

Osnovna šola Polzela
Polzela 10, 3313 Polzela

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

**DOKAZOVANJE AVTENTIČNOSTI GOVORA Z ZVOKOVNO
RAČUNALNIŠKO OBDELAVO**

Tematsko področje: RAČUNALNIŠTVO IN TELEKOMUNIKACIJE

Avtorja:
Blaž Sitar, 9. razred
Aleksander Turnšek, 9. razred

Mentor:
Borut Petrič, ing. el.

Polzela, 2009

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Polzela in v prostorih studia Simpleks/Velesound v Velenju.

Mentor: Borut Petrič, ing. el.

Datum predstavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Osnovna šola Polzela, šolsko leto 2008/09
KG	računalništvo / biometrične lastnosti / digitalizacija / spektralna analiza / frekvenčna analiza / vzorčenje
AV	SITAR, Blaž / TURNŠEK, Aleksander
SA	PETRIČ, Borut
KZ	3313 Polzela, SLO, Polzela 13
ZA	Osnovna šola Polzela
LI	2009
IN	DOKAZOVANJE AVTENTIČNOSTI GOVORA Z ZVOKOVNO RAČUNALNIŠKO OBDELAVO
TD	RAZISKOVALNA NALOGA
OP	IV, 45 s., 23 sl.
IJ	SL
JJ	sl
AI	<p>Skušamo dokazati, ali je možno z običajnim programom za urejanje zvoka, a povsem nespecializiranim za namen te raziskave, dokazati avtentičnost govora. Po natančnem seznanjanju z digitalno obliko zvočnega zapisa in lastnostmi prepoznave govora s področja človekovih biometričnih značilnosti, je bila naloga opravljena eksperimentalno. Glavnina raziskave je bila opravljena v zvočnem studiu, kjer je bilo potrebno pridobiti ustrezne vzorce človekovega govora. Pod drobnogled je bilo vzeti nekaj posameznih vzorčnih primerkov, ki so služili kot neke vrste referenčna vrednost. Z natančno analizo, ki je obsegala tako frekvenčno kot spektralno, deloma tudi filtriranje zvočnega zapisa, so se primerjale referenčne vrednosti zvočnih zapisov z naključnimi vzorci istih oseb. Ker teorija pravi, da nam tudi govor lahko služi kot neke vrste prstni odtis za identifikacijo in avtentikacijo, je bilo upravičeno pričakovati ujemanje naključnih vzorcev govora s poprej namensko shranjenimi referenčnimi vrednostmi. Ob tem je bilo potrebno zavzeti ustrezna stališča, kateri zlogi človekovega govornega vzorca so primernejši v procesu obdelave. Postopek raziskave je potekal na ustrezno primernem nivoju znanja nekega devetošolca, potrebnega za pristop k rešitvi problema. Cilj je bil vsekakor dokazati hipotezo, da se avtentičnost zvočnega zapisa za določeno osebo da dokazati tudi z uporabo nam dostopne programske opreme in s primerno stopnjo znanja.</p>

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI) z izvlečkom.....	II
Kazalo vsebine.....	III
Kazalo slik.....	IV
Seznam okrajšav in simbolov.....	IV
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 Biometrija.....	3
2.2 O analognem in digitalnem zapisu zvoka.....	3
2.3 Digitalizacija.....	4
2.4 Človek in zvok.....	5
2.5 Občutek jakosti.....	6
2.6 Frekvenčna analiza	6
2.7 Spektralna analiza.....	7
3 METODOLOGIJA	8
3.1 Prisotnost frekvenc v povedanem vzorcu.....	9
3.2 Podrobna spektralna analiza posameznih zlogov	9
3.3 Obnašanje filtriranega digitalnega zvočnega zapisa.....	9
3.4 Adobe Audition	10
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	11
4.1 Zlog C v frekvenčni analizi	11
4.2 Zlog C v spektralnem prikazu	15
4.3 Zlog P v frekvenčni analizi.....	16
4.4 Zlog P v spektralnem prikazu.....	20
4.5 Zlog T v frekvenčni analizi in pri spektralnem prikazu	22
5. ZAKLJUČEK.....	24
6. POVZETEK	26
7 ZAHVALA.....	27
8 PRILOGA.....	28
9 VIRI IN LITERATURA.....	45

KAZALO SLIK

Sl. 1 – Odtipki pri digitalizaciji	4
Sl. 2 – Kvantizacija pri zvočni kartici	4
Sl. 3- Matematični zapis tona	5
Sl. 4– Primer prikaza frekvenčne analize zvočnega zapisa	6
Sl. 5 – Primer spektralnega prikaza zvočnega zapisa	7
Sl. 6 – Prikaz amplitud pri zlogih P (levo) in E (desno).....	9
Sl. 7 - ARTY - referenčni C - frekvenčna - linearno	12
Sl. 8 - KATJA - referenčni C - frekvenčna - linearno	12
Sl. 9 - ŽELJKA - referenčni C - frekvenčna - linearno	13
Sl. 10 - ARTY - referenčni C - frekvenčna - logaritmično	13
Sl. 11 - KATJA - referenčni C - frekvenčna – linearno, značilen potek v obliki črke S.....	14
Sl. 12 – Primerjava padca karakteristike	15
Sl. 13 - ARTY - referenčni C - spektral	15
Sl. 14 - KATJA - referenčni C - spektral.....	16
Sl. 15 - ŽELJKA - referenčni C - spektral.....	17
Sl. 16 - ARTY - referenčni P - frekvenčna - linearno	17
Sl. 17 - ARTY - referenčni P - frekvenčna - logaritmično	18
Sl. 18 - KATJA - referenčni P - frekvenčna - linearno.....	18
Sl. 19 - ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna - linearno	19
Sl. 20 - ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna - logaritmično	19
Sl. 21 - ARTY - referenčni P - spektral.....	20
Sl. 22 - KATJA - referenčni P - spektral	21
Sl. 23 - ŽELJKA - referenčni P - spektral	21

SEZNAM OKRAJŠAV IN SIMBOLOV

WAV	waveform audio format
Hz	herc
dB	decibel
A/D	analogno-digitalno
D/A	digitalno-analogno
DNA	deoxyribonucleic acid
CD	compact disc
m/s	meter na sekundo

1 UVOD

Računalnik s pripadajočo programsko opremo nam danes ponuja nešteto možnosti, kako ga koristno izrabiti pri svojem delu. Še nedavno tega, dobri dve desetletji nazaj, je bilo marsikatero opravilo le utopična želja, po kateri smo lahko zgolj hrepeneli. Z razvojem tehnologij, vzporedno s tem tudi materialov, pa so računalniki začeli skozi čas vse bolj pridobivati na pomembnosti, seveda tudi na uporabnosti. Obdelava zvoka s pomočjo računalnika je le en segment, kjer so zanesenjaki s tega področja upali, da bodo končno dobili takšno kombinacijo opreme in programov, s katerimi bodo lahko v raziskovalnem smislu odgovorili praktično vsa odprta vprašanja.

Na kratko se spomnimo obdobja, ko so v širšo uporabo začele prihajati prve zvočne kartice. Tiste, res prve, so bile izjemno drage. Privoščili so si jih lahko zgolj laboratoriji in raziskovalne institucije. Čim pa se je pokazala njihova vsesplošna uporabnost, pa je proizvodnja zvočnih kartic dosegla pravi razcvet. S povečevanjem proizvodnega procesa so tako kot povsod z masovno proizvodnjo strmo padale tudi cene. Nekako se je le v manj kot petih letih (v začetku devetdesetih) zgodilo, da so zvočne kartice postale dosegljive vsakomur. Ob koncu devetdesetih si računalnika brez vgrajene zvočne kartice praktično nismo znali več predstavljati. Razvoj je šel še dlje. Že nekaj časa je s stopnjo integracije doseženo to, da imamo že na računalnikovi osnovni plošči integriran zvočni čip, zato zvočnih kartic kot samostojnih komponent danes domala ne srečujemo več. Izjema so res zvočne kartice za profesionalno uporabo.

Računalnik, ki je danes dosegljiv na tržišču, je povsem zadostno orodje za obdelavo zvoka. Sama hitrost ni več vprašljiva kot morda še petnajst let nazaj. Tudi kakovost zvočnih čipov je solidna in nam več kot dobro služi pri opravljanju vsakdanjih zvokovnih opravil pri delovanju računalnika. Je pa res, da je kakovost zvoka precej relativen pojem. Ljudje slišimo na različne načine. Tudi o kvaliteti zvoka imamo različne definicije in predstave. To, kar je za nekoga, ki se profesionalno ukvarja z zvokom, slabo, je lahko po drugi strani za nepoznavalca še vedno odlično. Tako je izjemno težko govoriti o kakovosti zvoka kot taki, saj je potrebno nedvoumno postaviti merila zanjo. Ta merila pa lahko po, če se lahko tako izrazimo, namembnosti tudi variirajo. Naš glavni cilj bo, da ugotovimo, ali bomo lahko s povsem povprečno računalniško opremo dokazali našo domnevo.

Za izvedbo raziskovalne naloge smo se odločili, ker nas obdelava zvoka veseli. V prostem času se velikokrat ukvarjamo z zvokom, njegovim preučevanjem in opazovanjem karakteristik. Poznamo kar nekaj programov za njegovo računalniško obdelavo, prav tako poznamo nekaj osnov s področja digitalizacije zvoka, zato nam bo ta naloga še toliko večji izziv. Vendarle pa bo naše delo povsem specifično. Lotili se bomo povsem specialne naloge, in sicer, kako dokazati s pomočjo zvokovne analize avtentičnost zvoka. Morda se na prvi pogled sicer dozdeva, da gre za temo, ki je primerna za inšpektorje s področja forenzičnih raziskav, kar je morda celo res, vendar gre vseeno za osnovne principe frekvenčne in spektralne analize zvoka oziroma govora. Povedano drugače, skušali bomo dokazati, da določen zvočni zapis pripada točno določeni osebi.

Zavedamo se, da je na tržišču že ogromno programske in strojne opreme za govorno analizo in obdelavo zvoka. Kljub temu bomo s svojo metodo in znanjem skušali s pomočjo izbranega programa dognati, če naša hipoteza drži ali ne. Za izdelavo raziskovalne naloge

smo se odločili tudi zato, ker nas je k tem spodbudil računalniški krožek, pri katerem smo obdelovali zvok ter tudi znanstvene oddaje, ki smo si jih ogledali na to temo. Kljub temu bomo sami s povsem svojim načinom povezovanja teorije zvoka, njegovih lastnosti in lastnih ugotovitev na praktičnih primerih v zvokovnem studiu, skušali razviti metodo, kako dokazati avtentičnost zvočnega zapisa - da le-ta pripada točno določeni osebi. Pomen te raziskovalne naloge je, da se čim bolj izognemo vnaprej poznanim metodam in principom obdelave zvoka s tega področja.

Izhajali bomo iz dejstva, da so za vsakega človeka značilne določene biometrične značilnosti. Sem sodi poleg prstnih odtisov, karakteristike zenic, DNA zapisa itd., tudi človekov govor. Tako lahko trdimo, da je govor vsake osebe na tem svetu povsem svojstven in značilen le za to osebo. Čeprav se na posluh zdi, da imajo določeni ljudje povsem enak glas, se v natančni analizi govora pojavijo razlike, ki so na nek način človekov zvokovni prstni odtis.

Naš cilj je opraviti analizo zvočnih zapisov nekaj ljudi in skušati s svojo metodo pokazati, ali se da dokazati avtentičnost z izbranimi orodji ali ne. Postavimo hipotezo, da bo avtentičnost zvočnega zapisa za določeno osebo z ustrezno programsko opremo, ki sicer služi zgolj obdelavi zvoka, ni pa profesionalno orodje za dokazovanje avtentičnosti, moč dokazati. Prav zaradi tega se bomo morali posvetiti frekvenčni in spektralni analizi ter filtriranju in podobnim opravilom, s pomočjo katerih bomo s primerjavo med sabo lahko ugotovili določene zakonitosti. O tej metodi skorajda ni bilo mogoče razmišljati do prihoda zvočnih kartic in ustrezne programske opreme za obdelavo zvoka na računalniško tržišče, zato še kakih dobrih petnajst let nazaj take raziskovalne naloge ne bi mogli narediti.

2 PREGLED OBJAV

2.1 Biometrija

Ko govorimo o biometriji, imamo v mislih proces zbiranja, proučevanja in shranjevanja podatkov o človekovih fizičnih lastnostih. Seveda podatke zbiramo povsem namensko - ali zaradi identifikacije ali pa zaradi avtentikacije. Identifikacija je postopek, kjer na osnovi biometričnih značilnosti skušamo ugotoviti, ali gre v procesu dokazovanja identitete za konkretno osebo. Avtentikacija pa je proces, s katerim želimo dokazati istovetnost določenih lastnosti. Lep primer avtentikacije na področju računalništva je vpis uporabniškega imena in gesla, ko se prijavljamo v nek sistem.

O biometriji je bilo tudi v preteklosti znanega sicer že veliko. Problem je predstavljalo le spoznanje, da določenih postopkov ni bilo mogoče izvajati, saj ni bilo na voljo ustrezne tehnologije. Z razvojem računalniških tehnologij pa so tudi biometrični postopki dosegli pravi razcvet. Uporabnost biometrije je široka. Koristna je tako v državnih institucijah, finančnih združbah, privatnih podjetjih, kot tudi pri povsem običajnih podjetjih, kjer želijo zagotoviti večjo stopnjo varnosti.

Običajno gre za skeniranje očesne mrežnice ali šarenice, prstnih odtisov, analizo DNA zapisa, prepoznavanje glasu, fotografij... Biometrične lastnosti posameznika so lahko izjemno kočljiva nadloga. S stališča varovanja osebnih podatkov je potrebno zadostiti zakonskim zahtevam, saj je večina biometričnih lastnosti prevedena v elektronski zapis, ki se lahko ob nepravilnih priložnostih tudi zlorablja. Na biometrijo lahko z vidika ogrožanja zasebnosti gledamo kot na sistem za zbiranje elektronskih sledi o posameznikih, saj biometrična tehnologija fizične lastnosti posameznika pretvori v enoličen elektronski zapis.

Biometrični sistem je običajno avtomatiziran. Gre za metodo preverjanja in prepoznavanja identitete osebkov na podlagi fizičnih in vedenjskih karakteristik. Biometrijo uporabljamo tudi pri medicinskih analizah in za pomoč v sodni medicini. Sicer jo zasledimo tudi v okviru varnostnih sistemov, kjer pogosto predstavlja avtomatsko vodeni stroj za identifikacijo ali verifikacijo posameznikove identitete.

2.2 O analognem in digitalnem zapisu zvoka

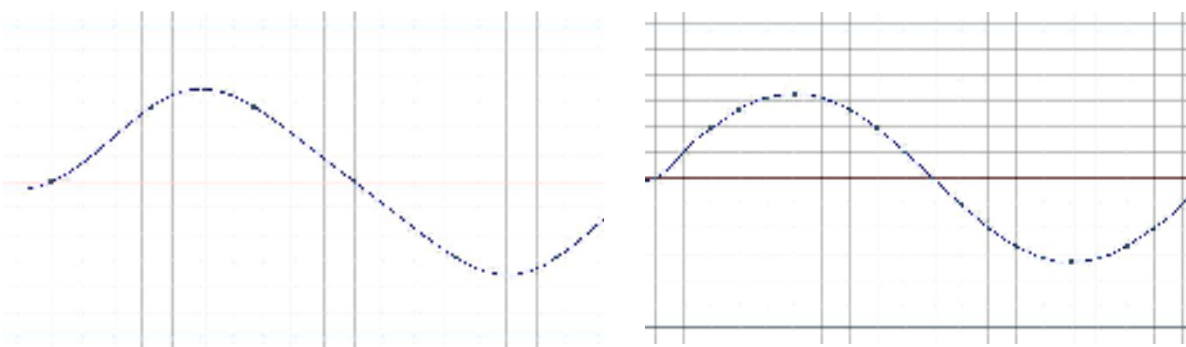
Kako pravzaprav sploh pride do zvokovnega zapisa? Preden se pomudimo pri digitalizaciji in digitalnem zapisu, si pogledajmo, kako je sploh zapisan zvok iz mikrofona na analogen način. S pomočjo tlaka, ki ga proizvede naš glas na ustrezno elektroniko v mikrofону, se le-ta pretvori v električno napetost, ki ima ustrezno višjo ali nižjo vrednost – pač odvisno od tega, kako intenzivno govorimo v mikrofón. Za črke, kot so P, B, D je značilen relativno velik tlak na mikrofónovo elektroniko, zaradi česar običajno pri analizi govora te črke vidimo kot velike »hribe« (sinusoide). Ta napetostni zapis lahko seveda potem shranimo bodisi na magnetnem traku, z dinamično spreminjanja utorov v material v odvisnosti od napetosti, pa celo na matrico, ki nam potem služi za vinilni odtis (stare gramofonske plošče).

Za razliko od analognih nosilcev za shranjevanje podatkov računalniki shranjujejo informacije v digitalno obliko (digitalni avdio) kot niz ničel in enic. Digitalno shranjevanje

poteka tako, da dejansko izvornik »razbijemo« na posamezne vzorce. Ta proces je običajno poznan kot digitalizacija ali vzorčenje zvočnega zapisa, vendar jo včasih imenujemo tudi analogno-digitalna pretvorba.

2.3 Digitalizacija

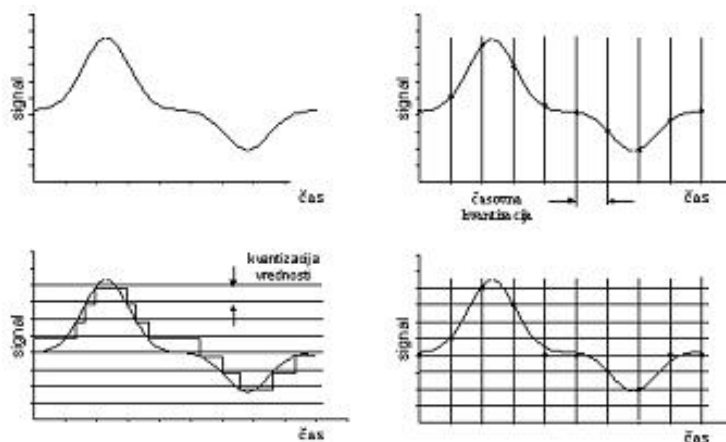
Pri digitalizaciji nek signal vzorčimo. To je poseben izraz, ki pomeni da naš signal časovno obravnavamo v majhnih enotah. Manjše, ko so enote (Sl. 1), bolj smo pri digitalizaciji natančni. Pri vzorčenju, kjer je frekvenca odtipkov 44,1 kHz, pomeni, da vzorec jemljemo 44.100-krat na sekundo.



Sl. 1 – Odtipki pri digitalizaciji

Leva slika (Sl. 1) prikazuje, kako le z nekaj odtipki skušamo upodobiti krivuljo. Nasprotno pa na desni sliki vidimo, da je število odtipkov večje in tako je tudi dobljeni rezultat bistveno bolj natančen – lepša sinusoida.

Digitalizacija pri zvočni kartici poteka tako, da s pomočjo programske opreme pretvorimo vhodni signal na mikrofonskem ali linijskem vhodu zvočne kartice. S proženjem A/D (analogno-digitalne) pretvorbe vrednosti signala priredimo ustrezno kombinacijo bitov. Na kakovost vplivajo število bitov za posamezni vzorec (ločljivost) kot tudi število vzorcev, ki jih pretvorimo v bite v določeni časovni enoti. To imenujemo frekvenca vzorčenja.



Sl. 2 – Kvantizacija pri zvočni kartici

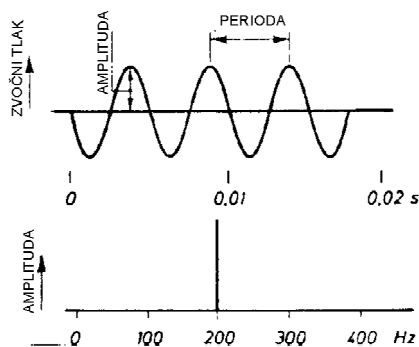
Prenizka frekvenca vzorčenja pomeni izgubo informacije (Sl. 2), previsoka pa po nepotrebnem zahteva dodatne pomnilniške kapacitete.

Z ustrezno programsko opremo poskrbimo za zapis takega zvoka na pomnilniškem mediju. Ker pa so zdaj informacije zapisane digitalno, lahko prav tako z namensko programsko opremo (urejevalniki zvoka) naš signal interpretiramo tudi na zaslonu, kjer ga lahko nadalje poljubno obdelujemo. Postopek predvajanja digitalnega zvoka je ravno nasproten od snemanja. Tokrat za pretvorbo uporabljamo D/A (digitalno-analogni) pretvornik, ki trenutno kombinacijo bitov pretvori v zvočni, analogni signal na izhodu. Pri našem delu bomo uporabili 16-bitno stereo digitalizacijo, kjer bo frekvenca vzorčenja 44.100 odtipkov na sekundo. Čeprav morda za zvokovno analizo govora ne bi potrebovali tako visoke stopnje vzorčenja – te nam omogočajo zapis frekvenc do vrednosti 22.050 Hz, smo vseeno mnenja, da ostanemo pri tej vrednosti, saj bomo pri analizi morda potrebovali tudi višje frekvence (nad 15 kHz), čeprav pri izredno nizkih jakostih. Te bodo gotovo za uho neslišne, a bi grafična analiza utegnila pokazati kake zanimive rezultate. O tem ne moremo za zdaj dejati še ničesar, vsekakor pa se bomo s to zanimivostjo srečali v praktičnem delu naloge.

