin) a kosínus (cos).

Pre diskretný harmonický signál platí

$$S(n) = A \cdot \cos(\omega n + \varphi), \quad (7.1)$$

$$S(n) = A \cdot \cos\left(2\pi f \cdot \frac{1}{f_{vz}} n + \varphi\right), \quad (7.2)$$

kde A je amplitúda signálu, f je frekvencia harmonického signálu, φ je fázový posun, f_{vz} je vzorkovacia frekvencia a $n = 0, 1, 2, 3, \dots$.

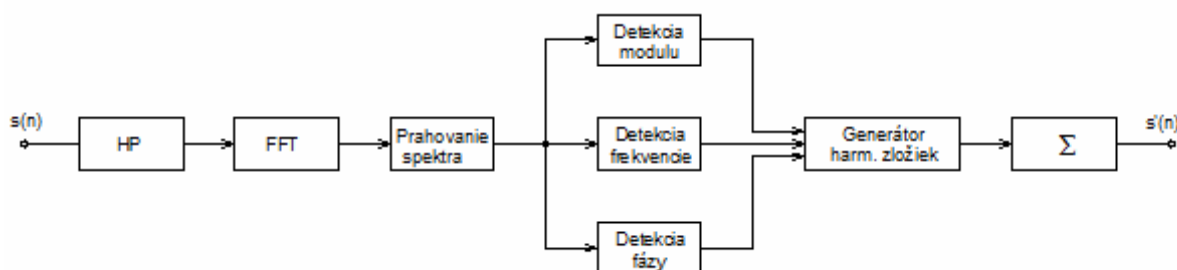
Súvislosť medzi amplitúdou a počiatočnou fázou harmonického signálu a komplexnými koeficientmi je popísaná vzťahmi, ktoré ukazujú na jednoduchý fyzikálny význam komplexných koeficientov:

$$A = 2|c_1| = 2|c_{-1}|, \quad (7.3)$$

$$\varphi = \arg(c_1) = -\arg(c_{-1}), \quad (7.4)$$

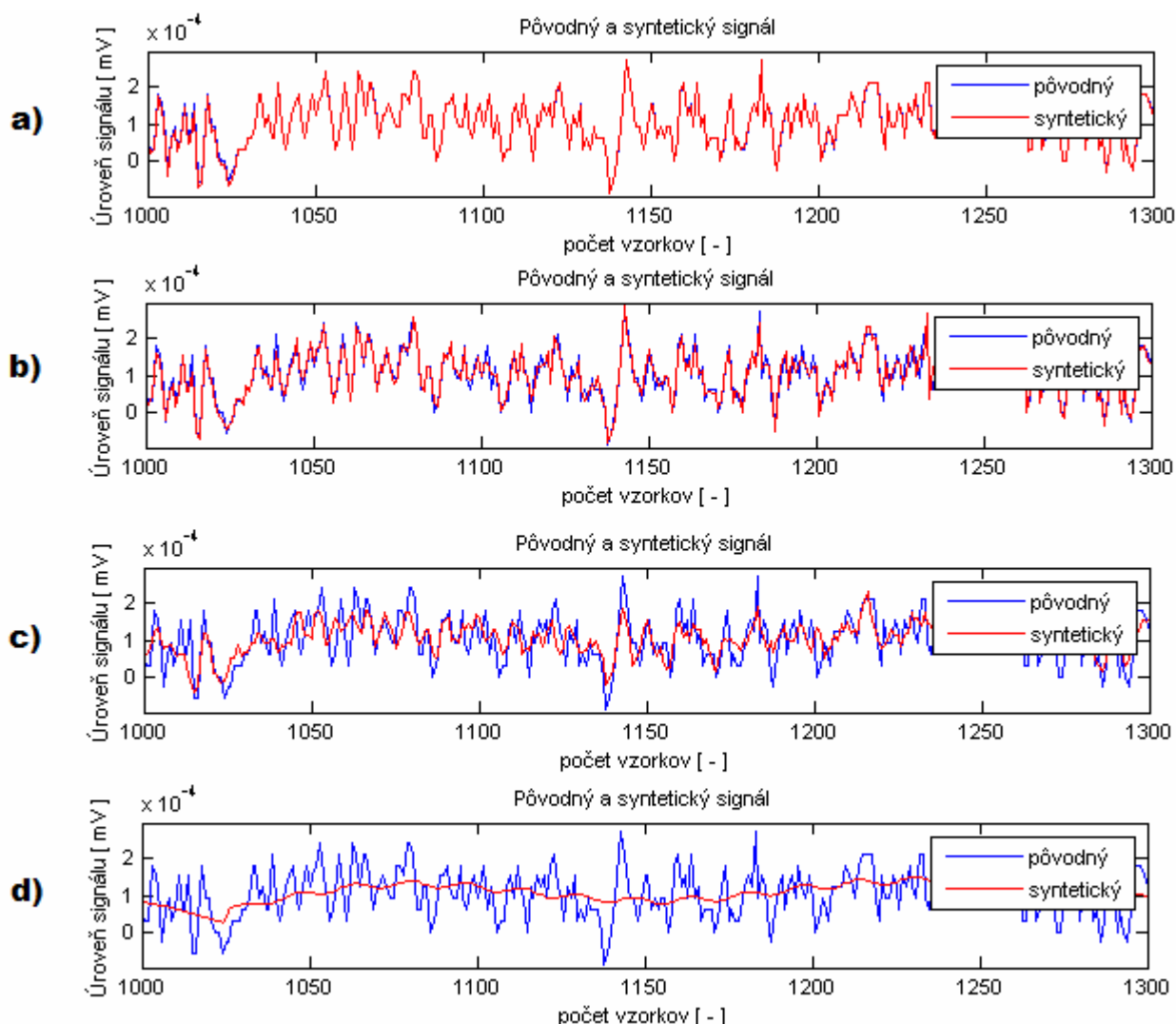
kde A je amplitúda harmonického signálu, c_1 a c_{-1} sú komplexné združené koeficienty a φ je počiatočný fázový posun harmonického signálu. Modul koeficientu c_1 je teda rovný polovici amplitúdy a argument koeficientu c_1 je rovný počiatočnej fáze harmonického signálu. [10]

Aby sme mohli generovať jednotlivé harmonické zložky, musíme poznať všetky parametre harmonického signálu. Z nahrávky idúceho automobilu spočítame pomocou DFT spektrá krátkych úsekov signálov, z ktorých budeme získavať požadované parametre. Pri DFT sme používali Hammingovo okno, ktoré sa javilo v predchádzajúcich meraniach ako najlepšie. Diskrétna Fourierova transformácia transformuje reálne vzorky na komplexné koeficienty, z ktorých sme spočítali modulovú a fázovú prenosovú charakteristiku. Z modulovej a fázovej prenosovej charakteristiky sme detekovali modul a fazu pre jednotlivé frekvencie. Následne sme vygenerovali harmonické zložky o presných frekvenciách a pomocou sumátora boli jednotlivé harmonické signály spočítané do výsledného syntetického záznamu. Na obrázku 17 je zobrazená bloková schéma princípu syntézy zvukových záznamov.



Obr. 17: Bloková schéma princípu syntézy zvukových záznamov

Do syntézy je následne ešte zavedený blok prahovanie spektra, pomocou ktorého sa môžu prahovať frekvencie s veľmi nízkym modulom, ktoré môžeme považovať za šumové zložky v signáli. V meraniach bolo zistené, že odprahované frekvenčné zložky, ktorých úroveň modulu bola nižšia ako 5 percent maxima, nemali vplyv na signál v takej miere, aby táto zmena ovplyvnila kvalitu nahrávky.



Obr. 18: Vplyv nastavenia prahu na syntetický signál

a) simulácia bez prahu **b)** simulácia s prahom 2% **c)** simulácia s prahom 5% **d)** simulácia s prahom 10%

Z obrázku 18 možno vidieť, vplyv nastavenia hodnoty prahu na syntetický signál. V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené hodnoty absolútnej chyby syntetického signálu voči originálnemu. Pri meraniach boli nastavované štyri hodnoty prahov (off, 2%, 5%, 10%), a na každej hodnote prahu boli testované tri váhové okná o veľkostiach 128, 512 a 1024 vzorkou. Z tabuliek 4. až 7. vidíme, že chyba klesá s menším prahom spektra a najmenšie chyby vychádzajú pre okná, ktoré obsahuje 512 a 1024 vzorkou, čo odpovedá časovému úseku približne 10,6 ms a 21,3 ms.

Tab. 4: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Citroen C3

Typ nahrávky	Prah [%]											
	off			2			5			10		
	Veľkosť okna [vzorkov]											
	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024
štart	0,024	0,008	0,017	0,025	0,016	0,021	0,03	0,032	0,039	0,036	0,053	0,072
rozbeh	0,009	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,01	0,007	0,007	0,01	0,016	0,013
radenie	0,029	0,016	0,016	0,028	0,017	0,016	0,03	0,021	0,019	0,031	0,039	0,039
brzdienie	0,009	0,086	0,009	0,01	0,009	0,009	0,009	0,014	0,015	0,016	0,019	0,022
zhasnutie	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,006	0,005	0,004	0,007	0,007

Tab. 5: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Škoda Fabia

Typ nahrávky	Prah [%]											
	off			2			5			10		
	Veľkosť okna [vzorkov]											
	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024
štart	0,024	0,008	0,017	0,025	0,016	0,021	0,03	0,032	0,039	0,036	0,053	0,072
rozbeh	0,009	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,01	0,007	0,007	0,01	0,016	0,013
radenie	0,029	0,016	0,016	0,028	0,017	0,016	0,03	0,021	0,019	0,031	0,039	0,039
brzdienie	0,009	0,086	0,009	0,01	0,009	0,009	0,009	0,014	0,015	0,016	0,019	0,022
zhasnutie	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,006	0,005	0,004	0,007	0,007

Tab. 6: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Škoda Octavia

Typ nahrávky	Prah [%]											
	off			2			5			10		
	Veľkosť okna [vzorkov]											
	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024
štart	0,007	0,0018	0,002	0,007	0,002	0,004	0,008	0,008	0,013	0,01	0,015	0,02
rozbeh	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004
radenie	0,011	0,01	0,012	0,012	0,01	0,01	0,013	0,011	0,01	0,013	0,014	0,011
brzdienie	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,006	0,006	0,006
zhasnutie	0,0016	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003

Tab. 7: Hodnoty absolútnej chyby [uV] syntetického signálu pre Chevrolet Kalos

Typ nahrávky	Prah [%]											
	off			2			5			10		
	Veľkosť okna [vzorkov]											
	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024	128	512	1024
štart	0,022	0,006	0,006	0,022	0,007	0,006	0,024	0,008	0,009	0,026	0,012	0,015
rozbeh	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,006	0,005	0,005
radenie	0,019	0,02	0,021	0,019	0,017	0,017	0,016	0,017	0,016	0,016	0,017	0,014
brzdenie	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,004	0,005	0,004	0,006	0,006	0,006
zhasnutie	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003

Na syntézu a následnú akustickú simuláciu boli použité nahrávky zo štyroch vzorových vozidiel. Technické parametre týchto vozidiel sú uvedené v tabuľke 8.

