

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETO  
ELEKTRONIKOS KATEDRA**

Rasa Grigaitė

**DVIBALSIŲ SPEKTRO ANALIZĖ**

**Magistro darbas**

**Vadovas**

doc. dr. Gintautas Daunys

**ŠIAULIAI, 2010**

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETO  
ELEKTRONIKOS KATEDRA**

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas

doc. dr. Gintautas Daunys

2010 06

Rasa Grigaitė

**DVIBALSIŲ SPEKTRO ANALIZĖ**

**Magistro darbas**

**Vadovas**

doc. dr. Gintautas Daunys

2010 06

**Atliko**

RM 8 gr. stud.

R.Grigaitė

**Recenzentas**

ŠU Technologijos fakulteto

2010 06

dr. Dainius Balbonas

2010 06

**ŠIAULIAI, 2010**

## Summary

In this work of diphthongs spectral analysis is briefly discussed the past and the present of sounds synthesis. Also discussed about humans speech organs and main language generation principles. Available formant variation analysis, and formant methods. It discusses what could be speech signal generation model.

The study describes process of diphthongs spectral analysis. Words where selected from dictionaries, their acquisition and digital processing was accomplished with program PRATT. This speech signal processing system gives user these opportunities: enter speech signal to computer, see signal graphic in a screen, edit signals, hear entered signal or wanted fragment, see spectrogram, formantive rated frequency, the basic tone of the period graph and main spectrum segment, to filter signal, write down signal characteristics to file.

In experiment participated six people: three women and three men. They phrase 81 word with 7 diphthongs. Speech was recorded in silent inveronment, but not in a professional environment. Labeling of phonemes was accomplished with PRAAT program. Phonemes were cut manually taking into account the inherent length of each phoneme. After designation for each word where created Text Grid file, which holds in itself information about each target volume threshold and duration. Using software Matlab is gotten spectrograms of diphthoning words used by people participating in experiment, those spectrograms are analyzed.

In conclusion is submitted what diphthoning formants changes depends on which accentual intonation is used in word's accent.

## TURINYS

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS .....	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	8
ĮVADAS .....	9
1. GARSŲ SINTEZĖS ISTORIJA IR DABARTIS .....	10
2. KALBOS ORGANAI IR PAGRINDINIAI KALBOS GENERAVIMO PRINCIPAI .....	16
2.1. Kalbos organai .....	18
2.2. Pagrindiniai kalbos generavimo principai .....	24
2.3. Lietuvių kalbos garsų dažninė analizė .....	26
3. FORMANTŲ GAVIMO BŪDAI.....	35
3.1. Formantai .....	35
3.2. Formantų gavimo metodai .....	35
3.2.1. Trumpalaikė Furjė analizė .....	35
3.2.2. Greitoji Furjė analizė .....	36
3.2.3. LPC analizė .....	36
3.2.4. MFCC .....	40
3.3. Formantų kitimas .....	41
4. KALBOS SIGNALO GENERAVIMO MODELIAI .....	42
4.1. Tiesinis kalbos trakto modelis .....	42
4.2. Nuoseklus kalbos trakto modelis .....	46
4.3. Lygiagretus kalbos trakto modelis .....	47
5. TYRIMO METODIKA .....	48
5.1. Žodžių paieška .....	48
5.2. Žodžių įrašymas .....	48
5.3. Fonemų išskyrimas .....	49
6. TYRIMO REZULTATAI.....	51
6.1. Dvibalsis „AI“ .....	51
6.2. Dvibalsis „AU“ .....	52
6.3. Dvibalsis „EI“ .....	55
6.4. Dvibalsis „EU“ .....	57
6.5. Dvibalsis „IE“ .....	58

6.6.	Dvibalsis „UI“.....	61
6.7.	Dvibalsis „UO“ .....	62
IŠVADOS .....		65
LITERATŪRA .....		66
PRIEDAI.....		68

## PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

<b>1.1 pav.</b> Kratzenstein's rezonatorius .....	10
<b>1.2 pav.</b> Wheatstone sukurtas von Kempelens kalbanti mašina [25] .....	10
<b>1.3 pav.</b> Riesz sukurtas mechaninis modelis žodžių gamybai [25] .....	11
<b>1.4 pav.</b> Voderio valdymo pulto eskizas [26].....	12
<b>1.5 pav.</b> Voderio valdymas [26] .....	12
<b>1.6 pav.</b> Telharmonium [27].....	13
<b>1.7 pav.</b> Lev Termin sukurtas thereminas (theremin) [28].....	14
<b>2.1 pav.</b> Nosies ertmė [3].....	19
<b>2.2 pav.</b> Ryklė [4] .....	20
<b>2.3 pav.</b> Gerklų kremzlės ir jungtys, priekinis (kairėje) ir užpakalinis (dešinėje) vaizdas [5]. .....	22
<b>2.4 pav.</b> Žmogaus kalbos organų pjūvį.[29] .....	24
<b>2.5 pav.</b> Tipinė impulsų seka. [29] .....	25
<b>2.6 pav.</b> Dažnio svyravimai. [29] .....	26
<b>2.7 pav.</b> Balsių ir dvibalsių F <sub>1</sub> ir F <sub>2</sub> formantų žemėlapiai [32].....	30
<b>2.8 pav.</b> Latvių (●) ir Lietuvių (○) kalbų izoliuotų balsių trapecijos a) ilgųjų izoliuotų balsių trapecijos, b) trumpųjų izoliuotų balsių trapecijos. [15] .....	31
<b>2.9 pav.</b> Kardinaliniai (x), latvių (◆) ir lietuvių(◇) kalbų izoliuoti balsiai (W. Jassemo duomenys) [15].....	33
<b>3.1 pav.</b> Priklausomybė tarp sužadinančio signalo ir kalbos signalo a) laiko; b) z transformacijos srityse. [9] .....	37
<b>3.2 pav.</b> Apibendrintas kalbos generavimo modelis [9].....	38
<b>3.3 pav.</b> MFCC koeficientų apskaičiavimo blokinė schema .....	40
<b>4.1 pav.</b> Akustinio vamzdžio ekvivalentinė schema. [21].....	42
<b>4.2 pav.</b> Nuoseklaus modelio struktūra .....	46
<b>4.3 pav.</b> Nuoseklaus modelio algoritmo struktūra [21] .....	47
<b>5.1 pav.</b> Programos PRAAT įrašymo laukas.....	48
<b>5.2 pav.</b> Žodžio „pabaiga“ signalas PRAAT lange ir išskirtas dvibalsis „AI“ .....	49
<b>5.3 pav.</b> Formantų kitimo laike diagrama.....	50
<b>6.1 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ai] .....	51

<b>6.2 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių [ai] formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.....	52
<b>6.3 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [au] .....	53
<b>6.4 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių [au] formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.....	54
<b>6.5 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ei] .....	55
<b>6.6 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių [ei] formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) žodžiai nekirčiuoti.....	56
<b>6.7 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „EU“ .....	57
<b>6.8 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „EU“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, b) dvibalsiai nekirčiuoti.....	58
<b>6.9 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „IE“ .....	59
<b>6.10 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „IE“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.....	60
<b>6.11 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „UI“ .....	61
<b>6.12 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „UI“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) žodžiai nekirčiuoti .....	61
<b>6.13 pav.</b> “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „UO“ .....	62
<b>6.14 pav.</b> “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „UO“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.....	63

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. W. Jassemo pateiktos D. Joneso kardinalinių balsių $F_1$ ir $F_2$ reikšmės[15] .....	32
2 lentelė. D.Joneso kardinalinių balsių vidurinės dalies formančių reikšmės ir jų vertinimai[15] .....	32



## IVADAS

Šiuolaikiniame technikos pasaulyje vis dažniau naudojama balso technologijos, tokios kaip kalbos atpažinimas, kalbos signalų sintezė. Kalbos sintezės programos naudojamos tokių vartotojų, kurie mėgsta klausytis tekstą, o ne skaityti elektronines knygas monitoriaus ekrane. Tokiu būdu vartotojai saugo savo regėjimą, jie gali išgirsti kaip skamba žodžiai, žodžių junginiai įvairiomis kalbomis.

Kalbos atpažinimas yra susijęs su daugeliu disciplinų, tokių kaip: signalų technologijos, akustika, intonacijos atpažinimas, komunikacija ir informacijos teorija, lingvistika, psichologija, kompiuterių mokslas, fiziologija[27].

Pirmąjį mechaninį balso sintetorių sukūrė Wolfgang von Kempelen'as, tai įvyko maždaug 1780 metais. Modernios balso sintezės pradžia 1939m., Niujorke įvykusioje tarptautinėje parodoje buvo pristatytas pirmasis pasaulyje elektromechaninis vokoderis[5]. Dabartiniuose įrenginiuose sintezės ir atpažinimo funkcijas atlieka specializuota elektroninė ir programinė įranga.

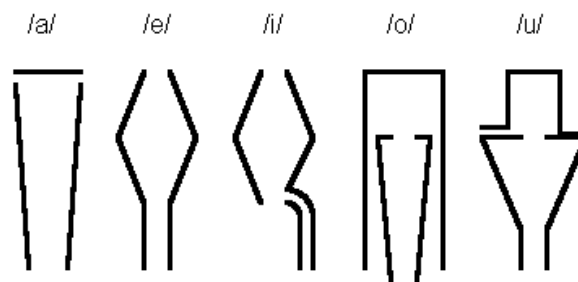
Kalbos sintezė prasideda nuo žodžiais išreikšto teksto suformulavimo, žodžių skaidymo į fonemas, teksto ženklų analizavimo, bei garsų generavimo. Kalbos sintezės pagalba reikiama komanda balsu perskaitoma informacinėje sistemoje teksto pavidalu saugoma informacija. Kalbos sintetoriai generuoja panašius į žmogaus balso stygų sukurtus garsus. Naudojama įvairūs filtri su tikslu imituoti gerklės ir burnos ertmės, lūpų formą, liežuviu padėti. Tačiau sintetoriaus sukurti garsai nėra tokie panašūs į natūraliąją žmogaus kalbą, kaip kad atkurti įrašai.

Lietuvoje dauguma atliktų tyrimų apsiriboja izoliuotų balsių formantų centrinių dažnių ir rezultatų išsibarstymo nustatymu. Sukuriamas  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapis ir nustatomas formantų dažnių skirtumas tarp skirtingų balsių [19]. Lietuvos mokslininkų, prof. P. Kėmešiaus, dr. A. Rudžioniaus, doc. dr. L. Lipeikos, darbai susiję su lietuvių kalbos ir garsų analize, sinteze ir atpažinimu.

Šio darbo tikslas susipažinti su garsų sintezės istorija, apžvelgti kas jau yra padaryta. Susipažinti su kalbos organais ir pagrindiniais kalbos generavimo principais. Apžvelgi formantų gavimo būdus. Susipažinti su kalbos signalo generavimo modeliais. Išanalizuoti dvibalsių spektrogramas.

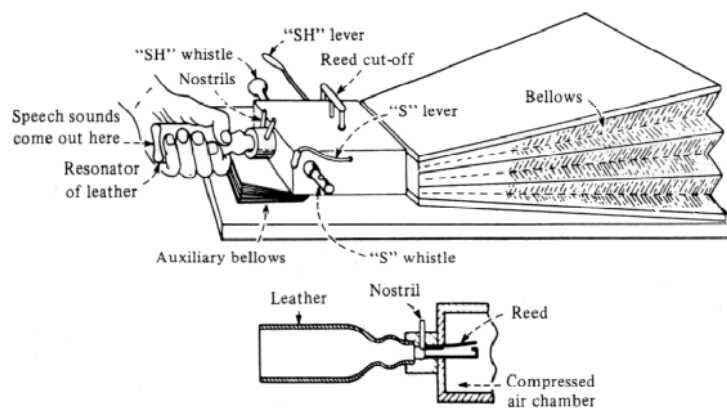
## 1. GARSŲ SINTEZĖS ISTORIJA IR DABARTIS

Rusų profesorius C. Kratzenstein 1779 m. Peterburge paaiškino fiziologinį skirtumą tarp penkių ilgų balsių (/ a /, / e /, / i /, / o / ir / u /). Jis sukūrė aparatą jiems gaminti dirbtinai. Aparatas sudarytas iš akustinių rezonatorių, panašių į žmogaus vokalo takus, ir kaip muzikos instrumentuose aktyvuota rezonatoriaus vibravimo nendre. Pagrindinės struktūros rezonatorius pavaizduotas 1.1 pav.



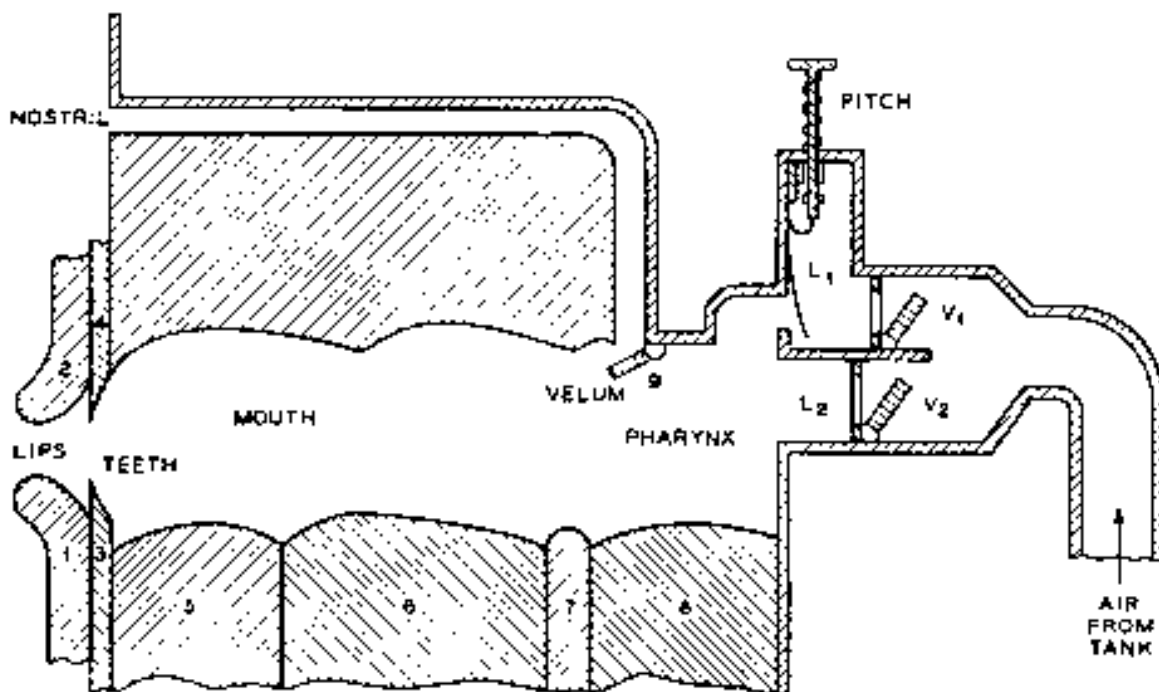
1.1 pav. Kratzenstein's rezonatorius

Po keletos metų savo „kalbėjimo mašiną“ pristatė von Kempelen. Jo sukurta „kalbėjimo mašina“ galėjo skleisti garsus ir kai kuriuos garsų derinius. Von Kempelens savo darbą pradėjo prieš Kratzenstein maždaug 1769 metais. Po 20 metų mokslinių tyrimų, jis išleido knygą, kurioje aprašė savo tyrimus apie žmogaus kalbos gamybą ir bandymus su savo kalbėjimo mašina. Esminis mašinos veikimas buvo slėgis kameroje, kuris atstojė plaučius. Odinis rezonatorius buvo valdomas operatoriaus, bandant kopijuoti balso trakto akustinę konfigūraciją tariant vokalizuos garsus. Vibruojanti nendrė (reed) generavo vibruojančias slėgio bangas ir įvairūs maži švilpukai bei svirtelės (levers) generavo daugumą priebalsių. [16]



1.2 pav. Wheatstone sukurtas von Kempelens kalbanti mašina [16]

R.R. Riesz 1937 m.(JAV) sukūrė prietaisą panašų į Von Kempelen, tačiau jis tiksliau modeliavo žmogaus kalbos generavimo mechanizmą. Įtaisas savo forma primena žmogaus balso trakta. Jis pagamintas daugiausia iš gumos ir metaliniu klavišu, panašiais į trimito. Kalbantis aparatas pagamintas su dešimt valdymo mygtuku (vožtuvais).

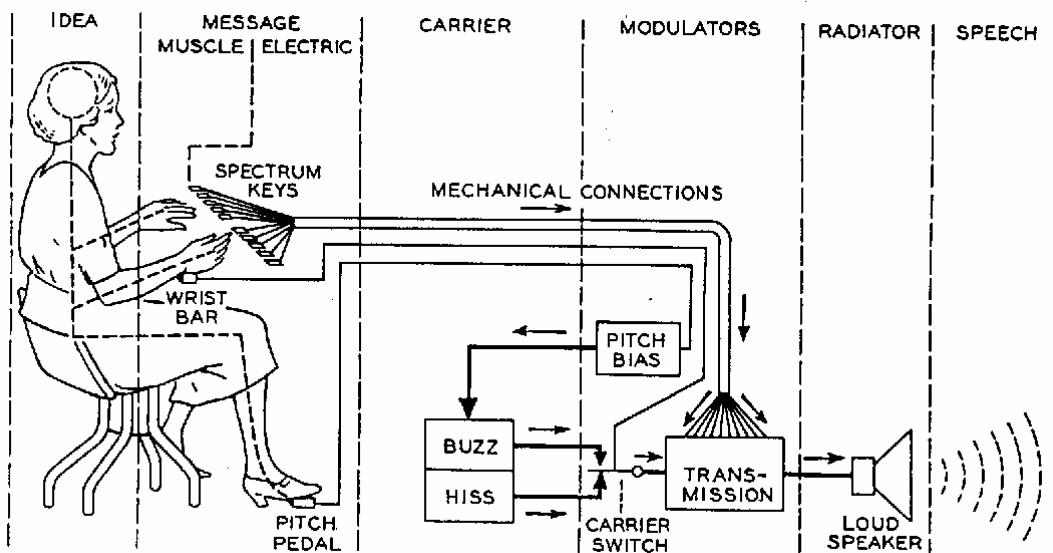


1.3 pav. Riesz sukurtas mechaninis modelis žodžių gamybai [16]

Įtaiso veikimo principas: oro slėgis patenka iš rezervuaro dešinėje. Du vožtuvai, V 1 ir V 2 kontroliuoja srautą. Vožtuvas V-1 pripažįsta, oro kamera, kurioje nendrė L 1 yra fiksuota. Nendrės vibruoja ir pertraukia oro srautą, panašiai kaip balso stygos. Spyrrokuoliniu slankikliu galima reguliuoti nendrių ilgį todėl keičiasi pagrindinis srovės dažnis. Dulsūs garsai gaunami orą įleidžiant per vožtuvą V 2. Balso trakto konfigūracija yra įvairi padedant devyniais nariais: kilnojamos lūpos (1 ir 2), dantys 3 (ir 4), liežuvis (5, 6 ir 7), nosiaryklė (8), ir gomurys (9) [16].

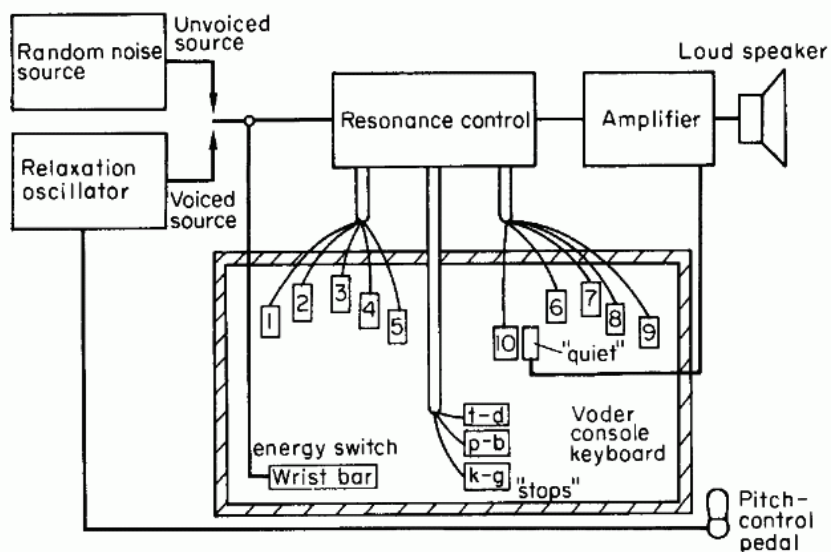
Homer Dudley Niujorke vykusioje pasaulinėje parodoje 1939 metais pristatė kanalinių vokoderį (elektroninis aparatas valdomas žmogaus). Aukštos kvalifikacijos operatorius valdė elektroninį aparatą iš valdymo pulto, kuris buvo panašus į pianino klaviatūrą. Pulte yra elektroninis prietaisas, kuris kalba. Pagrindinė problema buvo operatoriaus apmokymas( tuo metu

jie buvo vadinami „mergaitėmis“). Apmokymai trukdavo nuo šešių mėnesių iki metų, bet daugelis operatorių taip ir neišmokdavo valdyti voderio.



1.4 pav. Voderio valdymo pulto eskizas [17]

Klavišai buvo naudojami sukurti įvairius garsus. Kakliuko klavišas (wrist bar) buvo raktas, kuris nusakydavo ar žadinitas lokalizuotas ar ne. Pagrindinio tono pedalas (pitch pedal) suteikdavo intonacijos informaciją.



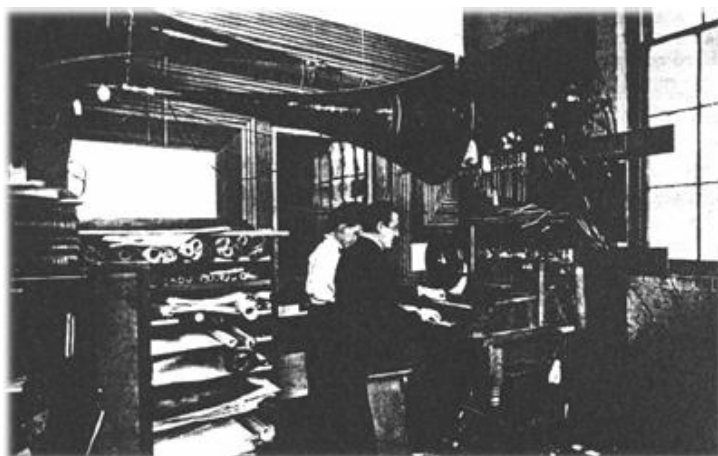
1.5 pav. Voderio valdymas [17]

Klavišai nuo 1 iki 10 valdo atitinkamus sistemos juostinius filtrus. Jeigu du ar trys klavišai budavo nuspausti ir kakliuko klavišas (wrist bar) buvo zvimbimo (buzz) padėtyje, buvo generuojamos balsės ir nosiniai garsai. Jeigu kakliuko klavišas buvo atleidžiamas, garsai, tokie kaip nevoikalizuoti friktyviniai (pvz., “s”), buvo generuojami. Specialus jungikliai buvo naudojami generuoti sprogstamuosius garsus (pvz., “b”, “t”) ar afrikatyvinius garsus (“ch” kaip žodyje cheese; “j” kaip žodyje jaw).

Voderis buvo ypatingas ne tik dėl to, kad jis kalbėjo, bet ir todėl, kad žmogus galėjo būti išmokytas juo naudotis(groti).

Mūsų laikais kalbos sintezė yra atliekama naudojant realaus laiko kompiuterines programas ir daugiausia naudojama atsakančiose balsu sistemose, kuriose sintezatorius paima informacija iš atmintyje saugomo žodyno arba taip vadinamos teksto į kalbą sistemos, kurioje tekstas yra surinktas iš klaviatūros arba elektroniškai nuskaitytas, yra naudojamas valdyti sintezatoriaus parametrus.

20 amžiaus pradžioje Thaddeus Cahill sukonstravo įrenginį, vadinama telharmonium. Jis buvo sukurtas prieš elektronikos atsiradimą. Cahill buvo išradingas, jis suprato jog bet koks garsas gali būti sintezuotas sumuojant sinusoides su atitinkamais dažniais ir amplitudėmis. Kiekviena sinusoidę sukurdamo generatorius. Norint sukurti įdomią muziką, reikėjo daug tokių generatorių ir taip pat daug papildomos įrangos. Rezultate gavosi monstras, sveriantis maždaug septynias tonas [8].



**1.6 pav.** Telharmonium [8]

Cahill-o adityvios sintezės koncepcija iki šiol yra svarbi savybė daugumoje elektroniniu muzikos sintezatorių. (Dauguma vėlesnių sintezatorių naudojo subtractyvią sintezę, kurioje plačiąjuostės žadinimo funkcijos adaptyvi filtracija generuodavo garsą.) Adityvios sintezės koncepcija naudojo Mc Caulay ir Quatieri, 1986 kuriant kalbos analizės-sintezės sistema.

Player piano yra tikrai dalinai muzikinė mašina, kadangi sistemos dalimi turi būti tikras pianinas. Priešingai telharmonium yra tikras sintezatorius, kadangi muzika yra padaroma iš abstraktaus modelio - sinusinio generatoriaus.

Kitas visiškai kitoks, tikras sintezatorius yra thereminas (theremin), pavadintas jo išradėjo ruso Lev Termin vardu. Šioje sistemoje antena yra elektroninio osciliatoriaus grandinės dalis. Judinant ranka netoli antenos dėl grandinės talpumo pasikeitimo keičiasi osciliatoriaus dažnis ir šis kintančio dažnio signalas yra sumaišomas su fiksuoto dažnio osciliatoriaus signalu. Taip sukuriama audio tonai, kurių dažnis keičiamas judinant ranka. Tokiu būdu thereminas generuoja beveik sinusoidinį signalą bet su kintančiu dažniu, kuris gali sukurti pagrindinio tono pojūčius (perceptions), kurie neegzistuoja jokioje standartinėje muzikinėje skalėje. Treniruoto atlikėjo rankose thereminas sukuria nežemiškus garsus, kurie suvokiami kaip kažkokia keistos muzikos rūšis.