2.4 Človek in zvok

Zvok je izmenično nihanje, ki se prenaša skozi zrak. Človek ga zaznava z ušesom. Število nihajev v časovni enoti označujemo s pojmom frekvenca. Hitrost razširjanja zvoka je neodvisna od frekvence. V zraku se zvok širi s hitrostjo 340 m/s, podatek velja za sobno temperaturo, pri večjih gostotah materiala se zvok širi še hitreje. Če govorimo o slišnem zvoku za človeško uho, se njegovo frekvenčno območje giblje med 20 in 20.000 nihaji v sekundi. Drugače povedano to pomeni, da človek sliši frekvence v spektru med 20 Hz in 20.000 Hz. Čeprav večina ljudi izjemno težko sliši že frekvence okoli 17 kHz, so posamezniki, ki premorejo slišni razpon tja do 20 kHz. Sicer pa se zgornja frekvenčna meja človekovega slišnega območja s starostjo znižuje. 10 % ljudi v starosti do petdeset let sliši frekvence 18 kHz, pri šestdesetih pa je zgornja meja pod 14 kHz. Nad mejo 20 kHz govorimo o ultrazvoku, če so frekvence nižje od 20 Hz, pa o infrazvoku.

Glede na časovni potek zvočnih pojavov, lahko zvok delimo na ton, zven, šum in pok. Ton je zvočni pojav, ki ga v matematični obliki predstavimo kot sinusno nihanje (Sl. 3) z določeno amplitudo (Y-os) in frekvenco (pogostost »hribov« in »dolin«, ki se pojavljajo po X-osi).



Sl. 3- Matematični zapis tona

Če pa se pogovarjamo o frekvenci tonov, pa jih lahko razdelimo na nizke, srednje in visoke tone. Na področju zvokovne obdelave tone delimo še bolj natančno na:

- nizke tone (20 - 140 Hz),
- srednje nizke tone (140 - 400 Hz),
- srednje tone (400 - 2.600 Hz),
- srednje visoke tone (2.600 - 5.200 Hz),
- visoke tone (5.200 - 20.000 Hz).

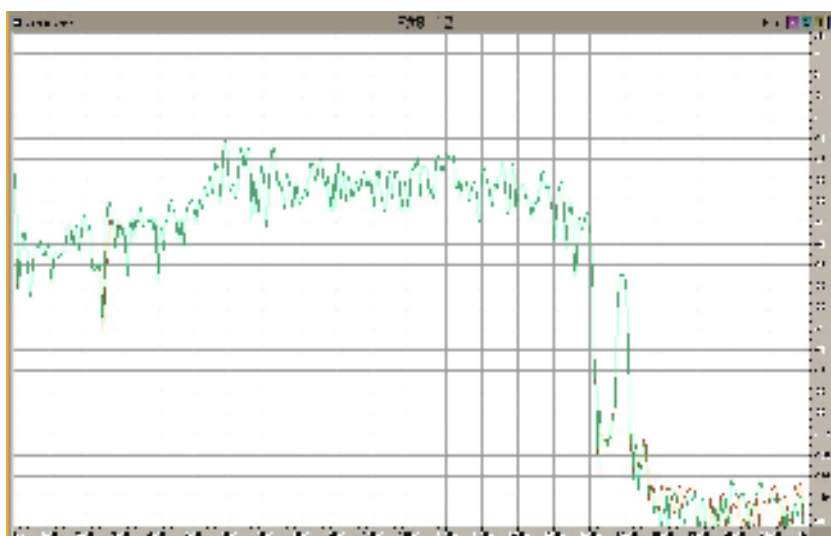
Zven je poseben zvočni pojav, ki poleg osnovnega tona vsebuje še več drugih komponent – strokovno jim rečemo višjeharmonske komponente. Prav te komponente nam dajo značilno barvo tona. Samoglasniki, torej zvočniki, ki jih izgovarjamo ljudje, so v bistvu zven.

2.5 Občutek jakosti

Zanimivo je, da občutek jakosti zvoka ni odvisen od sprememb moči zvočnega polja. Obnaša se po logaritemskih zakonih. Najpreprostejša razlaga je ta, da pri dejansko dvakrat večjem zvoku tega ne slišimo dvakrat glasneje. Primer: dve violini dajeta dvakrat večji zvočni tlak kot ena sama, a je sprememba jakosti zvoka, ki jo pri tem opazimo, neznatna. Uho pa je občutljivo tudi na različno frekvenco zvoka. Občutljivost je večja pri visokih tonih kot pri nizkih.

2.6 Frekvenčna analiza

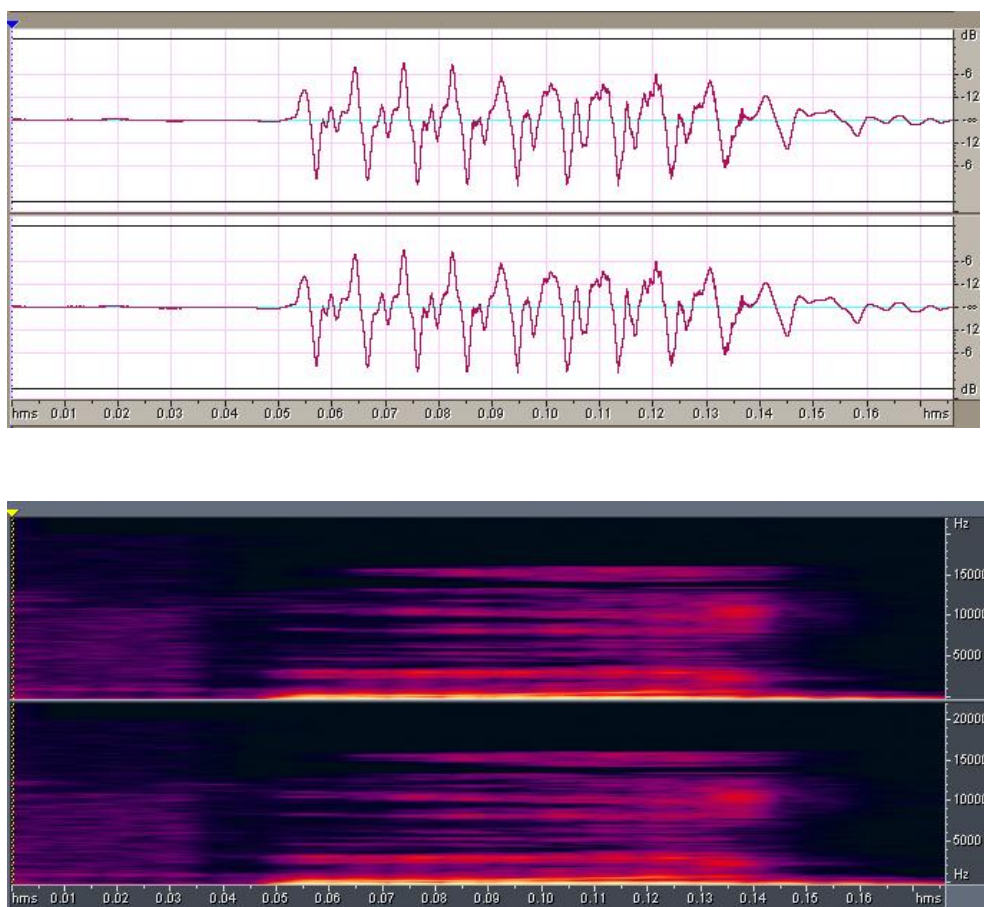
S frekvenčno analizo na preprost način ugotovimo, katere frekvence so v signalu zastopane. V nekem statičnem izboru signala (ko ga zamrznemo) lahko s pripadajočo frekvenčno analizo ugotovimo, v katerem času je katera frekvenca zastopana z neko jakostjo, ki je podana sicer v decibelih (Sl. 4). Tako nam pogled na frekvenčno karakteristiko za pripadajoči signal na X-osi predstavlja frekvenco, ki jo lahko prikažemo v linearnem ali logaritmичnem merilu. Glasnejši, ko je naš signal, večje »hribe« bo prikazovala frekvenčna analiza.



Sl. 4– Primer prikaza frekvenčne analize zvočnega zapisa

2.7 Spektralna analiza

Kadar govorimo o spektralni analizi, se je potrebno dotakniti dejstva, da je pred razvojem digitalne tehnike sicer obstajala tudi t.i. analogna spektralna analiza, vendar je v našem primeru pomembna le digitalna. Čisto na kratko bomo skušali s povsem preprosto razlago povedati, kaj pravzaprav spektralna analiza je. Če skušamo zaobiti zapleteno Fourierjevo transformacijo, ki je v teoriji razložena kot matematični proces pretvarjanja signalov v pripadajoče komponente frekvenčnega spektra, lahko s preprostimi besedami povemo, da gre pri spektralni analizi za grafičen prikaz ustreznega signala, kateremu pripadajo ustrezne frekvence analiziranega signala. Na spodnji sliki (Sl. 5) vidimo normalen, amplitudni prikaz signala (zgornji del slike) in njemu pripadajočo podobo spektralnega prikaza (spodnji del slike). X-os predstavlja čas, Y-os pa ustrezno frekvenčno vrednost. Spektralni pogled nam omogoča, da na osnovi prikazane slike ugotovimo, katere frekvence se v signalu pojavljajo. Večja ko je amplituda signala, z izrazitejšo barvo je ta prikazan. Barve se gibljejo od temno modre (nizke frekvence) do svetlo rumene barve (visoke frekvence).



Sl. 5 – Primer spektralnega prikaza zvočnega zapisa

3 METODOLOGIJA

Kot je bilo omenjeno že v prejšnjih poglavjih tega raziskovalnega dela, bomo skušali našo hipotezo – dokazljivost avtentičnosti govora z računalniško obdelavo zvoka – dokazati z metodo, ki zajema frekvenčno analizo, spektralno analizo, filtriranje, izbor smiselnih segmentov analiziranega zvoka in ostalo računalniško obdelavo. Ko govorimo o signalu, imamo v mislih človeški govor, ki je shranjen v digitalni obliki zapisa.

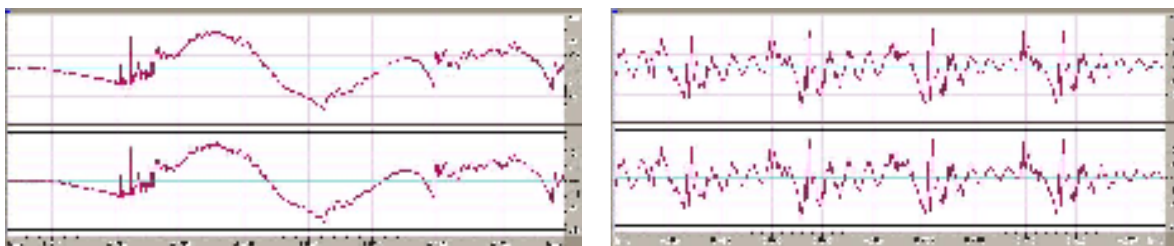
Ves eksperimentalni del naloge je potekal v zvočnem studiu, kjer smo pod drobnogled vzeli tri različne govorce – dve ženski in enega moškega. V ta namen smo jih posebej posneli in na osnovi analize posnetkov skušali dognati, kateri osebi pripada posamezen govor. Čeprav bi lahko že na samem začetku posnete govore shranili pod točno določenim imenom, tega nalašč nismo storili le na tak način. Vzorce smo shranili tudi pod imenom, ki preprosto nosi zaporedno številko, ne da bi vedeli, komu pripadajo. Posneti vzorec mora biti ves čas neznanka, ki bo podvržena naši analizi. Vzoredno s temi vzorci pa smo posneli z vsako osebo še primerek govora, ki nam bo služil kot referenčna vrednost. Ta vzorec smo tokrat shranili pod točno določenim imenom, tako da natančno vemo, kateri osebi pripada. Šele s primerjavo signalov med referenčnimi posnetki in tistimi, ki smo jih označili kot številčne vrednosti, smo skušali dokazati nedvoumne podobnosti, preko katerih bi lahko sklepali na dokazljivost avtentičnosti zvokovnega zapisa. Nedvoumno označene vzorce, smo puščali ob strani vse do konca naših analiz, ko smo preverjali, koliko smo bili točni v hipotezah.

Kaj vse se je dogajalo tekom naše analize, si niti nismo znali predstavljati. Oprijeli pa smo se načela, da gledano s stališča biometričnih lastnosti gotovo mora veljati, da se izgovorjena beseda ali posamezen zlog za vsakega človeka posebej obnaša unikatno. Naš algoritem bi se lahko glasil nekako takole:

Če imamo na voljo več besed, skušamo na osnovi slišane najprej ugotoviti, ali gre za moškega ali žensko. Običajno smo tu zelo uspešni in naš pogoj nadalje zaostriamo. Pri hipotezi, da smo pravilno ugotovili, za kateri spol gre, skušamo po posluhu (s primerjavo govora vzorca in referenčne vrednosti) ugotoviti, za katero osebo gre. Če smo uspešni, vse lepo in prav, a našo domnevo je potrebno vseeno dokazati. Z drugimi besedami povedano, ne glede na to, ali že na začetku pravilno ugotovimo, za katero osebo gre, se bomo na koncu vedno srečali s samim dokazovanjem, ki pa mora nedvoumno potrditi, ali gre v konkretnem primeru za točno določeno osebo ali morebiti tega ne moremo trditi. Zato smo se domislili naslednjega:

Določeni zlogi, ki jih izgovarjamo, so v procesu analize bolj zanimivi kot večina drugih. Tako se bomo pri tem delu naloge omejili predvsem na zloge kot so P, B, T, S, C. Zanj je značilno, da v povprečju za sabo puščajo bistveno večjo amplitudo signala, saj tako značilnost povzroči fizikalna pretvorba govora v električni signal na mikrofону. Črke B, P in T nedvoumno povzročijo večji tlak na membrano oziroma kristal (odvisno od vrste) mikrofona, kar nam v signalu odraža bistveno večje amplitudne vrednosti (predvsem pri prenihajjih) kot pri ostalih zlogih (Sl. 6). Sklepamo, da bomo te zloge lahko natančneje analizirali in jih med sabo tudi lažje primerjali. Vsak človek pri izgovarjanju zlogov

nastavi obliko ustnic na svoj, unikaten način. Le te prožijo s pomočjo naših govornih sposobnosti značilen zvok, ki v sebi pusti biometrično sled.



Sl. 6 – Prikaz amplitud pri zlogih P (levo) in E (desno)

Pod drobnogled bomo vzeli več dejavnikov.

3.1 Prisotnost frekvenc v povedanem vzorcu

S primerjavo vzorcev in odčitavanjem vrednosti frekvenc v signalu bomo skušali primerjati analizirano vrednost z referenčno. Sklepamo, da bo do nekih podobnosti sicer prihajalo, nismo pa povsem prepričani ali bo ta podobnost dovolj zanesljiva, s pomočjo katere bi lahko potrdili našo domnevo. Za analiziran signal bomo prikazali grafični izpis, ki ponazarja zastopanost frekvenc oziroma frekvenčnega spektra pri ustrezni jakosti, podani v dB (decibelih). Grafični prikaz bo dvojen - z linearnim in logaritmičnim merilom. Dejansko gre za enak vsebinski prikaz, le malce drugače interpretiran. Za oba prikaza smo se odločili, da bi lahko v čim več primerih potegnili vzporednice med vzorčnimi primerki, ki jih analiziramo in referenčno vrednostjo.

3.2 Podrobna spektralna analiza posameznih zlogov

Z natančnim opazovanjem spektralnih grafov sklepamo, da bomo prišli do ponavljajočih barvastih vzorcev za konkretno osebo, za katero bomo na koncu lahko potrdili avtentičnost analiziranega zapisa. S sedaj že znanimi dejstvi, kako spektralna analiza v programu, ki sva ga pri delu uporabila, deluje, lahko pričakujemo značilno obarvanost posameznih frekvenc, ki bodo povsem svojstvene za konkretno osebo. S primerjavo ponavljajočih barvnih vzorcev med njimi bomo skušali ugotoviti, kateri vzorec sodi h kateremu referenčnemu signalu.

3.3 Obnašanje filtriranega digitalnega zvočnega zapisa

Za lažjo analizo bomo vse vzorce, ki jih obdelujemo, obdelali po isti metodi. To pomeni, da bomo opravili ustrezno filtracijo in potrebne ojačitve oziroma limitiranja, kar nam bo prikazalo čim lepšo in neokrnjeno amplitudo opazovanega signala. S premišljenim filtriranjem določenih frekvenc, bomo eliminirali »balast«. Na ta način bomo dobili zelo gladko in prepoznavno karakteristiko tistih frekvenc, ki jih bomo nato lahko enostavneje primerjali med sabo na osnovi poteka krivulje v odvisnosti od časa. Če se bodo primerjani grafi med sabo prekrivali (ujemali), bomo zelo blizu potrditve naše hipoteze.

3.4 Adobe Audition

Delali bomo s programom Adobe Audition, verzija 1.5. V bistvu gre za neke vrste snemalni studio v malem. S programom lahko zvok posnamemo, mešamo, urejamo in montiramo zelo elegantno. Verjetno je komentar, da lahko to zdaj delamo hitreje in z več nadzora kot pri prejšnjih različicah, odvečen. Lahko celo ustvarjamo glasbo, posnamemo in zmešamo projekt, izdelamo npr. radijski spot, pripravimo produkcijski zvok za film ali oblikujemo celo zvok za videoigre. Je pa res, da omenjen program ni namenjen profesionalni analizi biometričnih značilnosti govora. Skratka, gre za izjemno moč, nadzor, storilnost in prilagodljivost v vseh zvočnih projektih.

Same izsledke naše raziskave smo prikazali v grafih, ki smo jih med sabo natančno primerjali. Predvsem nas je zanimalo ujemanje karakteristik – tako frekvenčnih, kot tistih, ki so bile prikazane kot spektralni odtis določenega signala. Če bodo vzorci, ki smo jih vzeli pod drobnogled, vsebovali izrazite podobnosti na ključnih delih opazovanega signala v primerjavi z referenčnim, med tem pa se bodo od drugih prav tako dovolj razlikovali, bomo lahko zaključili, da gre za potrditev avtentičnosti.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

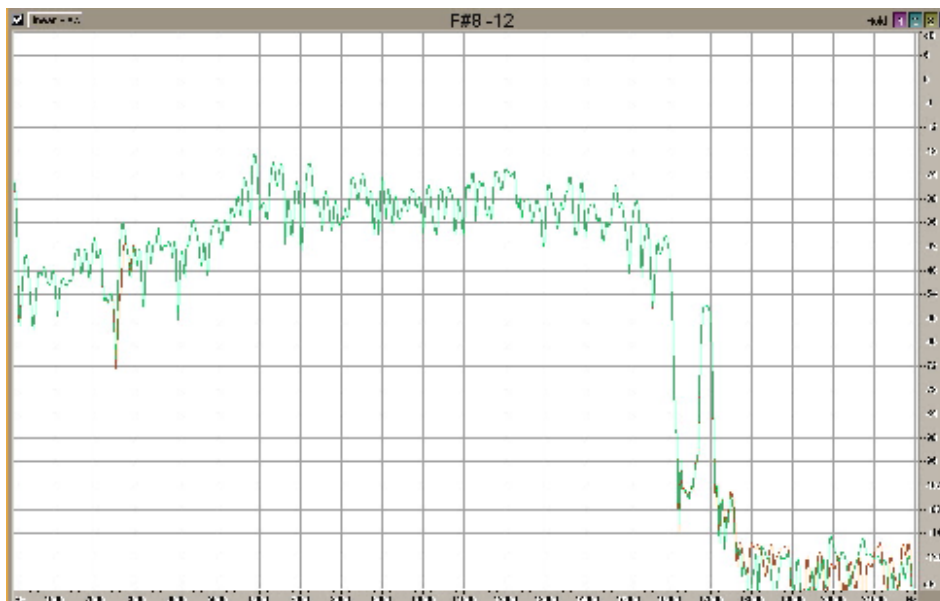
Odločili smo se, da bomo analizirali tri zloge (C, P, T) treh različnih oseb. Bili smo mnenja, da je to dovolj velik vzorec, s katerim bi lahko potrdili oziroma ovrgli našo hipotezo. Za vsako od oseb smo naredili po tri analize za vsak zlog. Pri frekvenčni analizi smo ponazorili prikaz v linearnem in logaritmičnem merilu. Za vsakega od treh analiziranih zlogov pa smo ponazorili še tri spektralne prikaze. Vsega skupaj je tako v nadaljevanju prikazanih kar 108 slik, med katerimi so tudi slike referenčnih vrednosti, na katere se sklicujemo.

Z vsakim povečevanjem morebitnih udeležencev in števila zlogov v naši raziskavi bi tako občutno razširili obseg naloge. Menimo, da bomo lahko sklepali na dokazljivost avtentičnost, če se nam bodo analizirani vzorci z referenčnimi vrednostmi v večjem delu ujemali. Naloge smo se lotili tako, da smo pri vseh treh testnih govoricah iz namensko posnetega govora (vzorci so na priloženem CD-ju), ki nam je služil kot neka referenčna, prepoznavna vrednost, izločili zloge C, P in T (vzorci na CD-ju). Vsakega od teh zlogov smo shranili pod svojim imenom. Denimo, da je bilo našim umetnikom ime Arty, Katja in Željka. Tako smo npr. za zlog C, ki ga je izgovoril Arty, datoteko shranili pod imenom »Arty-referenčni C.wav«, zlog P smo shranili pod imenom »Arty-referenčni P.wav«, in tako naprej za vse zloge, za vse tri osebe do konca.