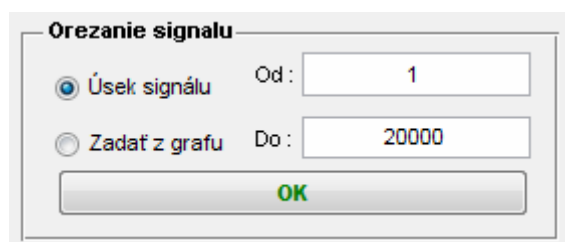
Tab. 8: Technické parametre analyzovaných vozidiel

Značka	Typ motora	Objem motora	Rok výroby	Prevodovka
Citroën C3	benzín	1360 cm ³	2009	5 st.
Škoda Octavia	diesel	1900cm ³	2002	5 st.
Škoda Fabia	benzín	1200 cm ³	2004	5 st.
Chevrolet Kalos	benzín	1399 cm ³	2005	5 st.

8. Syntéza zvukových nahrávok v programovacom prostredí Matlab

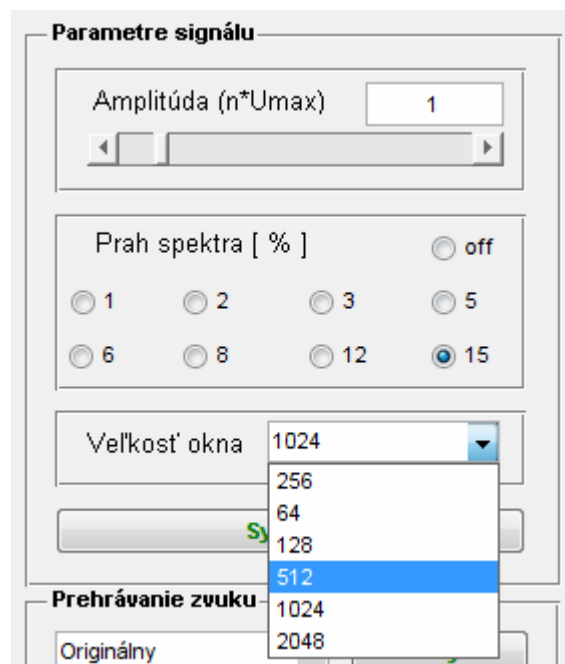
Zo všetkých získaných zvukových záznamov automobilových motorov sme vytvorili syntetické zvukové záznamy prostredníctvom programovacieho jazyka Matlab verzia 7.7.0 (R2008b). Boli vytvorené dva základné programy. Prvý program *modeling.m* má za úlohu vytváranie syntetických signálov, s rôznymi možnosťami nastavenia parametrov syntézy. Aby bola práca jednoduchšia, vytvorené programy boli aplikované do grafického prostredia. Po načítaní vstupného signálu sa užívateľovi zobrazí časový priebeh načítaného signálu a spektrum načítaného signálu. Po načítaní vstupného signálu si užívateľ môže zvoliť medzi dvoma úkonmi, ktoré sú k dispozícii v hornom menu grafického prostredia v záložke *Editovanie*.

Prvým úkonom je orezanie nahrávky. Po jeho výbere sa sprístupní modul slúžiaci na orezanie signálu. V module je možné zvoliť dve varianty orezania signálu. Prvá je pomocou číselne zadáných hodnôt začiatku a konca úseku. Druhou možnosťou je voľba bodov orezania priamo z grafu, kde určíme počiatočný a koncový bod úseku, ktorý chceme orezať.



Obr. 19: Modul voľby orezania nahrávky v programe modeling

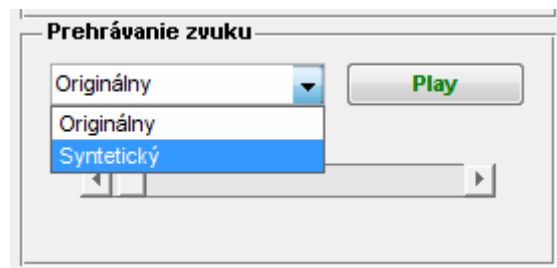
Druhým úkonom je syntéza nahrávky. Po jeho výbere sa sprístupní modul slúžiaci na nastavenie parametrov syntézy.



Obr. 20: Modul voľby parametrov syntézy nahrávky v programe modeling

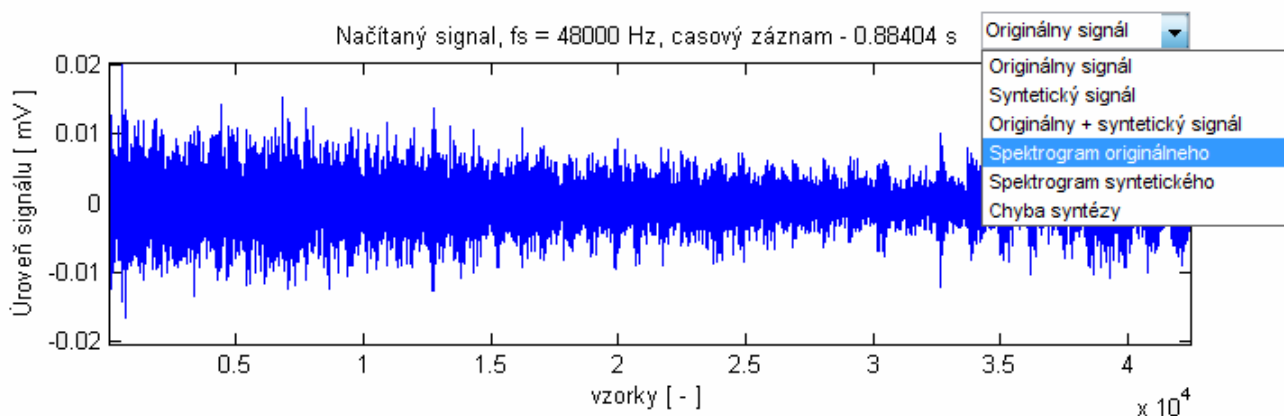
V module je možné zvoliť parametre syntézy, ako amplitúdu syntetického signálu, ktorú je možné navoliť v rozsahu od 1 do 10. Prah spektra, ktorého navolením môžeme odstrániť požadované percentá spektra. Jeho parametre možno voliť v hodnotách 1, 2, 3, 5, 6, 8, 12, 15 %. Zo subjektívneho pozorovania možno konštatovať, že na signál nemá vplyv hodnota zhruba do 5%. Pre vyššie hodnoty je signál značne zmenený. Posledným nastaviteľným parametrom pre syntézu je veľkosť Hammingovho okna. Koniec syntézy značí informatívne políčko s názvom *Stav simulácie* a jeho zmena na zelenú farbu. Po ukončení syntézy signálu, sa zobrazí graf syntetického signálu v druhom grafickom paneli.

Po skončení syntézy a zobrazení syntetického signálu sa v hornom menu grafického prostredia v záložke *Editovanie* sprístupní ďalší úkon a tým je prehranie nahrávky. Na výber máme prehranie originálnej, alebo syntetickej nahrávky a ovládanie hlasitosti.



Obr. 21: Modul prehrávanie zvuku v programe modeling

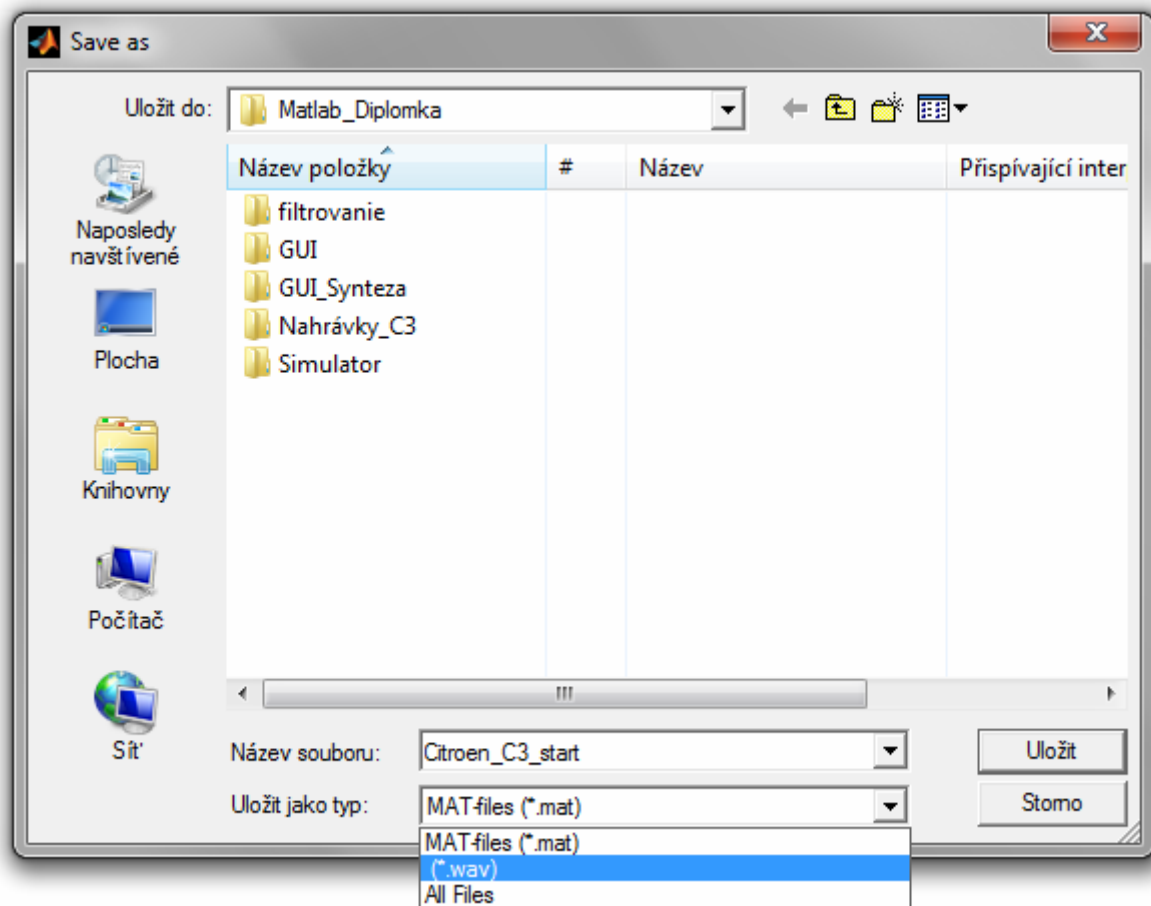
Po skončení syntézy a zobrazení syntetického signálu, si môžeme vo výberovej lište grafu zvoliť požadované priebehy.