**1.7 pav.** Lev Termin sukurtas thereminas (theremin) [10]

Vienas naujausių sintezatorių yra patalpintas i internetinį puslapį [18]. Ši svetainė sukurta naudojant Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto lekt. dr. Pijaus Kasparaičio lietuvių kalbos teksto transkribavimo ir kirčiavimo algoritmą bei Mbrola sintezatoriui pritaikytą fonetinių vienetų bazę, sukurtą Pijaus Kasparaičio ir Vilniaus universiteto Filologijos fakulteto prof. habil. dr. Alekso Stanislovo Girdenio. Balso sintezavimui naudojamas Mbrola [11] sintezatorius, sukurtas Faculte Polytechnique de Mons Universiteto mokslininkų. Svetainę programavo bei patalpino internete Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto studentas Andrejus Abrosimovas. “Lietuviškai kalbanti” svetainė, skirta pademonstruoti lietuvių kalbos sintezės pritaikymo galimybes internete. Sistema yra toliau kuriama, dirbama prie teksto skaitymo kokybės gerinimo. Šios svetainės sandara ir naudojimas labai paprastas. Į laisvą “lango” vietą įvedus vieną ar kelis žodžius ir paspaudus atitinkama mygtuką, sugeneruojamas garsinis signalas. Galima pasirinkti kelius tarimo grečius bei tono lygi. Atitinkamai pasikeičia ir generuojamas signalas.

## 2. KALBOS ORGANAI IR PAGRINDINIAI KALBOS GENERAVIMO PRINCIPAI

Kalba – itin sudėtingas procesas, jos išmokstama per gana ilgą laiką. Pradedantysis kalbėti nuo mažumės išmoksta girdėti, pamėgdžiodamas – ištarti, vėliau – emociškai nuspalvinti tariamus žodžius, tinkamai perduoti mūsų jausmus. Neretai čia kyla problemų, neretai žmogus negali sklandžiai ištarti kai kurių raidžių, mikčioja. Jei kūdikį supa ne žmonės, jis girdi, pavyzdžiui, gyvulių keliamus garsus, augdamas jis taip pat išmoks tarti panašius garsus (Mauglio fenomenas), o vėliau, patekęs tarp žmonių, jų kalbos gali ir neišmokti.

Neretai tarp mūsų pasitaiko ir įprastų kalbos garsų suformuoti ir kalbėti negalinčių žmonių – nebylių. Nebylumą lemia keletas veiksnių. Gali būti organinės (dėl organų pažeidimų) ir psichogeninės kilmės nebylumas. Nebylumas dažniausiai būna kartu su kurtumu (dažniausiai – dėl vidinės ausies patologijos), tai vadinamieji kurčėnyliai. Vaikai tada gimsta kurti ar apkursta tuoj po gimimo ir vėliau kalbėti nebeišmoksta.

Žmogaus balsas yra garsas, kurį skleidžia žmogus, naudodamas gerklėje esančias balso klostes (balso stygos). Balso klostės, prisidedant liežuviui, dantims ir lūpoms, gali sukurti daug įvairių skirtingų garsų. Ypač tai pastebima kalboje, kur smulkūs niuansai balse gali iš esmės pakeisti sakomo teiginio reikšmę. Tai gali būti tiek smulkūs pakitimai individualiuose garsuose, tiek ir bendras tonas, kuriuo kalbama, kuris gali parodyti, jog ištarta frazė yra klausimas, nors to nesimato gramatiškai, taip pat išreikšti kalbėtojo požiūrį apie kalbėjimo objektą.

Žmogaus balsas yra sudėtingas instrumentas ir turi labai plačias galimybes. Balso klostės gali įsitempti ir atsipalaiduoti, keisti savo storį, oras gali būti iškvepiamas per jas įvairiu slėgiu, liežuvio, lūpų ir dantų padėtis gali koreguoti garsą, krūtinės ir gerklės forma bei įvairių raumenų įtempimas taip pat gali pakeisti balsą. Kiekvienas iš šių veiksnių atitinkamai keičia balso aukštį, tembrą, garsumą ar toną. Toliau minimi registrai remiasi išgaunamo balso aukščiu.

Krūtinės balsas. Tai dažniausiai kasdieninėje kalboje naudojamas registras. Kalbant galima jausti vibraciją krūtinėje, tarsi balsas eitų iš ten, kadangi krūtinėje yra didžiausios ertmės žmogaus kūne. Tai yra žemiausias balso registras, naudojamas, kai dainininkai dainuoja žemiausias natas savo balso diapazone. Dažniausiai dainavimas krūtine apibūdinamas kaip



sodrus, pilnas, tačiau gali būti ir užspaustas. Dauguma profesionalių dainininkų gali lengvai kontroliuoti savo balsą šiame registre, tačiau dainininkams mėgėjams gali iškilti problemų.

Tarpinis balsas. Tarpiniu balsu vadinama atkarpa natų, kuriose balsas pereina iš krūtinės į galvą. Tai gali būti ir staigus šuolis (it. *passaggio* arba *perėjimas palaipsniui*). Profesionalai dainininkai dažniausiai gali pasipraktikavę pasirinkti, ar dainuoti šias natas krūtinės, ar galvos balsu.

Galvos balsas. Dažniausiai galvos balsas yra naudojamas tada, kai mes šaukiame ar esame susijaudinę. Jam būdingi aukštesnio dažnio garsai, kurie labiau rezonuoja ne krūtinėje, o burnoje ir veido ertmėse. Dainininkai naudoja galvos balsą aukščiausiomis savo diapazono natoms išdainuoti. Galvos balsas dažniausiai įvardinamas kaip švelnus, lyriškas, švarus, tačiau labai dažnai jis būna silpnas, sunkiai kontroliuojamas.

Falcetas. Falcetu vadinamas dar aukštesnis balsas nei galvos. Lengviau pastebėti, kada falcetu dainuoja vyras nei moteris. Dainuoti falcetu nėra labai sunku, kadangi virpa tik balso klosčių sienelės. Dažniausiai falcetas būna labai silpnas, išskyrus tuos atvejus, kai kvėpavimo traktas rezonuoja ir sustiprina garsą. Falcetas ganėtinai skiriasi nuo galvos balso ir dauguma dainininkų nenaudoja falceto kalbėdami. Vyrų, kuriems falcetas yra įprastas galvos balsas, t. y. po brendimo laikotarpio neišnyksta galimybė dainuoti aukšto registro gaidomis, vadinami kontratenorais.

Flażioletas (švilpimo registras). Švilpimo registras (dar vadinamas flażioletu, flażioleto registru ar švilpimo tonu) yra aukščiausias registras, kurį gali pasiekti žmogaus balsas. Flażioletas - garsas aukštesnis už galvos balsą ir falcetą. Šis registras yra specifinis vien tik savo fiziologija. Švilpimo tonas taip vadinamas todėl, kad išgaunamų natų tembras beveik sutampa su švilpimu, kurį girdime paprastai. Dažniausiai visos moterys (ir altai, ir sopranai) gali dainuoti šiame registre, tik tam reikalingas specialus treniravimasis ir didelis darbas. Vaikai taip pat gali fonuoti švilpimo registre, vyrai - tik labai retais atvejais.

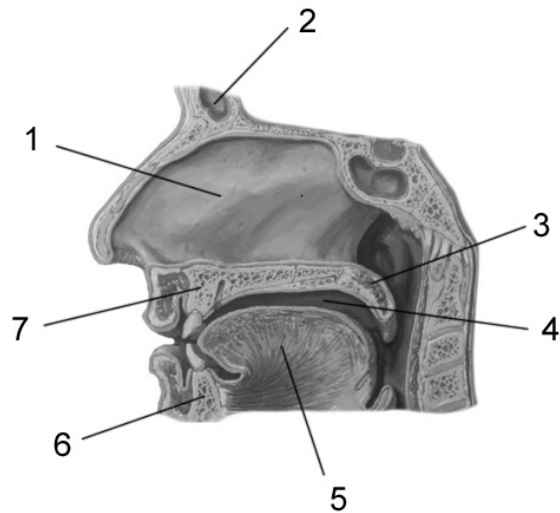
## 2.1 Kalbos organai

**Nosies ertmė.** Nosis – pradinė kvėpavimo takų dalis, taip pat ir uoslės analizatoriaus dalis. Nosies ertmėje oras yra sušildomas, sudrėkinamas, mechaniškai sulaikomos smulkios dulkės, čia taip pat yra uoslės receptoriai. Nosies pertvara dalija ją į dvi dalis, kurios paprastai nėra simetriškos [31].

Nosies ertmę sudaro išorinės ir vidinės nosies tuštuma. Jos priekinė dalis, atitinkanti išorinę nosį, vadinama nosies priangiu. Nosies priangį iškloja oda, šnervėse auga plaukai, kurie apvalo įkvepiamą orą. Užpakalinius du nosies ertmės trečdalius iškloja gleivinė, padengta virpamuoju epitelium, kuriame gausu liaukinių ląstelių. Nosies ertmės gleivinė nuolat išskiria gleivių, kurios sulipina su oru patenkančias dulkeles ir mikroorganizmus. Nosies gleivinėje yra uodžiamoji sritis, išsidėsčiusi viršutinėje nosies ertmės dalyje, ir apatinėje, kvėpuojamoji, sritis. Gleivinėje daug kraujagyslių. Skiriamos apatinė, viršutinė ir dvi šoninės nosies ertmės sienos, jas sudaro kaukolės kaulai [21].

Apatinė siena yra panaši į siaurą lovėlį, ją sudaro kaulinis gomurys. Čia atsiveria kandinis kanalas. Vidinė siena yra kaulinė nosies pertvara, susidariusi iš norago ir akytkaulio stačiosios plokštelės. Šoninė siena stovi aplamai sagitalinėje plokštumoje, bet truputį įstrižai, apačioje šiek tiek atitoldama nuo vidurinės plokštumos. Ryšium su tuo nosinės ertmės apačia yra platesnė. Šoninė siena yra sudėtingiausios formos, nes ji labai nelygi ir sudaryta iš daug kaulų: akytkaulio labirinto, viršutinio žandikaulio kūno ir kaktinės ataugos, ašarikaulio, apatinės nosies kriauklės, gomurikaulio stačiosios plokštelės, pleištakaulio sparninės ataugos. Čia iškilusios viršutinė, vidurinė ir apatinė nosies kriauklės paverčia nosies ertmę į ištįsą plyšinių landų sistemą. Nosies ertmę nosies pertvara dalija į dvi puses.

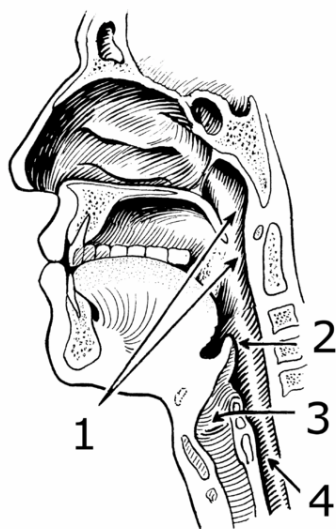
1. Nosies pertvara
2. Kaktinis sinusas
3. Antgerklis
4. Burnos ertmė
5. Liežuvis
6. Apatinis žandikaulis
7. Viršutinis žandikaulis



**2.1 pav.** Nosies ertmė [31]

**Ryklė.** Ryklė (lot. pharynx) – yra bendra virškinimo sistemos ir viršutinių kvėpavimų takų dalis, todėl atlieka dvejopą funkciją: ja maistas slenka iš burnos ertmės į stemplę, taip pat oras iš nosies arba burnos ertmės patenka į gerklas ir gerklę. Ryklė – tai atviro iš priekio ir suploto piltuvėlio formos 12 – 15 cm ilgio vamzdelis. Prasideda nuo kaukolės pamato, kur ji plačiausia 4 – 6 cm, susiaurėdama tęsiasi žemyn ir ties 6 – 7 kaklo slanksteliu pereina į stemplę. Priešais ryklę iš viršaus žemyn yra nosies ertmė, burna ir gerklos, jos šonuose – kraujagyslių ir nervų pluoštas, užpakalyje – kaklinė stuburo dalis. Skiriami trys ryklės aukštai: viršutinis – nosiaryklė tęsiasi nuo nosinių ryklės angų iki minkštojo gomurio liežuvėlio (kvėpavimo organas), vidurinis – burninė ryklės dalis išsidėsto tarp gomurio liežuvėlio ir viršutinio gerklų krašto (kvėpavimo takų ir virškinamojo kanalo susikryžiavimo vieta) ir apatinis – gerklinė ryklės dalis tęsiasi nuo viršutinio gerklų krašto iki stemplės. Į viršutinį ryklės aukštą atsiveria nosies ertmė bei ausies trimito anga, į vidurinį – burnos ertmė. Apatiniame ryklės aukšte kryžiuojasi kvėpavimo takai ir virškinamasis kanalas. Ryjant liežuvio šaknis nulenkia antgerklį, uždaro kvėpavimo takus, ir maisto kąsnis nuslenka į stemplę.

1. Ryklė
2. Antgerklis
3. Gerklos
4. Stemplė



2.2 pav. Ryklė [3]

**Ryklės raumenys**, (lot. musculi pharyngis) skirstomi į išilginius, keliamuosius ir žiedinius, sutraukiamuosius raumenis. Pirmoje grupėje yra gomurys ir ylinis ryklės raumenys. Ylinis ryklės raumuo prasideda nuo smilkinkaulio ylinės ataugos ir, nusileidęs žemyn, įsipina į vidurinio ryklės trečdaliao sieną. Kartu susitraukdami, šie raumenys pakelia ryklę. Žiedinių raumenų yra trys. Tai viršutinis, vidurinis ir apatinis ryklės sutraukiamieji raumenys. Viršutinis ryklės sutraukiamasis raumuo susideda iš trijų dalių. Viena prasideda nuo sparninės pleištakaulio ataugos. Kita – nuo tarpraumeninės siūlės ir trečia – nuo apatinio žandikaulio poliežuvinės linijos. Raumeninės skaidulos nuo prisitvirtinimo vietų eina horizontaliai į šonus ir, apsupusios ryklę iš visų pusių, susitinka su priešingos pusės skaidulomis, sudarydamos ryklės siūlę. Vidurinis ryklės sutraukiamasis raumuo susidaro iš dviejų dalių, kurios prasideda nuo poliežuvinio kaulo didžiojo rago ir nuo mažojo rago. Raumens skaidulos nuo prasidėjimo vietų diverguoja ir, apjuosusios ryklę iš visų pusių, pereina užpakalyje į ryklės siūlę. Viršutinis raumens kraštas uždengia viršutinio ryklės sutraukiamojo raumens apatinį kraštą. Apatinis ryklės sutraukiamasis raumuo susideda iš dviejų dalių ir prasideda nuo skydinės ir žiedinės gerklų kremzlių, uždengia apatinį vidurinio ryklės sutraukiamojo raumens kraštą ir pasibaigia ryklės užpakalyje, pratęsdamas žemyn ryklės siūlę [29].

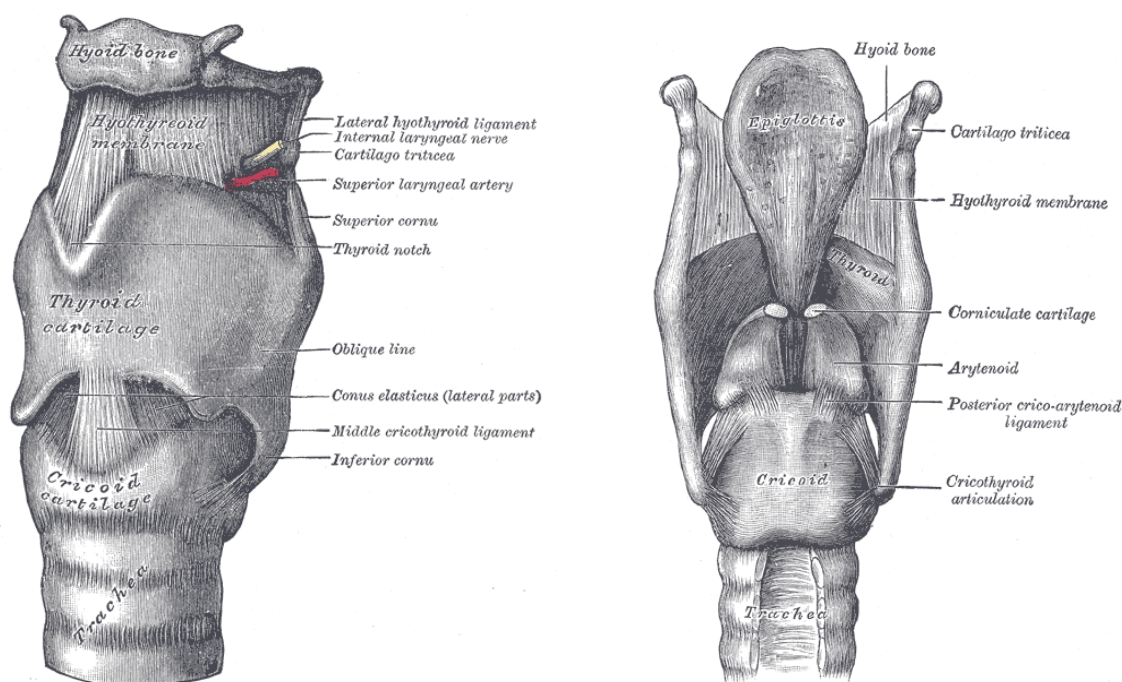
**Burnos ertmė.** Burna prasideda burnos plyšiu, kurį riboja viršutinė ir apatinė lūpos. Skiriamos burnos prieangis ir burnos ertmė. Burnos prieangis – tai siauro vertikalaus plyšio formos ertmė, kurią iš priekio riboja lūpos, iš šonų – skruostai, o iš užpakalio – dantinės žandikaulių ataugos, dantenos ir dantys. Burnos ertmę iš viršaus riboja gomurys, iš apačios – virš poliežuvinio kaulo esantys raumenys, iš priekio ir šonų – dantinės žandikaulių ataugos, dantenos ir dantys. Užpakalyje ji baigiasi žiotimis, kurios jungia burnos ertmę su rykle. Gomurys atskiria burnos ertmę nuo nosies ertmės. Skiriamas kietasis ir minkštasis gomurys. Kietąjį gomurį sudaro gomurinės viršutinio žandikaulio ataugos bei horizontaliosios gomurikaulių plokštelės, kurias dengia gleivinė. Minkštąjį gomurį sudaro skersaruožiai raumenys ir jungiamasis audinys. Jo laisvasis kraštas pasibaigia nedidele žemyn nutįsusia atauga – gomurio liežuvėliu. Minkštasis gomurys užima trečdalį gomurio [21].

**Liežuvis.** Liežuvis – dalyvauja mechaniškai apdorojant maistą, vertinant jo skonį, padeda jį nuryti. Taip pat, liežuvis yra ir garsų artikuliacijos padargas. Skiriamos šios dalys: šaknis (lot. radix linguae) ir kūnas (corpus linguae). Liežuvį sudaro skersaruožis raumeninis audinys. Šis audinys skirstomas į dvi grupes - savuosius ir skeletinius. Savieji raumenys prasideda ir baigiasi liežuvyje, o skeletiniai prasideda nuo aplinkinių kaulų ir baigiasi liežuvyje. Liežuvyje yra du jungiamojo audinio dariniai prie kurių tvirtinasi jo raumenys, tai - liežuvio pertvara ir liežuvio aponeurozė. Pertvara yra neištisinė ir nesiekia nei nugarinio paviršiaus nei liežuvio viršūnės, aponeurozė eina horizontaliai po gleivine arčiau nugarinio paviršiaus. Liežuvio laisvojoje dalyje yra skonio jutimo receptorių, todėl jo paviršius šiurkštus. Liežuvio kūno ir šaknies riboje išsidėstę siūliniai, lapiniai, grybiniai, kūginiai ir pyliminiai speneliai. Prie burnos dugno apatinis liežuvio paviršius susietas pasaitėliu, kurio ilgis ir forma turi reikšmės tariant kalbos garsus. Abipus pasaitėlio atsiveria poliežuvinės ir pažandinės seilių liaukos.

**Balso aparatas.** Žemiau gerklų prieangio ertmė susiaurėja, sudarydama balso aparatą. Į jį patenkama per prieangio plyši, kurį apriboja prieangio raukšlės. Balso aparatą sudaro balso raukšlės ir tarp jų esąs balso plyšys (rima glottidis). Balso plyšys, ramiai kvėpuojant, yra smailo trikampio formos, kalbant susiglaudžia ir išsiplečia tik styginė plyšio dalis, o tarp kremzlinė lieka dar mažesnės trikampio formos. Kiekvienoje gerklų pusėje, tarp prieangio ir balso raukšlės, yra nedidelė plyšio formos kišenė, kuri vadinama gerklų skilveliu. Už balso plyšio gerklų ertmė praplatėja; tai apatinė dalis, kuri betarpiškai pereina į gerklę.

**Gerklos.** Gerklos (lot. larynx) - tai priekinėje kaklo srityje esantis neporinis 3,5-4,5 cm ilgio vamzdelis, jungiantis ryklę su gerkle. Gerklos be kvėpavimo funkcijos, atlieka ir balso produkavimo funkciją - jose yra balso aparatas. Jų griaučiai - kremzlės, kurias jungia raiščiai ir sąnariai.

Tarp gerklų kremzlių yra raumenys, kurie judina kremzles viena kitos atžvilgiu. Priekiniame kaklo paviršiuje, ypač vyrų, matyti iškyšulys, vadinamas Adomo obuoliu (prominentia larynqea). Gerklos prasideda IV kaklo slankstelio lygyje ir tęsiasi žemyn, per 3 slankstelius. Taigi ties VI kaklo slanksteliu gerklos betarpiškai pereina į gerklę. Jos yra žemiau poliežuvinio kaulo, simetriškoje sagitalinėje plokštumoje. Užpakalyje gerklų yra ryklė ir pradinė stemplės dalis, o iš šonų - stambios kaklo kraujagyslės ir nervai. Iš priekio gerklas dengia kaklo oda, podinis kaklo raumuo ir raumenys, esantieji žemiau poliežuvinio kaulo. Gerklos yra įsuptos į priešgerklinę kaklo fasciją. Jos puriuoju jungiamuoju audiniu suaugusios su aplinkiniais organais ir todėl gana paslankios. Juda ryjant, kvėpuojant ir judinant galvą bei kaklą.



**2.3 pav.** Gerklų kremzlės ir jungtys, priekinis (kairėje) ir užpakalinis (dešinėje) vaizdas [14].

Skydinė kremzlė yra didžiausia, ji sudaro priekinę ir šonines gerklų sienas. Ji susideda iš dviejų keturkampių plokštelių, kurios priekyje jungiasi kampu. Nuo užpakalinio plokštelių krašto kyla du viršutiniai ir leidžiasi du apatiniai skydinės kremzlės ragai. Pastarieji sąnariais jungiasi su žiedine kremzle. Prie skydinės kremzlės viršutinio krašto raištine jungtimi jungiasi antgerklis ir poliežuvinis kaulas.

Žiedinė kremzlė yra žemiau skydinės. Ją sudaro priekinė, žemesnioji dalis – lankas ir plati, plokščioji, užpakalinė plokštelė, kurios viršuje yra sąnariniai paviršiai, sujungiantys ją su vedeginėmis kremzlėmis. Ant išorinio kremzlės paviršiaus, tarp lanko ir plokštelės, yra sąnarinis paviršius, tarp lanko ir plokštelės, yra sąnarinis paviršius, kurio ji jungiasi su skydinės kremzlės apatiniais ragais. Apatinis žiedinės kremzlės kraštas jungiasi su gerkle.

Antgerklis kremzlė – tai lapelio formos kremzlė, išgaubta iš priekio ir įgaubta iš užpakalio. Apatinė sulaibėjusi jos dalis – stiebelis – raištine jungtimi jungiasi su skydine kremzle. Ryjant antgerklis nusileidžia ir užtveria įėjimą į gerklas.