V nadaljevanju pa smo od teh govorcev posneli nekaj povsem naključnega govora, ki nam je nato služil kot neznana vrednost, ki jo želimo čim bolj približati našim »originalom« na način, da iščemo podobnosti med njimi. Iz teh naključnih govorov smo izločili po tri vzorce za vsak zlog, za vsako od treh oseb (vzorci na CD-ju). Najprej smo jih shranili pod njim pripadajočim imenom, da z gotovostjo vemo, kateri zlog pripada kateri osebi, v istem hipu pa smo te vzorce shranili še enkrat in jih poimenovali zgolj z zaporednimi številkami. V procesu raziskave smo želeli ugotoviti čim več podobnosti med datotekami, shranjenimi pod zaporednimi številkami in datotekami, ki predstavljajo referenčno vrednost (original). Na kak način so si datoteke dejansko podobne pa smo ugotavljali v glavnem s frekvenčno in spektralno analizo, deloma s tudi s filtriranjem zvočnega zapisa. Ko smo bili mnenja, da ima datoteka pod neko zaporedno številko očitne podobnosti z »originalom«, smo preverili, kateri osebi dejansko pripada. Če je bila oseba ista kot naš referenčni primerek, je bil za nas ta del naloge opravljen.

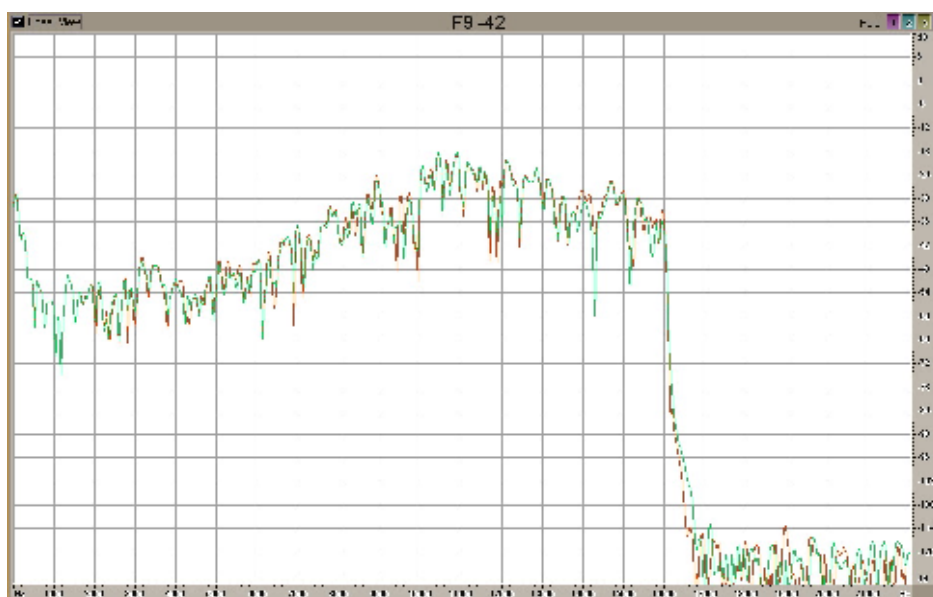
4.1 Zlog C v frekvenčni analizi

Ker se bo v nadaljevanju način analize in primerjave vzorcev z referenčnimi vrednostmi za vse zloge pri vseh osebah odvijal na ekvivalenten način, bomo tukaj zelo natančno opisali, kako smo se lotili tega opravila. Najprej naj nam kot primerjalna vrednost služi zlog C osebe Arty (Sl. 7). Pomudimo se pri frekvenčni analizi signala, ki je prikazan v linearnem merilu. Na osi X je podano linearno frekvenčno merilo, os Y pa nam predstavlja vrednosti, izražene v decibelih. S tem zlogom bomo v nadaljevanju primerjali vseh devet posnetih vzorcev, ki jih imamo shranjene pod naključnim vrstnim redom z zaporednimi številkami – trije zlogi C osebe Arty, trije zlogi C osebe Katja in trije zlogi C osebe Željka. Vemo le to, da imamo vzorce treh zlogov za posamezno osebo, a za zdaj še ne vemo, katera številka pripada določeni osebi. Vseh devet vzorcev je prikazanih na slikah v poglavju *Priloge*, kjer so označeni od CL1 do CL9.

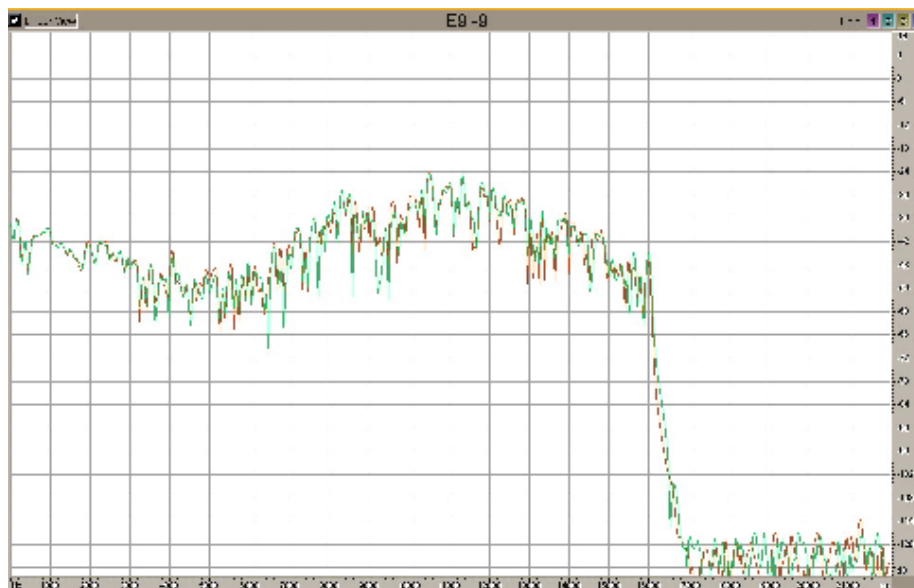


Sl. 7 - ARTY - referenčni C - frekvenčna - linearno

S karakteristiko, ki je prikazana na Sl. 7, primerjamo naše vzorce (CL1 do CL9 v poglavju *Priloga*). Značilnost karakteristike, prikazane na Sl. 7 je, da opazimo nagel padec signala s približno -40 dB na -105 dB v območju med 16 kHz in 16,5 kHz. Nato karakteristika ponovno naraste na približno -60 dB pri 17 kHz in znova sunkovito pade. Te značilnosti ni bilo opaziti ne pri referenčni vrednosti zloga C osebe Katja (Sl. 8), ne pri referenčni vrednosti zloga C osebe Željka (Sl. 9). Na osnovi naših ugotovitev smo bili mnenja, da se z Artyevim C-jem pri linearnem merilu skladajo vzorci številka CL3, CL4 in CL7 (glej prilogo).



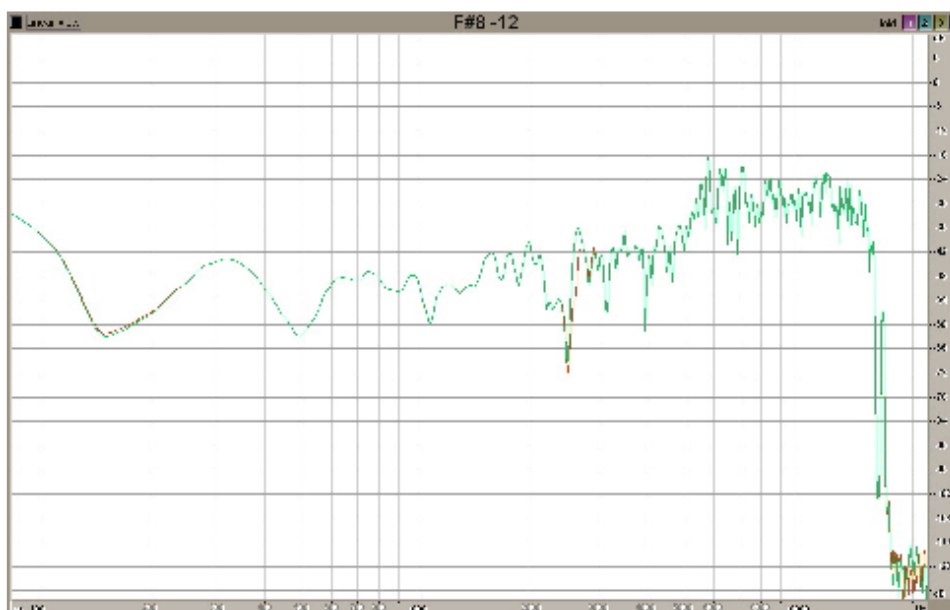
Sl. 8 - KATJA - referenčni C - frekvenčna - linearno



Sl. 9 - ŽELJKA - referenčni C - frekvenčna - linearno

Edina vzorca, ki imata tak podoben nihaj sta vzorca CL3 in CL7, čeprav pri vzorcu CL3 ta nihaj ni tako izrazit. Naslednja značilnost je sam začetek poteka karakteristike, kjer smo prav tako priča relativno visokemu nihaju pri frekvenci, ki je manjša od 20 Hz. Tak nihaj je sicer prisoten pri Katjinem referenčnem C-ju (Sl. 8), vendar v nekoliko širšem frekvenčnem območju. Ta nihaj opazimo pri vzorcih CL3, CL4 in CL7. če pa še od daleč pogledamo celoten potek krivulj pa nedvomno poleg naštetih podobnosti opazimo generalno podobnost prav med vzorci CL3, CL4 in CL7.

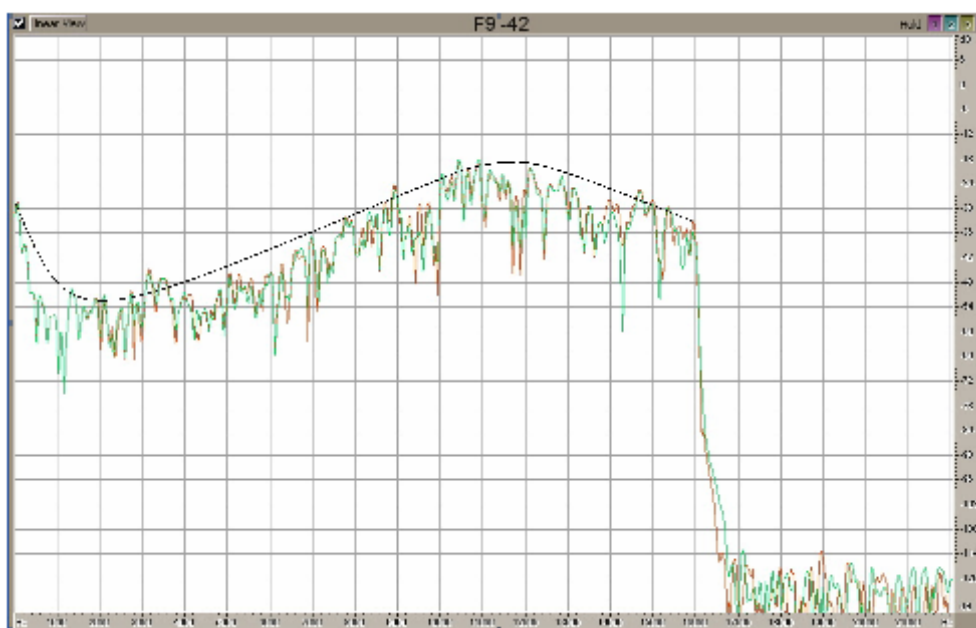
Da bi se izognili dvomom smo linearni prikaz ponazorili še z logaritmičnim merilom (Sl. 10).



Sl. 10 - ARTY - referenčni C - frekvenčna - logaritmično

Največja frekventnost nihanja pri največji jakosti (med -18 in -36 dB) se dogaja na frekvenčnem območju med 5000 Hz in 16000 Hz). Dejansko so tej frekventnosti nihanja najbolj podobni vzorci CLOG3, CLOG4 in CLOG7 (glej prilogo), in sicer bolj kot katerikoli drugi.

Če pod drobnogled vzamemo Katjin C (linearno merilo) kot referenčni primerek (Sl. 8), je značilna karakteristika, ki sprva z večje jakosti pade na relativno nizko vrednost. Potem pa se nihanje dviguje in maksimalne vrednosti dosega pri okoli 11.000 Hz. Ti maksimumi so v primerjavi z Artyjevim C-jem kratkotrajnejši, generalno pa ima karakteristika dokaj oster potek v obliki črke S (Sl. 11).

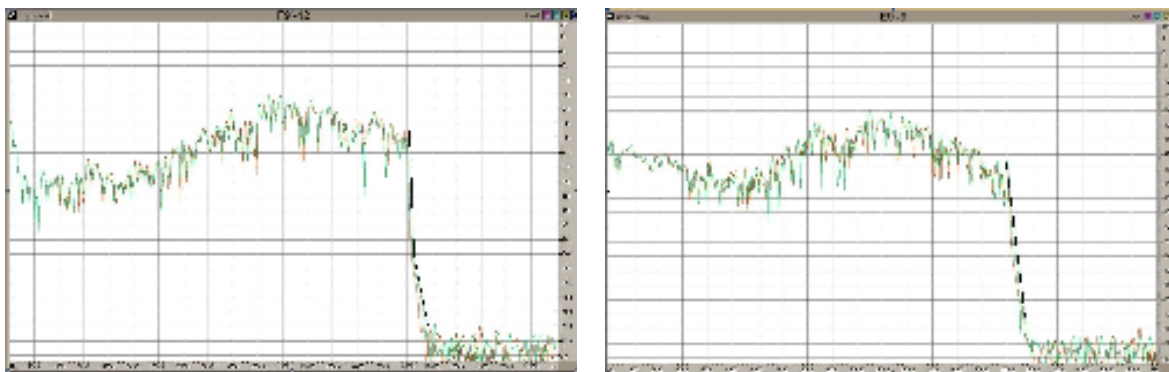


Sl. 11 - KATJA - referenčni C - frekvenčna – linearno, značilen potek v obliki črke S

Na koncu tega S-ja je značilen oster padec, kateremu strmina od približno -84 dB naprej malce manj strmo pada. Tak potek imajo tudi vzorci CL1, CL2 in CL9 (glej prilogo).

Tudi če pogledamo logaritmčno merilo, vse tri slike, CLOG1, CLOG2 in CLOG9 (glej prilogo), dovolj zgovorno povedo, da jih lahko s precejšnjo mero govornosti uvrstimo h Katjinemu referenčnemu C-ju za logaritemsko merilo. Morda je Katjin referenčni C zelo podoben Željkinemu, a smo vseeno priča izrazitejšemu nihanju (Sl. 8) na večjem frekvenčnem območju kot pri Željkinem C-ju (Sl. 9).

Ko analiziramo še v linearnem merilu podan Željkin C (Sl. 9), tu nismo priča izrazitemu nihanju na začetku signala. Prav tako je tudi nagel padec pri 16 kHz konstantnejši kot pri Katji (Sl. 12).



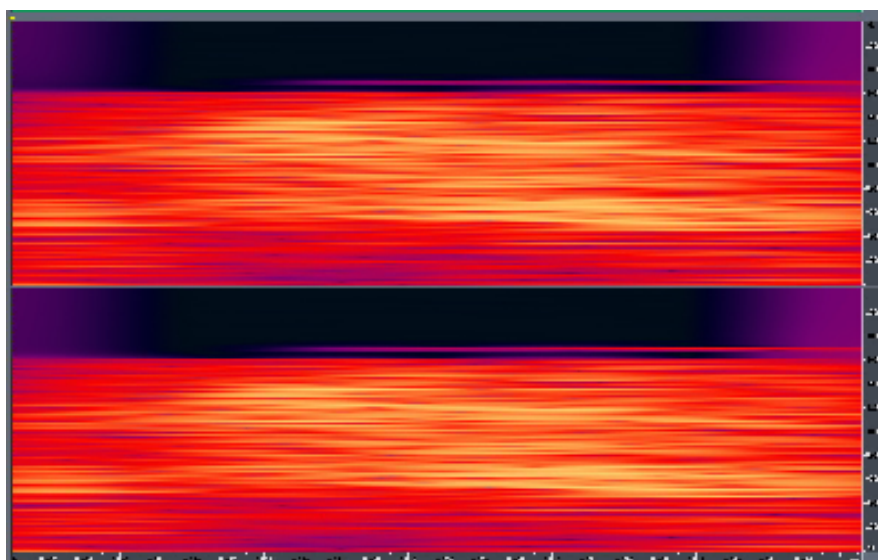
Sl. 12 – Primerjava padca karakteristike

Z Artyevo karakteristiko pa v bistvu sploh ni podobnosti. Menimo, da se z Željkinim C-jem ujemajo vzorci CL5, CL6 in CL8 (glej prilogo).

Tudi medsebojna primerjava v logaritmičnem merilu (pri uporabljeni primerjalni analogiji) nam potrdi, da se lahko odločimo za vzorce CLOG5, CLOG6 in CLOG8 (glej prilogo).

4.2 Zlog C v spektralnem prikazu

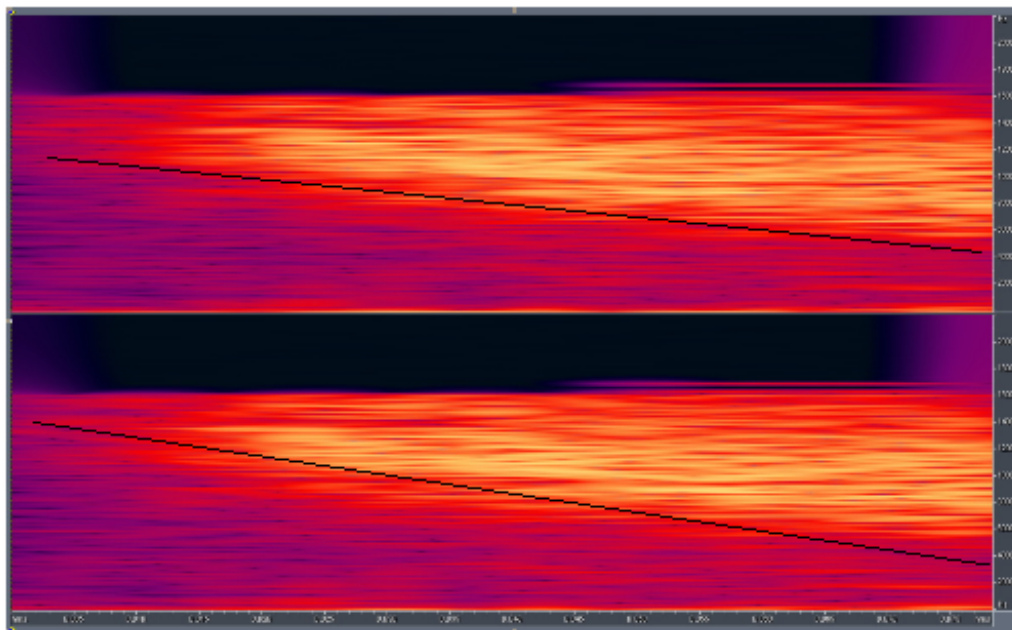
Spektralni prikaz nam ponazarja podobo, ki je bistveno bolj zahtevna za analizo, a hkrati zanimiva tam, kjer morda s frekvenčno analizo nismo tako zadovoljni. Pri tej primerjavi bo šlo zgolj za vizualno oceno podobnosti med primerjanimi vzorci in referenčnimi vrednostmi. Temnejša področja predstavljajo območja nizkih frekvenc, svetlejša pa nasprotno, območja visokih frekvenc. Dejansko so nas zanimale mejne vrednosti, ki jih ponazarjajo vijolična in rumena barva. Zastopanost teh barv v spektralnem prikazu manj da neke slikovne podobe, ki smo jih med sabo primerjali. Za Artyev referenčni C je značilna relativno konstantna obarvanost z rumeno in oranžno tekom celotnega opazovanega območja po času (Sl. 13).



Sl. 13 - ARTY - referenčni C - spektral

Pri tej primerjavi nismo tako uspešni, saj lahko z gotovostjo k Artyevemu referenčnemu C-ju uvrstimo le vzorec CS3 (glej prilogo). Za ta prikaz je značilna tudi vijolična lisa, ki nastopi pri približno 17 kHz in je rahlo »odlepljena« od preostanka spektra (Sl. 13). Zаметke teh lis je opaziti na vzorcu CS7, deloma tudi na vzorcu CS3. Odločili smo se, da vzorca CS3 in CS7 zadostujeta našim kriterijem, česar pa za vzorec CS4 ne bi mogli z gotovostjo trditi, katerega smo sicer uvrstili na našo listo pri frekvenčni analizi.

Za Katjin referenčni C je značilna vijoličasto-rdeča razmejenost (Sl. 14), ki sledi diagonalno od levega zgornjega vogala k desnemu spodnjemu.