Obr. 22: Voľba vykreslenia požadovaného priebehu

Na výber je z možnosti zobrazenia originálneho signálu, syntetického signálu, spoločný priebeh originálneho a syntetického, spektrogramy originálneho a syntetického signálu a chyba syntézy.

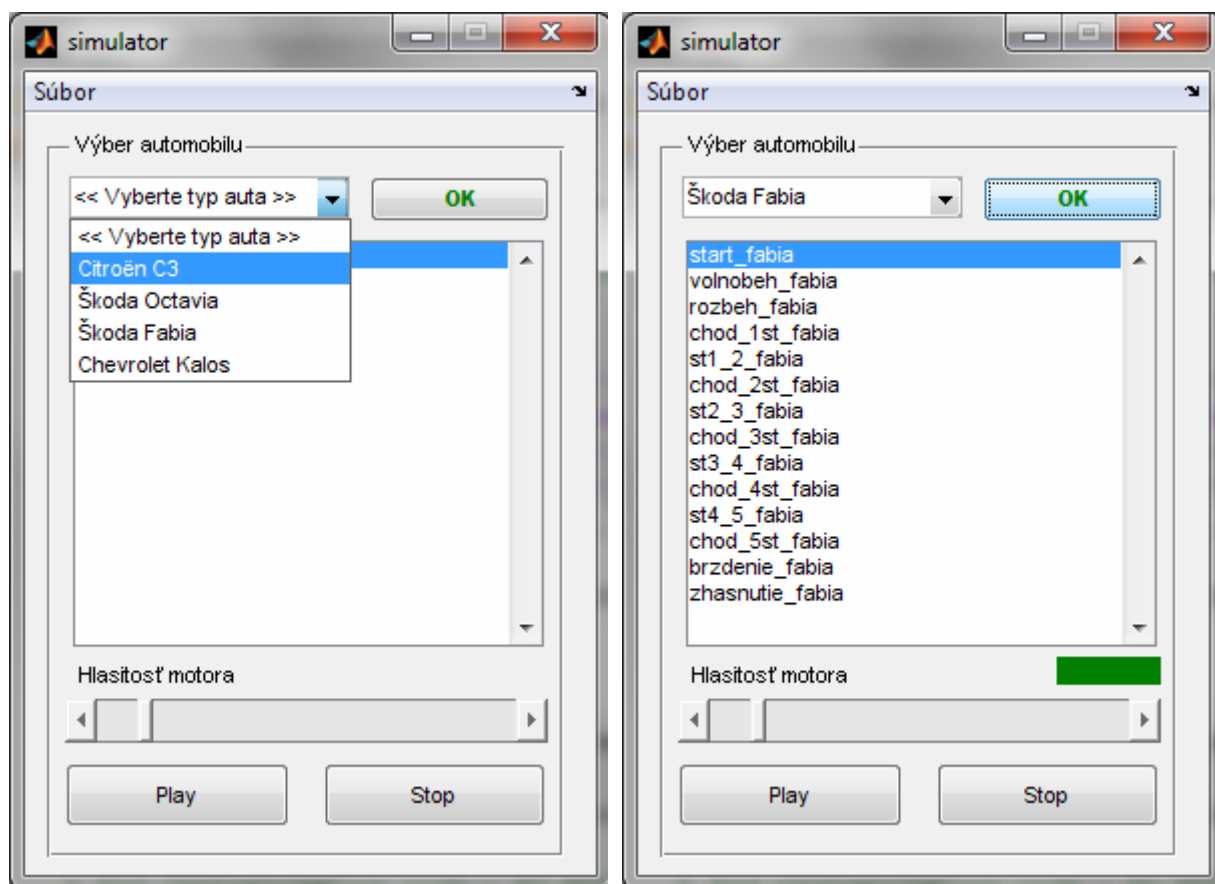
V poslednom kroku si môžeme vytvorený syntetický signál uložiť cez horné menu v položke *Súbor* → *Uložiť ako*.



Obr. 23: Modul uloženia syntetickej nahrávky v programe modeling

Syntetickú nahrávku je možné uložiť v dvoch formátoch **.mat* a **.wav*.

Druhý zhotovený program má názov *simulator.m*, ktorého úlohou je simulovať jednotlivé varianty jazdy idúceho automobilu. Prvým krokom je výber jednotlivého automobilu, ktorý sa vykonáva pomocou combobox-u, ako je zobrazené na obrázku 24. Po vybratí daného automobilu musíme potvrdiť voľbu stlačením tlačidla *OK*. Po potvrdení voľby sa nám zobrazia načítané varianty jazdy v listbox-e. Jednotlivé varianty jazdy možno prehrávať ich označením a následným prehraním pomocou tlačidla *PLAY*. Pomocou posuvníka má užívateľ možnosť meniť hlasitosť prehrávania. Prvotnú realizáciu programu pomocou nekonečnej slučky pre súvislý prechod medzi variantmi nebolo možné realizovať, z dôvodu nefunkčnosti prerušenia nekonečnej slučky pomocou externého callback-u. Daný variant je možno realizovateľný, avšak z dôvodu programátorských limitov sa nepodaril zrealizovať.



Obr. 24: Grafické rozhranie programu simulator

8.1 Použité funkcie v navrhnutých programoch

<i>syntetic.m</i>	Generátor syntetických signálov
<i>abs_chyba.m</i>	Výpočet maximálnej absolútnej chyby

9. Rešerš o akustickej simulácii a diagnostike automobilových motorov

Rešerš dostupných publikácií o problematike diagnostiky a akustickej simulácie automobilových motorov je rozdelená na dve časti. V prvej časti je spracovaná rešerš publikácií týkajúcich sa problematiky diagnostiky automobilových motorov a v druhej časti problematiky akustickej simulácii automobilových motorov.

9.1 Diagnostika automobilových motorov

Nižšie uvedený zoznam publikácií sa priamo, alebo časťou obsahu zaoberá metódami diagnostiky motorových vozidiel, jej priebehom, použitými metódami a prístrojmi.

1. EAGAN, Chris. *Google patents* [online]. 1995 [cit. 2011-04-20]. *Electronic instrument for locating and diagnosing engine sounds*. Dostupné z WWW: <
<http://www.google.com/patents?hl=sk&lr=&vid=USPAT5445026&id=kPcZAAAAEBAJ&oi=fnd&dq=Acoustic+diagnostics+engine&printsec=abstract#v=onepage&q&f=false>>.
2. VAN DER LINDEN, P. J. G; FUN, J. K. *Using Mechanical-Acoustic Reciprocity for Diagnosis of Structure Borne Sound in Vehicles*. *Noise & Vibration Conference & Exposition* [online]. 1993, 931340, [cit. 2011-04-20]. Dostupný z WWW: <
<http://papers.sae.org/931340>>.
3. WEIDONG, Li; PARKIN, Robert. M; COY, Joanne. *Acoustic based condition monitoring of a diesel engine using self-organising map networks*. *Applied Acoustics* [online]. 2002, Volume 63, [cit. 2011-05-19]. Dostupný z WWW: <
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V1S-451S922-1-K&_cdi=5682&_user=640830&_pii=S0003682X0200004X&_origin=gateway&_coverDate=07%2F31%2F2002&_sk=999369992&view=c&wchp=dGLbVtb-zSkWb&md5=f9848a94be3322dfb368b5f66647c985&ie=/sdarticle.pdf>.
4. J. Jiang, R. Gennish, F. Gu, A.D. Ball, F. Jiao, T. Tao, X. Li, K. Liu, *An investigation of acoustic measurements in the exhaust system for diesel engine combustion monitoring*, in: *Proceedings of the Structure Health Monitoring Conference*, Spain, July 2006.
5. BASIR, Otman A. *Vibro-acoustic engine diagnostic system*. *U.S Patent* [online]. 2004, 20040260454, [cit. 2011-04-20]. Dostupný z WWW: <
<http://www.freepatentsonline.com/y2004/0260454.html>>.
6. FREIWALD, Anton. *Diagnostika a opravy automobilov 2*. Žilina : Žilinská univerzita, 2005 . 399 s. ISBN 8080704236.
7. PAPOUŠEK, Miroslav; ŠTĚRBA, Pavel. *Diagnostika spalovacích motorů : Praktická příručka*. Praha : Computer Press, 2007 . 223 s. ISBN 8025116975.

8. VLK , František. *Diagnostika motorových vozidel*. Brno : František Vlk , 2006. 444 s. ISBN 802397064X.
9. VLK , František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel* . 2. vydání. Brno : František Vlk , 2005. 576 s. ISBN 8023937170.
10. VÉMOLA , Aleš. *Diagnostika automobilů I*. Brno : Littera, 2006. 127 s. ISBN 8085763311.
11. VÉMOLA , Aleš. *Diagnostika automobilů II Diagnostika automobilů II* . Brno : Littera, 2006. 81 s. ISBN 808576332X.
12. STODOLA, J. *Diagnostika motorových vozidel*. Podpora výuky - elektronické medium. VUT Brno, 2003
13. ČUPERA, Jiří; ŠTĚRBA , Pavel. *Automobily 7 : Diagnostika motorových vozidel I..* Brno : AVID, 2007. 195 s. ISBN 978-80-903671-9-7.
14. FERENC , Bohumil. *Spalovací motory*. 3. vydání. Praha : Computer Press, 2009. 388 s. ISBN 9788025125458.

Z uvedeného zoznamu publikácií sa obsahovo k akustickej diagnostike motorov blížia publikácie 1 až 5. Ďalšie uvedené publikácie sa časťou obsahu týkajú akustickej diagnostiky motorov, alebo všeobecnými metódami diagnostiky motorov motorových vozidiel.

9.2 Akustická simulácia automobilových motorov

Nižšie uvedený zoznam publikácií sa priamo, alebo časťou obsahu zaoberá metódami akustickej simulácie motorových vozidiel, jej priebehom, použitými metódami a prístrojmi.