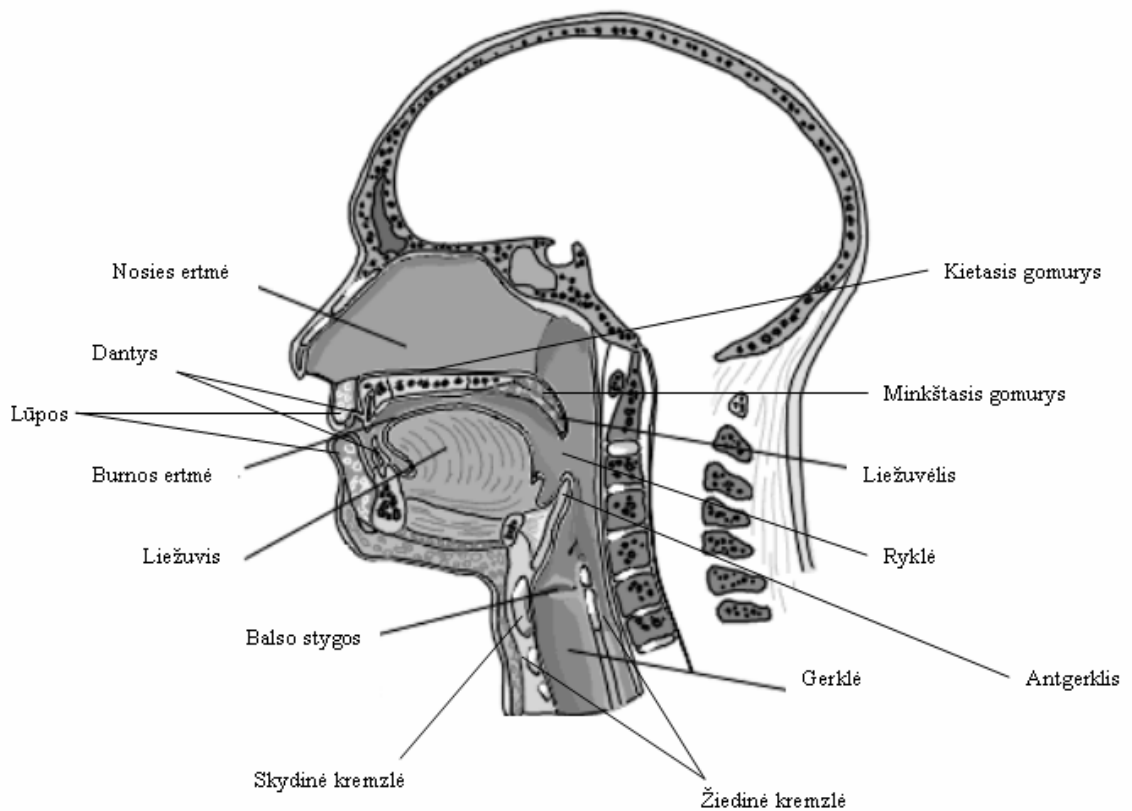
Vedeginės kremzlės yra piramidės formos ir turi dvi ataugas – balsinę ir raumeninę. Nuo balsinių ataugų prasideda dešinioji ir kairioji balso stygos, kurios tęsiasi pirmyn, kerta gerklų ertmę ir prisitvirtina prie skydinės kremzlės kampo vidinės pusės. Prie raumenų ataugų tvirtinasi kremzlės judinantys ir jas fiksuojantys raumenys.

Gerklų raumenys yra skersaruožiai. Jie skirstomi į tris grupes: plečiančius ir siaurinančius balso plyšį, keičiančius balso stygų būklę.

Skiriama viršutinė, vidurinė ir apatinė gerklų ertmės dalys. Sudėtingiausia yra vidurinė dalis, kurioje yra balso aparatas. Gerklų gleivinė apatinėje prieangio dalyje sudaro kairiąją ir dešiniąją prieangio raukšles, tarp kurių susidaro prieangio plyšys. Žemiau gerklų gleivinė, užeidama ant balso stygų, sudaro dvi balso raukšles. Tarp dešinės ir kairės pusės balso raukšlių susidaro balso plyšys. Tarp prieangio ir balso raukšlių yra įdubimas – gerklų skilvelis. Tai garso rezonatorius. Sudarant balsą pagrindinis vaidmuo tenka balso raukšlėms, kurių gilumoje yra balso raištis ir raumuo.

## 2.2 Pagrindiniai kalbos generavimo principai

Kalba produkuojama plaučių, gomurio su balso stygomis ir artikuliacinio trakto, tai yra, burnos ir nosies ertmių, sąveikoje. Kalbos signalas yra burnos trakto reakcija į vieną ar daugiau žadinimo signalų. Todėl būtina atskirti šaltinį – žadinimo signalą, nuo filtro -kintančio laike burnos trakto, nagrinėti balso, nosies traktus, burnos ertmę, šnekėti apie ryklės, minkštojo gomurio, ir artikuliatorių, prie kurių priskiriam žandikaulį, lūpas, gomurį, liežuvį ir dantis, vaidmenį kalbai. Kaip garsas gimsta, galim pamatyti panagrinėję 2.4 pav. pavaizduotą žmogaus kalbos organų pjūvį.



2.4 pav. Žmogaus kalbos organų pjūvį.[9]



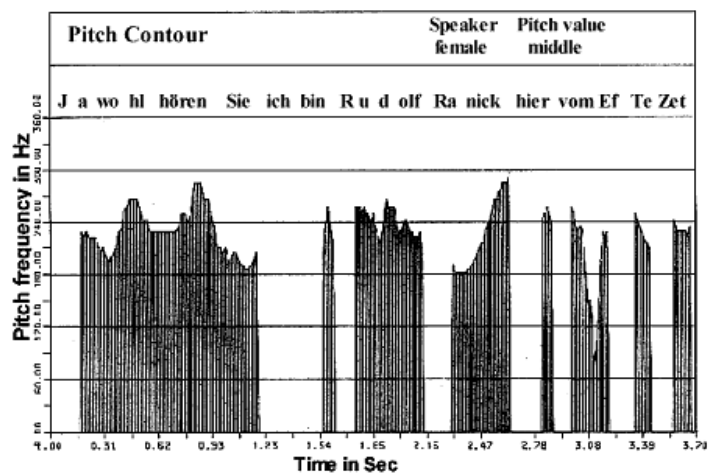
Plaučiai pro antgerklį stumia orą, balso stygos vibruoja, jos iškreipia oro srovę ir sukelia impulsus. Toliau šie impulsai praleidžiami per gerklės, burnos ir galimai nosies ertmes. Ir priklausomai nuo įvairių artikuliacijų (smakro, liežuvio, minkšto gomurio, lūpų, burnos) padėties yra sukuriami įvairūs garsai.

Artikuliaciniai yra svarbūs todėl, kad būtent jų dėka keičiasi burnos trakto forma, o tuo būdu keičiasi ir pats garsas. Artikuliaciniai judėdami ir įvairiai keisdami savo vietą burnos trakte veikia burnos trakto susiaurėjimą, o tuo pačiu ir balsių, priebalsių, bei begarsių garsų, tokių kaip trinamieji-frikatyviniai garsai pokyčius. Pavyzdžiui, burnos trakto susiaurėjimas skatina triukšmo susidarymą oro tėkmėje, tuo būdu skatinant trinamųjų garsų, šnypštimo, ir kitų priebalsių susidarymą. Nevokalizuotiems sprogtamiesiems garsams susidaryti tam tikroje burnos trakto vietoje yra sudaroma aklina pertvara, ir tik po tam tikro laiko tarpo oras staigiai išleidžiamas. Staigus oro išleidimas sukuria trumpalaikį sproginimą. Taigi priklausomai nuo įvairių artikuliacijų padėties yra sukuriami įvairūs garsai.

Slėgio impulsai, gauti vibruojant balso stygomis, paprastai yra vadinami garso impulsais, o slėgio signalo dažnis vadinamas garso dažniu arba pagrindiniu dažniu. 2.5 pav. pavaizduota tipinė impulsų seka (garso slėgio funkcija) sukelta balso stygų tariant vokalizuojamą garsą. Bet tai tik dalis garso signalo. Kai mes kalbam pastoviu garso dažniu, kalbos garsai yra monotoniniai, bet paprastai seka nuolatinių dažnio pasikeitimai. Kaip garso dažnis kinta pavaizduota 2.6 pav.



2.5 pav. Tipinė impulsų seka. [9]



2.6 pav. Dažnio svyravimai. [9]

Garso impulsai stimuliuoja orą burnoje, o tam tikriems garsams (pvz., nosiniams) taip pat ir nosies ertmėje. Kai ertmės rezonuoja, jos spinduliuoja garso bangą, kuri ir yra kalbos signalas. Abi erdvės veikia kaip rezonatoriai su charakteringais rezonanciniais dažniais, vadinamais formantės dažniais. Kol burnos ertmė gali būti transformuojama, mes galim išstarti labai daug skirtingų garsų.

### 2.3 Lietuvių kalbos garsų dažninė analizė

**Fonetika** (graikiškai *phōne* – „garsas“) yra kalbos garsų mokslas, kalbotyros šaka, tirianti kalbos garsų susidarymą ir jų girdimąsias ypatybes[13].

Fonetikos objektas yra garsai, balsiai, priebalsiai, dvigarsiai, bet ir jų dariniai, skiemuo, kirtis, priegaidė, intonacija.

Kalbos garsinės sandaras nagrinėjimo aspektai yra keli: artikuliacinis, akustinis, funkcinis, ortoepinis. Pagal tai fonetika gali būti skirstoma į artikuliacinę ir akustinę fonetiką (siaurąją prasmę), fonologiją (tiria garsų funkcijas kalboje), ortoepiją (taisyklingos tarties mokslas). Šios dalys yra reliatyviai savarankiškos, jos gali būti atskiros disciplinos.

**Artikuliacinė fonetika** (lot. *articulatio* < *articulo* – aiškiai tariu, skaidau). Ši fonetikos mokslo dalis nagrinėja kalbos padargų veiklą. Kalbos padargai yra valdomi centrinės nervų sistemos impulsų. Kadangi psichomotoriniai procesai mažai ištirti, artikuliacinė fonetika iš esmės grindžiama periferinių kalbos padargų veiklos analize.

Pagrindiniai kalbos padargai yra balso stygos, liežuvis (jo priešakinė, vidurinė, užpakalinė dalis), lūpos, priešakiniai dantys, alveolės (dantenos), kietasis ir minkštasis gomurys. Kalbos garsų susidarymui svarbios yra burnos, nosies, ryklės ertmės. Į jas oras patenka iš plaučių pro bronchus, trachėją, gerklas. Tačiau pastarieji kvėpavimo organai nelemia garsų skiriamųjų požymių.

**Akustinė fonetika** (gr. *akustikos* – girdimasis). Jos objektas – kalbos padargų sukelti virpesiai. Akustinę fonetiką dar galima būtų skirti į dvi dalis: fizinę ir psichinę. Fizinė akustinė fonetika nagrinėja fizinius kalbos virpesius, o psichoakustinė fonetika – tų virpesių jutimą, suvokimą.

Daugelį akustinių požymių galima nustatyti iš oscilogramų. Oscilografu užrašytų kreivių pasikartojantys žemų dažnių svyravimai rodo pagrindinį toną, amplitudė – intensyvumą, ilgis – trukmę. Oscilogramose atsispindi ir kokybės (tembro) ypatybės, tik jas gana sunku analizuoti. Į sudedamuosius virpesius kalbos garsai suskaidomi spektrografu. Balsių (iš dalies ir pusbalsių) spektrogramose išryškėja būdingieji dažniai, vadinami formantėmis. Svarbiausios yra dvi pirmosios formantės, sutrumpintai žymimos F1 ir F2. Pirmoji formante (F1) esti 250 - 900 Hz, o antroji formante (F2) – 400 - 2400 Hz diapazone. Triukšmo spektras yra platus, be ryškesnių formančių.

**Fonologija** (gr. *phone* – garsas, *logos* – mokslas). Jos tikslas – nustatyti fonetinių elementų funkcionavimą kalboje. Skiriami dvejopi elementai: segmentiniai ir prozodiniai.

**Ortoepija** (gr. *orthos* – taisyklingas, *epos* – kalba). Tai fonetikos mokslo dalis, kurios uždavinys – nustatyti tarties normas, numatyti galimus jų pažeidimus.

**Lietuvių kalbos balsių fonemos.** Fonemos – mažiausias kalbos segmentas. Fonemos yra pagrindinės sudaromosios kalbos dalys. Atskirai užrašytos ar ištartos fonemos nieko nereiškia, bet sudarydamos junginius virsta reikšmingais žodžiais. Balso akustinį pagrindą sudaro tonai su šiek tiek triukšmo. Balso tonai – tam tikro dažnumo periodiškai pasikartojantys virpesiai. Šlamesiai yra netolygūs, neperiodiški virpesiai. Balsiai turi vieną pagrindinį toną ir keletą ne vienodo aukštumo šalutinių tonų. Šalutiniai tonai vadinami būdingaisiais balsio tonais (obertonais). Pagrindinis tonas – balso stygų sukelti periodiniai oro virpesiai sužadina ryklės,

burnos, kartais ir nosies ertmių rezonansą. Rezonansiniai tonai lemia balsių kokybę- tembrą. Balsiai yra toningiausi, skambiausi garsai.

**Tembro aukštis.** Balsių tembro aukštis priklauso nuo burnos rezonatoriaus. Balsių tembro aukštį rodo antrosios formantės (F2) padėtis spektre: žemo tembro balsių F2 yra žemųjų dažnių (500 – 1500 Hz), aukšto tembro balsių F2 – aukštųjų dažnių (1500 – 2500 Hz) srityje.

**Spektro sklaida.** Antrosios formantės kitimo diapazonas yra labai platus. Balsių aukštutinio pakilimo F2 yra viename arba kitame spektro pakraštyje. Balsių žemutinio pakilimo F2 – priartėjusi prie spektro vidurio. Vidinio pakilimo balsių F2 užima tarpinę padėtį. Pirmoji formantė priklauso nuo ryklės ertmės. Tariant aukštutinio pakilimo balsius, liežuvis būna pakilęs aukštyn ir susiformuoja palyginti ilgas, viršuj susiaurėjęs ryklės vamzdis, kurio rezonansiniai dažniai yra žemi. Atsižvelgiant į abiejų formančių padėtį, galima nustatyti balsių spektro sklaidą.

**Lietuvių kalbos dvibalsės fonemos.** Dvibalsis – dviejų balsinių elementų junginys viename žodžio skiemenyje. Jis prasideda vienu balsiniu elementu ir baigiasi kitu. Šie elementai sudaro neperskiriama junginį. Dvibalsį sudaro minimalios trukmės balsiniai elementai, todėl dvibalsių trukmė apytiksliai lygi ilgujų balsių trukmei. Lietuvių kalba turi 8 dvibalsines fonemas. Dvibalsių yra devyni: ai, au, ei, ie, uo, ui, iš jų trys nelietuviškos kilmės dvibalsiai eu, oi, ou, kurie naudojami tarptautiniuose žodžiuose. Artikuliuojant dvibalsį, kalbos padargai slenka nuo pirmojo balsinio elemento pozicijos, pakeliui sudarydami keletą pereinamųjų balsinių elementų, kol pasiekia antrojo balsinio elemento poziciją.

**Formantų kitimo tyrimų analizė.** Kalboje garsai skirstomi į statinius ir dinامينius. Statinių garsų spektrą iširti nesudėtinga, tokius kaip priebalsiai ar pavienius izoliuotus balsius. Dinامينius garsus iširti sudėtingiau, jų spektras yra nepastovus ir susijęs su kintančiu balso traktu. Dvibalsis yra paprasčiausias dinaminis garsas. Dvibalsio spektre galima stebėti sklandų formantų perėjimą iš vieno dažnio į kitą, jame aiškiai girdimas perėjimas iš vieno dažnio į kitą. Formantų dažniams keičiantis tarp balsių ir pusbalsių skiriasi kitimo greitis. Balsiui pereinant į priebalsį arba atvirkščiai egzistuoja spartūs spektro pokyčiai, kurie iškyla dėl kliūčių balso trakte. Tokiu atveju fiksuojamas F<sub>1</sub> formanto dažnio pažemėjimas. Formantų F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> pokyčiai priklauso nuo artikuliacijos.

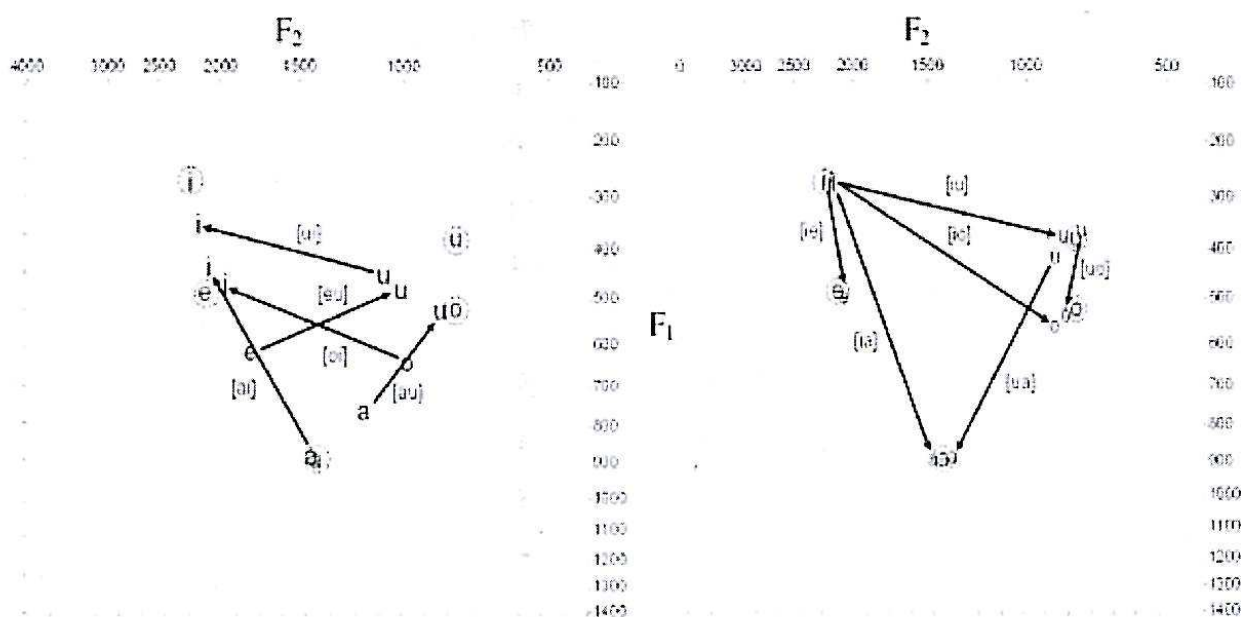
Moksliniuose darbuose tyrinėjamas centrinis izoliuotų balsių formantų dažnis ir rezultatų išsibarstymas. Sukuriamas  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapis ir nustatomas formantų dažnių skirtumas tarp skirtingų balsių.

Balsių ir dvibalsių formantų dažnių skirtumus dviejuose skirtinguose anglų – australų kalbose savo darbe nagrinėjo Andrew Butcher [2]. Jo tyrime buvo naudojama tik moterų įkalbėti žodžiai, žodžius įkalbėjo 92 studentės. Tyrimo metu buvo nustatomi balsių ir dvibalsių pirmi du formantai ir sudaromi  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapiai. Eksperimento metu tarpusavyje buvo palyginta dviejų skirtingų dialektų balsių  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapiai. Pastebėta jog daugumos balsių formantų dažniai sutampa. Garsų formantų dažniai nesiskiria daugiau nei 5%. Tik balsio [u], kurio  $F_2$  formanto dažnis skiriasi 200 Hz. Didesni skirtumai pastebėti palyginus skirtingų dialektų dvibalsių formantų žemėlapius. Buvo tiriama penki dvibalsiai. Iš jų tik [ai] ir [ei] formantų dažniai buvo panašūs abiejuose dialektuose. Dvibalsyje [oi] skiriasi balsio [o]  $F_1$  formanto dažnis, o balsio [i] dažniai panašūs. Tyrimo metu pastebėta jog dvibalsyje [au] skiriasi abiejų balsių formantai. Dvibalsyje [ou] užfiksuotas didžiausias skirtumas tarp dialektų. Eksperimento metu parodyta jog dvibalsio [ou] pradžios dažniai skiriasi kardinaliai,  $F_1$  skiriasi maždaug 100 Hz, o  $F_2$  net apie 300 Hz. Remiantis tyrimo rezultatais galime teigti, jog dialektas gali įtakoti dalies garsų pagrindinius dažnius.

Kito tyrimo metu buvo įrodyta, kad panaudojus formantus galima atpažinti balsius. Šį tyrimą atliko Macquarie universiteto studentai Catherine I. Watson ir Jonathan Harrington [30]. Tyrimas atliktas australų – anglų kalba. Jame dalyvavo 132 žmonės. Eksperimento metu kiekvienas kalbėtojas įkalbėjo devyniolika skirtingų žodžių. Žodžiai buvo surūšiuoti pagal balsių ir dvibalsių tipus. Balsiuose ir dvibalsiuose pirmi trys formantai buvo analizuojami tarp dviejų laikinų taškų - nuo garso pradžios 20% ir 80% trukmė. Taip buvo pašalinta aplinkinių garsų įtaka. Tyrimo metu nustatyti 11 balsių ir 6 dvibalsių pirmi trys formantai. Eksperimento metu pagal sukurtą metodiką iš garso įrašų buvo bandoma suklasifikuoti balsius, pasinaudojant formantų teikiama informacija ir balsio trukme. Priklausomai nuo garso, teisingai pavyko suklasifikuoti nuo 58,1% iki 98,6% moterų išstartų garsų ir nuo 87,1% iki 100% vyrų išstartų garsų.

Dar vieną tyrimą atliko Cheung Yuk Man savo darbe „An acoustical analysis of the vowels, diphthongs and triphthongs in hakka Chinese“ analizavo balsių, dvibalsių ir tribalsių formantų dažnius. Tyrimo metu taip pat buvo analizuojama kaip keičiasi balsių formantai esant

dvibalsyje ir tribalsyje [23]. Eksperimente dalyvavo dešimt žmonių: penkios moterys ir penki vyrai. Kiekvienas žmogus dalyvavęs tyrime duotus žodžius pakartojo po keturis kartus. Išanalizuotos 5 balsės, 11 dvibalsių, 4 tribalsiai. Tyrime buvo naudojama PRAAT programinė įranga. Tyrimo metu sudarius balsių ir dvibalsių  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapius buvo pastebėta, kad daugumos dvibalsių atskirų dedamųjų  $F_1$  ir  $F_2$  dažniai yra labai panašūs į atskirų balsių, tik dalies dvibalsių abiejų balsių ar vieno iš balsių  $F_1$  ir  $F_2$  yra žemesnio dažnio. Tai pavaizduota 2.7 paveikslėlyje.

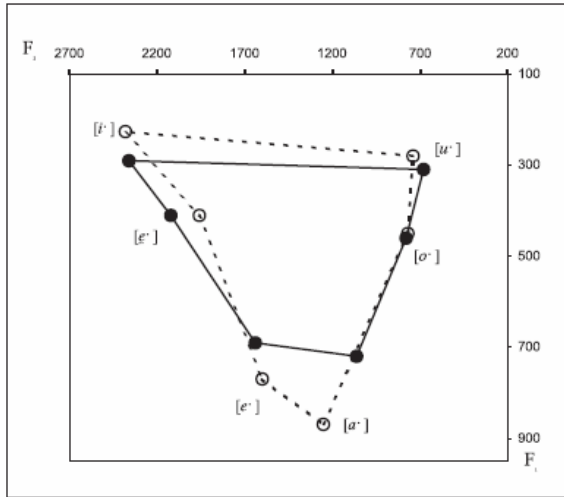


**2.7 pav.** Balsių ir dvibalsių  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapiai [23]

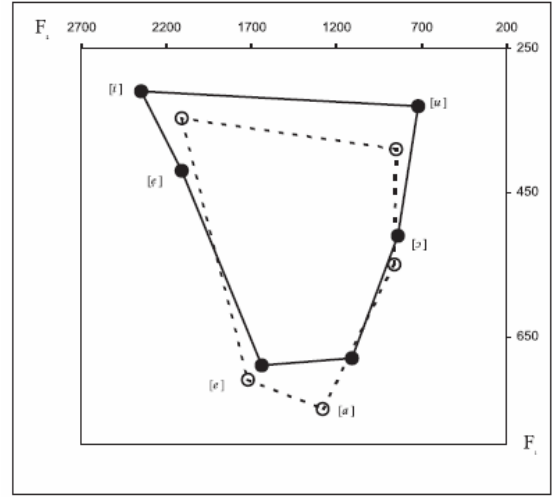
Tyrimo metu buvo lyginama atskirų balsių ir tribalsių  $F_1$  ir  $F_2$  formantų žemėlapiai. Išanalizavus juos buvo pastebėta, kad dalis balsių esančių tribalsiuose, keičia savo formantų dažnius. Tyrimo metu buvo analizuojami keturi tribalsiai, iš jų trijuose yra balsis [i], šio balsio  $F_1$  artėja link balsio [e]  $F_1$  formanto, dėl to šis balsis panašėja į [e]. Dviejuose iš keturių tribalsių įeina balsis [u], juose žymiai keičiasi ir  $F_1$  ir  $F_2$  formantai. Vienu atveju balsė [u] panašėja į balsį [o], kitu atveju balsio [u]  $F_1$  ir  $F_2$  dažniai artėja į balsių trikampio centrą.

Lidija Kaukėnienė tyrinėjo dabartinių baltų bendrinių kalbų balsių spektrus. Savo darbe ji palygino ir aprašė Lietuvių ir latvių bendrinių kalbų izoliuotų balsių akustines ir artikuliacines charakteristikas. Jos darbo tikslas buvo aprašyti lietuvių ir latvių bendrinių kalbų izoliuotų balsių

systemas bei jas palyginti su tokiu pat būdu ištirtu Danielio Joneso kardinalinių balsių akustiniais ir artikuliaciniais požymiais.



a)



b)

**2.8 pav.** Latvių (●) ir Lietuvių (○) kalbų izoliuotų balsių trapecijos a) ilgųjų izoliuotų balsių trapecijos, b) trumpųjų izoliuotų balsių trapecijos. [15]

Vertikaliai  $F_1$  formančių dažniai, horizontaliai  $F_2$  formančių dažniai. Pateiktame (2.8) paveikslėlyje matome atskirų balsių dažnius.

Ilgųjų izoliuotų balsių formančių dažniai:

[a] –  $F_1 = 870$  Hz,  $F_2 = 1250$  Hz,

[i] –  $F_1 = 230$  Hz,  $F_2 = 2380$  Hz,

[u] –  $F_1 = 280$  Hz,  $F_2 = 740$  Hz,

[e] –  $F_1 = 770$  Hz,  $F_2 = 1600$  Hz,

[o] –  $F_1 = 450$  Hz,  $F_2 = 770$  Hz.

Trumpųjų izoliuotų balsių formančių dažniai:

[a] –  $F_1 = 750$  Hz,  $F_2 = 1280$  Hz,

[i] –  $F_1 = 350$  Hz,  $F_2 = 2110$  Hz,

[u] –  $F_1 = 390$  Hz,  $F_2 = 850$  Hz,

[e] –  $F_1 = 710$  Hz,  $F_2 = 1720$  Hz,

[o] –  $F_1 = 550$  Hz,  $F_2 = 890$  Hz.