Sl. 14 - KATJA - referenčni C - spektral

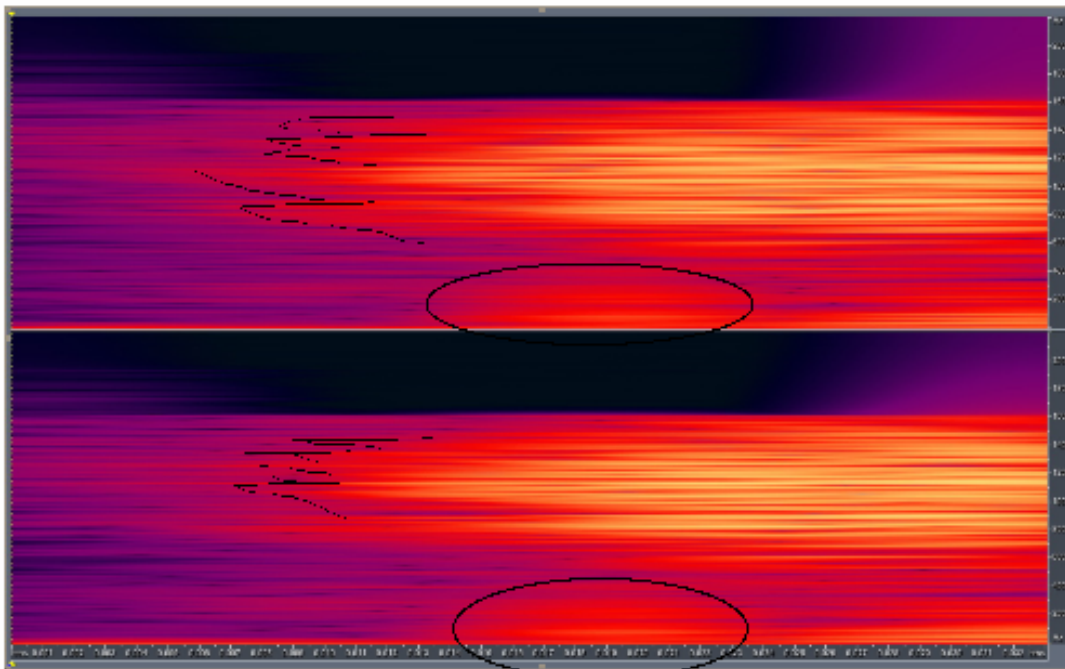
Če potegnemo v prikazu diagonalo od levega zgornjega oglišča do desnega spodnjega, bi dobili dva trikotnika prevladujočih barv. Tem pogojem z gotovostjo ustrezata vzorca CS1 in CS2, česar za vzorec CS9 (glej prilogo) ne moremo trditi.

Poglejmo še, kaj nam pokaže spektralni prikaz Željkinega C-ja (Sl. 15). Priča smo izrazitim rdečim madežem in značilnemu prehodu iz vijolične v rdečo, gledano od leve proti desni. Na skrajnem levem robu je vijolična barva zelo izrazita, česar pri ostalih dveh umetnikih ni moč zaznati. Ob podrobni primerjavi, ugotovimo, da podobne rdeče madeže, kot jih zasledimo na Sl. 15, opazimo tudi pri vzorcih CS5, CS6 in CS8 (glej prilogo). Prav tako lahko na teh vzorcih opazimo podoben prehod oz. razmejitev med vijolično in rdečo barvo.

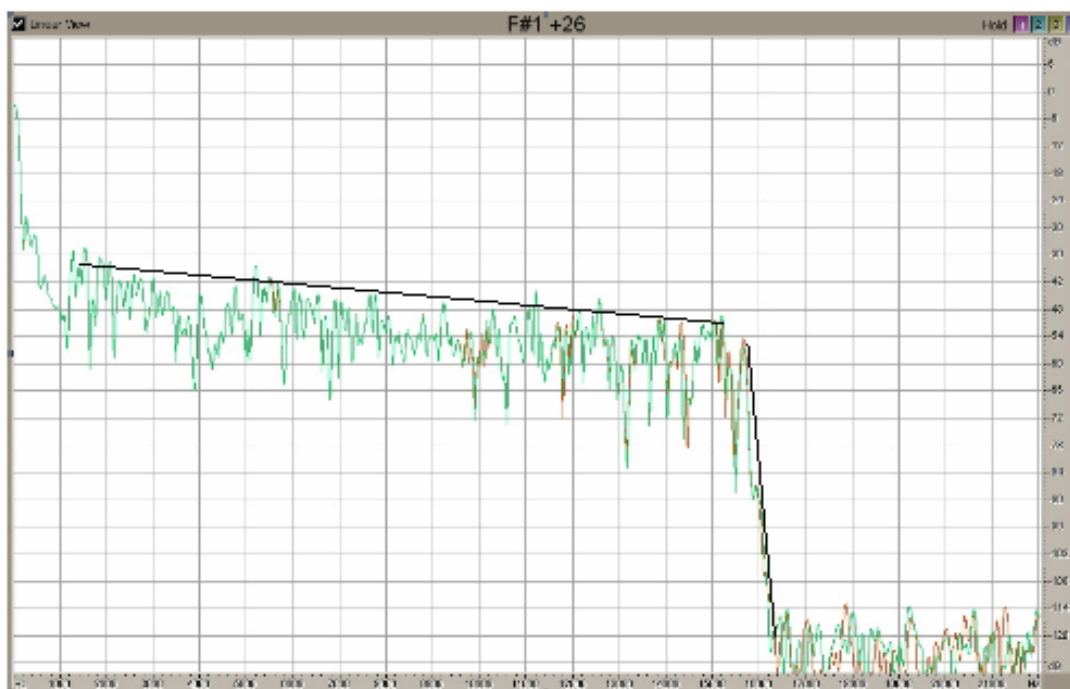
4.3 Zlog P v frekvenčni analizi

Za Artyev referenčni P, pogledan v linearnem merilu pri frekvenčni analizi, je značilen postopen padec nihanja od -30 do -55 dB (opazujemo le maksimume frekventnejših nihanj) (Sl. 16). Naglemu padcu smo priča od približno 15.5 kHz naprej. Če primerjamo vzorce s tem signalom imamo tukaj nekoliko težje delo. Podobnosti vidimo med vzorcema PL4 in

PL7, glede na začetni potek tudi pri vzorcu PL3 (glej prilogo). Ob tem naj poudarimo, da so poteki karakteristik od 16.000 Hz naprej ponekod zelo nenavadni, vendar nas to ne bo motilo, saj so to frekvence, ki v našem primeru niso tako pomembne. Zanimiv je tudi vzorec PL8, ki prav tako kaže neke podobnosti (glej prilogo).

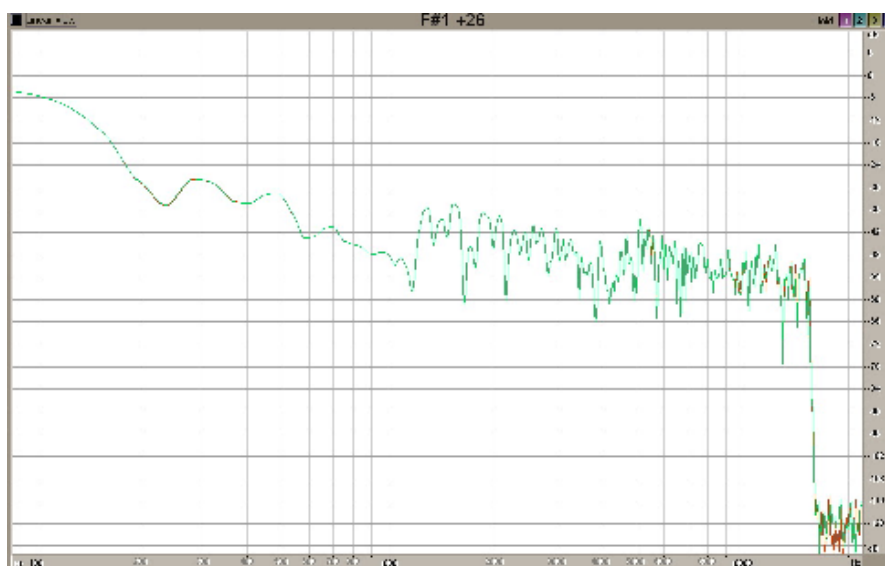


Sl. 15 - ŽELJKA - referenčni C - spektral



Sl. 16 - ARTY - referenčni P - frekvenčna - linearno

Pri logaritmičnem merilu smo pričra izrazitemu nihanju signala v območju med -36 dB in -60 dB, in sicer v frekvenčnem območju med 1.500 Hz in 16.000 Hz (Sl. 17).



Sl. 17 - ARTY - referenčni P - frekvenčna - logaritmično

Takšno jakost signala v tem območju in tako izrazito nihanje imajo vzorci PL7, PL4 in PL3. Sicer sta podobna še vzorca PL6 in PL8, vendar z nižjimi jakostmi. Glede na generalni izgled krivulje bi se odločili, da referenčni vrednosti ustrežata vzorca PL7 in PL4. Vse izgledne karakteristike vzorcev zloga P si lahko ogledate v prilogi.

Pri Katjinem P-ju v linearnem merilu smo prišli do ugotovitve, da karakteristika nima izrazitih značilnosti, celo zelo podobna je Artyjevemu P-ju (Sl. 16). Zato smo skušali narediti zgolj vizualno primerjavo »na pogled od daleč«. Ta nam da občutek, da gre celotno nihanje po nekakšni padajoči krivulji od leve proti desni (Sl. 18).

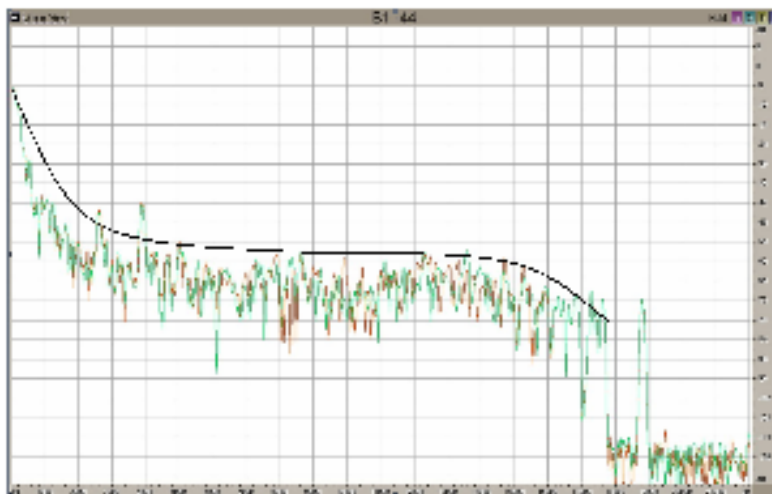


Sl. 18 - KATJA - referenčni P - frekvenčna - linearno

Na osnovi primerjave se odločimo za vzorec PL1 in PL9 (glej prilogo).

Če se poglobimo v logaritmični prikaz, pa bi se raje odločili za vzorca PLOG1 in PLOG2 (priloga).

Pri Željkinem P-ju, podanem v linearnem merilu, je značilna krivulja, ki v svojem nihanju poteka v obliki padajoče črke S od leve proti desni (Sl. 19).



Sl. 19 - ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna - linearno

Jakost frekvenc je v povprečju pod -60 dB. Temu opisu sta podobna vzorca PL6 in PL5, vzorec PL8 (priloga) pa morda v posameznih nihajih, ki se zgodijo pri zelo visokih frekvencah – nad 16 kHz, kar je razvidno tudi iz originalnega signala. Sami se odločimo torej za vzorca PL6 in PL5 ter pogojno za vzorec PL8.

Pri logaritmičnem merilu (Sl. 20) opazimo postopno padanje jakosti.

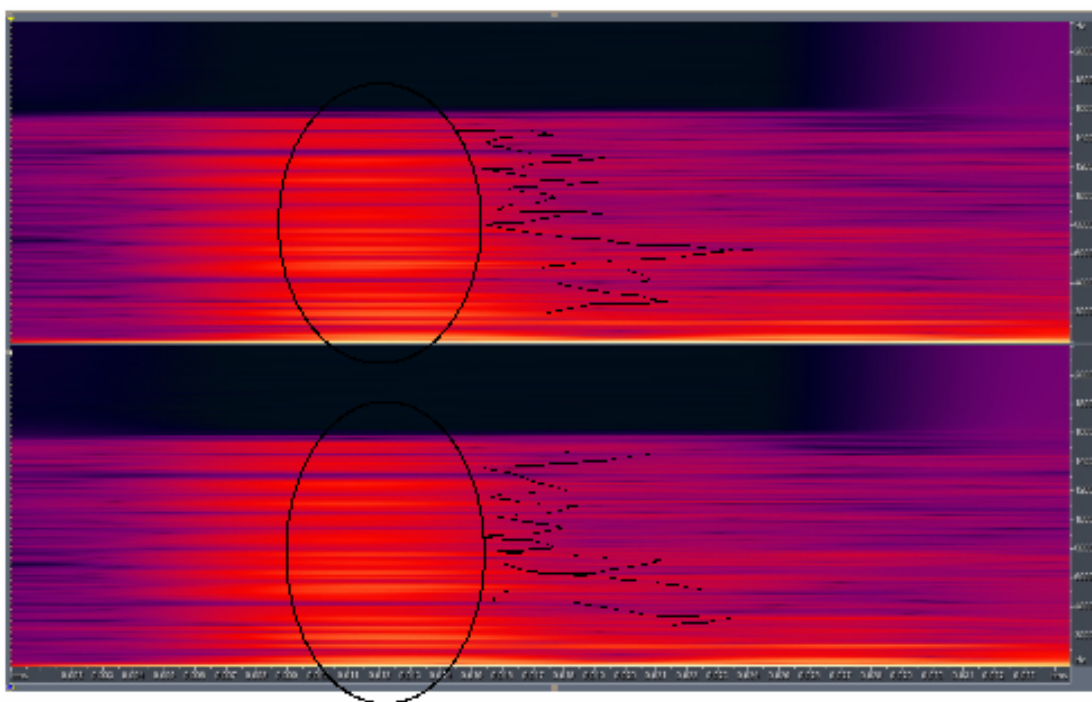


Sl. 20 - ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna - logaritmično

Temu smo priča pri vzorcu PLOG5, PLOG6, PLOG3 in PLOG8 (priloga). Vseeno pa se vzorec PLOG3 le nekoliko razlikuje od ostalih treh, zato se zanj ne odločimo.

4.4 Zlog P v spektralnem prikazu

Za referenčno črko P pri Artyju je značilna rdeče-oranžna obarvanost v prvi tretjini opazovanega signala (Sl. 21).

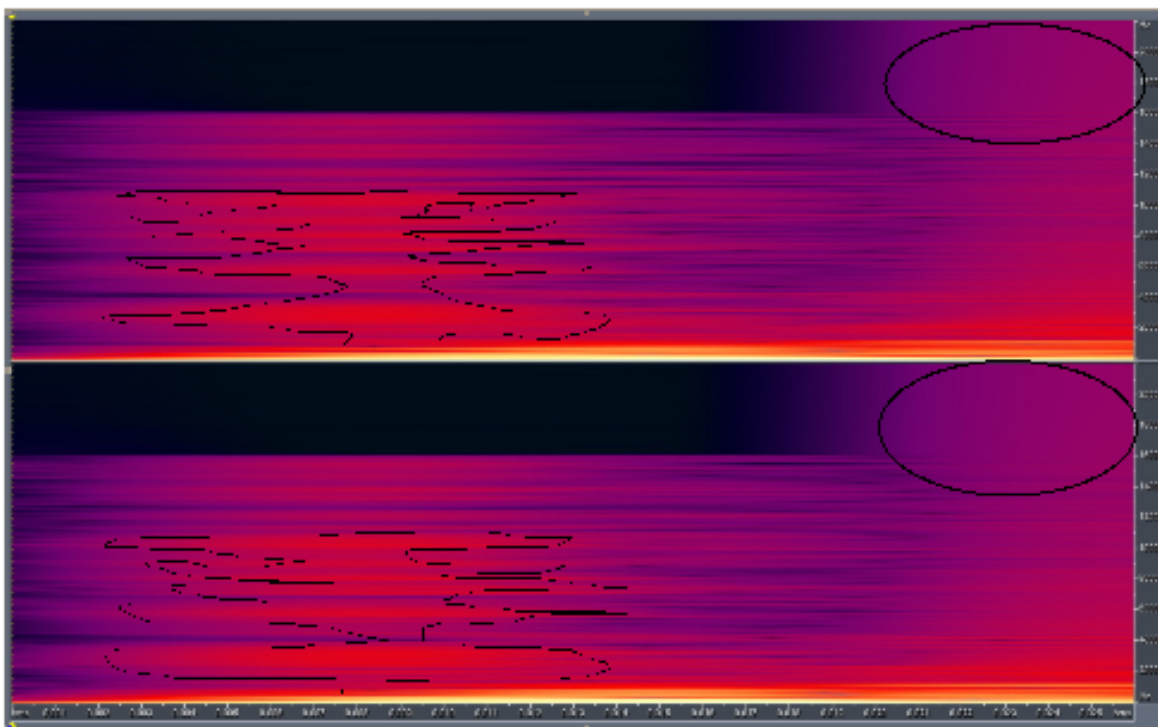


Sl. 21 - ARTY - referenčni P - spektral

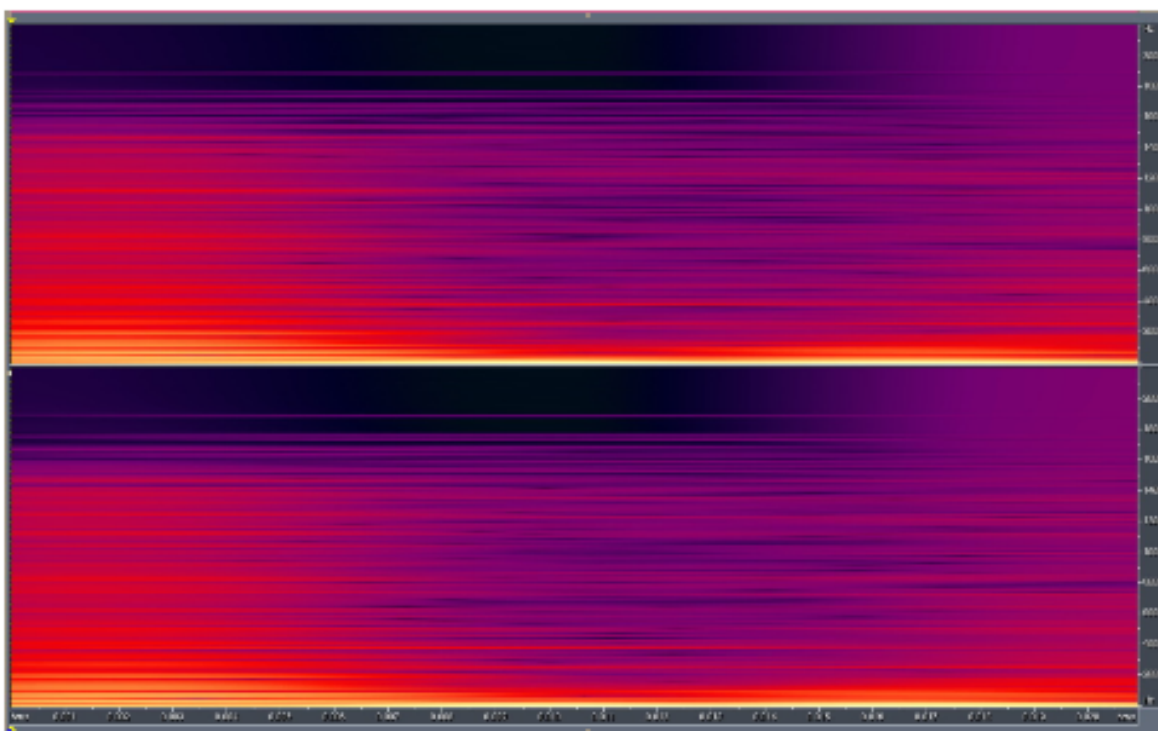
Ostala področja so pretežno vijoličasta. Zanimiv je tudi prehod iz rdečine v vijoličasto barvo na označenem delu na Sl. 21. Podobnosti lahko opazimo na vzorcu PS4, če pa sklepamo pa iz vzorca PS4 na ostale, pa opazimo podobnosti še pri vzorcu PS3 in PS7. Odločimo se za vse tri.

Za Katjin referenčni primerek je značilna vijolična obarvanost na levem in desnem robu opazovanega časovnega izseka. Rdečine nekje v sredini karakteristike spominjajo na »dim, ki se širi s sredine navzven«. Vijolična obarvanost celo izrazito prehaja v območje zgornjega vogala slike. Prikaz je nazorno označen na Sl. 22. Po natančni primerjavi med obstoječimi vzorci, tako izrazit prehod opazimo pri vzorcu PS1 in PS2, delno tudi pri vzorcu PS3, ki pa ga izločimo, ker njegova leva stran ne ustreza podobnosti. Glede na prisotnost vijolične barve v začetku signala smatramo, da bi lahko bil ustrezen še vzorec PS9. Odločimo se za PS1 in PS2 ter pogojno za PS9.

Za referenčni prikaz spektralne analize Željkinega P-ja lahko povemo, da je zanj značilna vijolična barva v sredinskem območju, na levi obdana z rdeče-oranžnimi območji, deloma tudi na desni spodaj, kar se nadaljuje v vijolični madež proti zgornjemu desnemu vogalu slike (Sl. 23). Podobnost najdemo med vzorci PS5 in PS6, nekoliko manj tudi pri vzorcu PS8. Odločimo se za vzorca PS5 in PS6.



Sl. 22 - KATJA - referenčni P - spektral



Sl. 23 - ŽELJKA - referenčni P - spektral

4.5 Zlog T v frekvenčni analizi in pri spektralnem prikazu

Na podoben način smo analizirali tudi vseh devet primerov zloga T, ki smo jih z referenčnimi vrednostmi primerjali frekvenčno po obeh merilih – linearnem in logaritmičnem, na koncu pa se pomudili še pri podobnostih spektralnega prikaza. Ugotovitve za vse tri analizirane zloge so podane v spodnjem prikazu.