1. *Acoustic Engineering for Passenger Cars* [online]. 2010 [cit. 2011-01-02]. Acoustic Engineering for Passenger Cars.
Dostupné z WWW: < <https://www.avl.com/acoustic-engineering-for-passenger-cars> >.
2. *Simulace pomáhá snižovat hlučnost automobilů* [online]. 2007 [cit. 2011-01-02].
Magazín serveru TipCar.cz. Dostupné z WWW:
< <http://www.tipcar.cz/simulace-pomaha-snizovat-hlucnost-automobilu-2820.html> >.
3. RUND, František Simulace zvukového pole více zdroju. In *Simulace zvukového pole více zdroju* [online]. Praha : FEL ČVUT, 2009 [cit. 2011-01-02]. Dostupné z WWW:
< http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB09/prispevky/089_rund.pdf >.
4. GÉRARD, François, et al. Acoustic Transfer Vectors for Numerical Modeling of Engine Noise. *Society of Automotive Engineers* [online]. 2001, 1514, [cit. 2011-01-02]. Dostupný z WWW: <
<http://edge.rit.edu/content/P11221/public/Acoustic%20Transfer%20Vectors%20for%20numerical%20Modeling%20of%20Engine%20Noise> >.
5. FISCHER, Peter, et al. *PaperFisitaConf_AcoustSimul_06_2002* [online]. 2002 [cit. 2011-01-02]. *PaperFisitaConf_AcoustSimul_06_2002*. Dostupné z WWW: <
http://www.dtech-steyr.com/media/files/downloads_en/PaperFisitaConf_AcoustSimul_06_2002.pdf >.

Záver

Práca sa zaoberá záznamom zvuku a reprodukciou zvukových signálov idúceho automobilu na počítači v reálnom čase. Ďalej popisuje najpoužívanejšie formáty počítačom spracovávaných zvukových súborov. V práci sú používané zvukové záznamy vo formáte *.wav pre jednoduchosť práce v programovom prostredí matlabu.

Súčasťou práce bolo získanie nahrávok chodu motora pri rôznych variantoch jazdy. Tieto zvukové záznamy sme získali nahrávaním motora pomocou rekordéra TASCAM DR-100, ktorý nám umožnil získať záznamy priamo vo formáte wav. Pri nahrávaní jednotlivých zvukových záznamov bola použitá vzorkovacia frekvencia 48 kHz, citlivosť rekordéra bola nastavená na hodnotu LOW, čo odpovedá útlmu 14 dB μ V. Jednotlivé zvukové nahrávky motorových vozidiel boli zostrihané na úseky, ktoré odpovedajú činnosti vodiča pri: štarte, voľnobehu, rozbehu, pri radení jednotlivých prevodových stupňov, brzdení a zhasnutí motora. Získané zvukové záznamy automobilu počas jazdy sme analyzovali pomocou krátkodobej Fourierovej transformácie (STFT), pri ktorej sme využívali Hannovo, Hammingovo, Blackmanovo a obdĺžnikové váhové okno. Z vytvorených spektrogramov jednotlivých nahrávok sa najlepšie javilo Hammingovo váhové okno.

V ďalšej časti práce sme sa zaoberali tvorbou syntetických signálov s nastaviteľnými parametrami. Pri krátkodobej Fourierovej transformácii sme využívali Hammingovo váhové okno, ktoré sme v predchádzajúcej časti vyhodnotili za najlepšie. Boli využívané váhové okná o veľkostiach 128, 512 a 1024 vzorkou, čo odpovedá časovým úsekom 2,6 ms, 10,6 ms a 21,3 ms. Vo vytvorenom programe na syntézu má užívateľ možnosť výberu ešte nasledujúcich veľkostí okien: 64, 256 a 2048 vzorkou. Ďalším nastaviteľným parametrom, ktorý sa využíva v programe je veľkosť prahu spektra, pomocou ktorého určujeme jednotlivé harmonické zložky, ktoré budú použité pri tvorbe syntetických signálov. Posledným parametrom, ktorý môže užívateľ editovať je amplitúda syntetického signálu. Pre štart, rozbeh, radenie, brzdenie a zhasnutie boli spočítané hodnoty absolútnej chyby, ktoré sa menili v závislosti na zmene prahu a veľkosti okna. Z tabuliek 4. až 7. vidíme, že chyba klesá s menším prahom spektra a najmenšie chyby vychádzajú pre okná, ktoré obsahuje 512 a 1024 vzorkou.

Analýza s syntézou zvukových záznamov bola realizovaná v programovacom prostredí matlab 7.7.0 (R2008b). Boli vytvorené dva základné programy, pomocou ktorého bola realizovaná tvorba syntetických nahrávok a akustická simulácia chodu motora. Pre jednoduchosť ovládania voliteľných parametrov boli obidva programy aplikované do grafického rozhrania GUI.

V poslednej časti práce je spracovaná rešerš dostupných publikácií obsahovo zameraných na tému akustická simulácia a diagnostika automobilových motorov.

Použitá literatúra

- [1] ADAM, Pavol. *Zvuk.atrip.sk* [online]. 2006 [cit. 2010-05-05]. Úvod do metód spracovania zvuku.
Dostupné z WWW: < <http://www.zvuk.atrip.sk> >.
- [2] KADLEC, František. *Zpracování akustických signálu*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2005. 189 s.
- [3] KOREC, Tomáš. *Www.informatika.soujr.sk* [online]. 2008 [cit. 2010-05-05]. Sprac_zvuku.
Dostupné z WWW: < http://informatika.soujr.sk/download/sprac_zvuku.pdf >.
- [4] MACHOVÁ, Jana. *Www.server.gphmi.sk* [online]. 2004 [cit. 2010-05-05]. Digitálny zvuk.
Dostupné z WWW: < <http://server.gphmi.sk/machova/zvuk/digitalizacia.html> >.
- [5] JAN, Jiří. *Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálu*. 2. rozšířené vydání. V Brně : VUTIUUM, 2002. 427 s. ISBN 80-214-1558-4.
- [6] KOZUMPLÍK, Jiří; KOLÁŘ, Radim; JAN, Jiří. *Číslíkové zpracování a analýza signálů : skriptum FEKT VUT v Brně*. Brno : VUTIUUM, 2003. 84 s.
- [7] TOTH, Adrian. *Diskrétna Fourierova transformácia* [online]. 2005-11-16 [cit. 2010-12-16]. Diskrétna Fourierova transformácia.
Dostupné z WWW: < <http://dendrit.tuke.sk/~totha/docs/minimovka/node17.html> >.
- [8] VARGIC, Radoslav. *Wavelety a banky filtrov*. Bratislava : STU, 2004. 133 s. ISBN 80-227-2093-3.
- [9] GARAI, Szabolcs. *Variabilní segmentace pro zpracování zvukových signálu*. Brno, 2010. 58 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [10] ŠEBESTA, Vladimír; SMÉKAL, Zdeněk. *Signály a soustavy : Prednášky*. dotisk. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2004. 145 s. ISBN 80-214-2434-6.
- [11] SIGMUND, Milan. *Analýza řečových signálu : Prednášky*. první. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2000. 86 s. ISBN 80-214-1783-8.

- [12] LAVÁČ, Václav; SEDLÁČEK, Miloš. *Spracování signálů a obrazů*. Praha : ČVUT, 2007. 255 s.
- [13] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, Bohuslav. *MATLAB : Tvorba uživatelských aplikací*. 1. vydání. Praha : BEN – technická literatura, 2004. 216 s. ISBN 80-7300-133-0.
- [14] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, Bohuslav. *MATLAB : Začínáme se signály*. 1. vydání. Praha : BEN – technická literatura, 2006. 272 s. ISBN 80-7300-200-0.

Zoznam skratiek

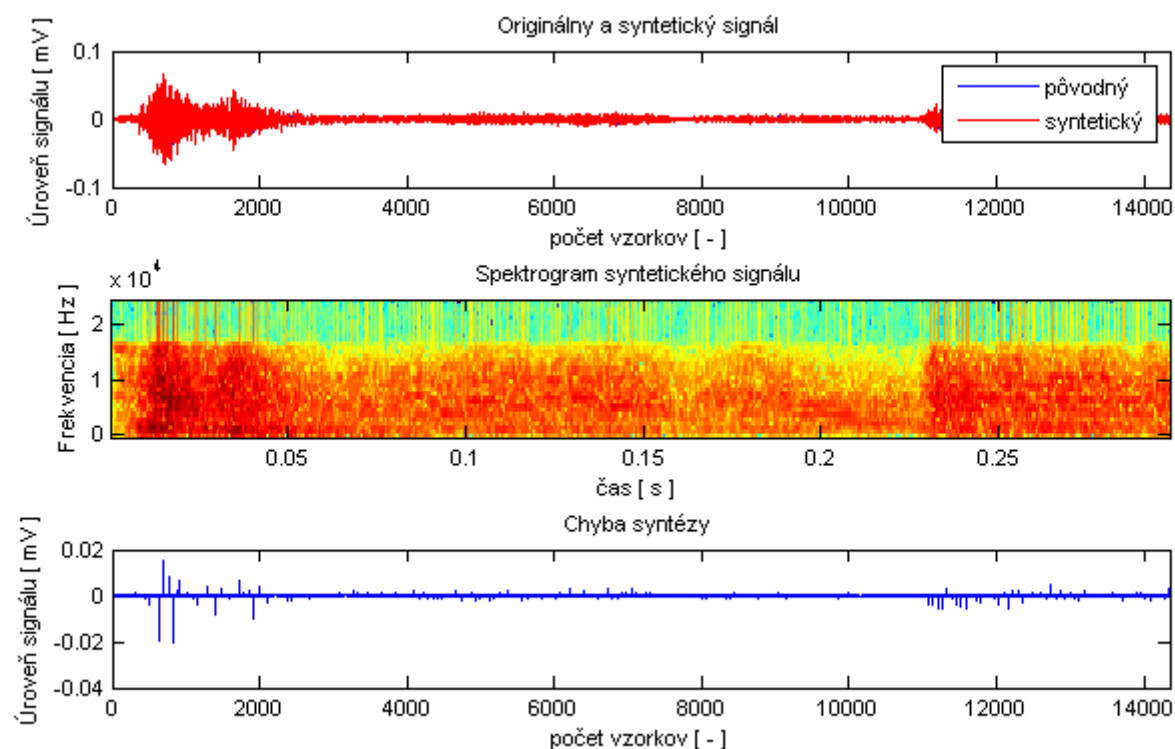
FT	Fourierova transformácia
DFT	Diskrétna Fourierova transformácia
FFT	Rýchla Fourierova transformácia
A/D	Analógovo – digitálny prevodník
PCM	Pulzne kódová modulácia
ν_{HAN}	Funkcia Hannovho okna
ν_{HAM}	Funkcia Hammingovho okna
ν_{BLC}	Funkcia Blackmanovho okna
ν_{OBD}	Funkcia obdĺžnikového okna
f_{vz}	Vzorkovacia frekvencia
f	Frekvencia harmonického signálu
φ	Fázový posun