Izoliuotai tariamas dabartinių baltų kalbų lokalizavimas taip pat palygintas su D. Joneso kardinaliniais balsiais – toks lyginimas leidžia lengiau interpretuoti balsių artikuliaciją ir

akustiką. D. Joneso kardinalinių balsių vidurinės dalies formančių reikšmės ir jų indeksai pateikiami 1, 2 lentelėse. Pirmieji aštuoni balsiai vadinami pirminiais, kiti dešimt – antriniais[15].

1 lentelė. W. Jassemo pateiktos D. Joneso kardinalinių balsių  $F_1$  ir  $F_2$  reikšmės[15]

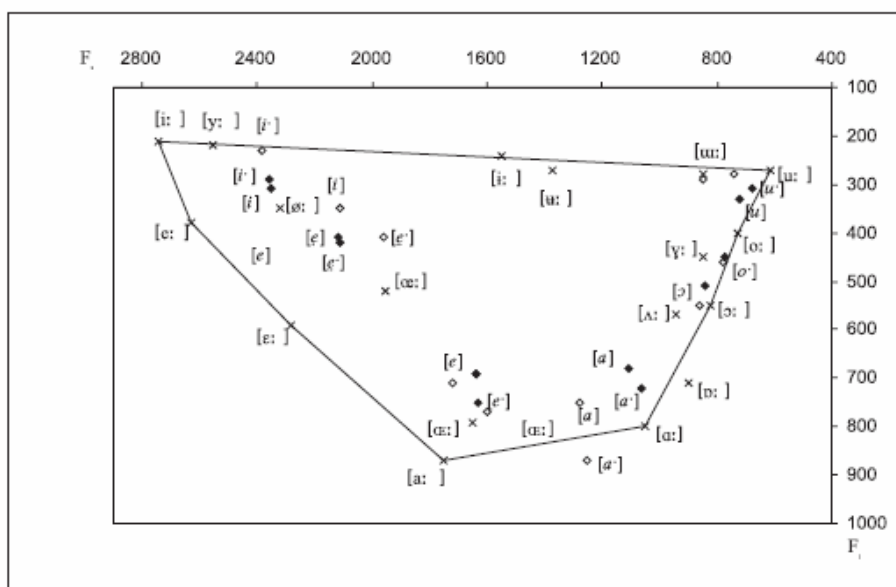
Nr.	Balsis	$F_1$ (Hz)	$F_2$ (Hz)	Nr.	Balsis	$F_1$ (Hz)	$F_2$ (Hz)
1	[i:]	210	2750	10	[ø:]	350	2320
2	[e:]	380	2630	11	[œ:]	520	1950
3	[ɛ:]	590	2280	12	[œ:]	790	1650
4	[a:]	870	1750	13	[ɒ:]	710	900
5	[ɑ:]	800	1050	14	[ʌ:]	570	940
6	[ɔ:]	550	820	15	[ɣ:]	450	850
7	[o:]	400	730	16	[ʉ:]	280	850
8	[u:]	270	615	17	[i:]	240	1550
9	[y:]	220	2550	18	[ʉ:]	270	1370

2 lentelė. D. Joneso kardinalinių balsių vidurinės dalies formančių reikšmės ir jų vertinimai[15]

Nr.	Balsis	$F_1$ (Hz)	$F_2$ (Hz)	$F_3$ (Hz)	$b$	$C$	$T$	$it$
1	[i:]	250	2540	3370	107	694	884	2160
2	[e:]	390	2260	2760	107	764	676	1130
3	[ɛ:]	600	2000	2440	106	833	437	660
4	[a:]	920	1710	2470	104	904	110	660
5	[ɑ:]	810	1070	2690	107	947	-279	930
6	[ɔ:]	590	960	2410	109	910	-188	720
7	[o:]	410	850	2290	112	869	-114	950
8	[u:]	290	700	2240	116	839	-122	1270
9	[y:]	280	2400	3030	107	715	832	1650
10	[ø:]	370	2030	2590	108	767	633	750
11	[œ:]	590	1690	2280	107	846	327	500
12	[œ:]	790	1440	2340	106	902	50	510
13	[ɒ:]	690	980	2660	108	933	-281	870
14	[ʌ:]	580	1190	2380	109	879	11	510
15	[ɣ:]	470	1210	2400	109	846	113	420
16	[ʉ:]	330	1250	2200	112	794	333	720
17	[i:]	300	2100	2600	109	737	752	900
18	[ʉ:]	290	1340	2170	112	770	455	700



Nubraižius bendrus D. Joneso kardinalinių ir dabartinių baltų kalbų balsių grafikus, vaizdžiai matyti balsių santykiai (2.9pav.). Sujungus pirminius kardinalinius balsius, galima pastebėti, kad tiriamųjų kalbų priešakinius ir užpakalinius balsius (W. Jassemo duomenimis) apgaubia pirminiai kardinaliniai balsiai. Tai rodo, kad pirminių kardinalinių balsių artikuliacija išreikšta ryškiau, tačiau atstumai nuo kardinalinių balsių nėra dideli. Matyti, kad pagal W. Jassemo duomenis kardinalinių balsių akustinė erdvė žymiai platesnė negu pagal naujai apskaičiuotus rezultatus. Todėl dabartinių baltų kalbų balsiai brėžinyje (2.9 pav.) labiau koncentruojasi kardinalinių balsių trapecijos viduje [15].



2.9 pav. Kardinaliniai (x), latvių (♦) ir lietuvių(◇) kalbų izoliuoti balsiai (W. Jassemo duomenys) [15]

Literatūrinėje kalboje balsiai [e] ir [i] yra priešakinės eilės, juos tariant visas liežuvis pasistumia į priekį. Liežuvio galiukas remiasi į apatinius dantis, o liežuvio vidurinė dalis pakyla prie kietojo gomurio, tuo metu liežuvis liečia gomurio pakraščius. Priešakinėje balso vamzdžio dalyje susidaro nedidelis rezonatorius, o užpakalinėje susidaro gana didelis.

Balsiai [u], [o] ir [a] yra užpakalinės eilės balsiai, tariant juos liežuvis atsitraukia nuo priešakinių apatinių dantų, tuo metu užpakalinė liežuvio dalis šiek tiek pakyla prie minkštojo gomurio. Priešakinėje balso vamzdžio dalyje susidaro gan didelis rezonatorius, kitaip nei užpakalinėje – susidaro nedidelis rezonatorius.

Taip pat liežuvis užimdamas vieną iš dviejų horizontalių padėčių, keičia padėtį ir vertikaliai – kyla prie kietojo gomurio. Liežuvio padėties kitimas vertikaliai skirstomas į tris pakilimo balsius:

- a. Aukštutinio pakilimo balsiai [u] ir [i]. Lietuvių kalboje tariant balsį [u] liežuvio užpakalinė dalis būna pakilusi aukštai link minkštojo gomurio ir kartu liečia užpakalinės dalies krašteliu. Balsis [i] artikuliuoja liežuvio vidurinę ir priešakinę dalį aukštai pakilus prie kietojo gomurio. Liežuvio kraštai plačiai liečiasi su kietojo gomurio vidurinės ir priešakinės dalies kraštais.
- b. Vidutinio pakilimo balsiai [e] ir [o] tariami ne taip aukštai pakėlus liežuvį, todėl prie gomurio liečiamasis plotas yra mažesnis. Atviriausias priešakinės eilės vidutinio pakilimo balsis yra [e]. Užpakalinės eilės balsis [o] uždaresnis.
- c. Žemutinio pakilimo balsis [a]. Jį tariant burna būna plačiai atidaroma, o liežuvis tuo metu visiškai nesiliečia prie kietojo gomurio.

Burnos atvirumas yra susijęs su liežuvio pakilimu. Kuo žemesnio pakilimo balsis, tuo burna būna atviresnė. Dėl to aukštutinio pakilimo balsiai dažnai vadinami uždara (siauraisiais), o žemutinio pakilimo balsiai – atvirais (plačiaisiais). Todėl pagal lūpų artikuliaciją, nuo kurios priklauso priešburnio rezonatoriaus didumas, balsiai dar skirstomi į lūpinius ir nelūpinius.

- a. Lūpiniai balsiai [u] ir [o] tariami į priekį atkištomis, suapvalintomis lūpomis. Taip yra padidinama priešburnio rezonatorius. Ilguosius balsius tariant lūpos būna labiau įtemptos, o trumpuosius – mažiau įtemptomis lūpomis ar visai jų neįtemptiant.
- b. Nelūpinius balsius [a], [e], [i] tariant lūpos nesuapvalinamos, neatkišamos į priekį ir nebūna padidintas priešburnio rezonatorius. Tariant priešakinės eilės nelūpinius balsius, lūpos šiek tiek patempiamos į šalis ar atgal, tokiu būdu praplatėja lūpų plyšys. Todėl liežuvio ir lūpų poslinkio kryptis yra priešinga: liežuvis pasislenka į priekį, o lūpų kampučiai atsitraukia atgal.

Tvirtapradiškai kirčiuojamo dvibalsio ilgasis balsis, tariamas intensyviau ir energingiau, stipriai įtemptiant balso vamzdžio raumenis. O tvirtagališkai kirčiuoto dvibalsio ilgasis balsis, tariamas ne taip intensyviai ir energingai kaip pirmasis, tuo pačiu yra mažiau įtempti balso vamzdžio raumenys. Nekirčiuoto dvibalsio ilgasis balsis tariamas mažiau įtemptiant balso vamzdžio raumenis arba visai jų neįtemptiant. Taip pat, balsių tarimui turi reikšmės šalia esantys balsiai ar priebalsiai.

### 3. FORMANTŲ GAVIMO BŪDAI

#### 3.1 Formantai

Formantai – tai kalbos trakto rezonansiniai dažniai, akustinės energijos koncentracija apie tam tikrą dažnį kalbos signale. Garso formantai parodo intensyviausius taškus dažnių juostoje. Standartiškai formantų dažniai išsidėstę maždaug kas 1000 Hz. Jei  $F_1= 300 - 700$  Hz,  $F_2=900 - 1700$  Hz,  $F_3= 2000 - 2700$  Hz,  $F_4= 3000 - 3700$  Hz ir t.t. Formantai kinta tariant skirtingas fonemas. Žmogaus kalboje galima užfiksuoti maždaug apie devynis formantus. Formantai numeruojami nuo žemiausio dažnio. Aukštų dažnių ( $F_6=5000 - 5700$  Hz,  $F_7= 6000 - 6700$ Hz, ir t.t.) formantai yra mažos amplitudės ir yra beveik negirdimi, todėl kalbos analizei naudojami pirmi penki formantai  $F_1 - F_5$ .

#### 3.2 Formantų gavimo metodai

##### 3.2.1 Trumpalaikė Furjė analizė

Trumpalaikė Furjė analizė buvo sukurta norint išvengti problemų tiksliai atvaizduojant signalo dažnines komponentes. Trumpalaikėje Furjė analizėje panaudojamas lango funkcija. Iš signalo paimama trumpa nekintanti laike atkarpa. Lango plotis gali būti įvairus. Siaurame lange geresnė laikinė skyra, bet blogesnė dažninė skyra. Platesniame lange geresnė dažninė skyra, bet blogesnė laikinė skyra. Per daug siaurame lange negalima išskirti dažnio signalo. Lango panaudojimas labai paprastas – kiekviena skaitmeninio signalo reikšmė yra dauginama iš pasirinktos lango funkcijos daugiklio, kurio reikšmė priklauso nuo taško indekso. Lango funkcija parenkama taip, kad daugikliai būtų maži, bet neneigiami skaičiai arti signalo kraštų ir arti indekso reikšmėms, kurios yra arti signalo centro. Kadangi fonemos skaitmeninis signalas „išpjaunamas“ iš kalbos signalo, kraštinės reikšmės yra netikslios fizikine prasme, tokiu būdu išsprendžiama „krašto“ problema. Dažnai fonemų kraštinės yra įtakojamos gretimų fonemų reikšmių, dėl to padidėja tikimybė fonemą atpažinti neteisingai.

Tolydinės trumpalaikės Furjė transformacijos matematinė išraiška pateikiama (3.1) formulėje [7].

$$\text{STFT} \{x(t)\} \equiv X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot w(t - \tau) e^{-j\omega t} dt, \quad (3.1)$$

Čia,  $x(t)$  – transformuojamas signalas,  $w(t)$  – lango funkcija,  $X(\tau, \omega)$  – Furjė transformacija.

Diskrecinės trumpalaikės Furjė transformacijos matematinė išraiška pateikiama (3.2) formulėje [7].

$$\text{STFT} \{x[n]\} \equiv X(m, \omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} x[n] \cdot w[n - m] e^{-j\omega n}, \quad (3.2)$$

Čia,  $x(n)$  – transformuojamas signalas,  $w(n)$  – lango funkcija,  $X(m, \omega)$  – Furjė transformacija. Šiuo atveju  $m$  yra diskretinis dydis,  $\omega$  – tolydus, atliekant transformaciją kompiuterio pagalba abu dydžiai yra diskretiniai.

### 3.2.2 Greitoji Furjė analizė

Greitoji Furjė transformacija – vadinama grupė algoritmų, kurie efektyviai realizuoja signalo transformaciją iš laiko į dažnių sritį. Ji tinka analizuoti tik stacionarius signalus, taip pat ji nesuteikia informacijos apie laiką. Atliekant signalo diskretizavimą, diskretizavimo dažnis turi būti didesnis nei Naivisto kriterijus, siekiant išvengti artefaktų [6].

### 3.2.3 LPC analizė

LPC (Linear Prediction Coding) yra laikoma viena iš galingiausių kalbos analizės metodikų. LPC – tiesinės prognozės analizė yra populiari alternatyva STFT – trumpalaikėi diskretiniai Furjė analizei. Ji yra kaip pagrindas kituose, naujesniuose ir sudėtingesniuose algoritmuose, kurie yra naudojami kalbos parametrų apskaičiuoti, pavyzdžiui, žingsniams, formantams, spektrui, balso traktui ir kalbos atvaizdavimas žemais bitais. LPC metodas labai gerai tinka lokalizuotų garsų analizei, tiksliai atvaizduoja kalbos spektro amplitudę.

LP analizė remiasi prielaida, kad kalbos signalo reikšmę  $s(n)$  laiko momentu  $n$  galima gana tiksliai išreikšti kaip ankstesnių  $p$  laiko momentų reikšmių tiesinę kombinaciją [25].

Tarkime, kad lygtis

$$s(n) \approx a_1 s(n-1) + a_2 s(n-2) + \dots + a_p s(n-p) \quad (3.3)$$

, kur  $a_1, a_2, \dots, a_p$  – pastovūs koeficientai.

(3.3) lygį galima pertvarkyti, įtraukiant sužadino narį  $Gu(n)$ :

$$s(n) = \sum_{i=1}^p a_i s(n-i) + Gu(n) \quad (3.4)$$

, kur  $G$ - stiprinimas,  $u(n)$  – normalizuotas sužadinas.

(3.4) išraiškos  $z$  transformacija bus:

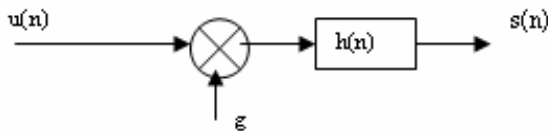
$$S(z) = \sum_{i=1}^p a_i z^{-i} S(z) + GU(z) \quad (3.5)$$

Tokiu būdu, sistemos funkciją gauname:

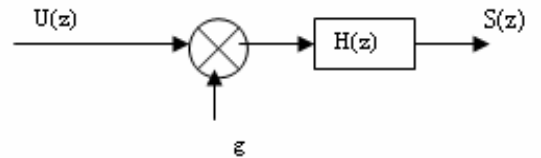
$$H(z) = \frac{S(z)}{GU(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^p a_i z^{-i}} = \frac{1}{A(z)} \quad (3.6)$$

Priklausomybė tarp balsu traktą sužadino signalo  $u(n)$  ir kalbos signalo  $s(n)$  galime pavaizduoti grafiškai 3.1 pav.  $h(n)$  yra sistemos impulsinė reakcija. Ją galima gauti iš  $H(z)$ , panaudojus atvirkštinę  $z$  transformaciją.

a)

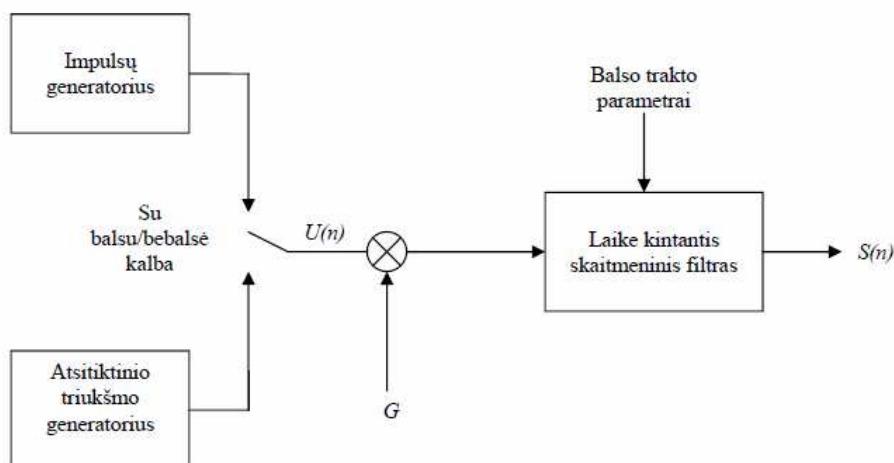


b)



**3.1 pav.** Priklausomybė tarp sužadino signalo ir kalbos signalo a) laiko; b)  $z$  transformacijos srityse. [25]

Pagrindinis tiesinio prognozavimo principas teigia, kad kalba gali būti modeliuojama kaip tiesinės, laike kintančios sistemos išėjimas, kuri sužadina arba periodinių impulsų, arba atsitiktinio triukšmo (3.2 pav.). Šie du akustiniai šaltiniai yra vadinami atitinkamai su balsu ir be balsu. Pagal tai, balsu sklidimas yra generuojamas balsu stygų, einant oro srautui, o bebalsis garsas yra generuojamas tuomet, kai balsu stygos yra atsipalaidavę.



3.2 pav. Apibendrintas kalbos generavimo modelis [25]

Pagrindiniai parametrai gaunami su LPC modeliu yra: su balsu/be balsu klasifikacija, žingsnio periodas, sustiprinimas ir koeficientai  $a_1, \dots, a_p$ . Svarbu tai, kad kuo modelis aukštesnės eilės, tuo geriau modelis atvaizduoja kalbos garsą. Tiesinį prognozavimą su koeficientais  $a_k$  apibūdina daugianaris  $P(z)$ :

$$P(z) = \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} \quad (3.7)$$

, kurio išėjimai yra:

$$\tilde{s}(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (3.8)$$

čia  $\tilde{s}(n)$  – prognozuojama reikšmė. Koeficientai  $a_k$  kinta, kintant kalbos traktui. Jų kitimas yra lėtesnis nei kalbos signalo reikšmių. Todėl nagrinėjamame kalbos signalo intervale juos galima laikyti pastoviais.

Prognozavimo paklaida:

$$e(n) = s(n) - \tilde{s}(n) = s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (3.9)$$

Tai yra sistemos  $A(z) = 1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}$  išėjimai, ir jei  $a_k = a_k$ , tokiu atveju  $H(z) = \frac{G}{A(z)}$ .

Pagrindinis tikslas yra gauti koeficientus  $a_k$  tam, kad būtų galima sumažinti prognozavimo klaidingumo kvadratą trumpuose kalbos kadru segmentuose ( paprastai 10 – 30 ms).

Trumpalaikis prognozavimo klaidingumas kadru aprašomas:

$$E_n = \sum_m e_n^2(m) = \left[ s_n(m) - \sum_{k=1}^p a_k s_n(m-k) \right]^2 \quad (4.0)$$

, kur  $s_n(m)$  – kalbos segmentas, paimtas iš kaimyninio mėginio  $n$ :  $s_n(m)=s(m+n)$ . Koeficientų  $a_k$  reikšmės, minimizuojančios prognozavimo klaidingumą  $E_n$ , gaunamos atsižvelgiant į  $\frac{dE_n}{da_i} = 0$ ,  $i= 1, 2, 3, \dots, p$ .

Tada:

$$\sum_m s_n(m-i)s_n(m) = \sum_{k=1}^p a_k^i \sum_m s_n(m-i)s_n(m-k), \quad 1 \leq i \leq p \quad (4.1)$$

,kur  $a_k^i$  –  $a_k$  reikšmės, kurios minimizuoja  $E_n$ .

Pažymint  $\phi_n(i, k) = \sum_m s_n(m-i)s_n(m-k)$ , (4.1) formulę galima užrašyti:

$$\sum_{k=1}^p a_k \phi_n(i, k) = \phi_n(i, 0), \quad i = 1, 2, 3, \dots, p \quad (4.2)$$

Tai yra  $p$  lygčių sistema su  $p$  kintamaisiais, kuri sprendžiama segmentui  $s_m$  ieškant  $a_k$  koeficientų. Taip galima įrodyti, kad:

$$E_n = \sum_m s_n^2(m) - \sum_{k=1}^p a_k \sum_{k=1}^p s_n(m-k) \quad (4.3)$$

Supaprastinus:

$$E_n = \phi_n(0,0) - \sum_{k=1}^p a_k \phi_n(0, k) \quad (4.4)$$

Tada apskaičiavus  $E_n(i, k)$  reikšmes, kai  $1 \leq i \leq p$ ,  $1 \leq k \leq p$ ,  $a_k$  koeficientai gaunami sprendžiant (4.2) lygybę. (4.4) lygčių sistemą galima spręsti keliais metodais:

- Autokoreliacijos metodu
- Kovariacijos metodu

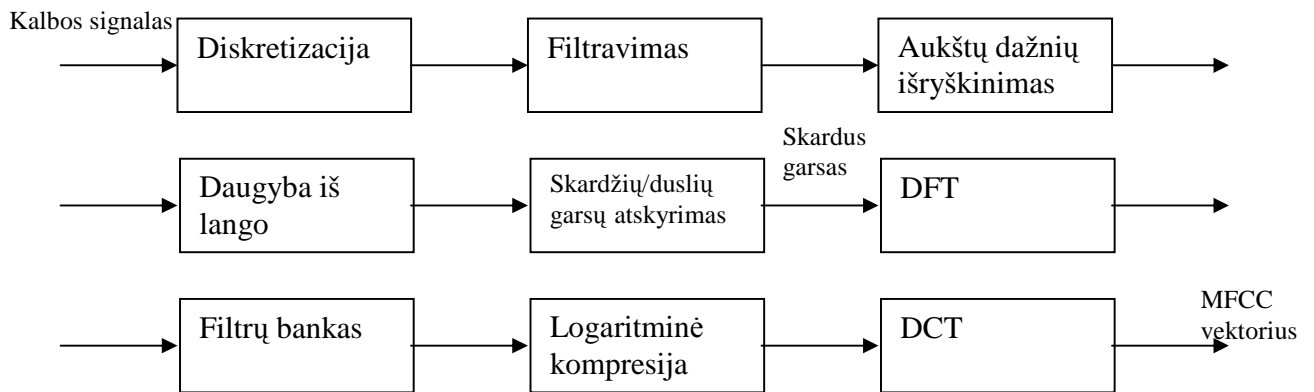
Autokoreliacinis metodas. Kalbos signale esant triukšmo dedamajai, spektro pikai neaštrus, susilieja ir dažnai nepavyksta patikimai rasti formantų trajektorijų. Kartais gretimi formantai susilieja ir išskyla jų numeracijos problema. Autokoreliacinis metodas geras tuo, kad LP modelio parametrus rasti naudojama autokoreliacinė matrica ir dėl jos savybių nežinomiems

parametrms rasti galima taikyti skaičiavimo apimties požiūriu efektyvu, rekurentinį Durbino algoritmą.

Kovariacinis metodas. Kovariacinis metodas taiko kitą lango funkcijos naudojimo būdą – fiksuojamas intervalas, kuriame yra skaičiuojama kvadratinė klaida. Šiuo atveju kalbos signalas nedauginamas iš lango funkcijos. Naudojant šį metodą gauta kovariacinė matrica yra simetrinė. Kovariacinis metodas skaičiavimo požiūriu yra daug imlesnis ir todėl rečiau naudojamas.

### 3.2.4 MFCC

MFCC – melų skalės kepstro koeficientai. Šis metodas dažniausiai naudojamas akustinių parametrų kalbos ar kalbėtojo atpažinimui. MFCC kalbos suvokimą sieja su kalbos dažniu.



3.3 pav. MFCC koeficientų apskaičiavimo blokinė schema

Pirmiausiai atliekamas aukštesnių dažnių išryškimas, sekantis žingsnis – kalbos signalą perleisti per aukštų dažnių filtrą.

$$s_2(n) = s(n) - a \cdot s(n-1), \quad (4.5)$$

čia  $s_2(n)$  išėjimo signalas. Filto  $z$  – transformacija:

$$H(z) = 1 - a \cdot z^{-1} \quad (4.6)$$

Aukštesnių dažnių išryškimo esmė – kompensuoti aukšto dažnio nuslopinimą, tariant žodžius. Šio proceso metu yra sustiprinamas aukštesnių formantų svarba.



Pakoreguotas kalbos signalas susegmentuojamas į 20 – 30 ms atkarpas, kurios padengia vieną kita per  $1/3 \dots 1/2$  savo ilgio.