UMETNIK	ZLOG	TIP ANALIZE	USTREZA	POGOJNO USTREZA
ARTY	C	LF	3, 4, 7	
		LOGF	3, 4, 7	
		SPEKT	3, 7	
	P	LF	4, 7	3, 8
		LOGF	3, 4, 7	6, 8
		SPEKT	3, 4, 7	
	T	LF	3, 7	4
		LOGF	3, 4, 7	
		SPEKT	7	
KATJA	C	LF	1, 2, 9	
		LOGF	1, 2, 9	
		SPEKT	1, 2	
	P	LF	1, 9	
		LOGF	1, 2	
		SPEKT	1, 2	9
	T	LF	1, 2	9
		LOGF	1, 2	
		SPEKT	2	
ŽELJKA	C	LF	5, 6, 8	
		LOGF	5, 6, 8	
		SPEKT	5, 6, 8	
	P	LF	2, 6	8
		LOGF	5, 6, 8	
		SPEKT	5, 6	8
	T	LF	5, 8	
		LOGF	5, 8	
		SPEKT	5, 7	

* Ujemanje vzorcev z referenčnimi vrednostmi na osnovi naše ocene

Legenda:

LF Linearna frekvenčna analiza
 LOGF Logaritmična frekvenčna analiza
 SPEKT Spektralna analiza

Šele po zaključeni analizi smo šli preveriti, kateri od vzorcev je pripadal kateri osebi. Bilo je takole:

- a) Artyu pripadajo karakteristike, označene s številkami 3, 4 in 7,
- b) Katji pripadajo karakteristike, označene s številkami 1, 2 in 9,
- c) Željki pripadajo karakteristike, označene s številkami 5, 6 in 8.

Kaj nam to pove, če pogledamo v naš prikaz? V koloni »USTREZA« zasledimo vse tiste vzorce, za katere smo se na osnovi naše analize odločili, da so dovolj podobni referenčni vrednosti. V kolono »POGOJNO USTREZA« so uvrščeni tisti vzorci, za katere v danem trenutku nismo mogli sto odstotno zatrditi, da so referenčnim vrednostim dovolj podobni, a vseeno kažejo zemetke neke podobnosti, ki jih pri drugih vzorcih ni bilo opaziti.

Če se najprej pomudimo pri rezultatih, ki nam jih je prinesla črka C, vidimo, da smo bili izjemno uspešni. Skoraj v vseh primerih smo se lahko nedvoumno odločili, h kateri referenci izbrani vzorci spadajo. Pri spektralni analizi Artyevega zloga C smo pravilno ugotovili dva namesto treh zlogov, podobno pri Katjinem zlogu C. Če vrednotimo, da za vse možne pravilne kombinacije, ki jih je 27, dobimo 100% izkupiček, preračunano v odstotke za črko C to pomeni 92,6 % izkupiček.

Pojdimo k zlogu P. Pri tem zlogu smo bili nekoliko manj uspešni, a še vedno dovolj, da smo po isti metodi prišli do izkupička 77,8 %.

Podoben izračun opravimo še za zadnji zlog, zlog T. Rezultat, ki ga dobimo, znaša 59,3 %.

Vidimo, da so se rezultati tekom raziskave zelo spreminjali. Čeprav je naš povprečni izkupiček znašal 76,6 %, smo bili prepričani, da bomo ta rezultat dobili na osnovi bistveno bolj enakovredne uspešnosti analize pri posameznih zlogih. Tako pa smo bili priča izjemnemu uspehu pri zlogu C, vsekakor pa ne moremo biti zadovoljni npr. z izkupičkom, ki nam ga je ponudil zlog T. Generalno gledano smo tako zadovoljni in ocenjujemo, da lahko po naši metodi s skorajda 80% verjetnostjo napovemo dokazljivost avtentičnosti zvočnih zapisov. Prepričani smo, da bi s povečevanjem števila vzorcev, govorcev, analizi tudi kakega drugega zloga – npr. katerega od zvočnikov, dobili še bolj prepričljive rezultate. Vsekakor bi to lahko bil zanimiv izziv za nadgradnjo te raziskovalne naloge.

5. ZAKLJUČEK

Ko smo se lotili te raziskovalne naloge, smo bili kar malo skeptični, ali nam bo uspelo dognati tisto, kar želimo. Zamislili smo si, kako bi s povsem običajnim urejevalnikom zvoka podrobneje analizirali posnete zvočne vzorce in jih na osnovi primerjave med sabo natančneje ocenili in ovrednotili. Zavedali smo se dejstva, da je na tržišču sicer ogromno namenske programske opreme, tudi relativno cenovno dostopne, a vseeno nismo želeli uporabiti pri svojem delu kakega od obstoječih programov. Tako se je bilo potrebno dobro zamisliti, kako sploh postaviti algoritem, s pomočjo katerega bi lahko med sabo primerjali zvočne zapise. Ob tem se nam je vselej porajalo vprašanje, koliko bo končna primerjava sploh verodostojna in ali je moč z gotovostjo trditi, da gre v konkretnih primerih za glas točno določene osebe ali ne.

Ljubiteljski pristop k obdelavi zvoka in preizkušanje njegovih značilnosti s programom Adobe Audition 1.5 nas je gnal v raziskovanje določenih karakteristik zvoka, ki so res zelo specifične. Naše znanje je bilo sprva zelo površinsko, spet pa s to nalogo naš namen ni bil odkrivati poglavja, ki so na akademskem nivoju. Nujno potrebne teoretične sestavine obdelave zvoka pa je bilo vseeno potrebno spoznati. V pregledu objav smo se tako dotaknili temeljnih značilnosti digitalnega zapisa zvoka, povedali, kaj je z analogno-digitalnimi pretvorbami in obratno, kaj pomeni vzorčiti signal in kako je vzorčen signal predstavljen v računalniškem zapisu s pomočjo ustrezne programske opreme. Prav tako smo se pomudili tudi pri osnovnih fizikalnih lastnostih zvoka, navedli, kaj to sploh zvok je, kako ga dojemata človekovo uho in kje so običajno meje slišnosti zvoka.

V nadaljevanju smo razglabljali o tem, kakšna metoda bi bila ob primerno izbranim algoritmu ustrezna za čim bolj zadovoljivo primerjavo zvokovnih vzorcev med sabo. Porodila se nam je ideja, da bi za analizo bili izjemno primerni določeni zlogi, ki jih v svojem načinu izgovarjanja človek tudi pripoveduje. Sklepali smo, da ljudje, v kolikor se namensko ne pačijo, določene strukture besed in s tem tudi zlogov, povedo vedno na isti način. Ko nekdo na primer izgovori besedo, ki se začne na črko P, sklepamo, da na relativno enak način našobi ustnice in skladno s tem tudi v »pogon«¹ požene svoje glasilke. Gre za povsem podzavestno ravnanje, ki ga težko nadziramo v tem smislu, da bi lahko namenoma popačili dejansko sliko govora. Ne vemo sicer, kakšne rezultate bi dobili, če bi primerjali med sabo vzorce istih oseb, a bi se v enem primeru močno pačili pri govoru, v drugem pa bi izgovorjene besede povedali korektno, povsem vsakdanje. Prepričani smo, da bi se tudi tukaj dalo dokazati neke podobnosti, a to bi že krepko presehalo naš nivo znanja, zato to poglavje puščamo odprto za raziskavo starejšim generacijam, ki bi nadgrajevale to zamisel. Biometrične značilnosti so svojska lastnost, zato gre pričakovati, da se bodo neke podobnosti res našle. Ali bomo z njimi dejansko zadovoljni ali ne, pa je drugo vprašanje.

Če se povrnemo k našim zlogom in črki P, lahko trdimo, da se tudi tlak na mikrofona, ki ga generira tak zlog (tu gre predvsem za zloge P, B, D) obnaša pri posameznikih njim značilno. Težko si namreč zamislimo, da bi nekdo v enem primeru besedo, ki se začne na črko P, tako močno izgovoril, da bi jo dobesedno »pihnili«² iz ust, v drugem pa bi jo izgovoril povsem neopazno. Tudi tu gre sklepati na neko konstantnost, ki je svojska lastnost človeka in ki se skriva v biometričnih značilnosti posameznika. Vsekakor je tu še kopica zanimivih zlogov, ki bi jih lahko primerjali. Mi smo se v naši nalogi omejili na tri:

na črke C, P in T. Če bi želeli delati analizo in primerjavo tudi pri drugih zlogih in skladno s tem še pri več ljudeh, bi naša raziskovalna naloga postala preobsežna. Tako smo se omejili na tri ljudi in tri zloge, s čimer se na nek način lahko zadovoljimo v taki meri, da na osnovi pridobljenih rezultatov že lahko sklepamo na neke vrste pravilo, ki se v primerjavah ponavlja in izključimo faktor srečnega naključja.

Pri naši nalogi smo se poglobili predvsem v grafične prikaze, ki smo jih natisnili ob analizi posameznega zloga. Že poprej smo sklepali, da če si bodo karakteristike med sabo zelo podobne, bomo tudi na dobri poti. Za vsako od analiziranih oseb smo imeli originalni zapis zvoka, poimenovali smo ga referenčni. S temi smo potem primerjali naključno posnete ostale vzorce teh, istih oseb. Pri raziskavi smo sicer te vzorce, ki smo jih kasneje primerjali z originali, shranili na dva načina. Prvi je bil ta, da smo za vsakega vedeli, komu pripada, drugi pa je bil tak, da smo imeli vzorce poimenovane le s številko. Te vrednosti smo potem primerjali z originalnimi zapisi in na osnovi grafičnih podobnost delali primerjavo. Šele po končani primerjavi smo pogledali, ali smo imeli dejansko prav ali ne. Z rezultati smo bili izjemno zadovoljni, saj se je večina vzorcev z referenčnimi vrednostmi ujemala na tak način, da smo lahko s precejšnjo mero gotovosti dejali, da pripada določeni osebi.

Naša primerjava je bila izvedena zgolj vizualno – z našim budnim očesom. Kot odprto vprašanje puščamo podrobnejšo analizo karakteristik npr. s prekrivanjem grafov in primerjanjem njih ploščine, ki jo krivulja definira med absciso in ordinato. Gotovo bi to bila lahko zanimiva primerjalna metoda, saj bi na osnovi razlike ploščin lahko še natančneje podali svoje ugotovitve.

6. POVZETEK

Z nalogo smo skušali dokazati, ali je možno z običajnim programom za urejanje zvoka, ki pa ni prvotno namenjen analizi biometričnih lastnosti zvoka, dokazati avtentičnost govora. Po natančnem seznanjanju z digitalno obliko zvočnega zapisa, kaj se dogaja tekom analogno-digitalnih pretvorb in obratno, s seznanjanjem s frekvenčnimi značilnostmi zvočnega signala, vzorčenja zvočnega signala in lastnostmi prepoznave govora s področja človekovih biometričnih značilnosti, je bila naloga opravljena eksperimentalno. Glavnina raziskave je bila opravljena v zvočnem studiu, kjer je bilo potrebno pridobiti ustrezne vzorce človekovega govora. Po temeljitom razmisleku, katere elemente človekovega govora bi bilo dobro analizirati, je bilo pod drobnogled vzeti nekaj posameznih vzorčnih primerkov, ki so služili kot neke vrste referenčna vrednost. Z natančno analizo, ki je obsegala tako frekvenčno kot spektralno, deloma, če je bilo potrebno, tudi filtriranje zvočnega zapisa, so se primerjale referenčne vrednosti zvočnih zapisov z naključnimi vzorci istih oseb. Biometrija sicer razlaga, da nam tudi govor lahko služi kot neke vrste prstni odtis za identifikacijo in avtentikacijo. Tako je bilo upravičeno pričakovati ujemanje naključnih vzorcev govora s poprej namensko shranjenimi referenčnimi vrednostmi. Je pa res, da je metoda, ki smo si jo zamislili, povsem specifična in zanimiva zlasti z vidika znanja mladih, ki še ne premorejo akademskega znanja za zahtevno razlago teh pojavov. Z malo iznajdljivosti in osnovnih poznavanj obnašanja signalov v programih, ki so za obdelavo zvoka tudi namenjeni, lahko brez obsežnega znanja sklepamo na neke značilnosti, ki nam pomagajo pri potrjevanju hipoteze, ali avtentičnost je dokazljiva ali ni. Ob tem je bilo potrebno zavzeti ustrezna stališča, kateri zlogi človekovega govornega vzorca so primernejši v procesu obdelave. Vseeno pa je tekom raziskovalne naloge bilo na trenutke zaznati skeptičnost, saj se je bilo potrebno zavedati, da se raziskava opravlja s programsko opremo, ki ni bila razvita v ta namen. Praktičen del raziskave je prikazan grafično s sprotimi komentarji v poglavju *Rezultati in razprava*, vsem, bolj radovednim, pa je na priloženi zgoščenki omogočeno tudi poslušanje vseh signalov oziroma vzorcev, ki smo jih analizirali. Le-ti so v wav formatu.

7 ZAHVALA

Rada bi se zahvalila najinemu mentorju Borutu Petriču, ki naju je vodil in usmerjal skozi nalogo. Zahvala gre tudi lastnikom studia Velesound/Simpleks, ki so nam omogočili izvesti praktičen del raziskovalne naloge. Na ta način nama je bila dana možnost, da se tudi konkretnije preizkusiva pri delu na področju digitalne obdelave zvoka.

8 PRILOGA

Razumevanje priloge:

ARTY - referenčni C - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi Arty, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

ARTY - referenčni C - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi Arty, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

ARTY - referenčni C - spektral

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi ARTY, prikazan v spektralnem pogledu

ARTY - referenčni P - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi ARTY, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

ARTY - referenčni P - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi ARTY, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

ARTY - referenčni P - spektral

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi ARTY, prikazan v spektralnem pogledu

ARTY - referenčni T - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi ARTY, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

ARTY - referenčni T - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi ARTY, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

ARTY - referenčni T - spektral

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi ARTY, prikazan v spektralnem pogledu

KATJA - referenčni C - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi KATJA, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

KATJA - referenčni C - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi KATJA, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

KATJA - referenčni C - spektral

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi KATJA, prikazan v spektralnem pogledu

KATJA - referenčni P - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi KATJA, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

KATJA - referenčni P - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi KATJA, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

KATJA - referenčni P - spektral

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi KATJA, prikazan v spektralnem pogledu

KATJA - referenčni T - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi KATJA, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

KATJA - referenčni T - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi KATJA, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

KATJA - referenčni T - spektral

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi KATJA, prikazan v spektralnem pogledu

ŽELJKA - referenčni C - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi ŽELJKA, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

ŽELJKA - referenčni C - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi ŽELJKA, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

ŽELJKA - referenčni C - spektral

Referenčno posneti vzorec črke C pri osebi ŽELJKA, prikazan v spektralnem pogledu

ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi ŽELJKA, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi ŽELJKA, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

ŽELJKA - referenčni P - spektral

Referenčno posneti vzorec črke P pri osebi ŽELJKA, prikazan v spektralnem pogledu

ŽELJKA - referenčni T - frekvenčna – linearno

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi ŽELJKA, prikazan linearno pri frekvenčni analizi

ŽELJKA - referenčni T - frekvenčna – logaritmično

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi ŽELJKA, prikazan logaritmično pri frekvenčni analizi

ŽELJKA - referenčni T - spektral

Referenčno posneti vzorec črke T pri osebi ŽELJKA, prikazan v spektralnem pogledu

CL1 – CL9

Naključni vzorci črke C, prikazani v linearnem merilu pri frekvenčni analizi

CLOG1 – CLOG9

Naključni vzorci črke C, prikazani v logaritmičnem merilu pri frekvenčni analizi

CS1 – CS9

Spektralni prikaz naključnih vzorcev črke C

PL1 – PL9

Naključni vzorci črke P, prikazani v linearnem merilu pri frekvenčni analizi

PLOG1 – PLOG9

Naključni vzorci črke P, prikazani v logaritmičnem merilu pri frekvenčni analizi

PS1 – PS9

Spektralni prikaz naključnih vzorcev črke P

TL1 – TL9

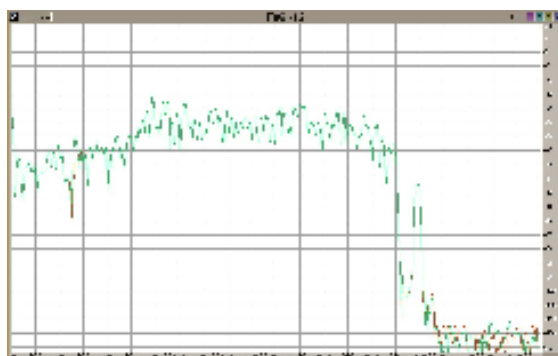
Naključni vzorci črke T, prikazani v linearnem merilu pri frekvenčni analizi

TLOG1 – TLOG9

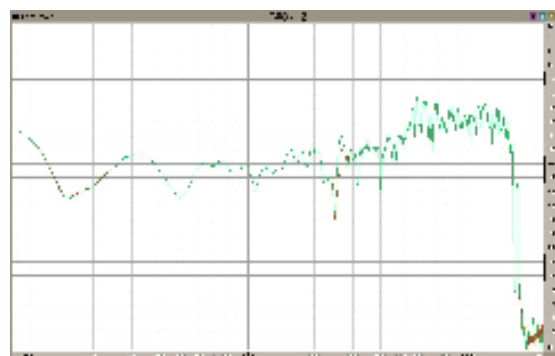
Naključni vzorci črke T, prikazani v logaritmičnem merilu pri frekvenčni analizi

TS1 – TS9

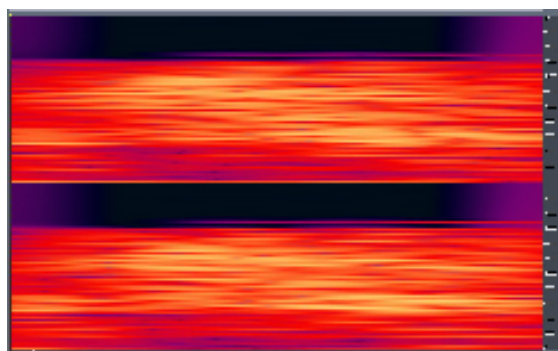
Spektralni prikaz naključnih vzorcev črke T



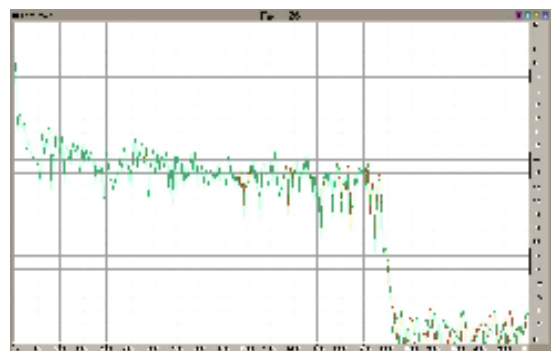
ARTY - referenčni C - frekvenčna – linearno



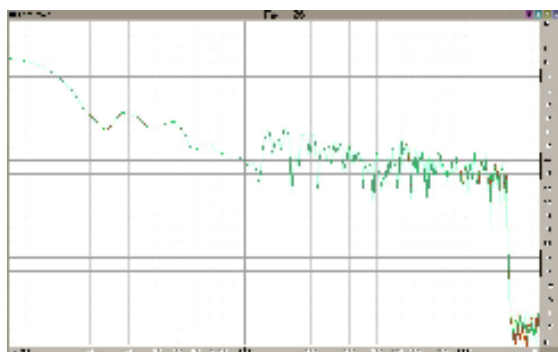
ARTY - referenčni C - frekvenčna - logaritmično



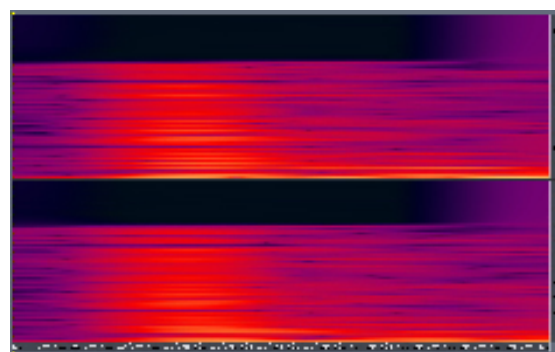
ARTY - referenčni C – spektral



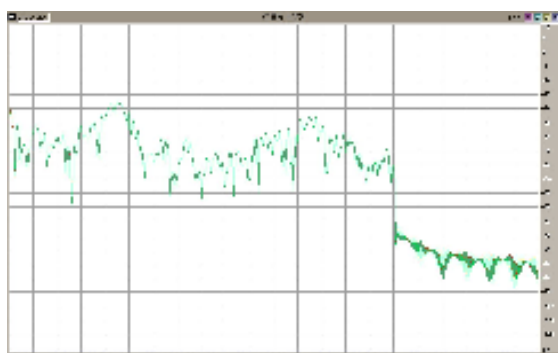
ARTY - referenčni P - frekvenčna - linearno



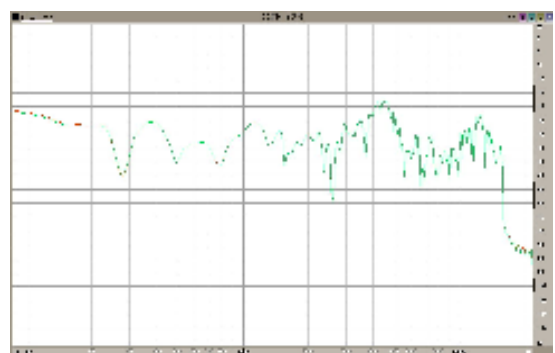
ARTY - referenčni P - frekvenčna – logaritmično



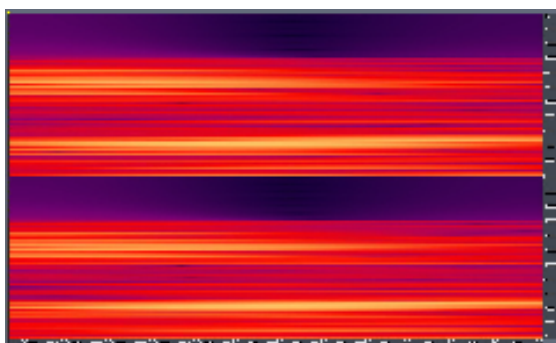
ARTY - referenčni P - spektral



ARTY - referenčni T - frekvenčna – linearno



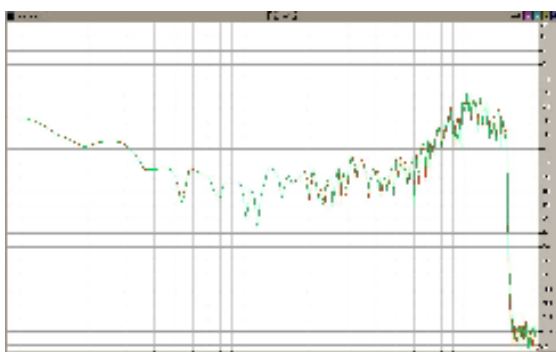
ARTY - referenčni T - frekvenčna - logaritmično