Zoznam Príloh

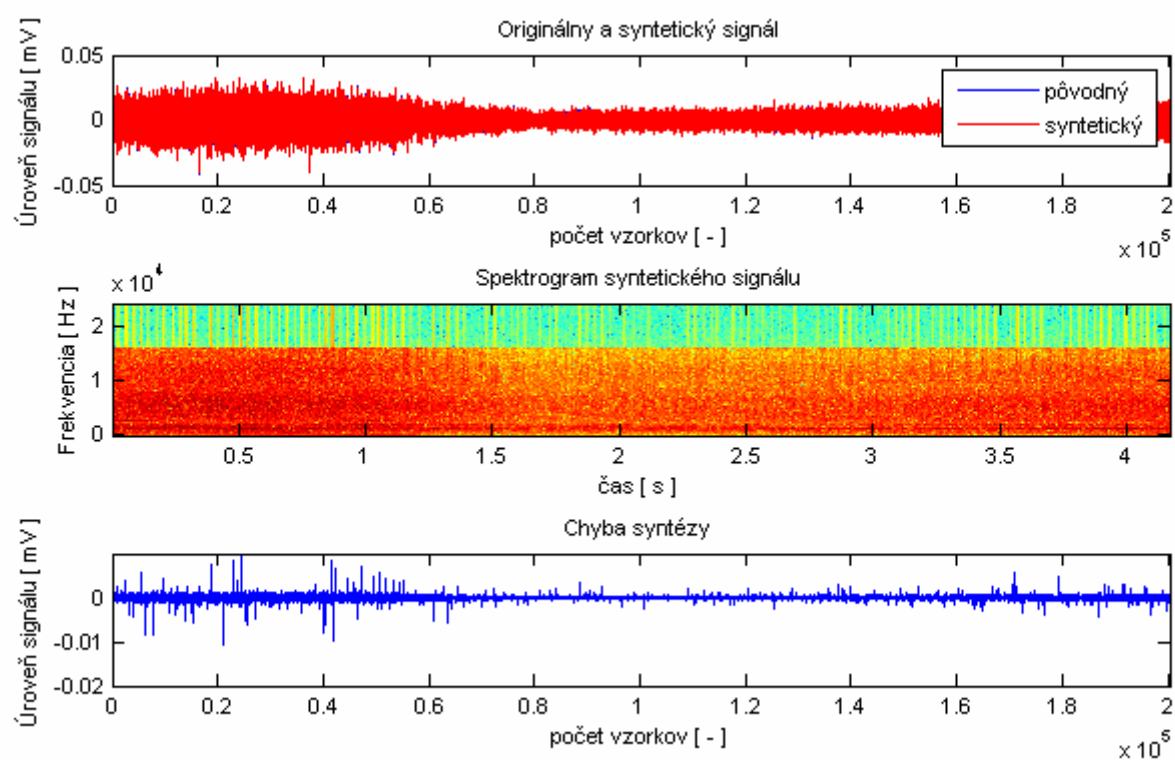
A VÝSLEDKY SYNTÉZY ZÁZNAMOV MOTOROVÉHO VOZIDLA CITROEN C3	49
A.1 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ŠTARTU	49
A.2 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU PRERADENIA	49
A.3 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU BRZDENIA	50
A.4 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ZHASNUTIA MOTORA	50
 B VÝSLEDKY SYNTÉZY ZÁZNAMOV MOTOROVÉHO VOZIDLA ŠKODA FABIA	 51
B.1 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ŠTARTU	51
B.2 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU PRERADENIA	51
B.3 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU BRZDENIA	52
B.4 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ZHASNUTIA MOTORA	52
 C VÝSLEDKY SYNTÉZY ZÁZNAMOV MOTOROVÉHO VOZIDLA ŠKODA OCTAVIA.....	 53
C.1 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ŠTARTU	53
C.2 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU PRERADENIA	53
C.3 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU BRZDENIA	54
C.4 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ZHASNUTIA MOTORA	54
 D VÝSLEDKY SYNTÉZY ZÁZNAMOV MOTOROVÉHO VOZIDLA CHEVROLET KALOS	 55
D.1 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ŠTARTU	55
D.2 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU PRERADENIA	55
D.3 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU BRZDENIA	56
D.4 ANALÝZA A SYNTÉZA ZÁZNAMU ZHASNUTIA MOTORA	56

A Výsledky syntézy záznamov motorového vozidla Citroën C3

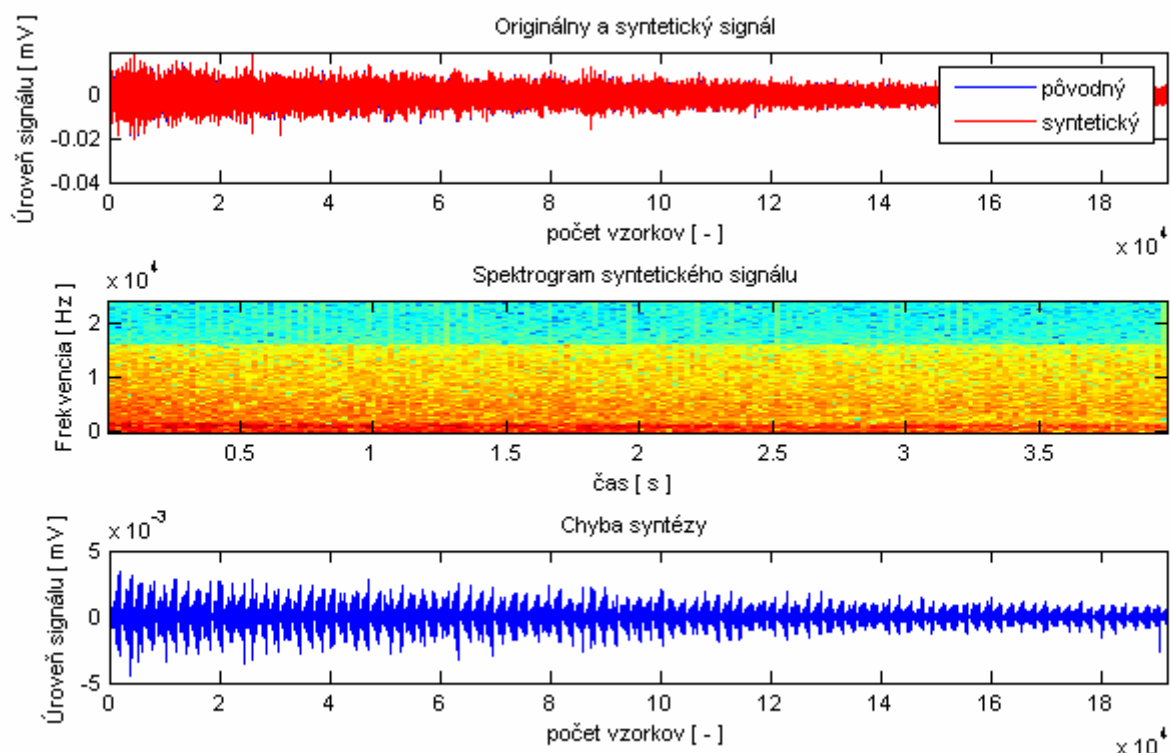
A.1 Analýza a syntéza záznamu štartu



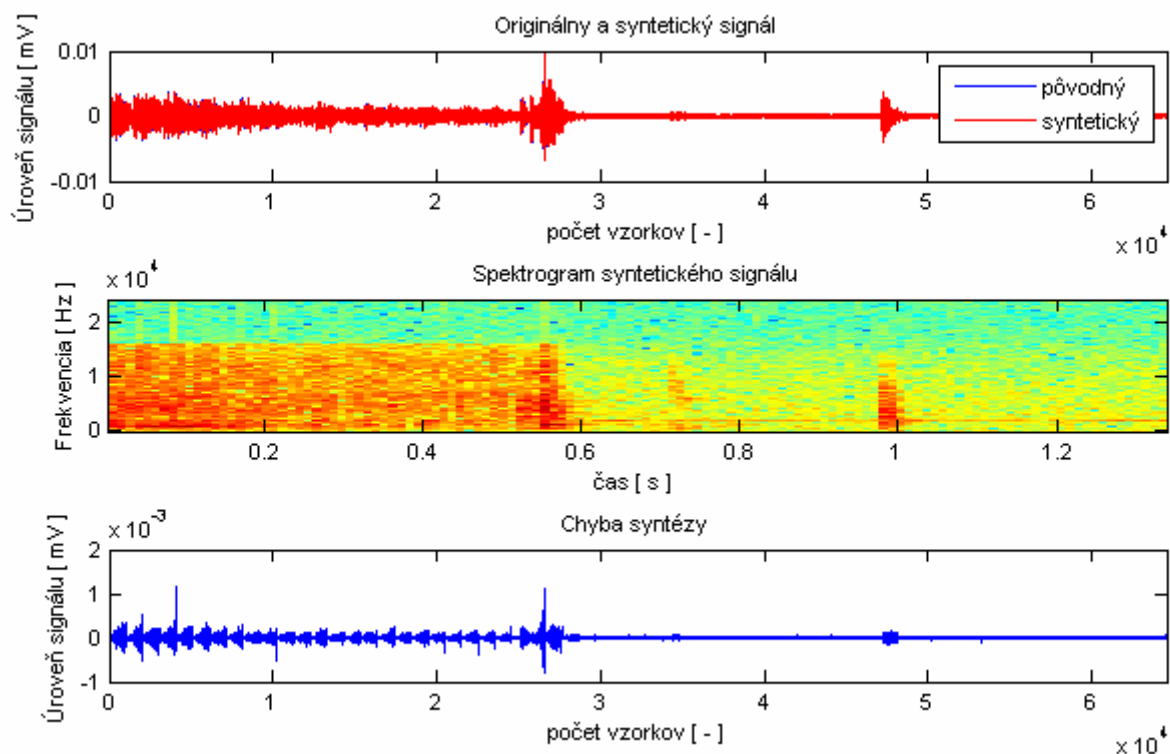
A.2 Analýza a syntéza záznamu preradenia