Norint, kad signalas būtų tolydus, kiekvieną atkarpą reikia padauginti iš lango funkcijos reikšmių išreikštų lygybėmis. Sekantis žingsnis, kiekvienai atkarpai atliekama Furjė transformacija. FFT atliekama norint gauti kalbos signalo amplitudės įvairių dažnių. Atliekant Furjė transformaciją signalas, esantis atkarpoje, turėtų būti periodinis ir tolydus. Bet pasitaiko, kad ši sąlyga netenkinama, tokiu atveju norint sumažinti neigiamas pasekmes signalo atkarpos pradžioje ir pabaigoje, atkarpa dauginama iš lango. Daugyba iš lango atliekama prieš trumpalaikę Furjė transformaciją.

Tyrinėjant kalbos signalus svarbesnė charakteristika yra spektro gaubtinės. Norint gauti spektro gaubtinę, naudojami trikampiai juostiniai filtrai. Spektro amplitudė atskirai dauginama iš 20 trikampių juostinių filtrų, tokiu būdu gaunamas kiekvieno trikampio filtro logaritminės energijos išraiškos. Trikampiai juostiniai filtrai išsidėstę melų dažnio skalėje.

Trikampiai filtrai reikalingi, kad sumažintų harmonikų skaičių ir sugltonintų spektrą. Sekantis atliekamas veiksmas – diskrecinė kosinusinė transformacija. Transformacija atliekama signalo logaritminiam spektrui, kuris gaunas po filtravimo trikampaiais juostiniais filtrais[32]. Po transformacijos gaunamas L skaičius melų skalės keptrinių koeficientų.

MFCC pagrindu yra sukurta daug formantų gavimo metodikų.

### **3.3 Formantų kitimas**

Formantų kitimas – neišvengiamas reiškinys. Formantų kitimo priežasčių yra daug: garso aplinka, kirčiavimas, garso ilgumas, individualus žmogaus tarimas, intonacija, asimiliacijos, žodžių susilieėjimai [28].

Koartikuliacija ir redukcija – reiškiniai kuriuos gali sukelti garso aplinka. Koartikuliacija – garsų akustinės realizacijos priklausomybė nuo šalia esančių fonemų. Redukcija – balsio supanašėjimas, virtimas kitu balsiu. Kirčiavimas – keičiantis garso intensyvumui, keičiasi formantų dažniai. Garso ilgumui įtakos turi formantų dažnis, tokių pat, tik skirtingo ilgio garsų formantų dažniai skiriasi. Individualus žmogaus tarimas – kiekvienas žmogus tą patį žodį gali ištartti skirtingai.

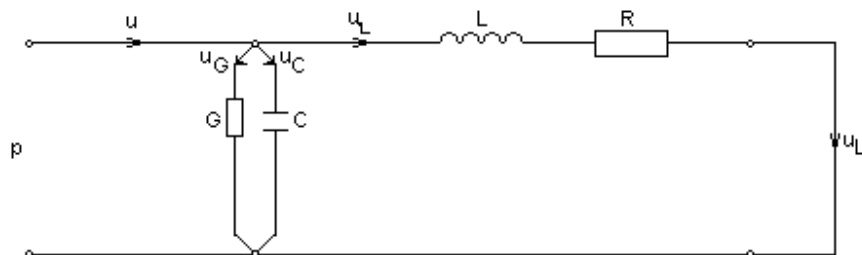
## 4. KALBOS SIGNALO GENERAVIMO MODELIAI

### 4.1 Tiesinės kalbos trakto modelis

Kalbos traktą sudaro tarsi aštuoni akustiniai vamzdžiai. Jo skerspjūvis nuolatos kinta. Tam tikrame laiko intervale atskirus trakto impulsus galime laikyti pastovaus skerspjūvio akustiniu vamzdžiu, kurį dažnai vadiname elementariu akustiniu vamzdžiu.

Kai į vamzdį patenka oro srautas, susidaro inercijos jėgos, proporcingos oro masei ir srauto pagreičiui. Energijos nuostoliai proporcingi trinties į vamzdžio sienelės srauto greičio kvadratui, o nuostoliai dėl šilumos laidumo per sienelės yra proporcingi greičio slėgio kvadratui.

**Elementarus akustinis vamzdis.** Elementaraus akustinio vamzdžio schema yra parodyta 4.1 pav. (čia  $L$  – akustinis induktyvumas,  $R$  – akustinė varža,  $C$  – akustinis talpumas,  $G$  – akustinis laidumas). Tokia ekvivalentinė schema gerai atspindi vamzdžio akustines savybes dažniu diapazone, kol bangos ilgis yra daugiau 8 l ( $l$  – vamzdžio ilgis) [26].



4.1 pav. Akustinio vamzdžio ekvivalentinė schema. [26]

**Akustinis induktyvumas „L“.** Akustinė inercija vamzdžio ilgio vienetui:

$$L_a = \frac{\rho}{A} \left[ \frac{\text{kg} / \text{m}^3}{\text{m}^2} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-5} \right], \quad (4.1)$$

$\rho = 1.14 \text{ kg/m}^3$  – oro tankis,

$A$  – vamzdžio skerspjūvis.

**Akustinė varža „R“.** Akustinė varža – nuostoliai dėl trinties į vamzdžio sienelės, proporcingi  $u^2$ . Ekvivalentinė paviršiaus varža  $R_a$  vamzdžio ilgio l vienetui išreiškiama (4.2) formule:

$$R_a = \frac{s}{A^2} \sqrt{\frac{\omega \rho \mu}{2}} \left[ kg \cdot m^{-5} \cdot sek^{-1} \right], \quad (4.2)$$

$\mu = 1.86 \cdot 10^{-7}$  nsek/m<sup>2</sup> – vidinis trinties koeficientas,

$\omega$  – oro greičio kampinis dažnis l kryptimi,

$s$  – vamzdžio perimetras.

**Akustinis talpumas.** Ekvivalentinis akustinis talpumas, elastingumas, priklauso nuo suspausto oro tūrio, kuris yra l ilgio vamzdyje. Akustinis talpumas vamzdžio ilgio vienetui:

$$C_a = \frac{A}{\rho c^2} \left[ \frac{m^2}{kg \cdot m^{-3} \cdot m^2 s^{-2}} = kg^{-1} \cdot m^3 \cdot s^2 \right], \quad (4.3)$$

čia:

$c = 3.5 \cdot 10^2$  m/s – garso sklidimo greitis.

**Akustinis laidumas „G“.** Ekvivalentinis laidumas sudaro energijos nuostolius. Šie nuostoliai yra proporcingi lokalinio garso slėgio kvadratui, jie priklauso nuo vamzdžio sienelių šilumos laidumo. Akustinis laidumas vamzdžio ilgio vienetui:

$$G_a = s \frac{\eta - 1}{\rho c^2} \sqrt{\frac{\lambda \omega}{2 c_p \cdot \rho}} \left[ kg^{-1} \cdot m^3 \cdot s \right], \quad (4.4)$$

$\eta = 1.4$  orui normaliuose sąlygose. – specifinės šilumos prie pastovaus slėgio santykis su specifine šiluma esant pastoviam tūriui,

$\alpha = 23.03 \cdot 10^{-3}$  W/m<sup>0</sup>C – šilumos laidumo koeficientas,

$c_p = 1005$  J/kg<sup>0</sup> C (1atm) – specifinis oro šilumos talpumas esant pastoviam slėgiui.

Ekvivalentinė akustinio vamzdžio schemos lygis, kurioje kintamuosius išreiškiame aplaso vaizdais:

$$\begin{cases} P(p) = \frac{1}{G} \cdot U_G(p) \\ P(p) = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{P} \cdot U_C(p) \\ P(p) = U_L(p)(R + pL) \end{cases} \quad (4.5)$$

Lygtis išsprendžiame srautų atžvilgiu:

$$\begin{cases} U_G(p) = P(p) \cdot G \\ U_C(p) = pCP(p) \\ U_L(p) = \frac{1}{R + pL} P(p). \end{cases} \quad (4.6)$$

Susumavę srautu, gauname:

$$U(p) = U_G(p) + U_C(p) + U_L(p) = P(p) \left( G + pC + \frac{1}{R + pL} \right). \quad (4.7)$$

Iš (4.7) formulės gauname akustinio vamzdžio impedanso išraišką:

$$Z(p) = \frac{P(p)}{U(p)} = \frac{R + pL}{(G + C_p)(R + pL) + 1} = \frac{R + L_p}{LC \left( p^2 + \frac{RC + LG}{LC} p + \frac{1 + RG}{LC} \right)}. \quad (4.8)$$

Įvedame laiko konstantės parametą:

$$\begin{aligned} LC &= T^2 [s^2] \\ RC &= T_c [s] \\ \frac{L}{R} &= T_L [s] \end{aligned}$$

Pertvarkome (4.8) formulę, įrašydami laiko konstantės parametą:

$$Z(p) = R \cdot \frac{(1 + T_L p) \cdot \frac{1}{T^2}}{p^2 + \frac{T_c + T_G}{T^2} p + \frac{1 + RG}{T^2}} \quad (4.9)$$

Išsprendžiame charakteringąją lygtį:

$$p^2 + \frac{T_c + T_G}{T^2} p + \frac{1 + RG}{T^2} = 0. \quad (4.10)$$

Gauname charakteringosios lygties šaknų išraišką:

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2} \frac{T_C + T_G}{T^2} \pm \frac{1}{T} \sqrt{\frac{1}{4} \frac{(T_C + T_G)^2}{T^2} - (1 + RG)}. \quad (4.11)$$

Jei pošaknis yra neigiamas :

$$\frac{1}{4} \frac{(T_C + T_G)^2}{T^2} < 1 + RG,$$

Tokiu atveju šaknys yra kompleksinės jungtinės:

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2} \frac{T_C + T_G}{T} \cdot \frac{1}{T} \pm j \frac{1}{T} \sqrt{(1 + RG) - \frac{1}{4} \frac{(T_C + T_G)^2}{T^2}}.$$

Įvedus standartinius parametrus gauname:

$$\omega = \frac{1}{T} \left[ \frac{1}{s} \right] = 2\pi \cdot \frac{1}{T} \left[ \frac{\text{rad}}{s} \right] = 2\pi f_0 \left[ \frac{\text{rad}}{s} \right],$$

,kur

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \left[ \frac{1}{s} = \text{Hz} \right].$$

yra dinaminės grandies rezonansinis dažnis, o

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{T_C + T_G}{T}$$

yra akustinio vamzdžio santykinis slopinimas.

Tokiu būdu, elementaraus akustinio vamzdžio charakteringosios lygties šaknų išraiška įgauna įprastą švytuojančios grandies formą:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm j\omega_0 \sqrt{(1 + RG) - \xi^2} \quad (4.12)$$

Kai laidumą galima paneigti,  $G = 0$ , gauname:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm j\omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}. \quad (4.13)$$

Turime idealų akustinį vamzdį be nuostolių.

## 4.2 Nuoseklus kalbos trakto modelis

Tarkim kalbos traktą sudaro 8 skirtingos sritys – akustinės dinaminės grandys, sujungtos nuosekliai [26]. Tokiu atveju kalbos trakto ekvivalentinė perdavimo funkcija yra lygi dinaminių grandžių perdavimo funkcijų sandaugai:

$$G(z) = \prod_{k=1}^8 G_k(z) = \prod_{k=1}^8 h_k \frac{b_k + b_{k_1} z^{-1} + b_{k_2} z^{-2}}{1 + a_{k_1} z^{-1} + a_{k_2} z^{-2}} = \prod_{k=1}^8 h_k \frac{(z - z_{k_1}^0)(z - z_{k_2}^0)}{(z - z_{k_1})(z - z_{k_2})}, \quad (4.14)$$

čia poliai yra:

$$z_{k_1} = -e^{-\delta_k T} e^{-j\omega_k T}, \quad z_{k_2} = e^{-\delta_k T} e^{j\omega_k T};$$

o koeficientai:

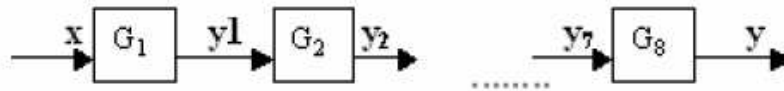
$$z_{k_1} = -(z_{k_1} + z_{k_2}) = -2e^{-\delta_k T} \cos \omega_k T = -2 \operatorname{Re} z_k;$$

$$a_{k_2} = z_{k_1} \cdot z_{k_2} = e^{-2\delta_k T} = |z_k|^2;$$

$$h_k = 1, \quad b_{k_0} = 1;$$

$$b_{k_1} = -(z_{k_1}^0 + z_{k_2}^0) = -(e^{-\delta_k T} \cos \omega_k T + 1);$$

$$b_{k_2} = z_{k_1}^0 \cdot z_{k_2}^0 = e^{-\delta_k T} \cos \omega_k T;$$

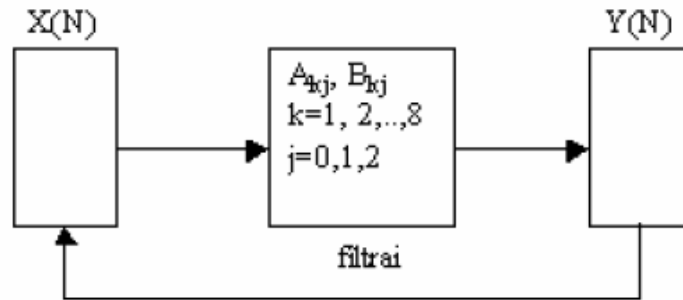


4.2 pav. Nuosekliaus modelio struktūra

Nuoseklių dinaminių grandžių junginį sudaro rekurentinių skirtuminių lygčių sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1[nT] = \sum_{j=0}^2 b_{1j} x[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{1j} y_1[(n-j)T] \\ y_2[nT] = \sum_{j=0}^2 b_{2j} y_1[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{2j} y_2[(n-j)T] \\ \dots\dots\dots \\ y_k[nT] = \sum_{j=0}^2 b_{kj} y_{k-1}[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{kj} y_k[(n-j)T] \\ \dots\dots\dots \\ y_7[nT] = \sum_{j=0}^2 b_{7j} y_6[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{7j} y_7[(n-j)T] \\ y[nT] = \sum_{j=0}^2 b_{8j} y_7[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{8j} y[(n-j)T] \end{array} \right. \quad (4.15)$$

Rekursinė algoritmo struktūra gerai tinka išspręsti šiai lygčių sistemai.



4.3 pav. Nuoseklaus modelio algoritmo struktūra [21]

### 4.3 Lygiagretus kalbos trakto modelis

$m$  – tosios eilės skirtuminė lygtis bendru atveju sutrumpintai išreiškiama:

$$\sum_{i=0}^m a_i y[(n-i)T] = \sum_{i=0}^r b_i x[(n-i)T] \quad (4.16)$$

Koeficientas  $a_0 = 1$ , o lygtis suteikiama rekurentine forma:

$$y[nT] = \sum_{i=0}^r b_i x[(n-i)T] - \sum_{i=1}^m a_i y[(n-i)T] \quad (4.17)$$

Ši lygtis parodo, jog ji rekursyvinė: jeigu žinome  $m$  ankstesnių išėjimo signalo reikšmių  $y[(n-1)T]$ ,  $y[(n-2)T]$ ,....., $y[(n-m)T]$  ir  $r+1$  ankstesnių įėjimo signalo reikšmių  $x[nT]$ ,  $x[(n-1)T]$ ,....., $x[(n-r)T]$ , tai galime paskaičiuoti naują išėjimo signalo reikšmę.

Bendrą sprendinį  $y[nT]$  priklausomai nuo įėjimo signalo sekos ir nuo sistemos parametrų gauname, naudodamiesi  $z$  - transformacijos metodu, kuriuo natūraliai įvedamos pradinės sąlygos.

Sprendinys priklausomai nuo pradinių sąlygų ieškomas dviem etapais:

**Pirmas etapas** – pradinės sąlygos nulinės ir veikia žadinimo signalas  $x[nT]$ , randamas stacionarus sprendinys;

**Antras etapas** – sprendžiama homogeninė lygtis su pradinėmis sąlygomis, randamas pereinamasis procesas.

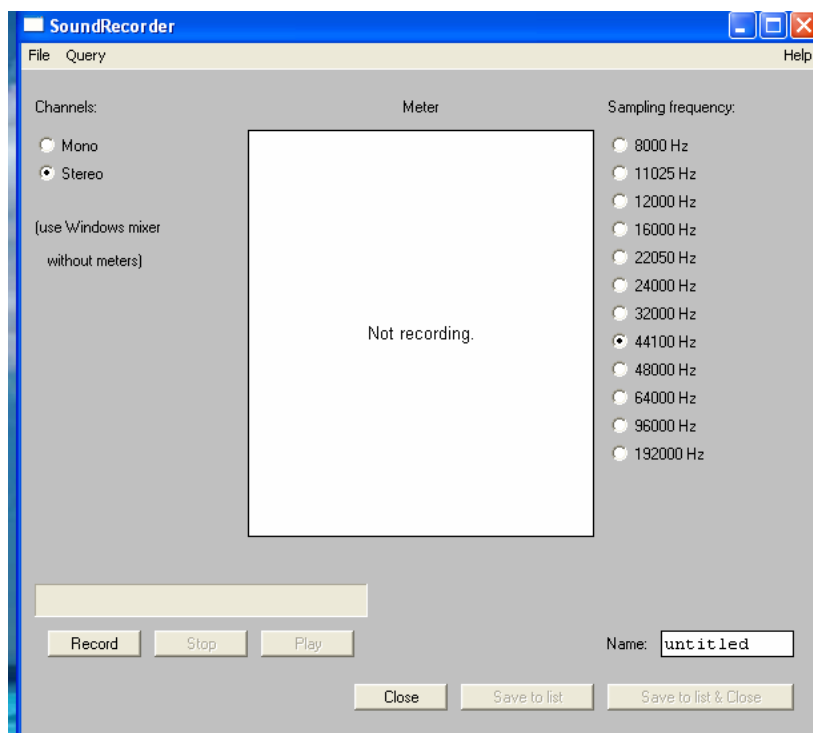
## 5. TYRIMO METODIKA

### 5.1 Žodžių paieška

Dvibalsių analizei žodžiai buvo renkami iš Lietuvių kalbos žodžių bazės. Buvo naudojama ne tik knyginiiais žodynais[20], bet ir internetiniu žodynu[12]. Buvo išrinkta 81 žodį su dvibalsiais, ai, au, ei, ie, ui, uo. Buvo stengtasi parinkti žodžius kuo įvairesnius, kad dvibalsiai būtų žodžio priekyje, viduryje ir žodžio gale. Visas žodžių sąrašas, kuris buvo panaudotas tiriamajame darbe, pateiktas lentelėje 1 priede.

### 5.2 Žodžių įrašymas

Kalba buvo įrašyta tylioje aplinkoje, bet ne profesionalioje garso įrašų studijoje. Buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris ASUS ir neprofesionalus mikrofonas. Žodžio įrašai ir skaitmeniniai apdorojimai atlikti su PRAAT programa (5.1 pav.), nustatant 44100 Hz diskretizacijos dažnį, 16 bitų atskaitų skyra stereo formatu. Kiekvienam kalbėtojui iš anksto buvo paruošti žodžiai. Kalba buvo įrašoma į WAV formato bylas. Iš viso buvo šeši kalbėtojai: trys moterys ir trys vyrai.



5.1 pav. Programos PRAAT įrašymo laukas

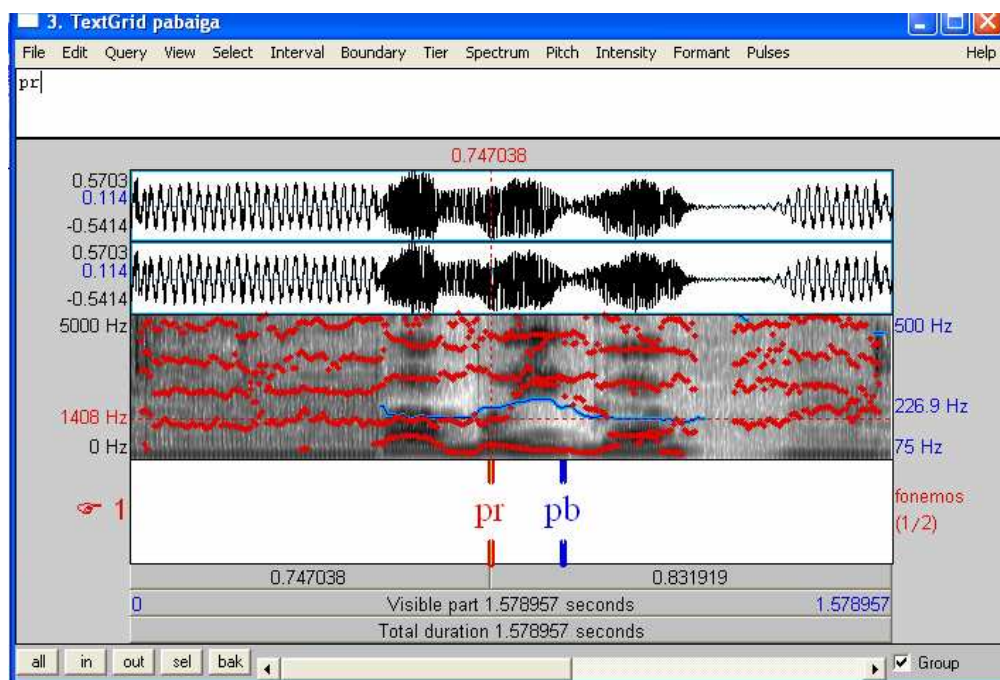


PRAAT programą pasirinkta dėl jos gero lankstumo atliekant kalbos signalų akustinę analizę. Kalbos signalų apdorojimo programos suteikia vartotojui tokias galimybes: įrašyti kalbos signalą į kompiuterį, pamatyti ekrane signalo grafiką, redaguoti signalus, išgirsti įrašytą signalą ar norimą fragmentą, pamatyti ekrane spektrografą, formantų dažnių trajektorijas, pagrindinio tono periodo grafiką ir pažymėto segmento spektrą, filtruoti signalą, užrašyti į failą signalo charakteristikas.

Žodžiai buvo tariami žmonių be intonacijos, po vieną žodį. Įrašant buvo atsižvelgiama į balso aiškumą, teisingą žodžių tarimą, kirčiavimą.

### 5.3 Fonemų išskyrimas

Fonemų išskyrimas buvo atliktas su PRAAT programa. Kiekvienas žmogus tą patį žodį ištaria unikalčiai. Tuo akivaizdžiai įsitikinau padirbusi su šia programa. Fonemos karpomos rankiniu būdu atsižvelgiant į kiekvienos fonemos prigimtinę trukmę. Fonemos kirpimo atveju pradžia ir pabaigą stengiamasi parinkti ten, kur signalo amplitudė arti nulio. (5.2 pav.) parodyta iš žodžio „pabaiga“ išskirta fonema „ai“, šį žodį ištarė moteris.



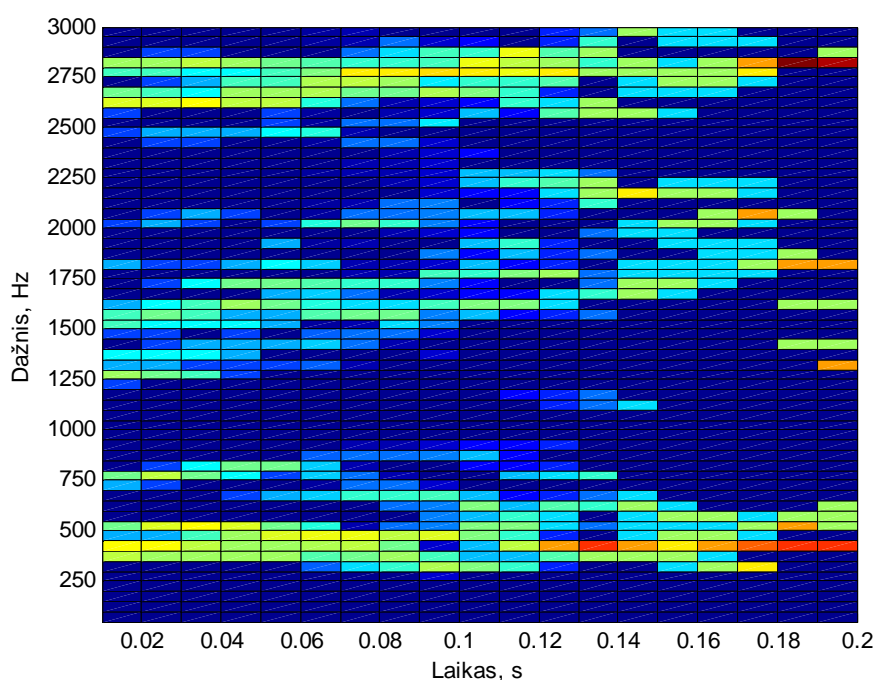
5.2 pav. Žodžio „pabaiga“ signalas PRAAT lange ir išskirtas dvibalsis „ai“

Po įrašymo kiekvienam žodžiui buvo sukurta Text Grid byla. Text Grid byloje patalpinta informacija apie kiekvieno tiriamojo garso ribas ir trukmę, perėjimus tarp garsų ir informacija apie tylos intervalus wav bylose, taipogi skiemenų ir garsų vardus.

Paklausius įrašus, buvo nustatytas ištartų žodžių kirčiavimas. Dvibalsiai suskirstyti į grupes:

- kirčiuoti tvirtaprade priegaide
- kirčiuoti tvirtagale priegaide
- nekirčiuoti

Pažymėtų dvibalsių formantai buvo surasti PRAAT programa. Kadangi ši programa nepatikimai sužymi formantus, iš trijų gretimų laiko atskaitų buvo skaičiuojamas formantų dažnių santykinis pasiskirstymas. Šių pasiskirstymų kitimas laike pavaizduotas diagramomis. Tipinis diagramos pavyzdys pavaizduotas 5.3 paveiksle. Matlab programinio paketo scenarijai pateikti prieduose Nr. 2, 3, 4, 5. Gautos diagramos buvo analizuojamos rankiniu būdu, pagal formantų kitimo eigą.