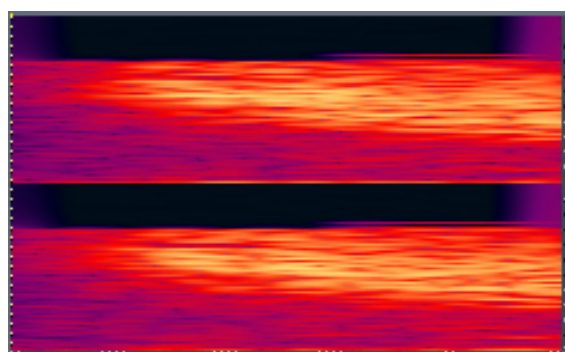
ARTY - referenčni T – spektral



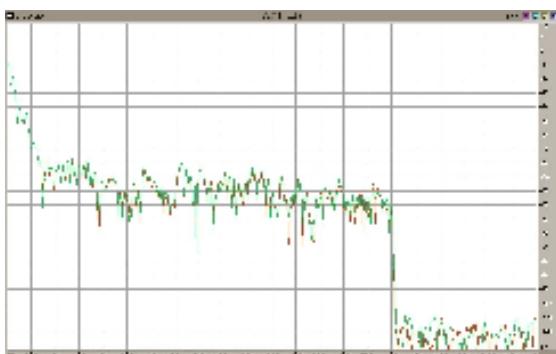
KATJA - referenčni C - frekvenčna - linearno



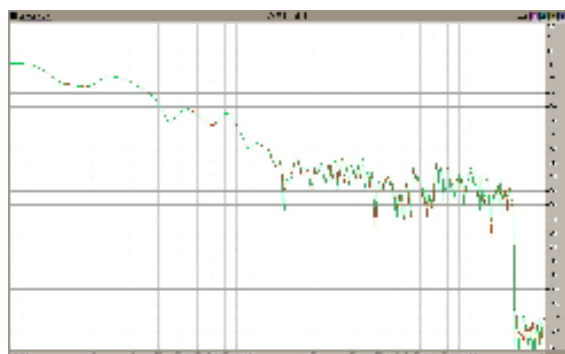
KATJA - referenčni C - frekvenčna – logaritmično



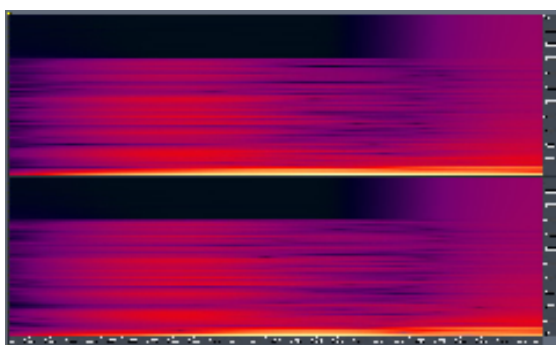
KATJA - referenčni C - spektral



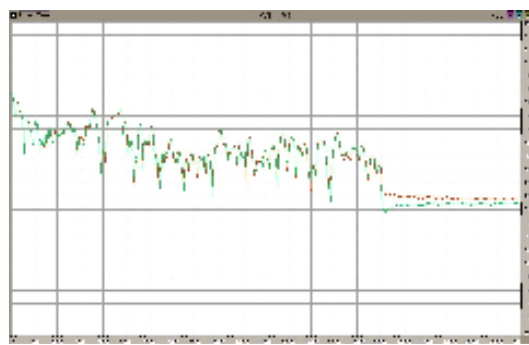
KATJA - referenčni P - frekvenčna – linearno



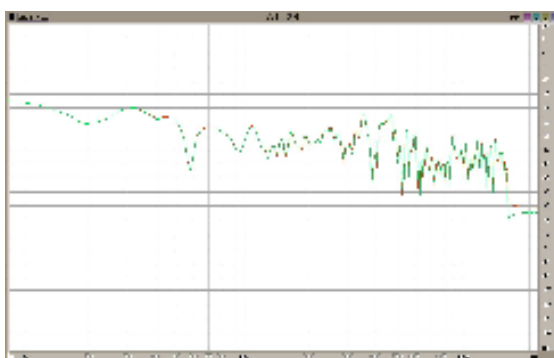
KATJA - referenčni P - frekvenčna - logaritmično



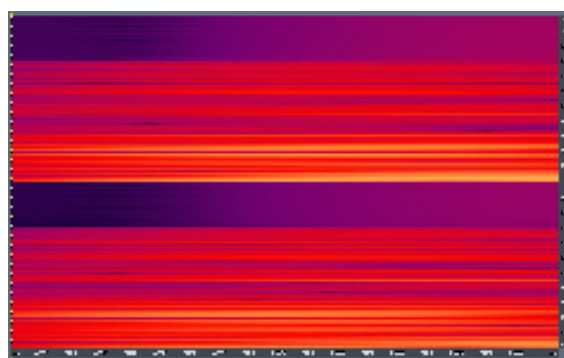
KATJA - referenčni P – spektral



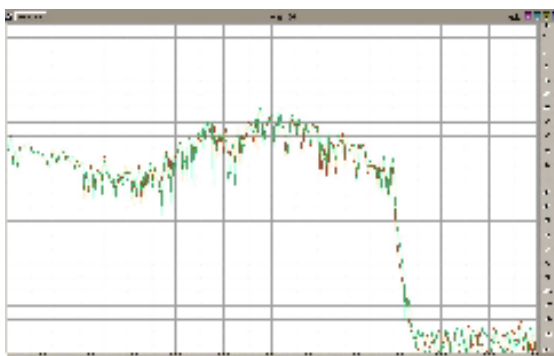
KATJA - referenčni T - frekvenčna - linearno



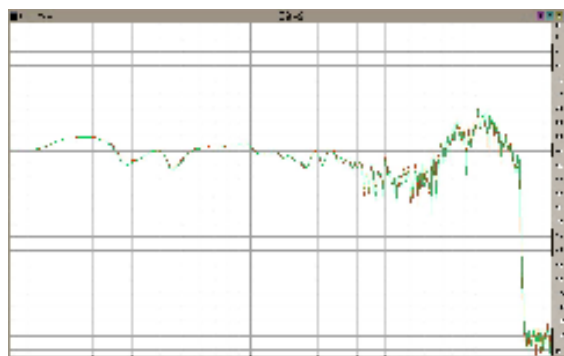
KATJA - referenčni T - frekvenčna – logaritmično



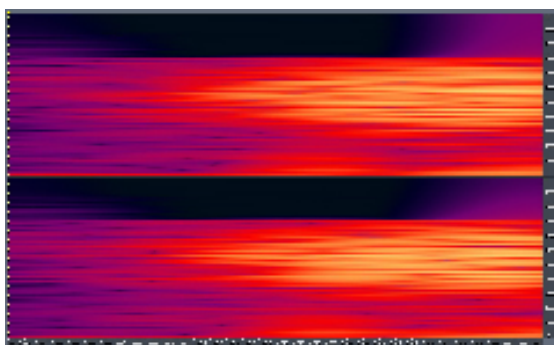
KATJA - referenčni T - spektral



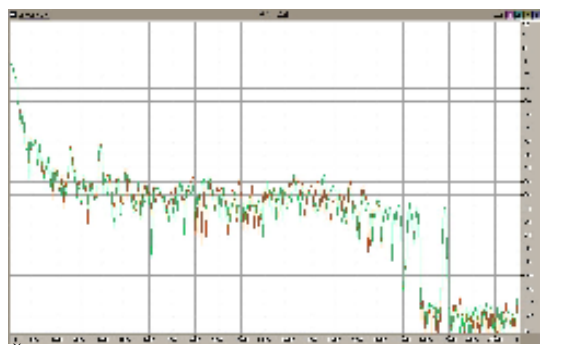
ŽELJKA - referenčni C - frekvenčna – linearno



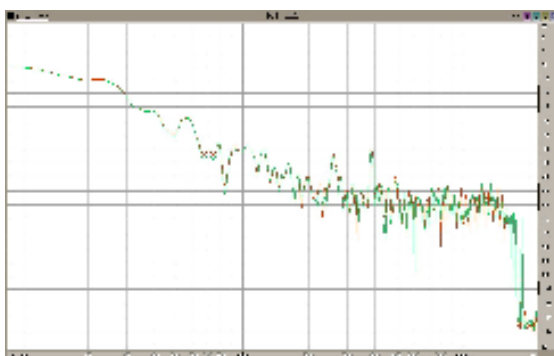
ŽELJKA - referenčni C - frekvenčna - logaritmično



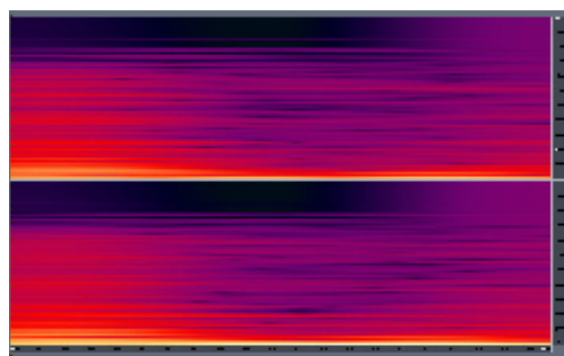
ŽELJKA - referenčni C – spektral



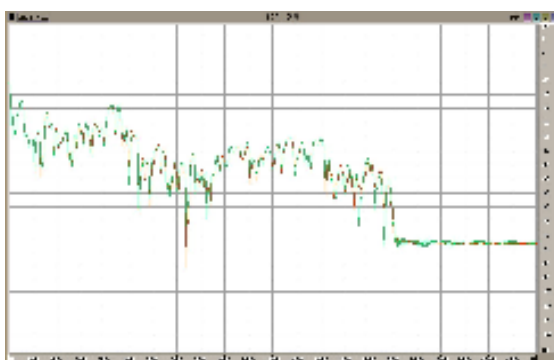
ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna - linearno



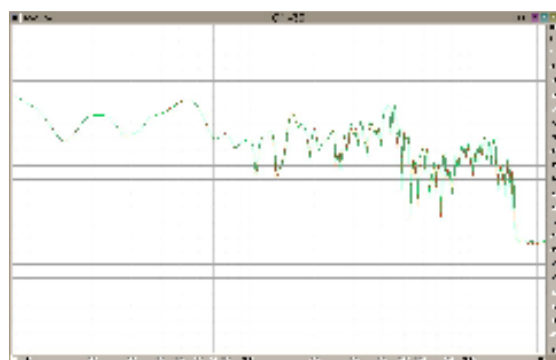
ŽELJKA - referenčni P - frekvenčna – logaritmično



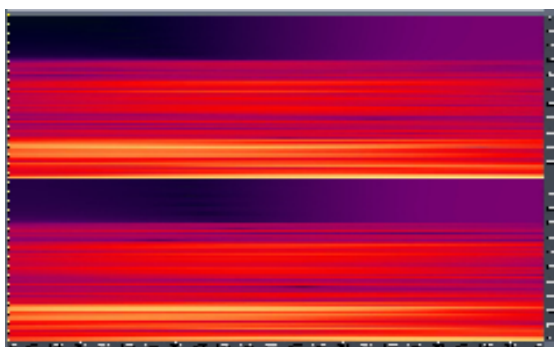
ŽELJKA - referenčni P - spektral



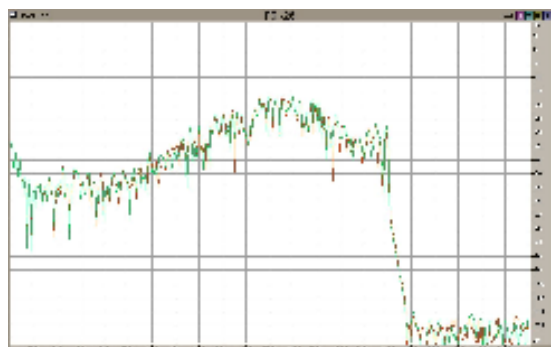
ŽELJKA - referenčni T - frekvenčna – linearno



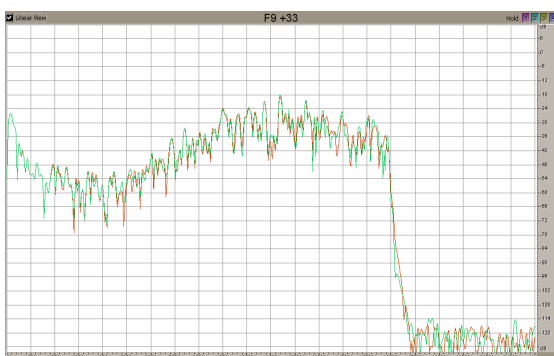
ŽELJKA - referenčni T - frekvenčna - logaritmično