A.3 Analýza a syntéza záznamu brzdenia

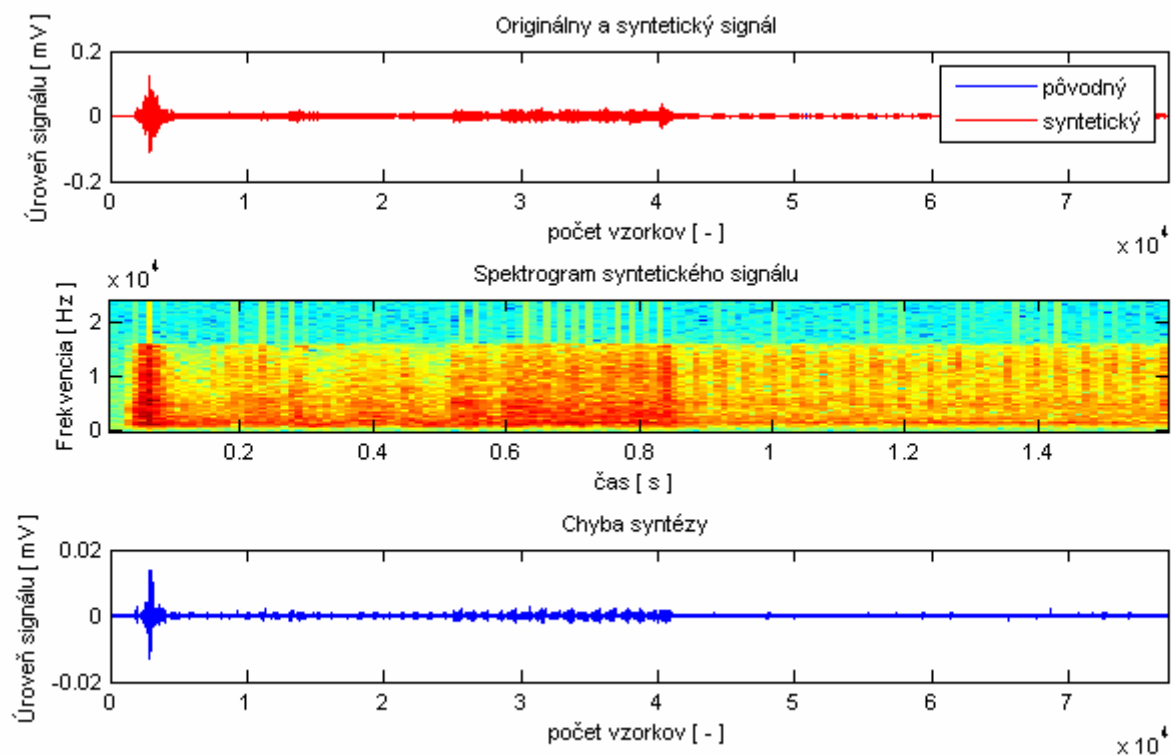


A.4 Analýza a syntéza záznamu zhasnutia motora

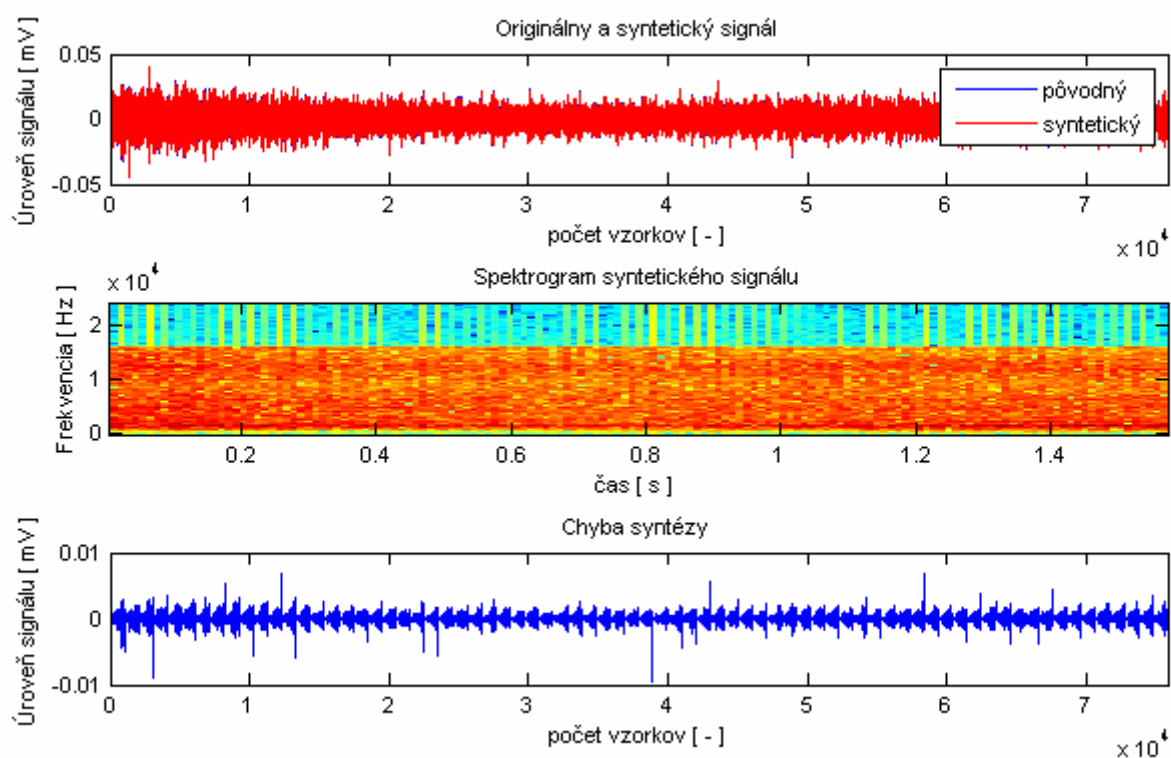


B Výsledky syntézy záznamov motorového vozidla Škoda Fabia

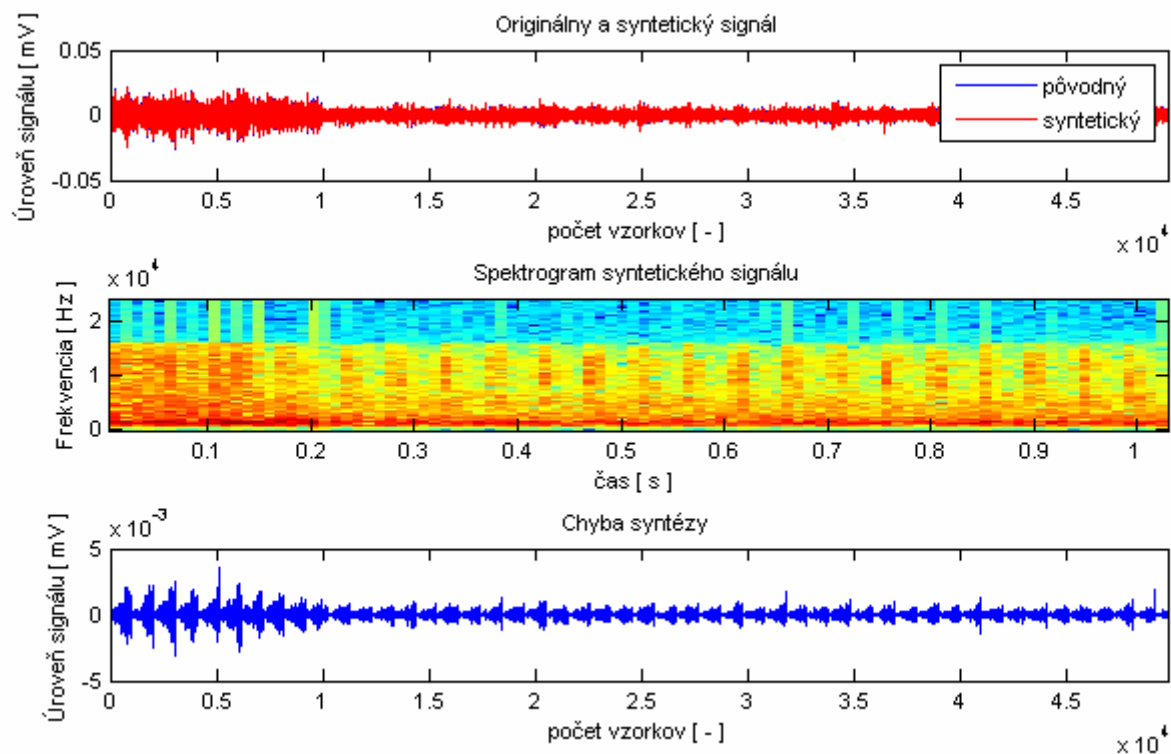
B.1 Analýza a syntéza záznamu štartu



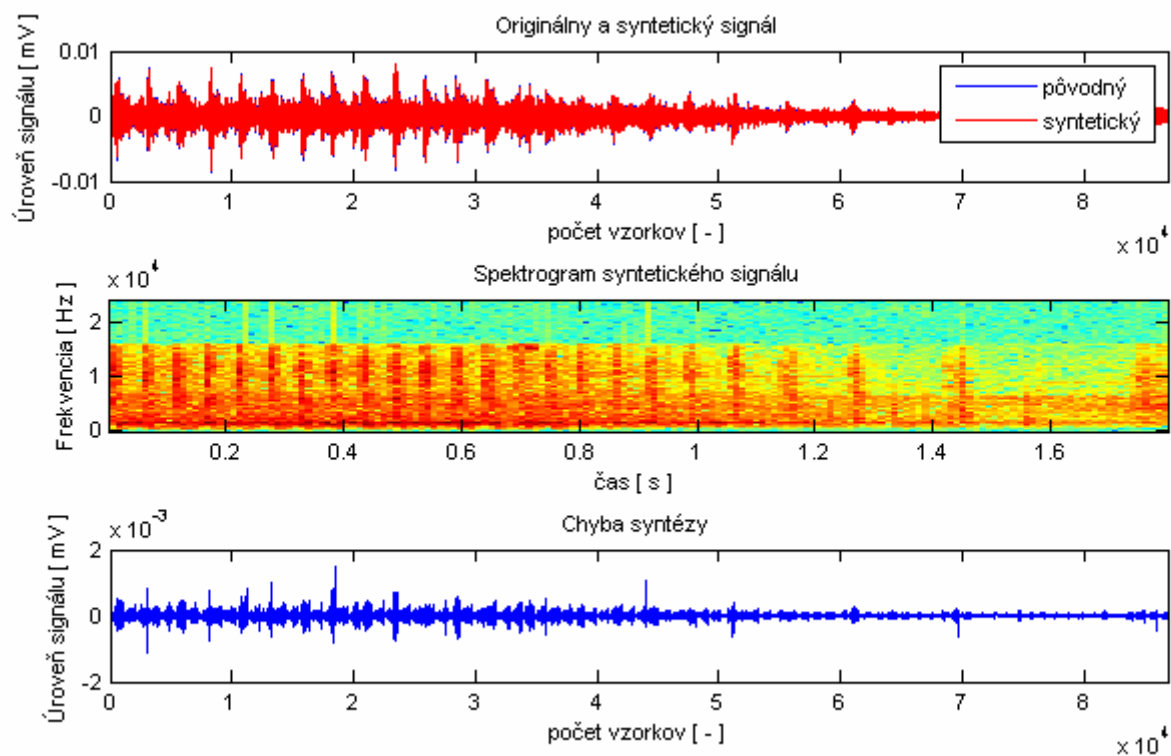
B.2 Analýza a syntéza záznamu preradenia