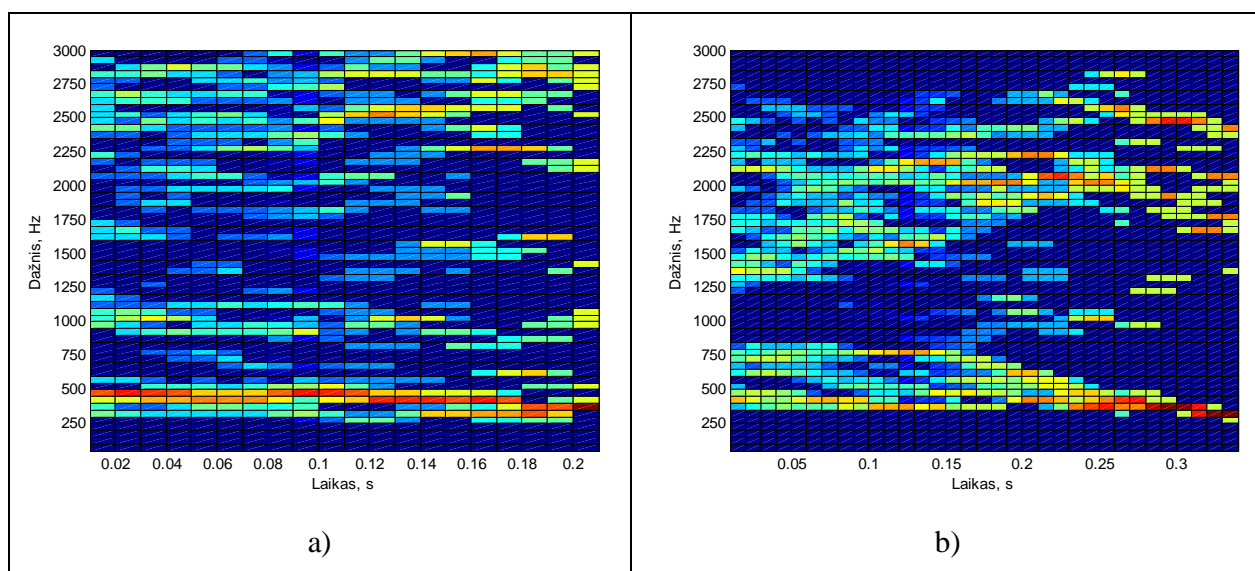
**5.3 pav.** Formantų kitimo laike diagrama

## 6. TYRIMO REZULTATAI

### 6.1 Dvibalsis „AI“

Dvibalsio [ai] artikuliacija prasideda užpakalinės eilės, žemutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [a] ir baigiasi priešakinės eilės, aukštutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [i].

Ekspirimente dalyvavę žmonės įkalbėjo po 15 žodžių su dvigarsiu [ai]. Diagramose, kurios pavaizduotos 6.1 paveikslėlyje matome vienos moters ir vieno vyro visų 15 žodžių dvibalsių [ai] atkarpų formantus. Kitų tirtų žmonių formantų diagramos pateiktos priede. Kaip matyti iš paveikslėlio formantai yra plačiai išsisklaidę.



6.1 pav. „Moters 3“ (a) ir „Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ai]

6.2 paveikslo a), b) ir c) dalyse atskirai pavaizduoti „Vyro 3“ ištartų žodžių dvibalsio [ai] formantai pagal kirčiavimą. Iš diagramų ryškėja šie formantų dažniai:

a) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtaprade priegaide:

Balsio [a] dalyje:

$$F_1 = 800 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1450 \text{ Hz};$$

Balsio [i] dalyje:

$$F_1 = 350 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 2000 \text{ Hz};$$

b) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtagale priegaide:

Balsio [a] dalyje:

$$F_1 = 500 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1000 \text{ Hz};$$

Balsio [i] dalyje:

$$F_1 = 280 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 2300 \text{ Hz};$$

c) Nekirčiuotuose žodžiuose:

Balsio [a] dalyje:

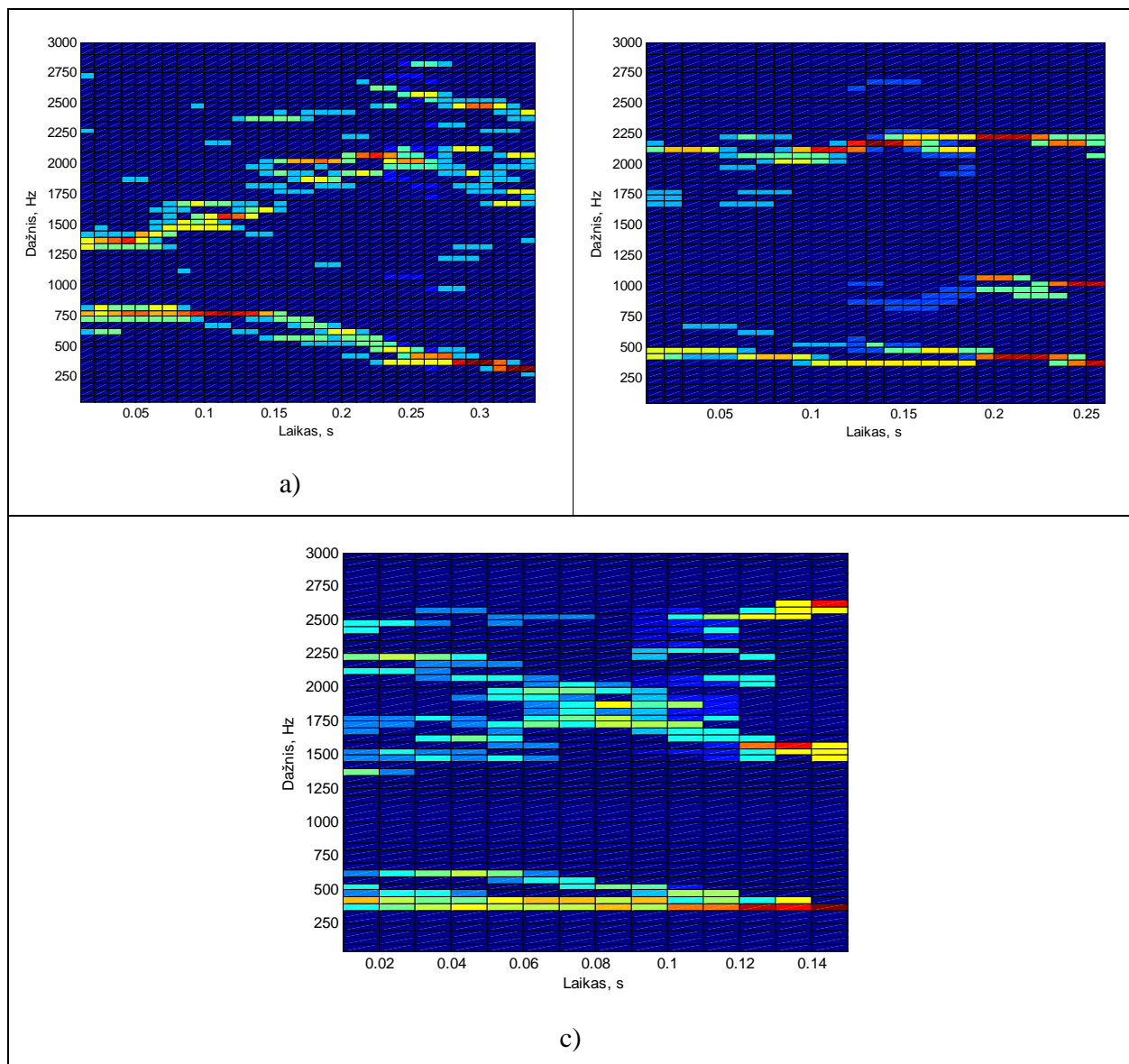
$F_1 = 300 - 600 \text{ Hz};$

$F_2 = 1300 - 1750 \text{ Hz};$

Balsio [i] dalyje:

$F_1 = 300 - 450 \text{ Hz};$

$F_2 = 1500 - 1600 \text{ Hz};$



**6.2 pav.** “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių [ai] formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.

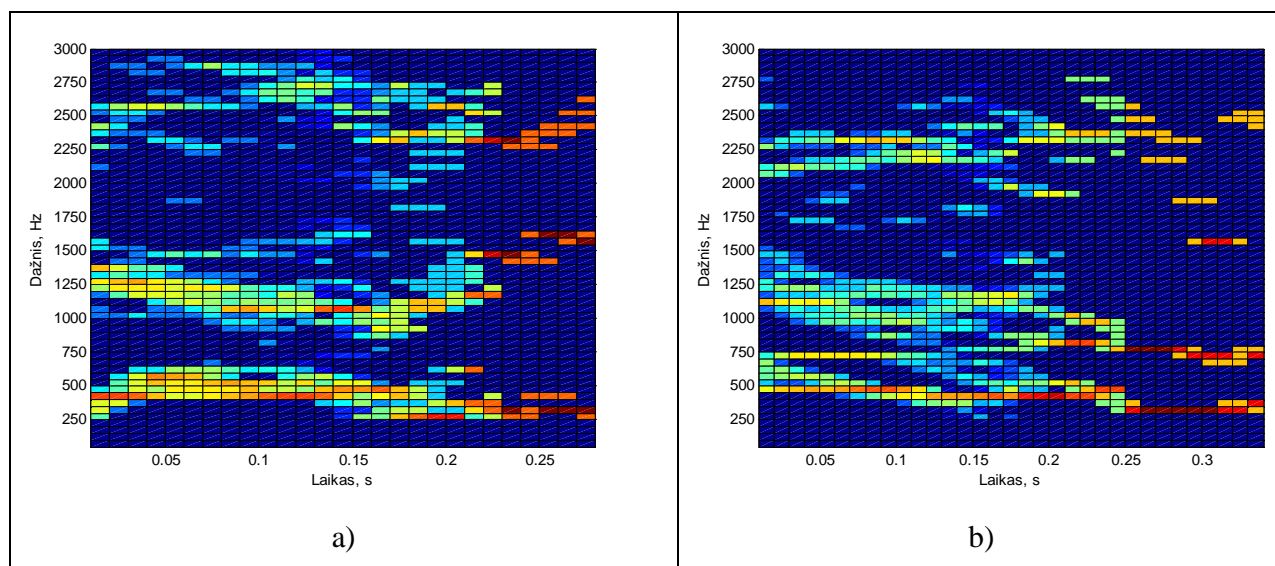
Iš gautų rezultatų matome, jog kai žodžiai buvo sukirčiuoti tvirtaprade priegaide, pirmasis dvigarsio balsis [a] buvo tariamas intensyviau ir energingiau už antrąjį balsį [i], todėl formantų

dažniai artimi ilgojo [a] balsio formantams. Tuo tarpu balsio [i] formantų dažniai artimi trumpojo [i] garso formantų dažniams. Kai žodžiai kirčiuoti tvirtagale priegaide, dvigarsio antrasis balsis [i] buvo tariamas intensyviau ir energingiau už pirmąjį balsį [a], todėl pirmojo balsio formantų dažniai artimiausi trumpojo [o] dažniams, antrojo garso – ilgojo [i] balsio formantų dažniams. Pagal spektrogramų gautus rezultatus galima pastebėti jog nekirčiuotuose žodžiuose dvigarsio antrasis balsis [i] buvo šiek tiek intensyviau išstartas už pirmąjį balsį [a]. Todėl balsio [a] dalyje formantai yra labiau išsisklaidę.

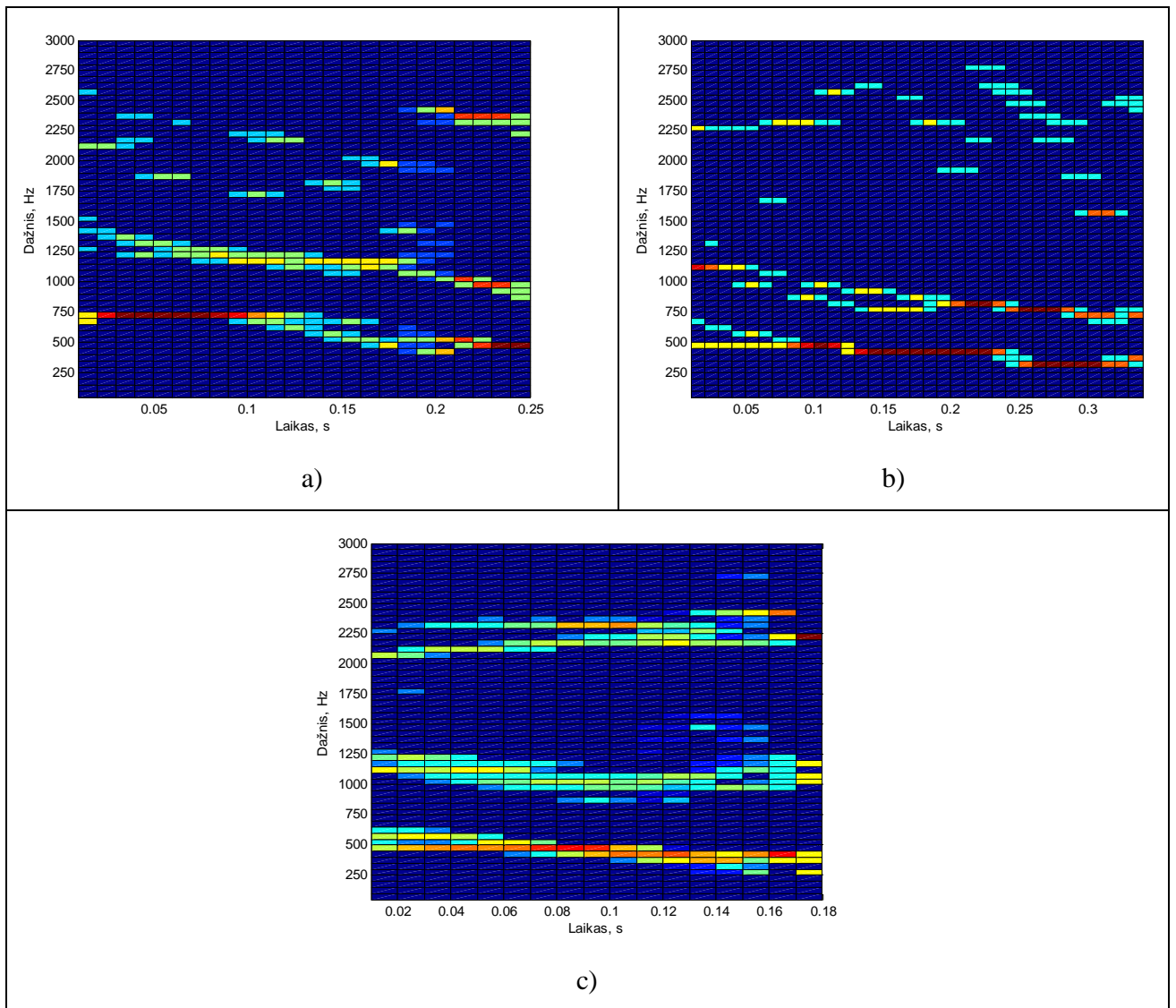
## 6.2 Dvibalsis „AU“

Dvibalsio [au] artikuliacija prasideda užpakalinės eilės, žemutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [a] ir baigiasi užpakalinės eilės, aukštutinio pakilimo, lūpiniu balsiniu elementu [u].

6.3 paveikslėlyje pavaizduoti formantai eksperimente dalyvavusių moters ir vyro, kurie įkalbėjo po vienuolika žodžių su dvigarsiu [au]. Spektrogramose, pateiktose 6.4 paveiksle, pavaizduotos dvibalsio [au] formantės suskirstytos pagal kirčiavimą: tvirtaprade priegaide, tvirtagalė priegaide, nekirčiuotos.



6.3 pav. “Moters 3” (a) ir “Vyro 3” (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [au]



**6.4 pav.** “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių [au] formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.

Formantų kitimas dvibalsiuose:

a) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtaprade priegaide:

Balsio [a] dalyje:

$F_1 = 820 \text{ Hz};$

$F_2 = 1400 \text{ Hz};$

Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 450 \text{ Hz};$

$F_2 = 800 \text{ Hz};$

b) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtagale priegaide:

Balsio [a] dalyje:

$F_1 = 700$  Hz;

$F_2 = 1200$  Hz;

Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 300$  Hz;

$F_2 = 650$  Hz;

c) Nekirčiuotuose žodžiuose:

Balsio [a] dalyje:

$F_1 = 600$  Hz;

$F_2 = 1250$  Hz;

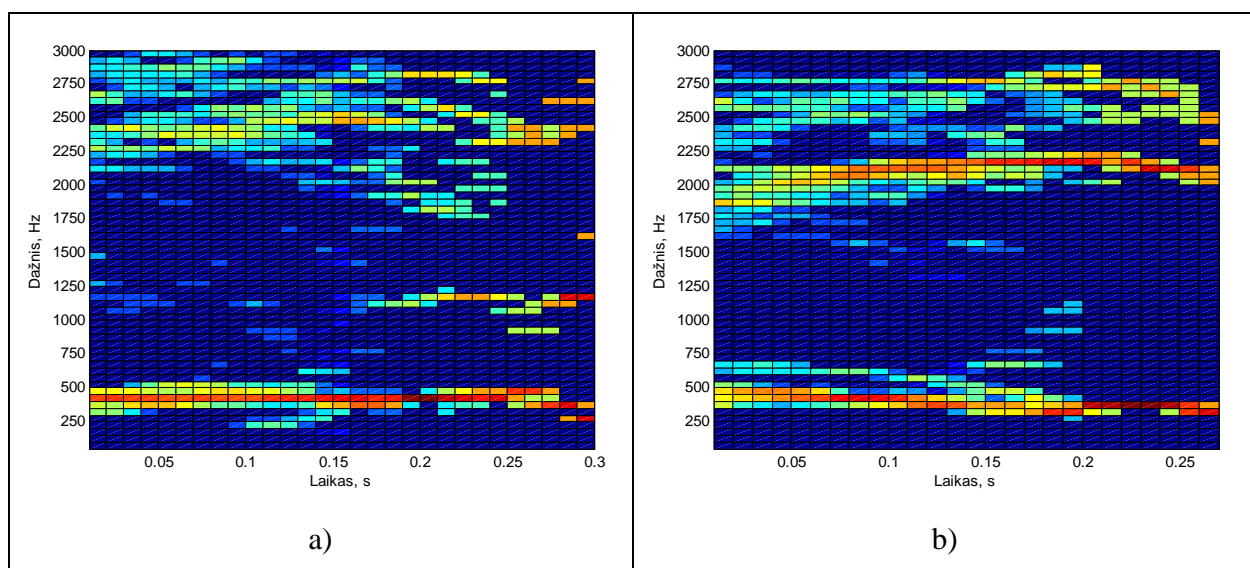
Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 250$  Hz;

$F_2 = 1000$  Hz;

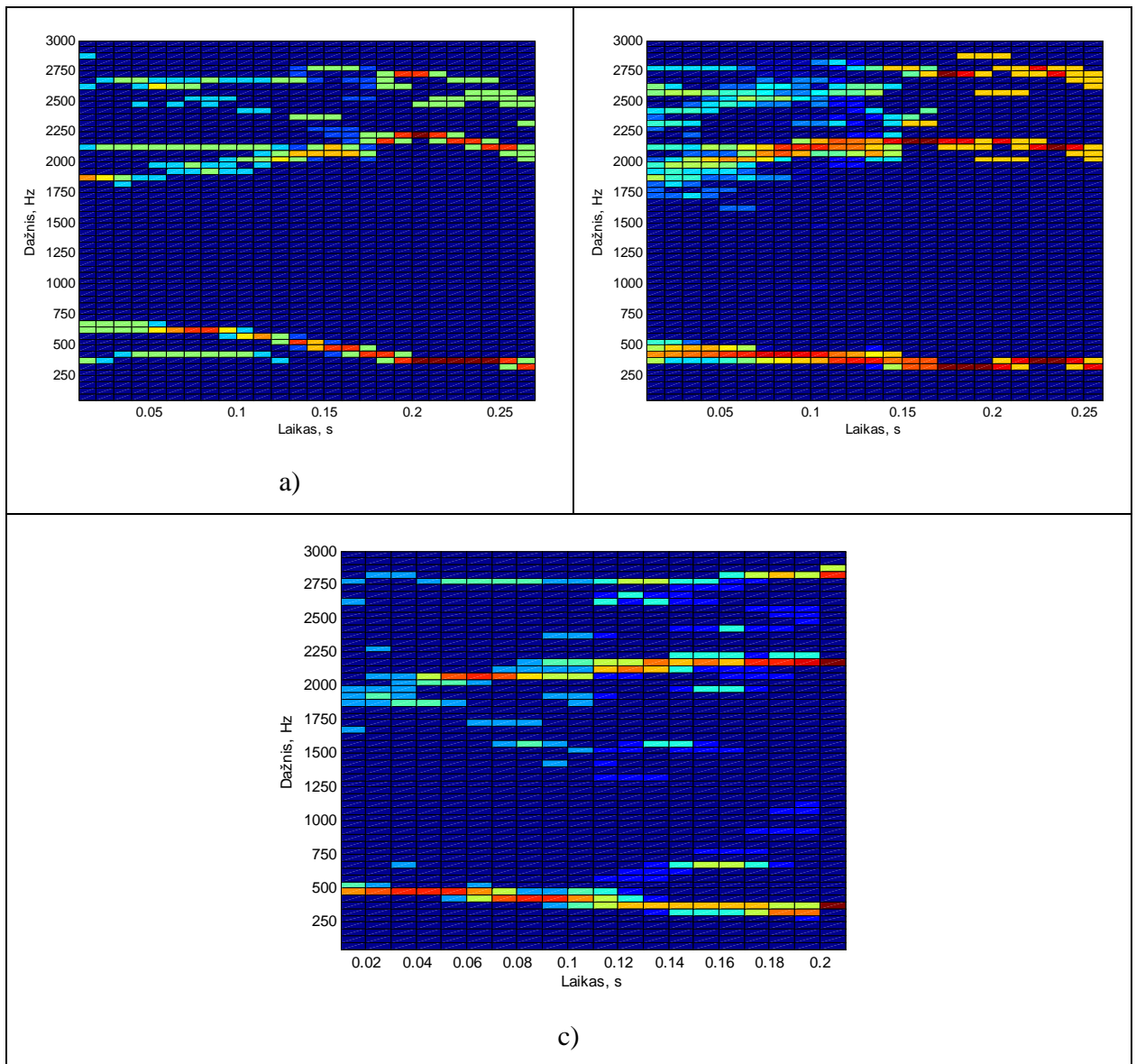
### 6.3 Dvibalsis „EI“

Dvibalsio [ei] artikuliacija prasideda priešakinės eilės, vidutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [e] ir baigiasi priešakinės eilės, aukštutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [i].



6.5 pav. “Moters 3” (a) ir “Vyro 3” (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ei]

6.5 paveikslėlyje pavaizduoti formantai eksperimente dalyvavusių moters ir vyro, kurie įkalbėjo po vienuolika žodžių su dvigarsiu [ei]. Spektrogramose, pateiktose 6.6 paveiksle, pavaizduotos dvibalsio [ei] formantai, suskirstyti pagal kirčiavimą: tvirtaprade priegaide, tvirtagalė priegaide, nekirčiuotos.