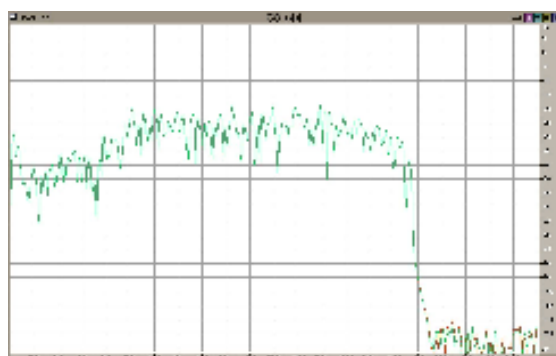
ŽELJKA - referenčni T – spektral



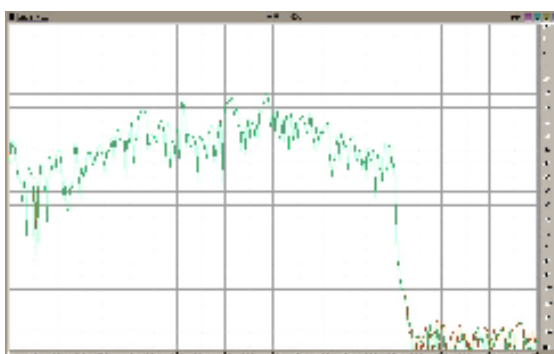
CL1



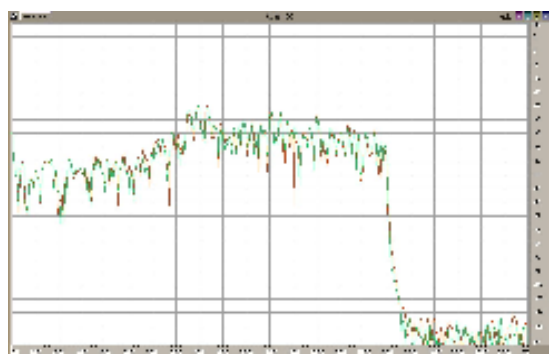
CL2



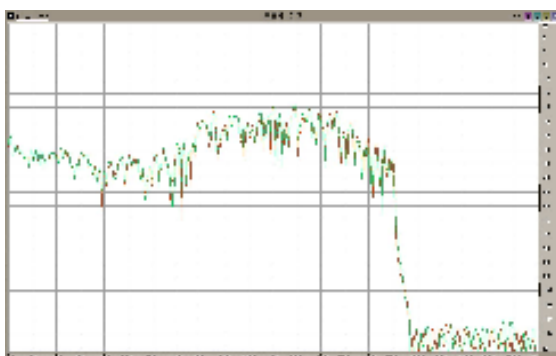
CL3



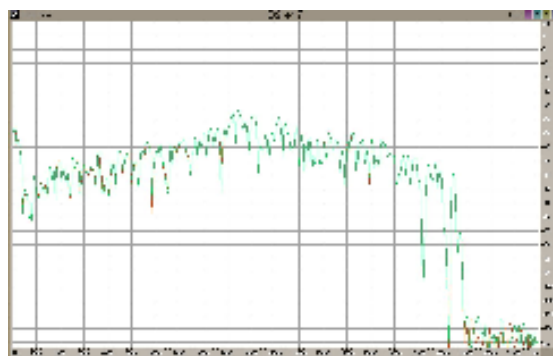
CL4



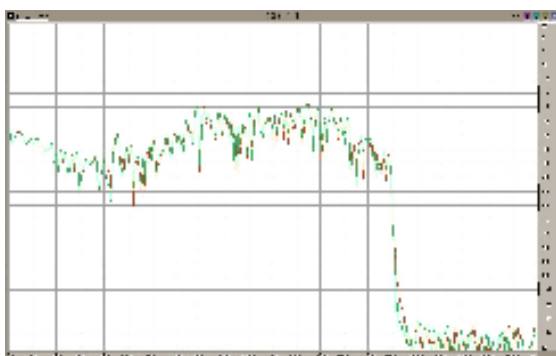
CL5



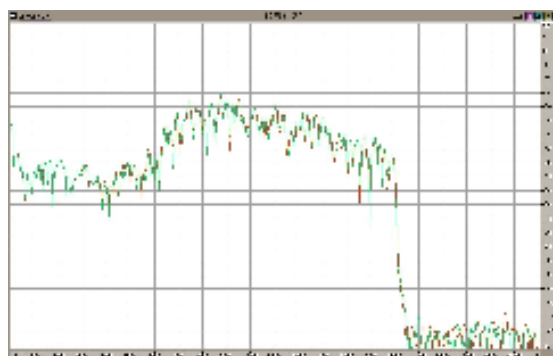
CL6



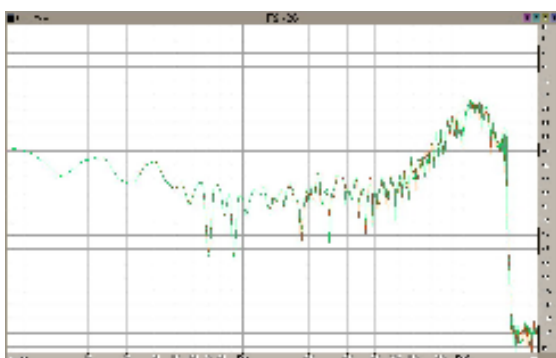
CL7



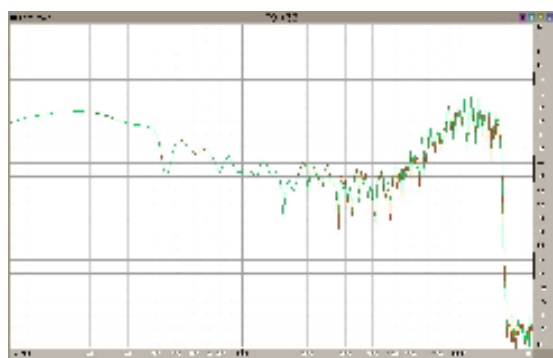
CL8



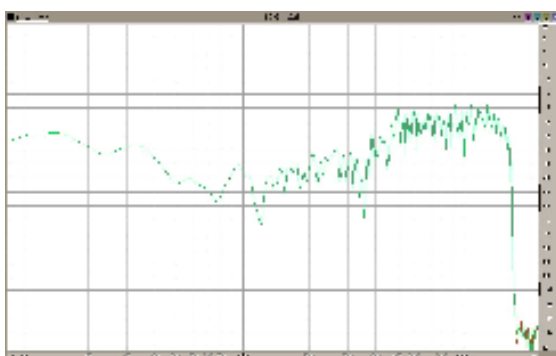
CL9



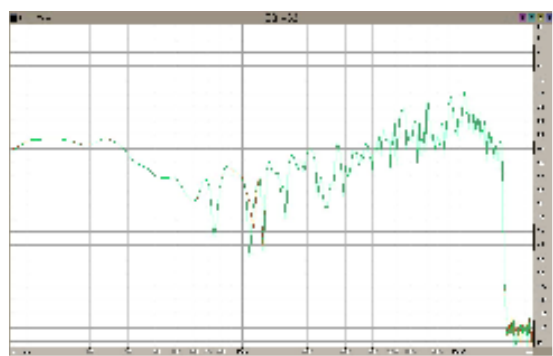
CLOG1



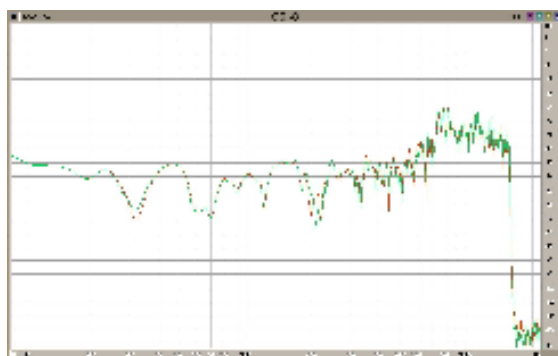
CLOG2



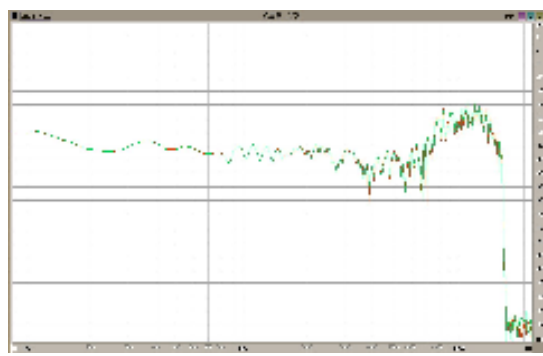
CLOG3



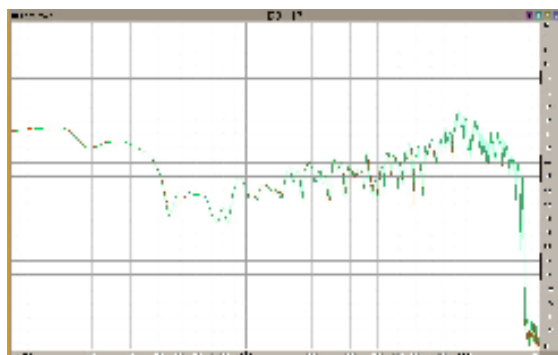
CLOG4



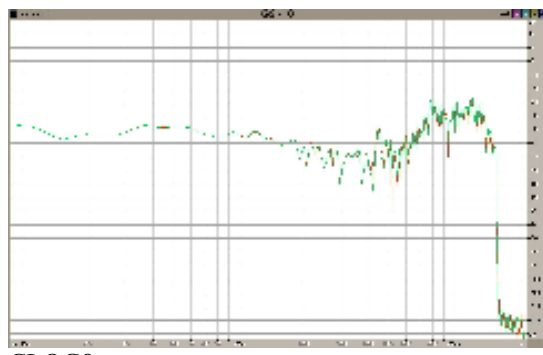
CLOG5



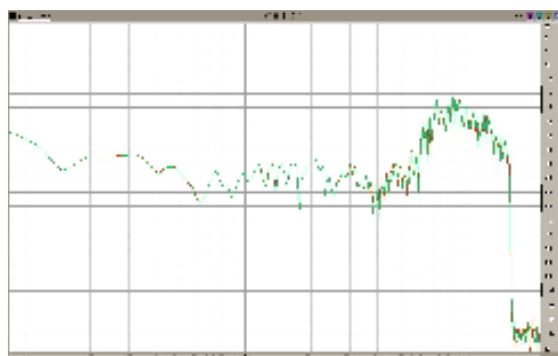
CLOG6



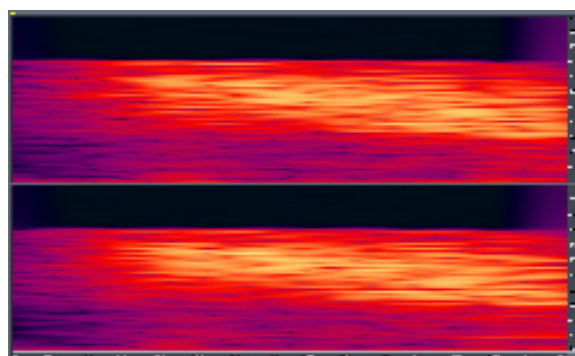
CLOG7



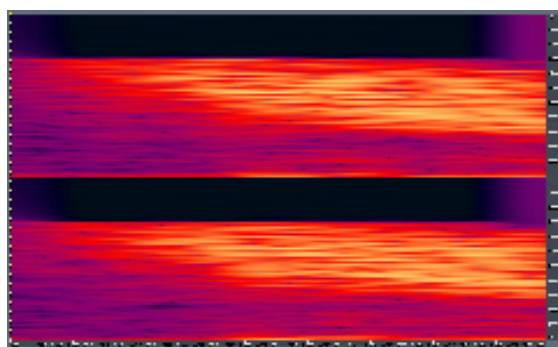
CLOG8



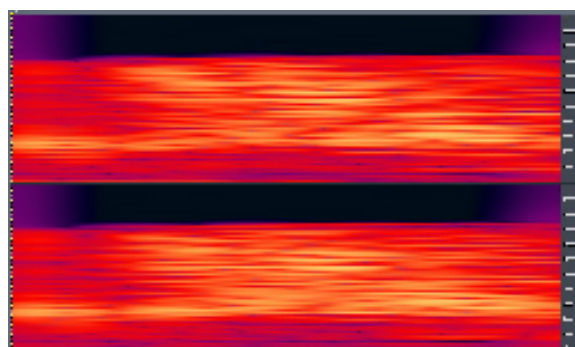
CLOG9



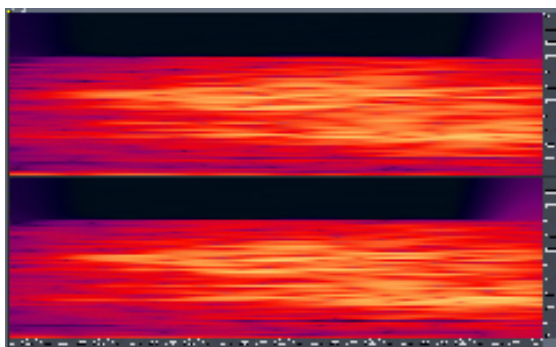
CS1



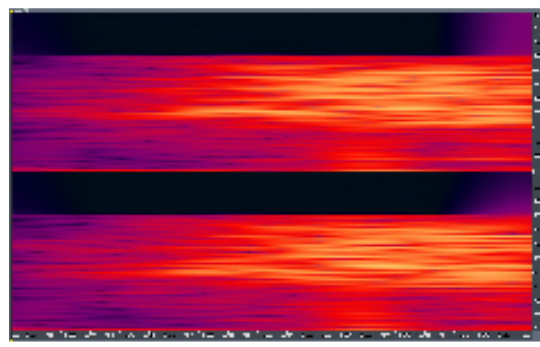
CS2



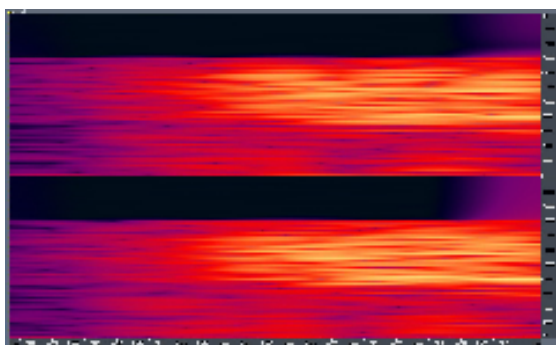
CS3



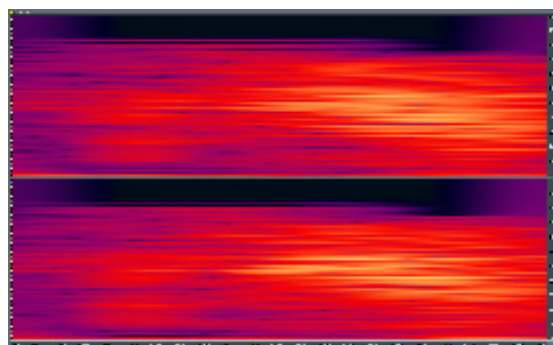
CS4



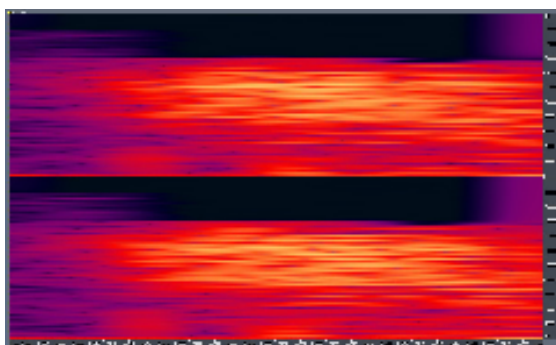
CS5



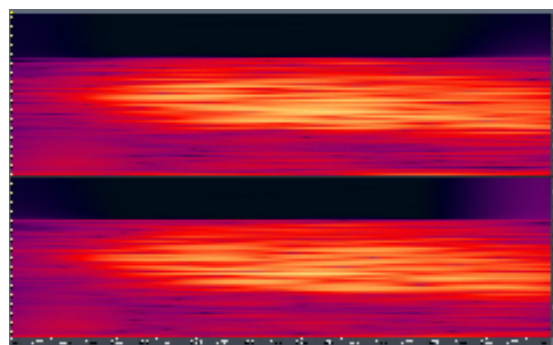
CS6



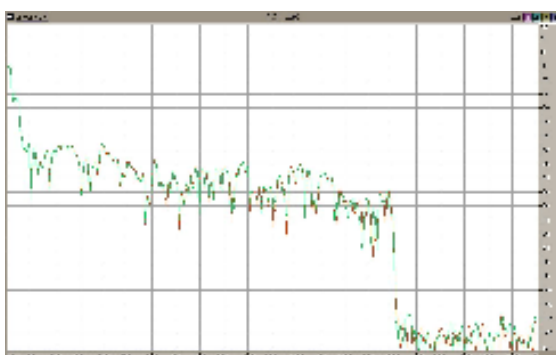
CS7



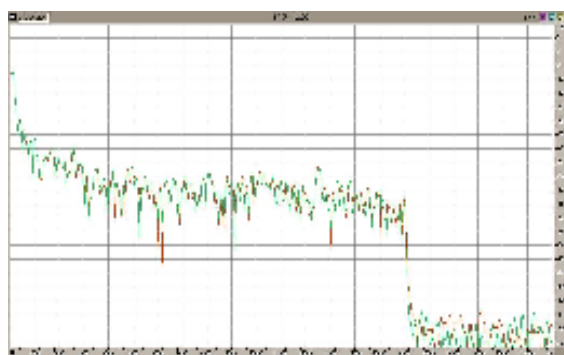
CS8



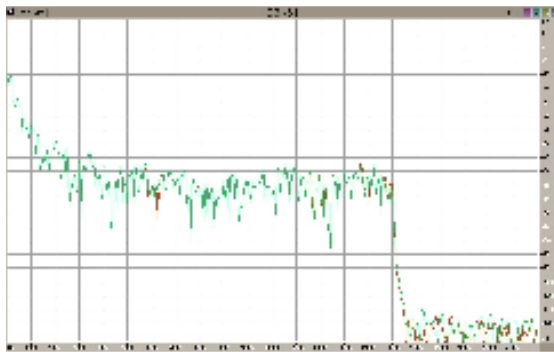
CS9



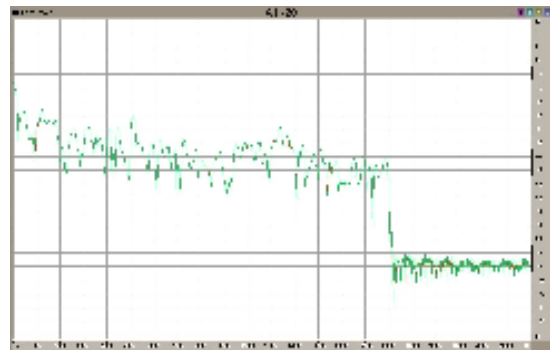
PL1



PL2



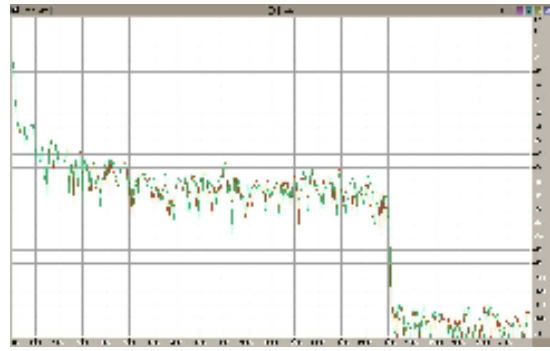
PL3



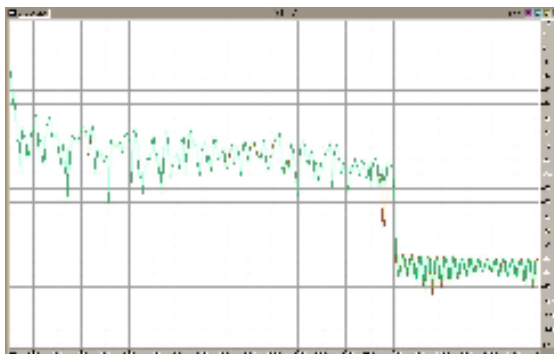
PL4



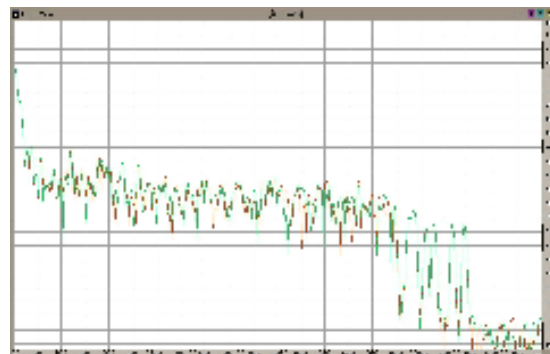
PL5



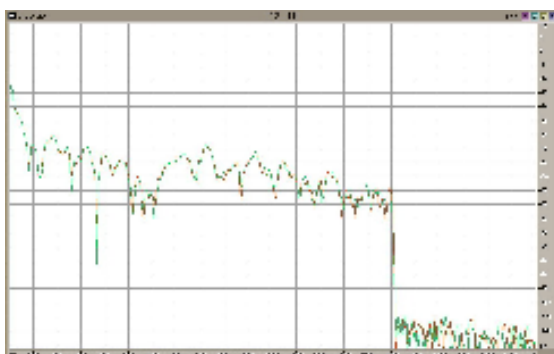
PL6



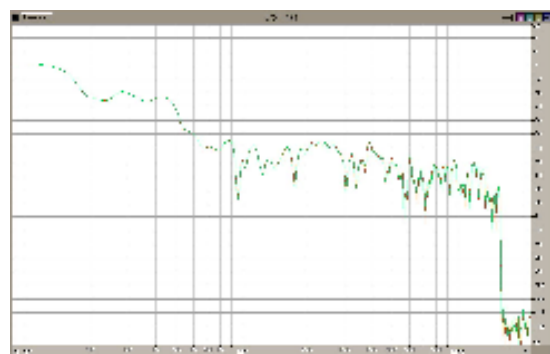
PL7



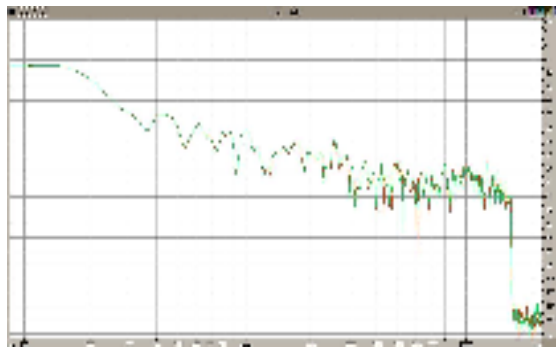
PL8



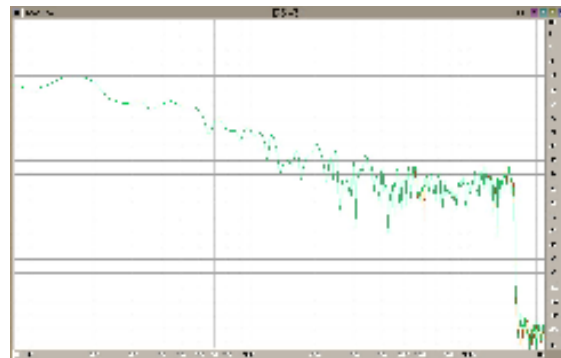
PL9



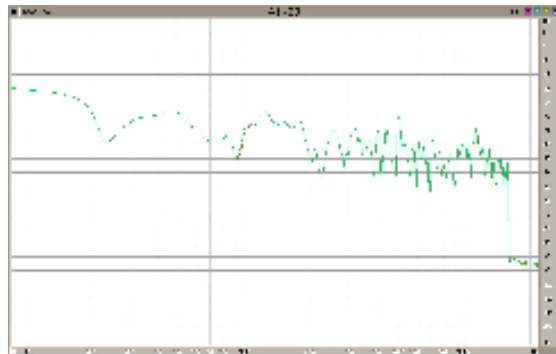
PLOG1



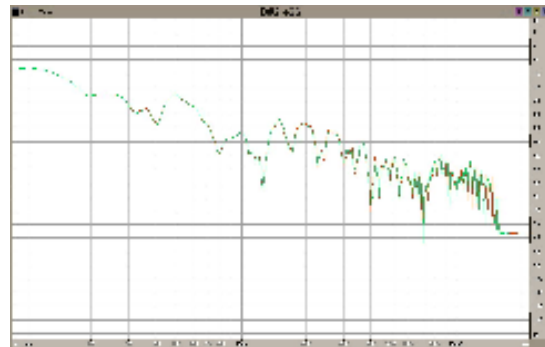
PLOG2



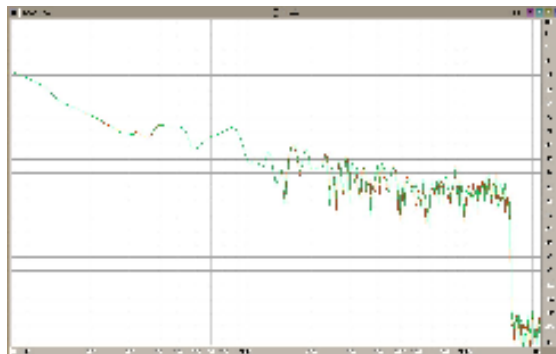
PLOG3



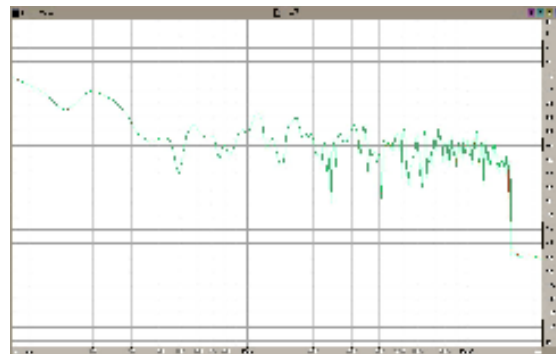
PLOG4



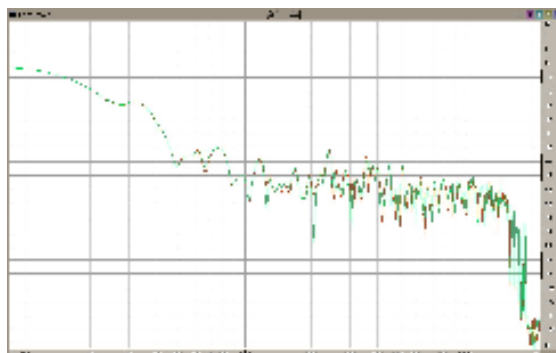
PLOG5



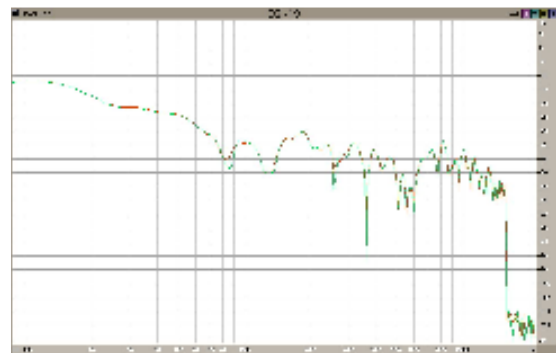
PLOG6



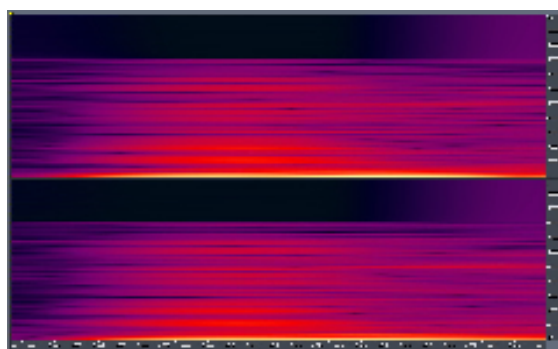
PLOG7



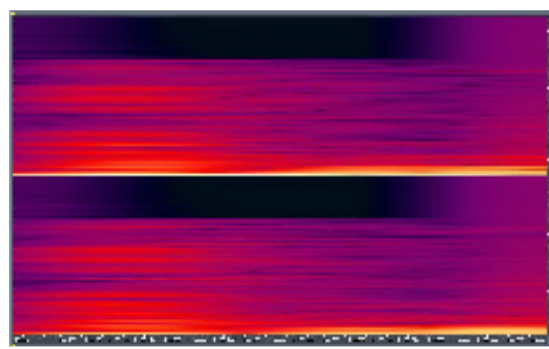
PLOG8



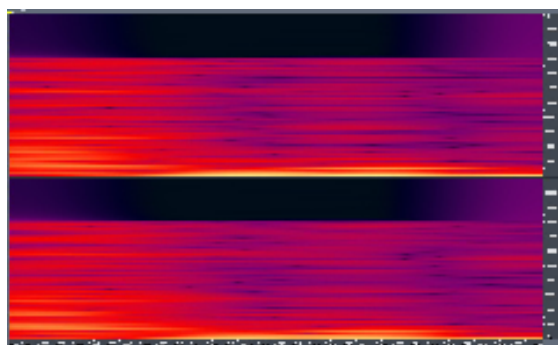
PLOG9



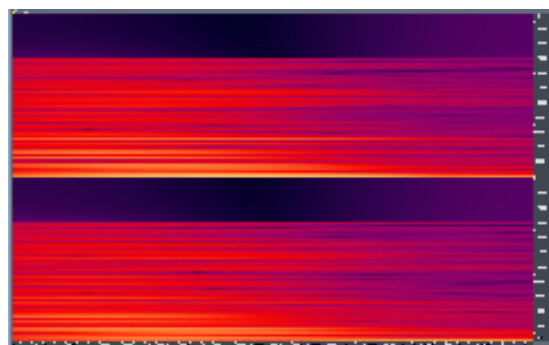
PS1