B.3 Analýza a syntéza záznamu brzdenia

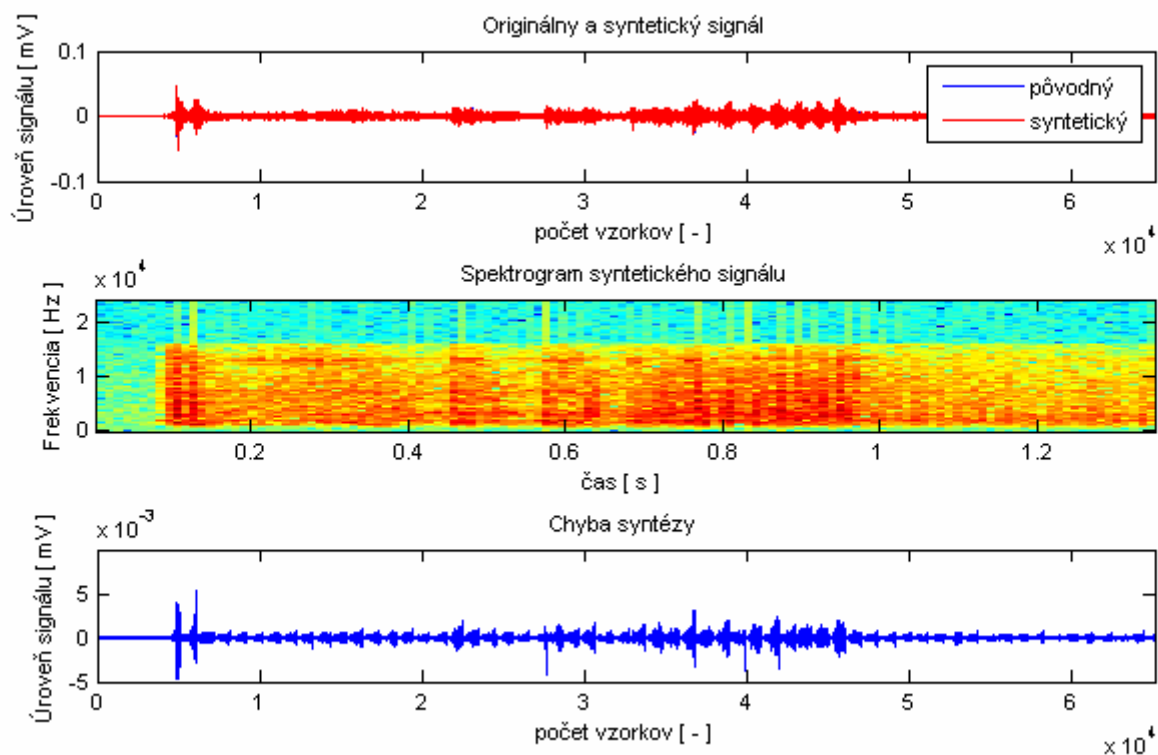


B.4 Analýza a syntéza záznamu zhasnutia motora

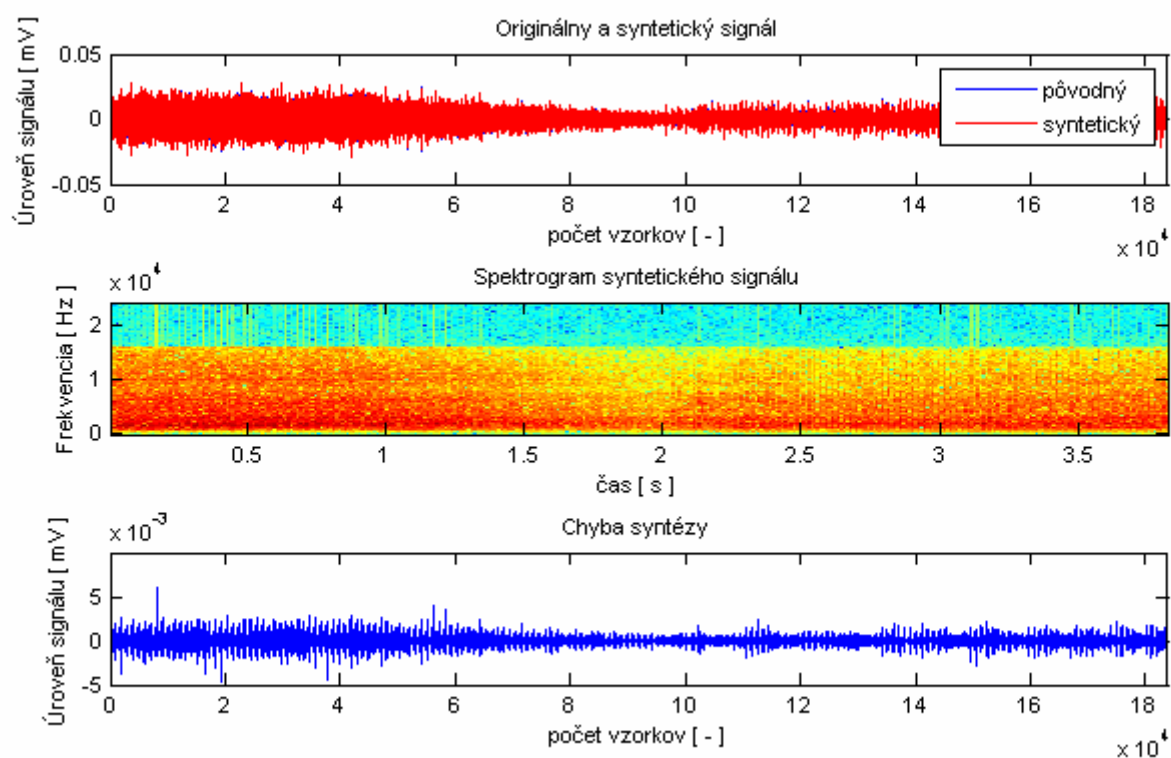


C Výsledky syntézy záznamov motorového vozidla Škoda Octavia

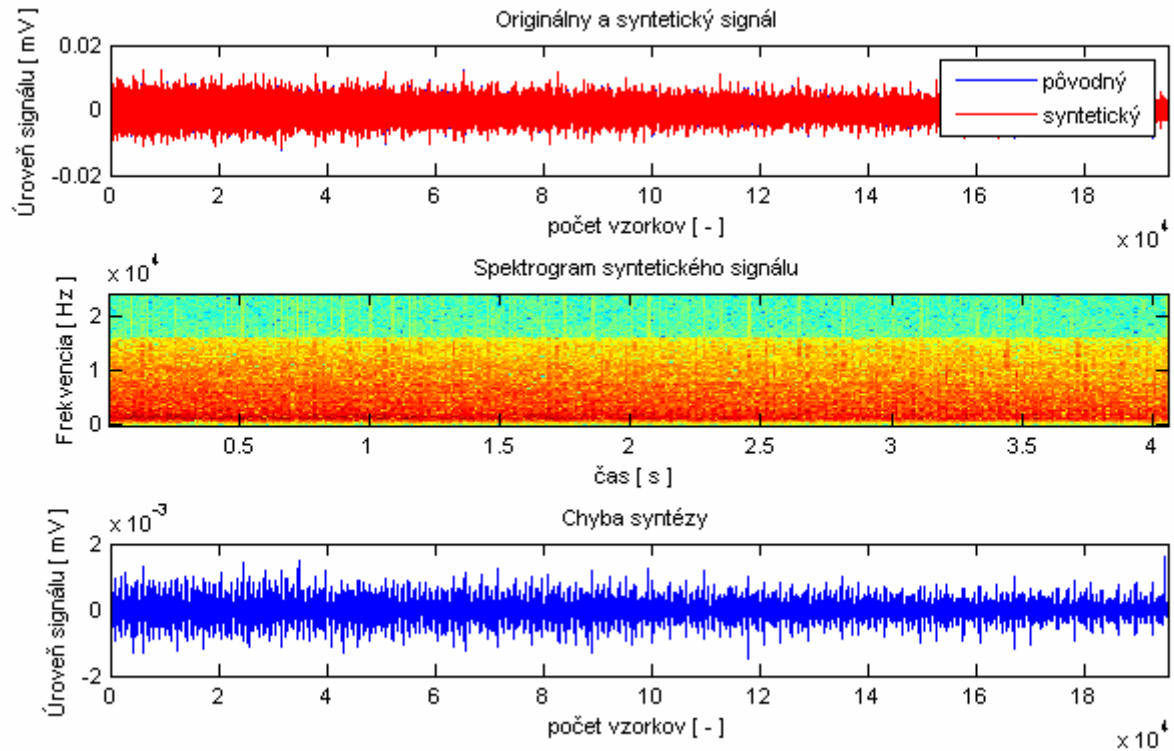
C.1 Analýza a syntéza záznamu štartu



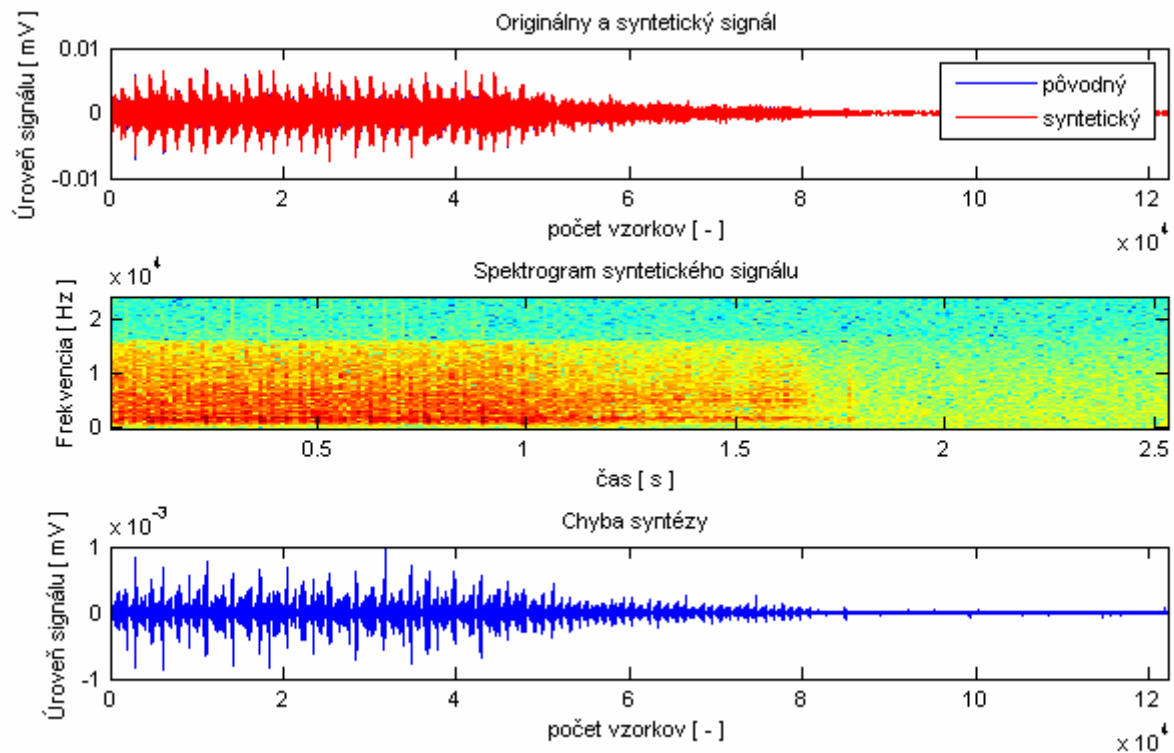
C.2 Analýza a syntéza záznamu preradenia



C.3 Analýza a syntéza záznamu brzdenia