**6.6 pav.** “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių [ei] formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalis, c) žodžiai nekirčiuoti.

a) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtaprade priegaide:

Balsio [e] dalyje:

$F_1 = 750 \text{ Hz};$

$F_2 = 1800 \text{ Hz};$

Balsio [i] dalyje:

$F_1 = 350 \text{ Hz};$

$F_2 = 2000 \text{ Hz};$

b) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtagale priegaide:

Balsio [e] dalyje:

$F_1 = 550 \text{ Hz};$

$F_2 = 1750 \text{ Hz};$

Balsio [i] dalyje:

$F_1 = 250 \text{ Hz};$

$F_2 = 2250 \text{ Hz};$



c) Nekirčiuotuose žodžiuose:

Balsio [e] dalyje:

$F_1 = 550 \text{ Hz}$ ;

$F_2 = 1800 \text{ Hz}$ ;

Balsio [i] dalyje:

$F_1 = 300 \text{ Hz}$ ;

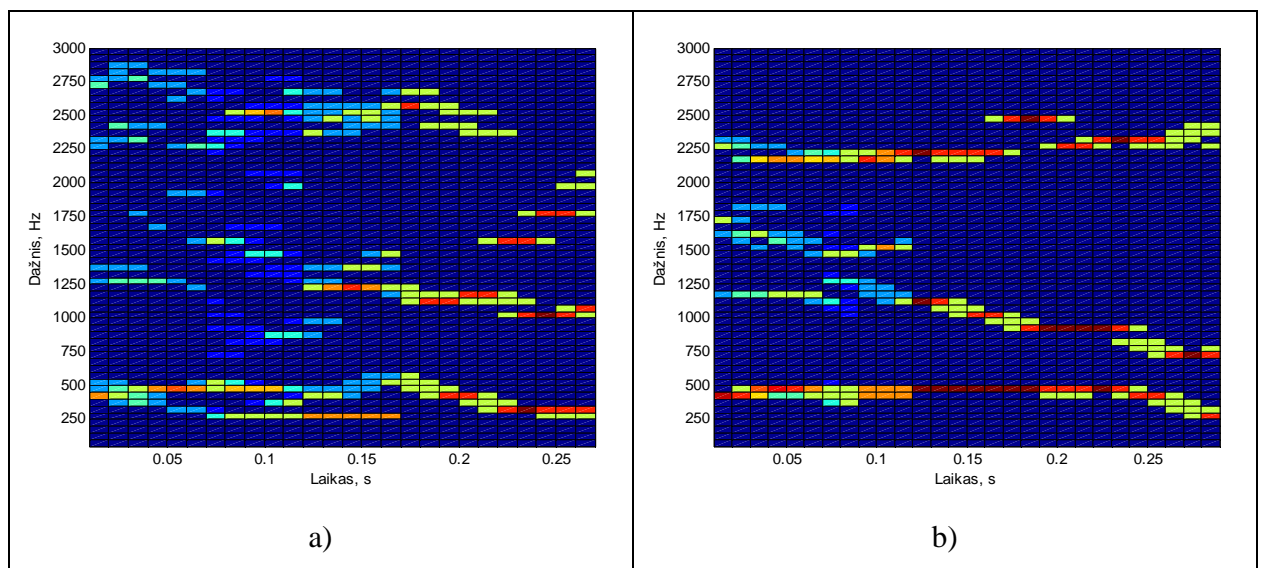
$F_2 = 2300 \text{ Hz}$ ;

#### 6.4 Dvibalsis „EU“

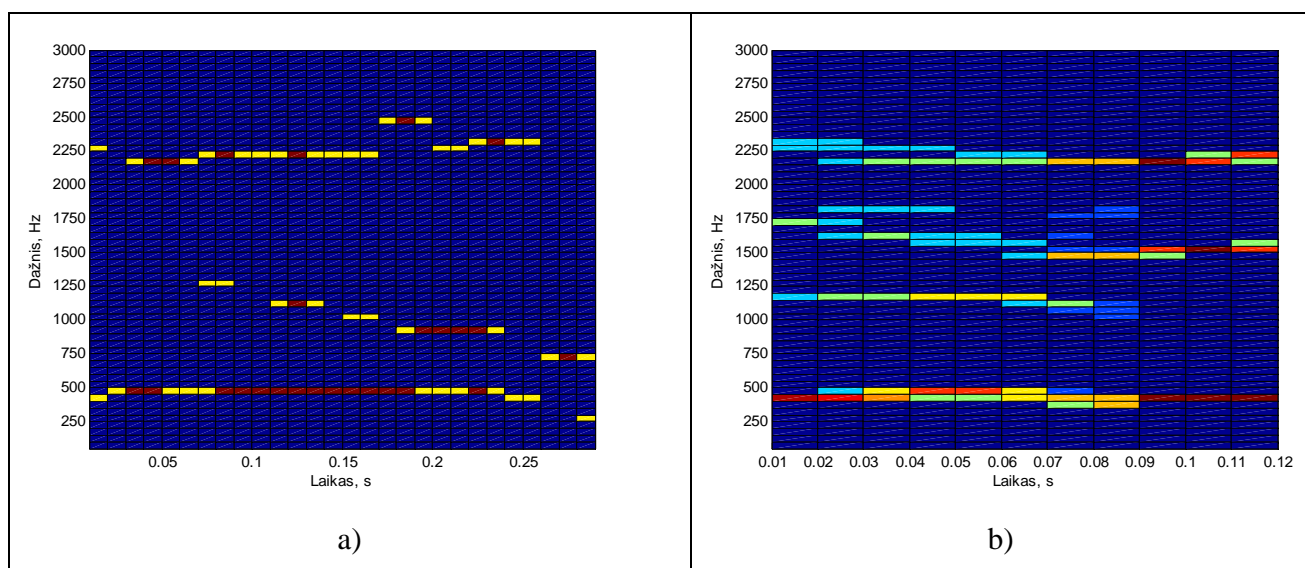
Dvibalsis [au] po minkštųjų priebalsių supriešakėja ir tariamas kaip [eu].

Dvibalsio [eu] artikuliacija prasideda priešakinės eilės, vidutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [e] ir baigiasi užpakalinės eilės, aukštutinio pakilimo, lūpiniu balsiniu elementu [u].

6.7 paveikslėlyje pavaizduoti formantai eksperimente dalyvavusių moters ir vyro, kurie įkalbėjo po keturis žodžius su dvigarsiu [eu]. Spektrogramose, pateiktose 6.8 paveiksle, pavaizduoti dvibalsio [eu] formantai, suskirstyti pagal kirčiavimą: tvirtagalė priegaide (1 žodis), nekirčiuotos.



6.7 pav. „Moters 3“ (a) ir „Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „EU“



**6.8 pav.** “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „EU“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtagalis, b) dvibalsiai nekirčiuoti.

Formantų pasiskirstymas dvibalsiuose [eu]:

a) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtagale priegaide:

Balsio [e] dalyje:

$F_1 = 500 \text{ Hz}$ ;

$F_2 = 1300 \text{ Hz}$ ;

b) Nekirčiuotuose žodžiuose:

Balsio [e] dalyje:

$F_1 = 450 \text{ Hz}$ ;

$F_2 = 1250 \text{ Hz}$ ;

Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 250 \text{ Hz}$ ;

$F_2 = 700 \text{ Hz}$ ;

Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 300 \text{ Hz}$ ;

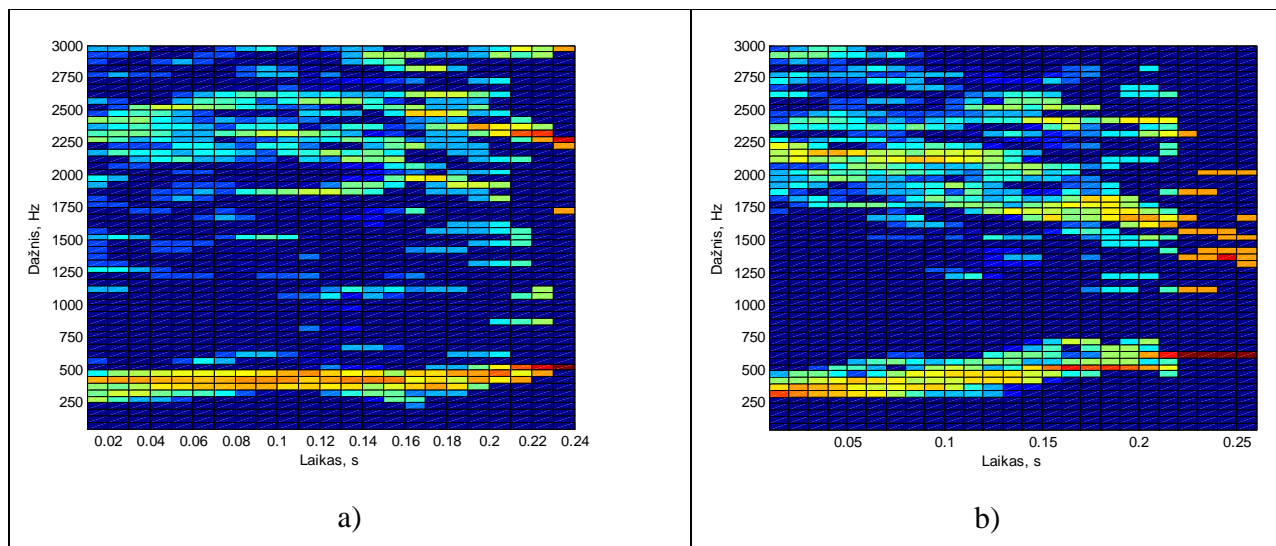
$F_2 = 700 \text{ Hz}$ ;

### 6.5 Dvibalsis „IE“

Dvibalsio [ie] artikuliacija prasideda priešakinės eilės, aukšutinio pakilimo nelūpiniu balsiniu elementu [i] ir baigiasi priešakinės eilės, vidutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [e].

Diagramose, kurios pavaizduotos 6.9 paveikslėlyje matome vienos moters ir vieno vyro visų penkiolikos žodžių su dvigarsiu [ie] formantus. Spektrogramuose 6.10 pav. pavaizduotos

dvibalsio [ie] formantai suskirstyti pagal kirčiavimą: tvirtaprade priegaide, tvirtagalė priegaide, nekirčiuoti.



**6.9 pav.** “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „IE“

Formantų pasiskirstymas dvibalsiuose:

a) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtaprade priegaide:

Balsio [i] dalyje:

$$F_1 = 250 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 2300 \text{ Hz};$$

Balsio [e] dalyje:

$$F_1 = 700 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1750 \text{ Hz};$$

b) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtagalė priegaide:

Balsio [i] dalyje:

$$F_1 = 400 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1800 \text{ Hz};$$

Balsio [e] dalyje:

$$F_1 = 800 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1500 \text{ Hz};$$

c) Nekirčiuotuose žodžiuose:

Balsio [i] dalyje:

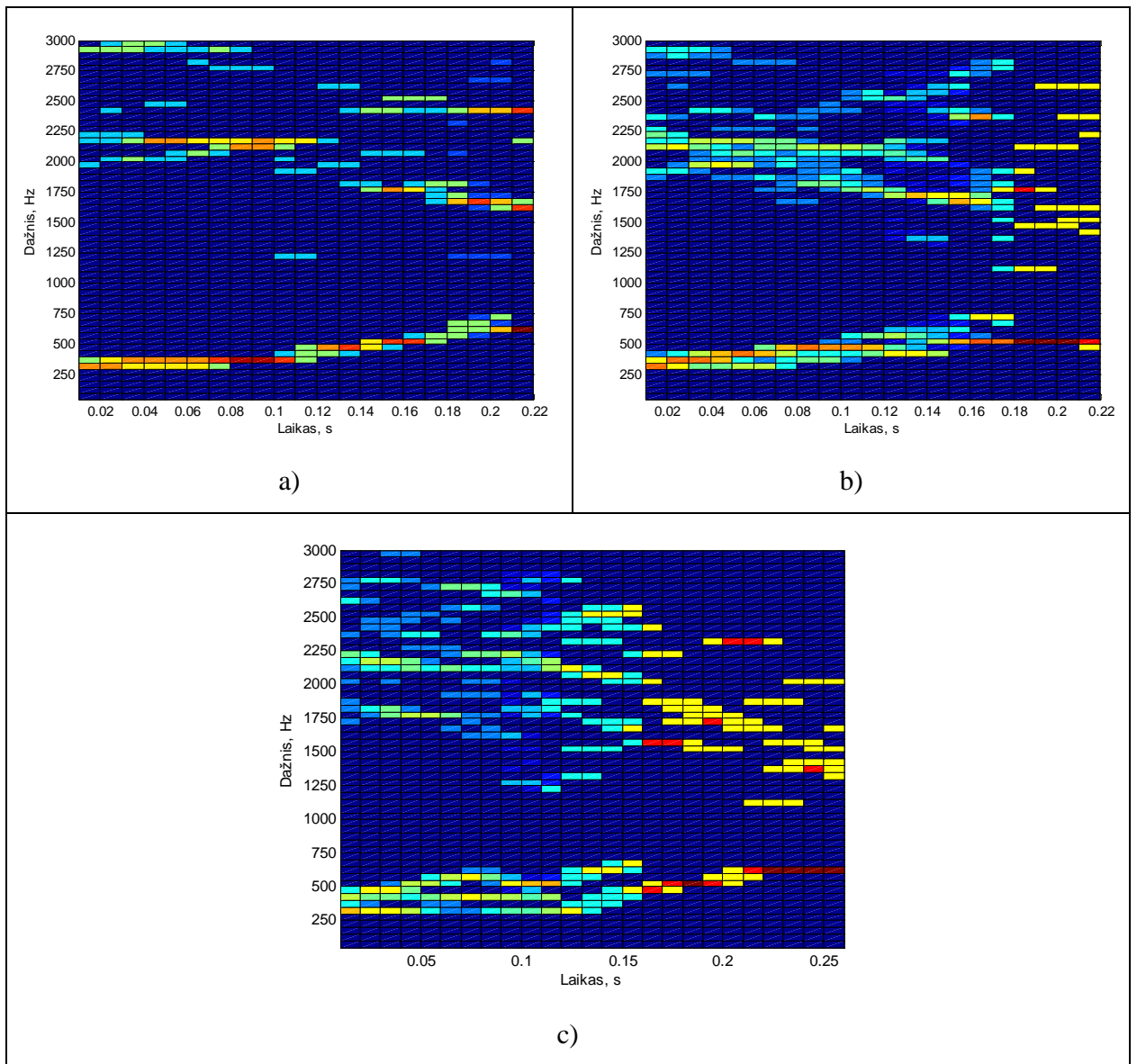
$$F_1 = 500 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1750 \text{ Hz};$$

Balsio [e] dalyje:

$$F_1 = 780 \text{ Hz};$$

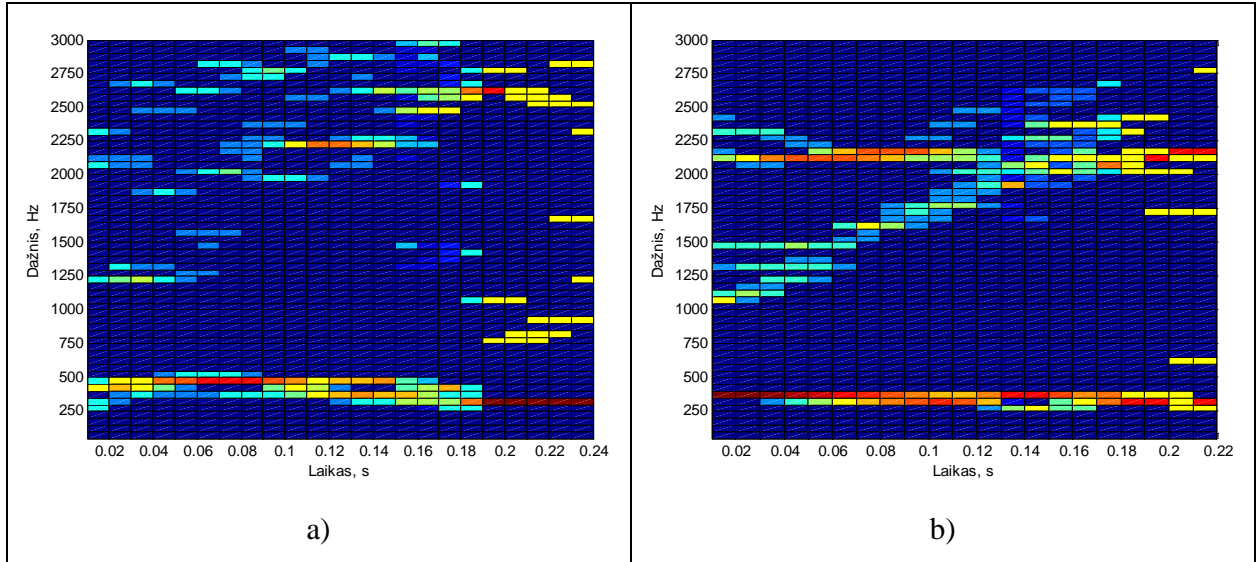
$$F_2 = 1500 \text{ Hz};$$



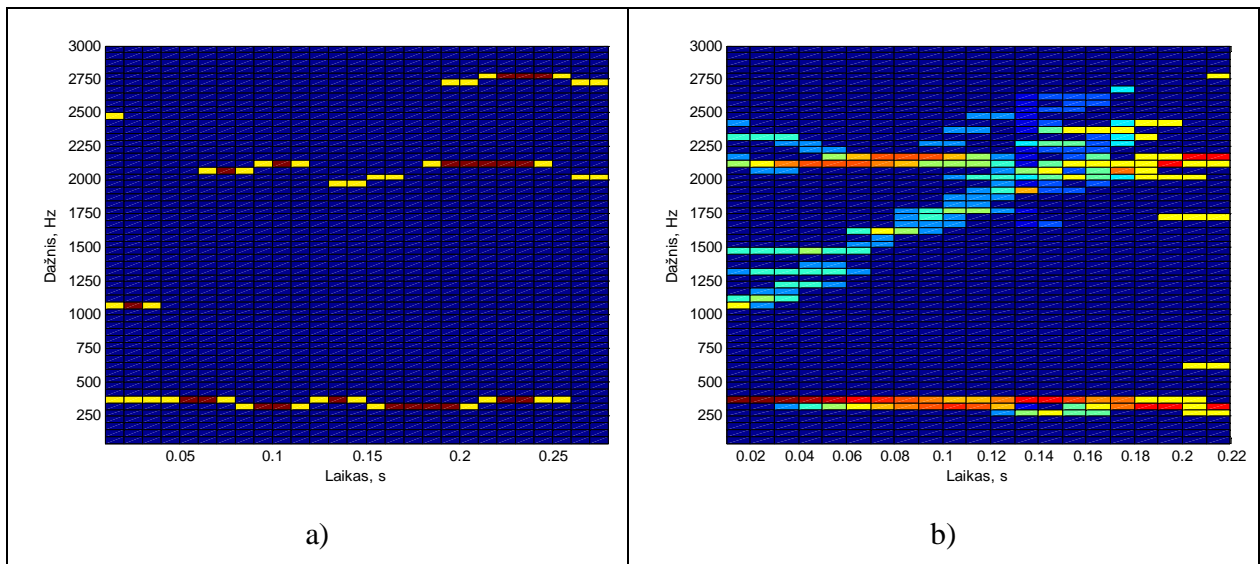
**6.10 pav.** “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „IE“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalys, c) dvibalsiai nekirčiuoti.

## 6.6 Dvibalsis „UI“

Dvibalsio [ui] artikuliacija prasideda užpakalinės eilės, aukštutinio pakilimo, lūpiniu balsiniu elementu [u] ir baigiasi priešakinės eilės, aukštutinio pakilimo, nelūpiniu balsiniu elementu [i].



6.11 pav. “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „UI“



6.12 pav. “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „UI“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) žodžiai nekirčiuoti.

Dvibalsių spektro analizės tiriamajame darbe visi žodžiai su dvibalsiu [ui] parinkti su tvirtaprade priegaide, tačiau kirčiuojamas balsis [u] šiame dvibalsyje yra trumpas.

a) “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „UI“ formantės, kai kirčio ženklas - tvirtapradis:

Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 500$  Hz;

$F_2 = 800$ Hz;

Balsio [i] dalyje:

$F_1 = 500$  Hz;

$F_2 = 1000$ Hz;

b) “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „UI“ formantės, kai kirčio žodžiai nekirčiuoti:

Balsio [u] dalyje:

$F_1 = 200$  Hz;

$F_2 = 2350$  Hz;

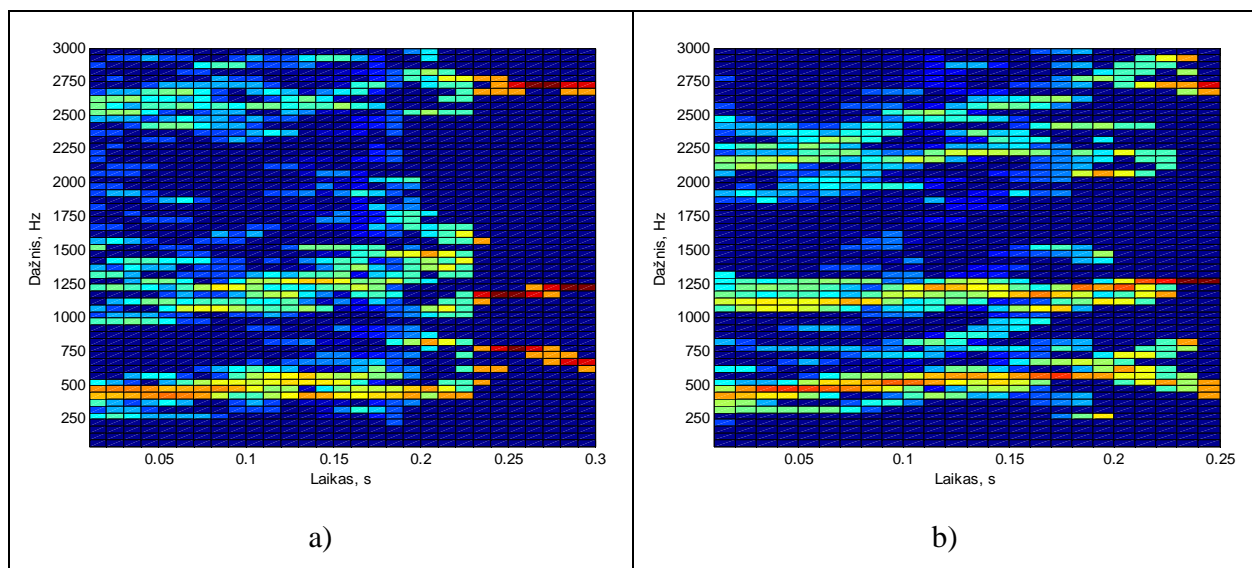
Balsio [i] dalyje:

$F_1 = 250$  Hz;

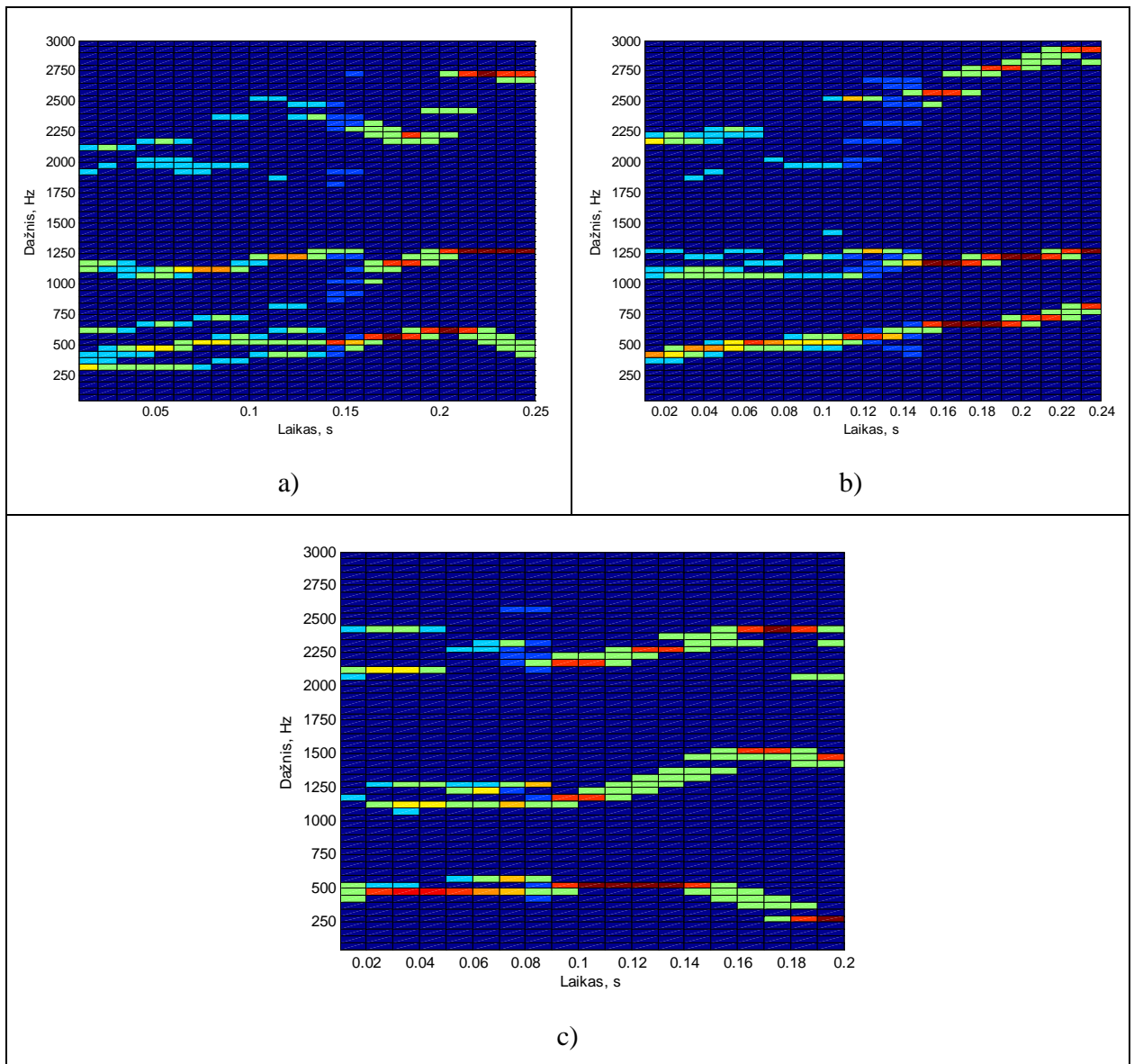
$F_2 = 2300$  Hz;

### 6.7 Dvibalsis „UO“

Dvibalsio [ui] artikuliacija prasideda užpakalinės eilės, aukšutinio pakilimo, lūpiniu balsiniu elementu [u] ir baigiasi užpakalinės eilės, vidutinio pakilimo, lūpiniu balsiniu elementu [o].



6.13 pav. “Moters 3” (a) ir “Vyro 3“ (b) įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį „UO“



**6.14 pav.** “Vyro 3“ įkalbėtų dvibalsių „UO“ formantai: a) kai kirčio ženklas – tvirtapradis, b) kai kirčio ženklas – tvirtagalis, c) dvibalsiai nekirčiuoti.

6.13 paveikslėlyje pavaizduoti formantai eksperimente dalyvavusių žmonių, kurie įkalbėjo po penkiolika žodžių su dvigarsiu „UO“. Spektrogramose 6.14 pav. pavaizduotos dvibalsio [uo] formantės suskirstytos pagal kirčiavimą: tvirtaprade priegaide, tvirtagalė priegaide, nekirčiuotos.