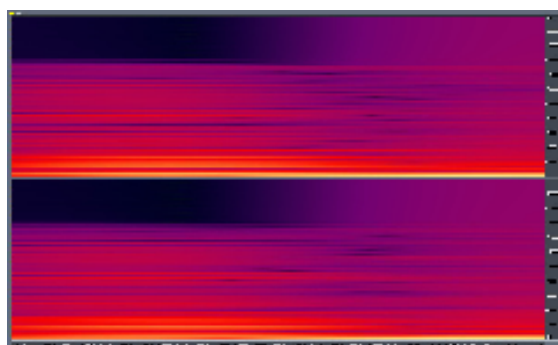
PS2



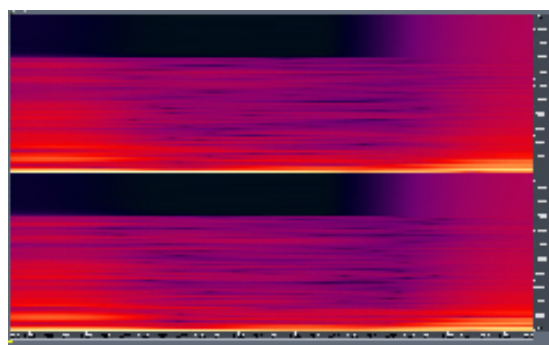
PS3



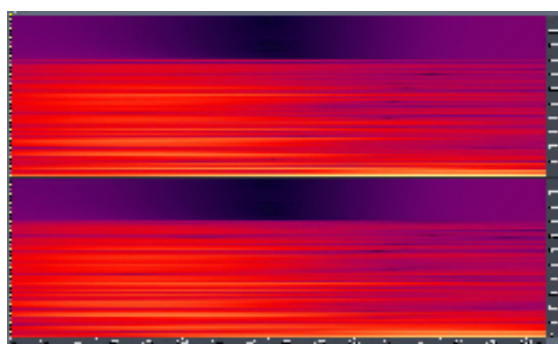
PS4



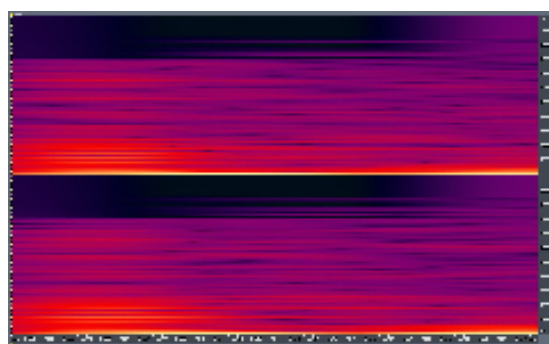
PS5



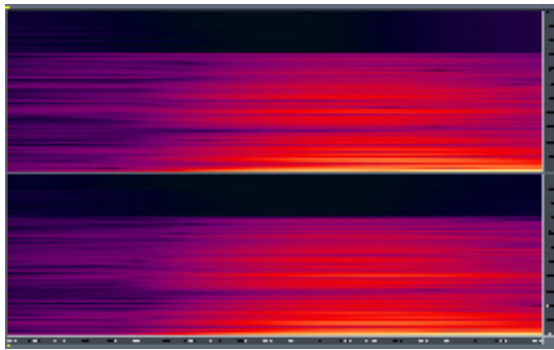
PS6



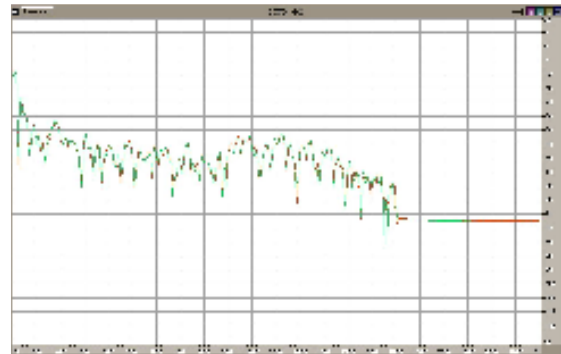
PS7



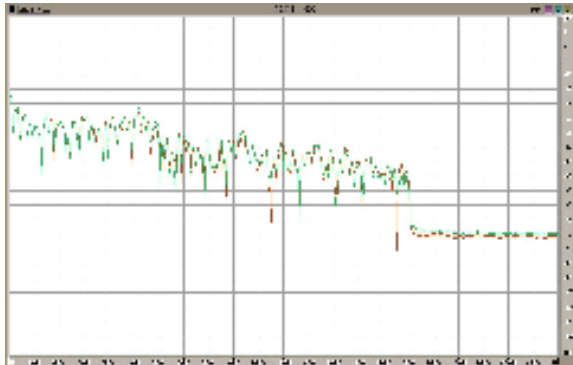
PS8



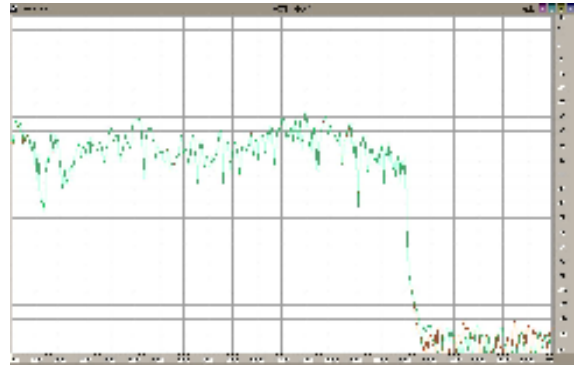
PS9



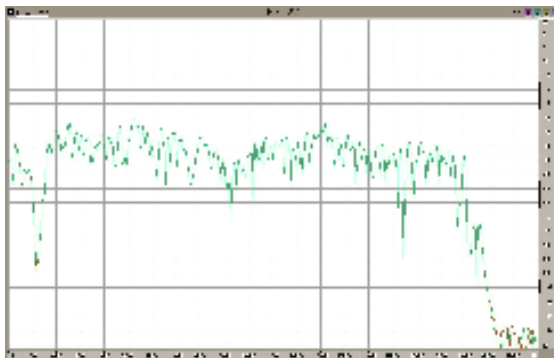
TL1



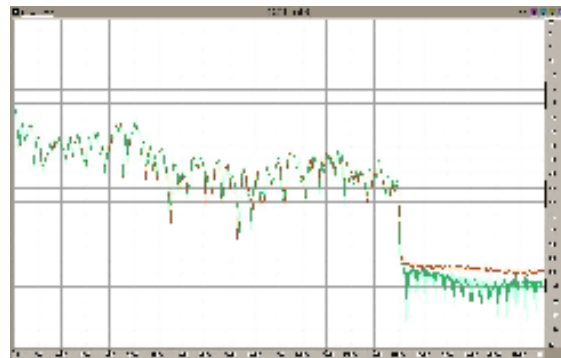
TL2



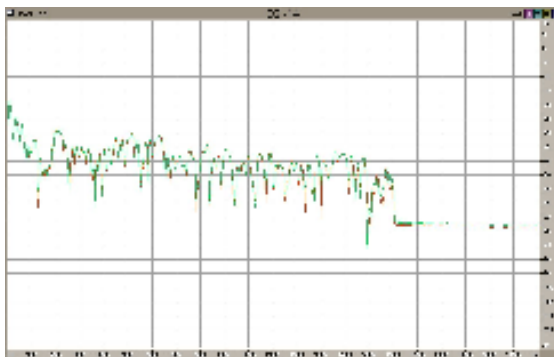
TL3



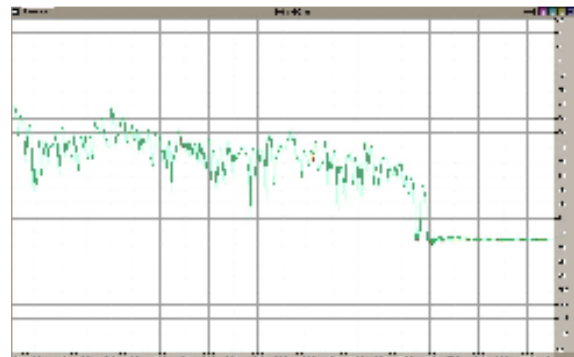
TL4



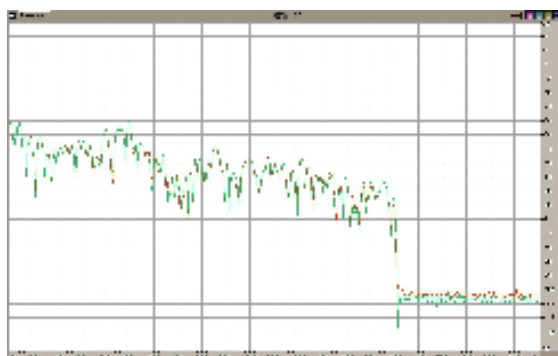
TL5



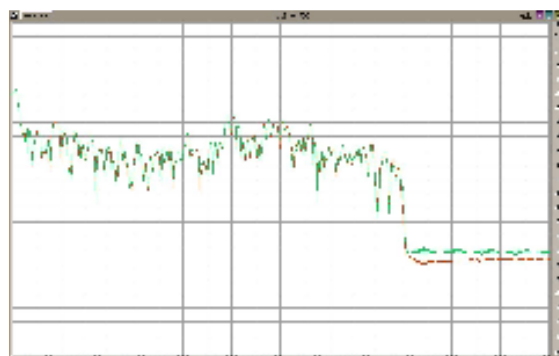
TL6



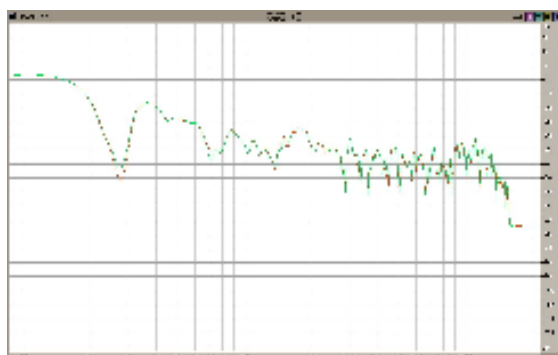
TL7



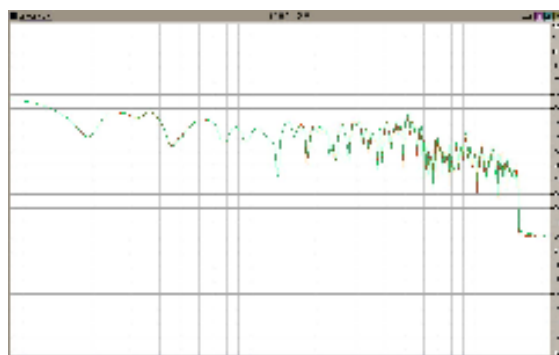
TL8



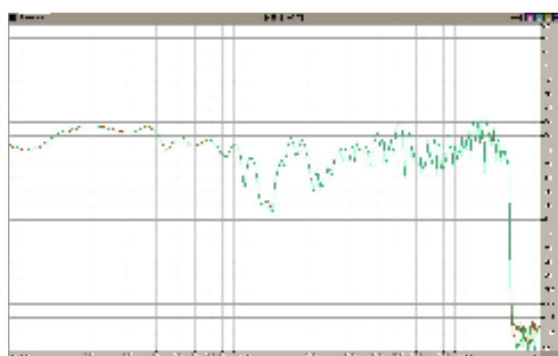
TL9



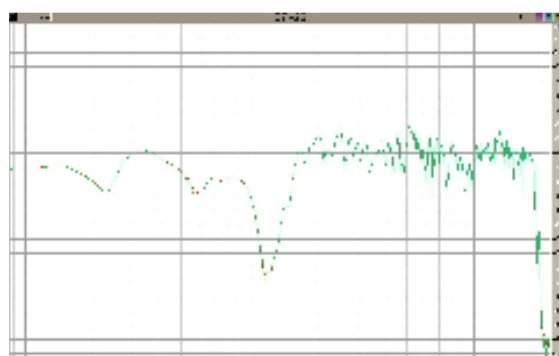
TLOG1



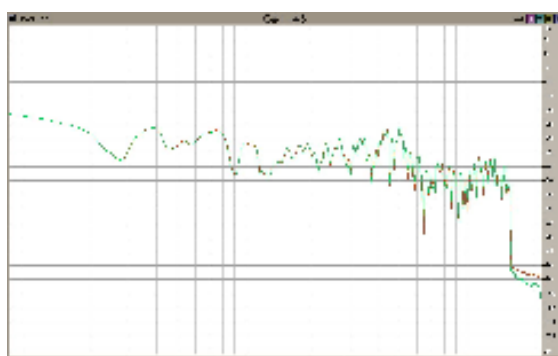
TLOG2



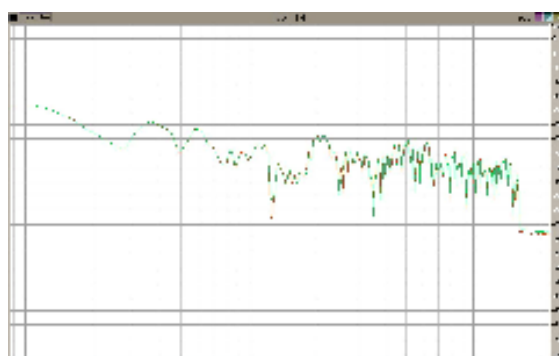
TLOG3



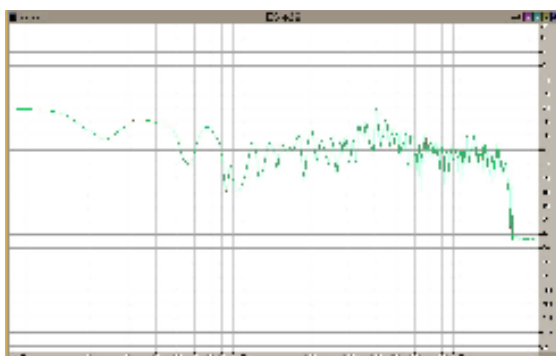
TLOG4



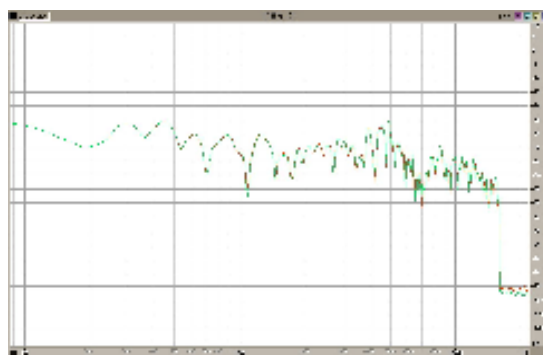
TLOG5



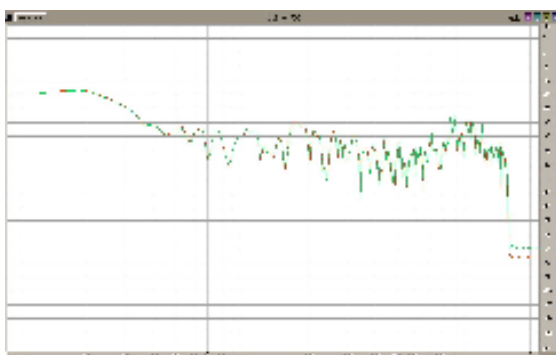
TLOG6



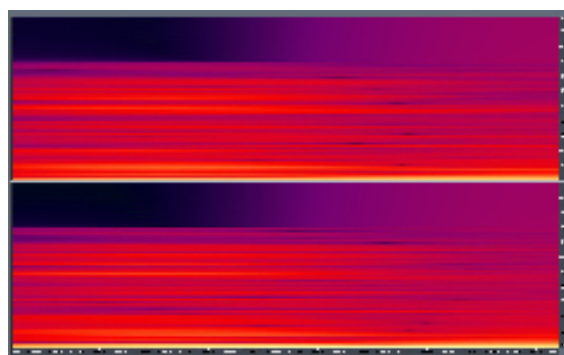
TLOG7



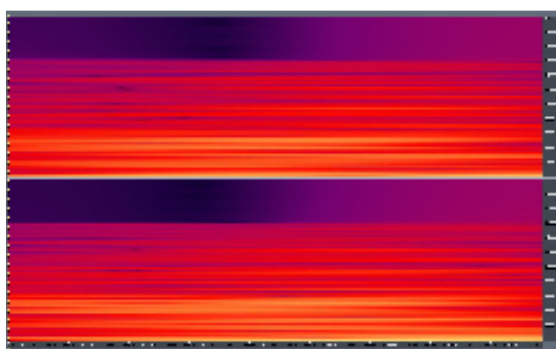
TLOG8



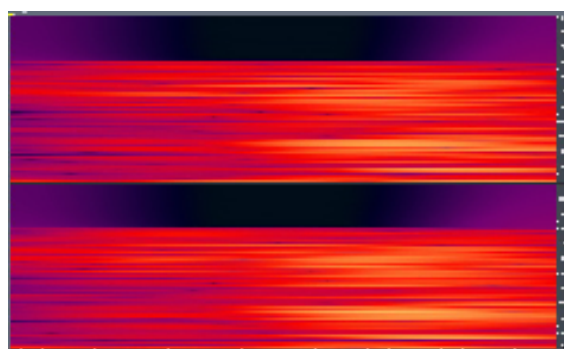
TLOG9



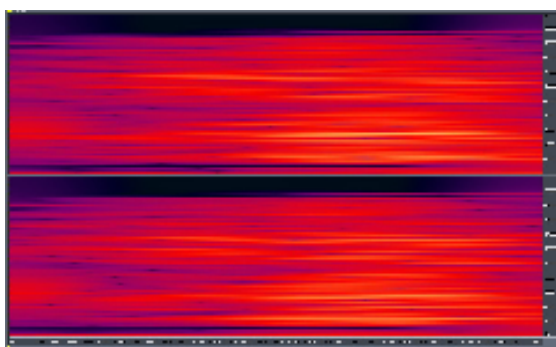
TS1



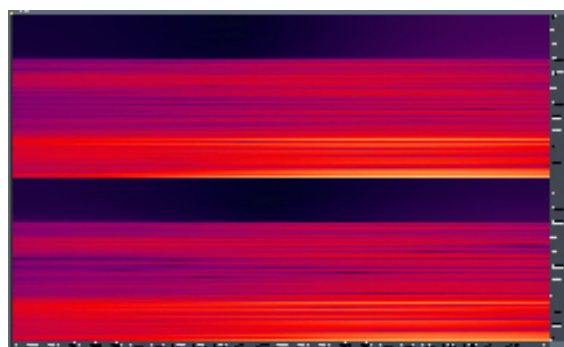
TS2



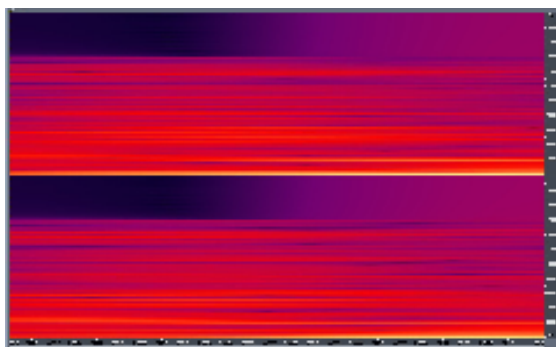
TS3



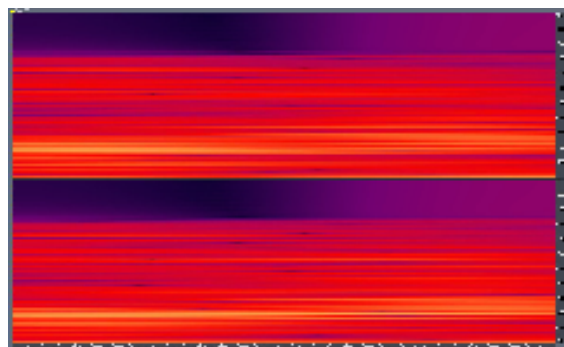
TS4



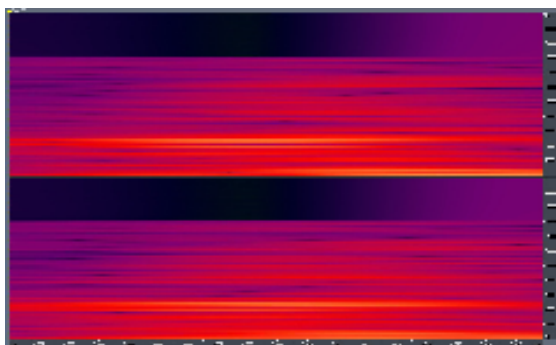
TS5



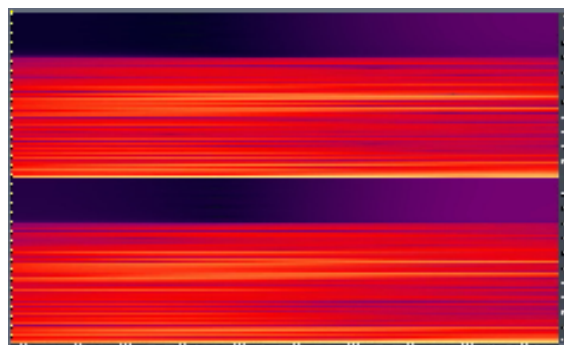
TS6



TS7



TS8



TS9

9 VIRI IN LITERATURA

- [1] <http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2001/di/Bezjak/pre/1.htm>, 25. 2. 2009
- [2] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Biometrija>, 1. 3. 2009
- [3] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Avtentikacija>, 1. 3. 2009
- [4] <http://www2.arnes.si/~pkuzma/faks/SIPP-biometrika.doc>, 20. 2. 2009
- [5] <http://english.p30world.com/archives/001902.php>, 20. 2. 2009
- [6] <http://www.adobeforums.com/webx/.2cccaa19/>, 5. 3. 2009
- [7] <http://www.s-sc.ce.edus.si/kuzman/Projekti/DigitalZvok/digital.htm>, 25. 2. 2009
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Speaker_recognition#Technology, 25. 2. 2009
- [9] ADOBE SYSTEMS INCORPORATED, Adobe Audition 1.5 Help File