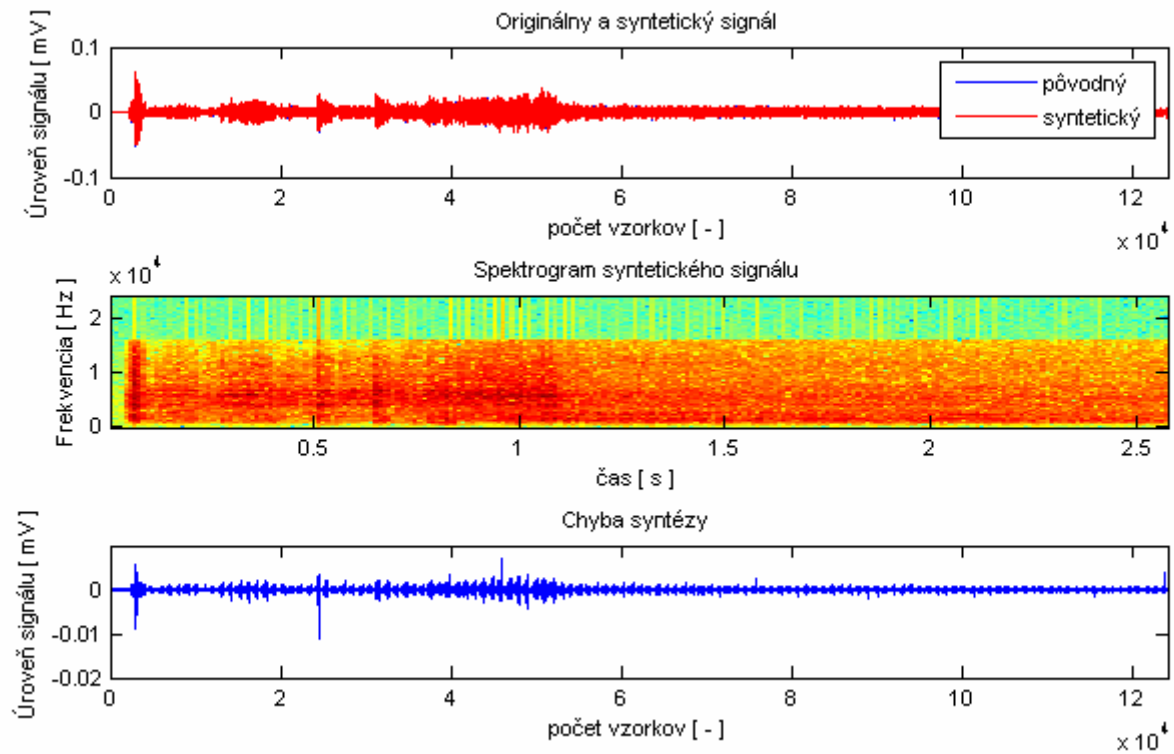


C.4 Analýza a syntéza záznamu zhasnutia motora

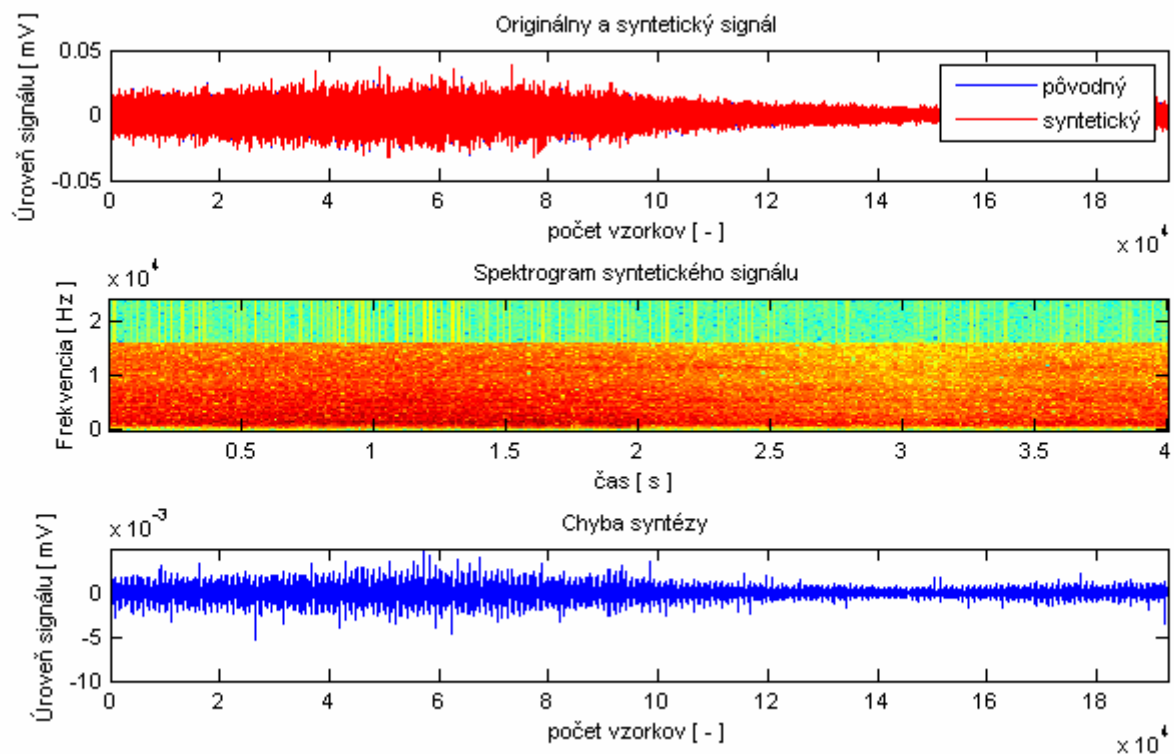


D Výsledky syntézy záznamov motorového vozidla Chevrolet Kalos

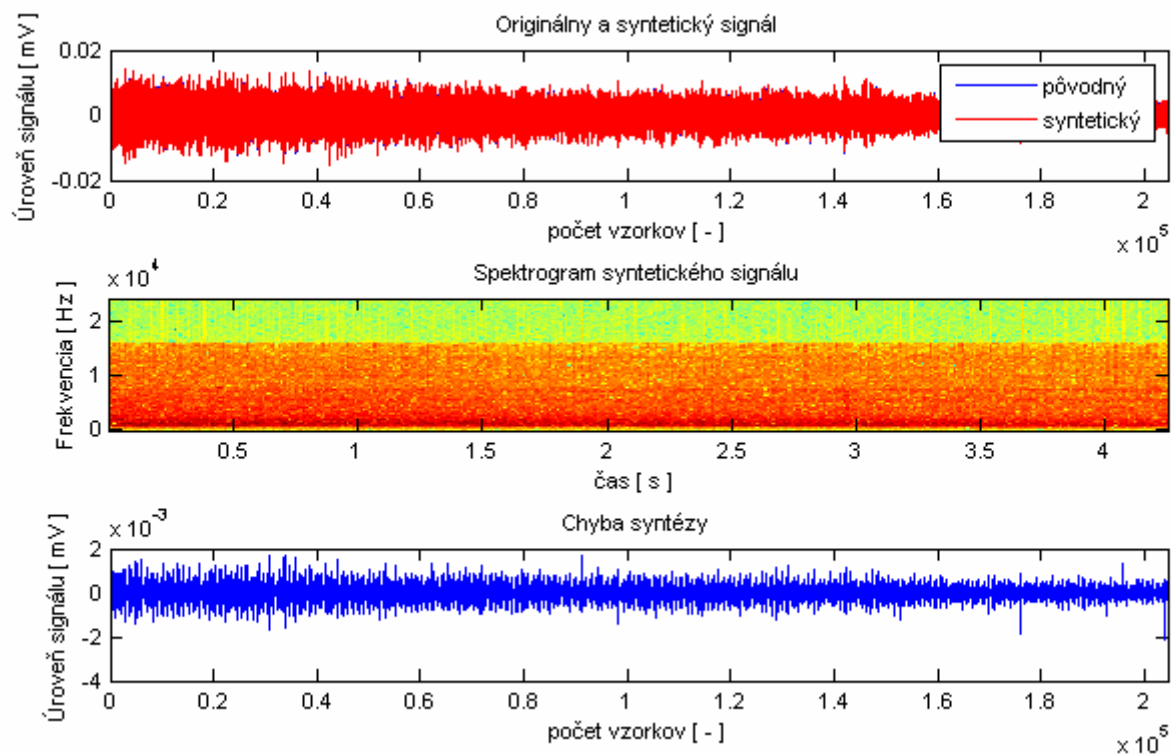
D.1 Analýza a syntéza záznamu štartu



D.2 Analýza a syntéza záznamu preradenia



D.3 Analýza a syntéza záznamu brzdenia



D.4 Analýza a syntéza záznamu zhasnutia motora