Formantų pasiskirstymas:

a) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtaprade priegaide:

Balsio [u] dalyje:

$$F_1 = 300 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 700 \text{ Hz};$$

Balsio [o] dalyje:

$$F_1 = 550 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 800 \text{ Hz};$$

b) Žodžiuose, kirčiuotuose tvirtagale priegaide:

Balsio [u] dalyje:

$$F_1 = 400 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1000 \text{ Hz};$$

Balsio [o] dalyje:

$$F_1 = 450 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 700 \text{ Hz};$$

c) Nekirčiuotuose žodžiuose:

Balsio [u] dalyje:

$$F_1 = 500 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1100 \text{ Hz};$$

Balsio [o] dalyje:

$$F_1 = 300 \text{ Hz};$$

$$F_2 = 1000 \text{ Hz}.$$



## IŠVADOS

Dvibalsių spektro analizės tiriamajame darbe yra apžvelgiama garsų sintezatorių istorija. Kalbos organai, kurie yra reikalingi žmogui norint kalbėti. Kaip žmogaus balso klostės gali įsitempti ar atsipalaiduoti, tokiu būdu žmogus keičia balso aukštį, tembrą, garsumą ar toną. Taip pat darbe aptariami pagrindiniai kalbos generavimo principai, bei Lietuvių kalbos garsų dažninė analizė ir formantų kitimo analizė kituose kalbose. Aprašyta formantų gavimo būdai, kokie yra kalbos signalo generavimo modeliai. Toliau seka dvibalsių spektro analizės metodika.

Panaudojus PRAAT programą, kuri skirta kalbos analizei ir sintezei, buvo įrašyti šešių kalbėtojų sakyti žodžiai su dvibalsiais. Žodžiai įrašyti, išsaugoti wav ir Text Grid bylose. Toliau iš kiekvieno įrašyto žodžio iškirpti dvibalsiai. Matlab programos pagalba parašytas algoritmas, kurio dėka buvo gautos dvibalsių spektrogramos.

Dvibalsių formantų kitimas priklauso nuo to, kokia kirčio priegaide žodis sukirčiuotas. Kai žodžiai su dvigarsiais kirčiuoti tvirtaprade priegaide, dvigarsio pirmasis balsis tariamas intensyviau ir energingiau. Tuomet dvibalsio pirmąją dalį sudarančio balsio formantus. Kada būna kirčiuoti tvirtagale priegaide, intensyviau tariamas antrasis dvibalsio balsis ir gauname to ilgojo balsio formantus, Nekirčiuoti žodžiai tariami panašiai kaip ir žodžiai kirčiuoti tvirtagale priegaide. Šiuo teiginiu įsitikinta, atlikus dvibalsių spektrogramos analizę.

## LITERATŪRA

1. A.L. Lipeika. „Formantinių požymių išskyrimo metodai“// Informacijos mokslai. – 2007m.
2. Butcher A. Formant frequencies of /hVd/vowels in the speech of South Australian females.//Eleventh Australasian International Conference on Speech Science and Technology 2006m.
3. [commons.wikimedia.org/wiki/File:Pharynx\\_\(PSF\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pharynx_(PSF).png) /(žiūrėta 2010 03 05).
4. Ganchev T., Fakotakis N., Kokkinakis G. Comparative Evaluation of Various MFCC Implementations on the Speaker Verification Task.- 2005 m.
5. Gold B., Morgan N. Speech Communications. Human and Machine.// New York. – 2000m.
6. Greitins M. Advanced Processing of Nonuniformly Sampled Non – Stationary Signals.//Elektronika ir elektrotechnika. -2005m.
7. Guo H., Sitton G.A., Burrus C.S. The quick discrete Fourier transform.//ICASSP – 1994m.
8. <http://boothnavy.com/telharmonium.html>/(žiūrėta 2010 03 07).
9. <http://kalba.mch.mii.lt/technologijos.htm>/(žiūrėta 2010 03 10).
10. <http://podcollective.com/fora/viewtopic.php?p=5196&sid=da49207aec9420cc65eabd7fd8311007>/(žiūrėta 2010 04 07).
11. <http://tcts.fpms.ac.be/synthesis/mbrola.html>. (žiūrėta 2010 04 25).
12. <http://terminu.zodynas.info/A2> (žiūrėta 2010 02 11).
13. [http://ualgiman.dtiltas.lt/fonetikos\\_savoka.html](http://ualgiman.dtiltas.lt/fonetikos_savoka.html) /(žiūrėta 2010 03 05).
14. <http://lt.wikipedia.org/wiki/Gerklos> (žiūrėta 2010 03 10).
15. [http://www.leidykla.eu/fileadmin/Baltis5555tika/39\\_-\\_2/06-Kaukenienes.pdf](http://www.leidykla.eu/fileadmin/Baltis5555tika/39_-_2/06-Kaukenienes.pdf) (žiūrėta 2010 05 14)
16. <http://www.ling.su.se/staff/hartmut/kemplne.htm>/(žiūrėta 2010 05 07).
17. <http://www.music.psu.edu/Faculty%20Pages/Ballora/INART55/vocoder.html>/(žiūrėta 2010 02 12).
18. <http://www.text-talk.com/lt/kalbos-sinteze.html>. (žiūrėta 2010 04 25).
19. L. Kaukienė „Dabartinių baltų bendrinių kalbų balsių spektrai“// Baltistika. – 2004m.
20. Lietuvių kalbos žodynas. I – XXII tomai.
21. Lietuvos kūno kultūros akademija „žmogaus anatomija“ // Kaunas – 2003m.
22. Liu J. G., Liu Y.Z., Wang G.Y. Fast DCT – I, DCT – II, DCT – III.// Journal on Applied Signal Processing. – 2005m.

23. Man Ch. Y. An acoustical analysis of the vowels, diphthongs and triphthongs in hakka Chinese.//16 th International Congress of Phonetic Sciences.2007m.
24. Mporas I., Ganchev T., Kotinas E., Fakotakis N. Examining the Influence of Speech Frame Size and Number of Cepstral Coefficients on the Speech Recognition Performance. // Proc. of the SPECOM'2007. – 2007m.
25. O' Shaughnessy D. Speech Communications. Human and Machine. – New York: IEEE PRESS. - 2000m.
26. P. Kemėšis „Kalbos signalo algoritmai“// Kaunas – 1996
27. Rabiner L., Juang B. H.Fundamentals of speech recognition. // Prentice – Hall International. – 1993m.
28. Roach P. English phonetics and Phonology. // Cambridge university press. – 1998m.
29. S. Pavilionis „Žmogaus anatomija“// Vilnius – 1972m.
30. Watson C.I., Harrington J. Acoustic evidence for dynamic formant trajectories in Australian English vowels.// The Journal of the Acoustical Society of America. 1999m.
31. [www.pasveik.lt](http://www.pasveik.lt) / (žiūrėta 2010 02 28).
32. Zheng F., Zhang G., Song Z. Comparison of different implementations of MFCC.// Journal of Computer Science & Technology. – 2001m.

## **PRIEDAI**

## Žodžių sąrašas panaudotas tiriamajame darbe

<b>ai</b>	<b>au</b>	<b>eu</b>	<b>ei</b>	<b>ie</b>	<b>ui</b>	<b>uo</b>
<b>aimanuoklis</b>	<b>augti</b>	čiauškesys	<b>eiga</b>	<b>ieva</b>	<b>uiti</b>	<b>uodas</b>
<b>aitvaras</b>	<b>audra</b>	<b>jaunatviškas</b>	<b>eibė</b>	<b>ietis</b>	iškuisti	<b>uoga</b>
<b>aibė</b>	<b>auksinis</b>	kalbėjau	<b>eismas</b>	<b>ieškinys</b>	<b>duiti</b>	<b>uola</b>
<b>aidas</b>	<b>aulas</b>	vežiau	<b>eilutė</b>	<b>iena</b>	<b>buitinis</b>	<b>uoslė</b>
<b>aikštynas</b>	<b>ausis</b>		<b>eiti</b>	<b>iešmas</b>	<b>kuisis</b>	<b>uošviai</b>
akivaizdus	paukuoti		šeichas	abiturientas	<b>zuikis</b>	aguona
<b>baimė</b>	<b>gaudyti</b>		<b>deimantas</b>	<b>afrikietis</b>		<b>akiduobė</b>
<b>baisumas</b>	šaudyklė		keistas	<b>jiedu</b>		kailiniuotas
<b>pabaiga</b>	<b>Graužti</b>		<b>keleivis</b>	<b>dievaitis</b>		<b>fasuotas</b>
<b>plaikstytis</b>	<b>lipau</b>		<b>praeinantis</b>	<b>hiena</b>		<b>šuo</b>
<b>planai</b>	šaukiau		<b>užeinantis</b>	<b>giežulys</b>		ilgauodegis
<b>raidžiai</b>			<b>eglutei</b>	<b>giedra</b>		ežeruotas
<b>gaiviai</b>			<b>meilintis</b>	<b>higiena</b>		<b>vanduo</b>
<b>kailiniai</b>			<b>medeinė</b>	<b>riešas</b>		<b>žuobris</b>
<b>achajai</b>			<b>jeigu</b>	<b>riesta</b>		<b>zvimbuliuoti</b>

**Matlab programos algoritmas**

```
close all
clear all
% AI
% imas=[1 2 5 7 12];
% imas=[9 13 14];
% imas=[3 4 6 8 10 11]
% AU
% imas=[2 6 7];
% imas=[4 8];
% imas=[1 3 5 9 10 11]
% EI
% imas=[4 9 13];
% imas=[2 7 8 10 11 12 14 15 16];
% imas=[1 3 5 6 ]
% EU
% imas=[];
% imas=[4];
% imas=[1 2 3]
% IE
% imas=[8 11 14];
% imas=[2 5 6 10 13 15];
% imas=[1 3 4 7 9 12 ]
% UI
% imas=[];
% imas=[5];
imas=[1 2 3 4 6]
% UO
% imas=[5 7 9];
% imas=[3 4 8];
% imas=[1 2 6 ]
```

% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\AI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\AI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\AI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\AI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\AI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\AI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\AU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\AU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\AU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\AU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\AU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\AU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\EI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\EI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\EI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\EI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\EI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\EI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\EU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\EU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\EU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\EU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\EU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\EU\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\IE\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\IE\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\IE\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\IE\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\IE\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\IE\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\UI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\UI\';  
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\UI\';

```

% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\UI\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\UI\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\UI\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris1\UO\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris2\UO\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\moteris3\UO\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras1\UO\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras2\UO\';
% katalogas='F:\Dvibalsiai\vyras3\UO\';
a=dir([katalogas '*.wav'])
n=length(a)
q=1;
for i=1:n % 1:n
    clear F1 F2
    s=sprintf('%s', a(i).name);
    disp(s)
    pilnas_vardas=a(i).name;
    [pathstr, vardas, ext, versn] = fileparts(pilnas_vardas);
    [xmin, xmax, t1, t2]=SkaitykTextGrid2([katalogas vardas '.TextGrid'])
    A=dlmread([katalogas pilnas_vardas '.txt']);
    k=1;
    for j=1:size(A,1)
        if A(j,1)>t1 && A(j,1)<t2
            F1(k)=A(j,4);
            F2(k)=A(j,5);
            F3(k)=A(j,6);
            F4(k)=A(j,7);
            k=k+1;
        end
    end
    figure(1)
    plot(F1(1), F2(1), '*'), hold on
    plot(F1(end), F2(end), 'ro')

```



```

figure(2)
plot([F1' F2' F3'], 'b*'), hold on
%f1=ginput(length(F1))
%f2=ginput(length(F2))
Y{q}.F1=F1;
Y{q}.F2=F2;
Y{q}.F3=F3;
q=q+1;
clear F1 F2 F3
end
figure(1)
axis equal
%fonemos2(Y)
Q=fonemos3(Y);
save([katalogas 'Q.mat'], 'Q');

```

## Matlab programos algoritmas

```

function fonemos2(Y)
nn=size(Y,2);
for i=1:nn
    m(i)=length(Y{i}.F1);
end
mx=max(m)
for j=2:mx-1
X=[];
for i=1:nn
    if (j+1)<m(i)
        X=[X Y{i}.F1(j-1) Y{i}.F1(j) Y{i}.F1(j+1) Y{i}.F2(j-1) Y{i}.F2(j) Y{i}.F2(j+1) Y{i}.F3(j-
1) Y{i}.F3(j) Y{i}.F3(j+1)];
    end
end
figure(1)
[V, S, N]=klasteris(X);
figure(20)
ind=find(N>1);
plot(j, V(ind), '*')
hold on
end

```

## Matlab programos algoritmas

```

function Z=fonemos3(Y)
nn=size(Y,2);
for i=1:nn
    m(i)=length(Y{i}.F1);
end
mx=max(m)
w=25:50:3000;
for j=2:mx-1
    X=[]; q=0;
    for i=1:nn
        if (j+1)<m(i)
            X=[X Y{i}.F1(j-1) Y{i}.F1(j) Y{i}.F1(j+1) Y{i}.F2(j-1) Y{i}.F2(j) Y{i}.F2(j+1)
Y{i}.F3(j-1) Y{i}.F3(j) Y{i}.F3(j+1)];
            q=q+1;
        end
    end
    figure(1)
    hist(X,w)
    g=hist(X,w);
    Z(:,j-1)=(g/q);
end
figure(21)
pcolor(log(Z))
h=gca
set(h, 'YTickLabel', [250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000])
Xlab=get(h,'XTickLabel')
Xlab=str2num(Xlab)*0.01
set(h, 'XTickLabel', Xlab)
xlabel('Laikas, s')
ylabel('Dažnis, Hz')

```

**Matlab programos algoritmas**

```

function [xmin, xmax, t1, t2]=SkaitykTextGrid2(name) %% funkcija
clear xmn xmx aa xmndu xmxdu aadu %% isvalo masyvus
filetg=name;
fid= fopen(filetg,'rt')
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,'='); %% suskaido eilute 's1' tai kas prie lygybe, o 'tline' tai kas po
lygybes
    s1=deblank(s1);          %% papildomas 's1'
    if s1~='File type'
        disp('Blogas TextGrid failas');
        return;
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,'=');
    s1=deblank(s1);
    if s1~='Object class'
        disp('Blogas TextGrid failas');
        return;
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,'=');

```

```

s1=deblank(s1);
if s1~=""
    disp('Blogas TextGrid failas');
    return;
end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline, '=');
    s1=deblank(s1);
    if s1~='xmin'
        disp('Blogas failas');
        return;
    else
        xmin=str2double(deblank(tline(2:end))); %% tai kas yra uz lygybes ties 'xmin' nuo antro
nario kopijuojama i xmin
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline, '=');
    s1=deblank(s1);
    if s1~='xmax'
        disp('Blogas failas');
        return;
    else
        xmax=str2double(deblank(tline(2:end))); %% tai kas yra uz lygybes ties 'xmax' nuo antro
nario kopijuojama i xmax
    end

```

```

catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,'?');
    s1=deblank(s1);
    if s1~='tiers'
        disp('Blogas failas');
        return;
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,'=');
    s1=deblank(s1);
    if s1~='size'
        disp('Blogas failas');
        return;
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,['');
    s1=deblank(s1);
    if s1~='item'
        disp('Blogas failas');
        return;
    end
end

```

```

catch
    disp('Neskaito failo');
end
%% pirma dalis
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,[' ');
    findstr(s1, 'item');
    if s1(5:end)~='item'
        disp('Blogas failas');
        return;
    else
        [s1 tline]=strtok(tline(2:end),' ');
        str2double(deblank(s1));
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
tline = fgetl(fid);
tline = fgetl(fid);
tline = fgetl(fid);
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,'=');
    [s1 tline]=strtok(tline(2:end),' ');
    n=str2double(deblank(s1));
catch
    disp('Neskaito failo');
end

for i=1:n
    tline = fgetl(fid);

```

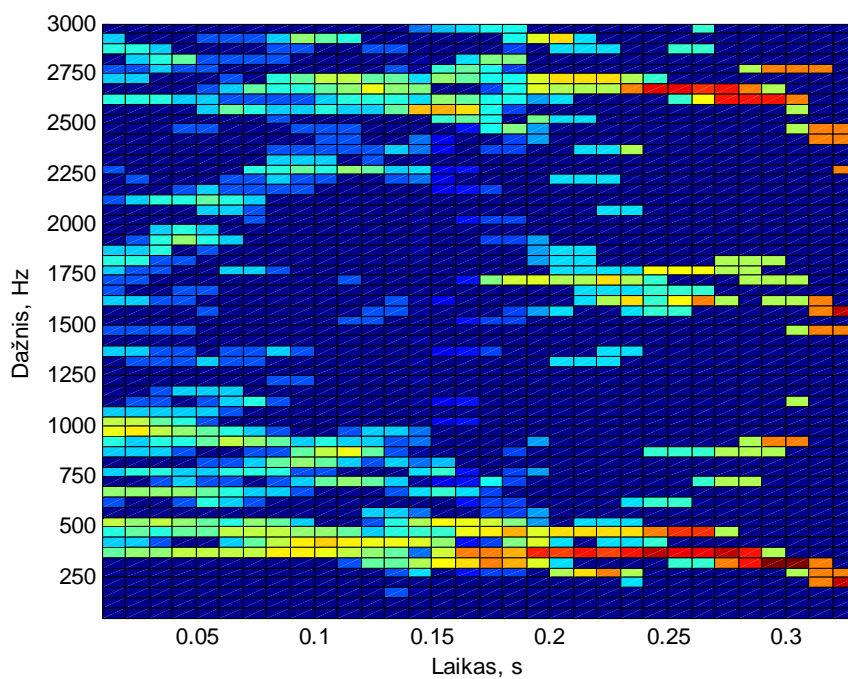
```

try
    [s1 tline]=strtok(tline,[' ');
    ind=str2num(deblank(tline(2:end-2)));
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1 tline]=strtok(tline,['=']);
    x(i)=str2double(deblank(tline(2:end)));
catch
    disp('Neskaito failo');
end
tline = fgetl(fid);
try
    [s1, tline]=strtok(tline,['=']); %% suskaido eilute 's1' tai kas prie lygybe, o 'tline' tai kas po
lygybes
    s2=deblank(tline(4:end-2));          %% papildomas 's1'
    if s2=='pr'
        pp(i)=1;
    elseif s2=='pb'
        pp(i)=2;
    else
        pp(i)=3;
    end
catch
    disp('Neskaito failo');
end
end
if pp(1)==1 && pp(2)==2
    t1=x(1);
    t2=x(2);
elseif pp(1)==2 && pp(2)==1

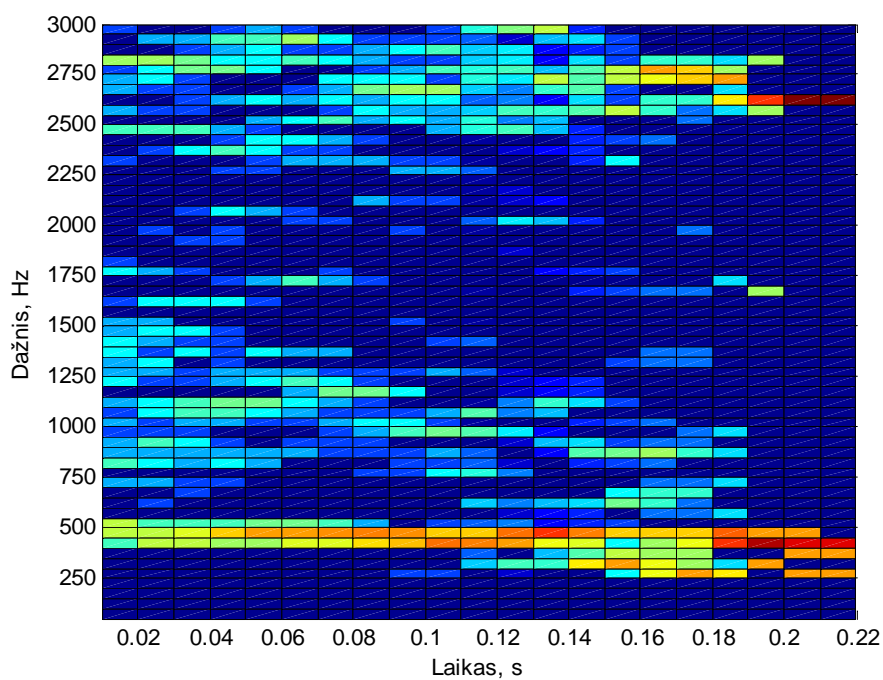
```



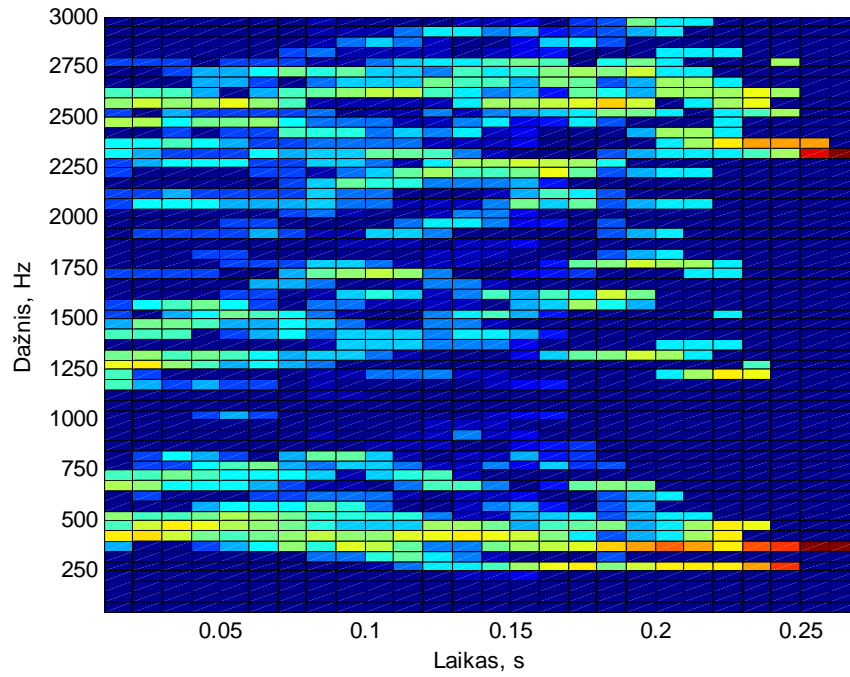
```
t1=x(2);  
t2=x(1);  
end  
  
fclose(fid);
```



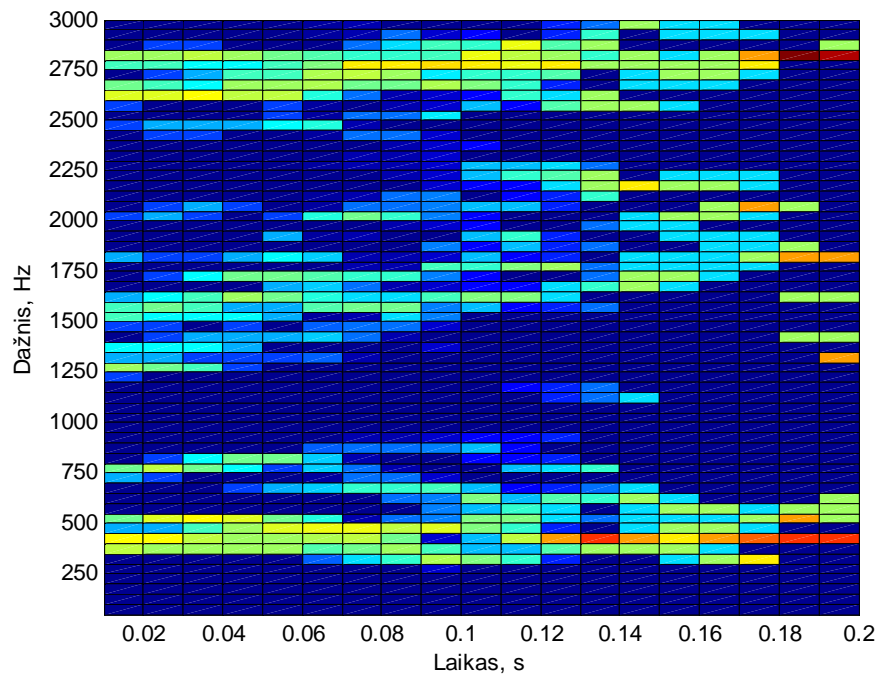
1 pav. “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ai]



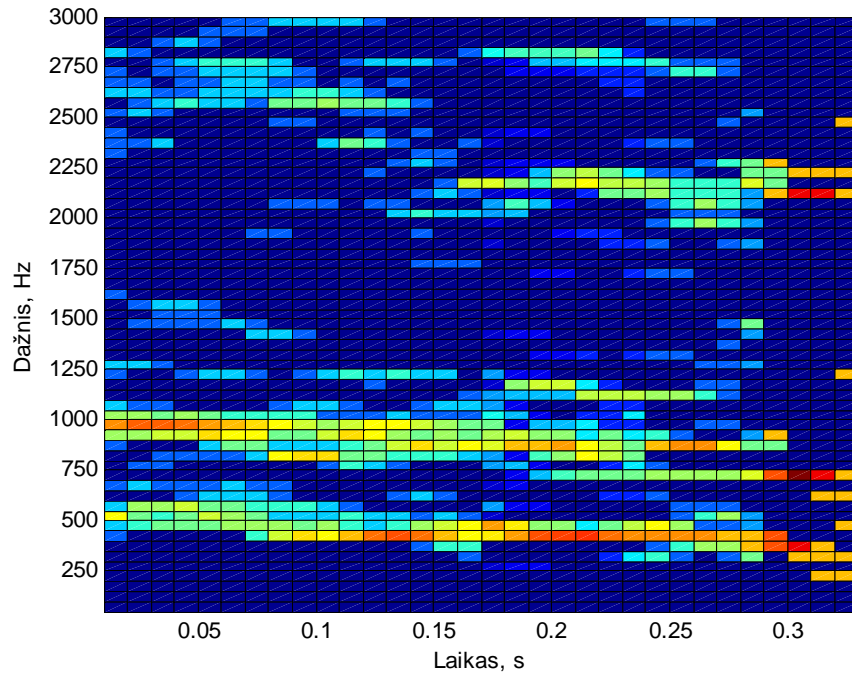
2 pav. “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ai]



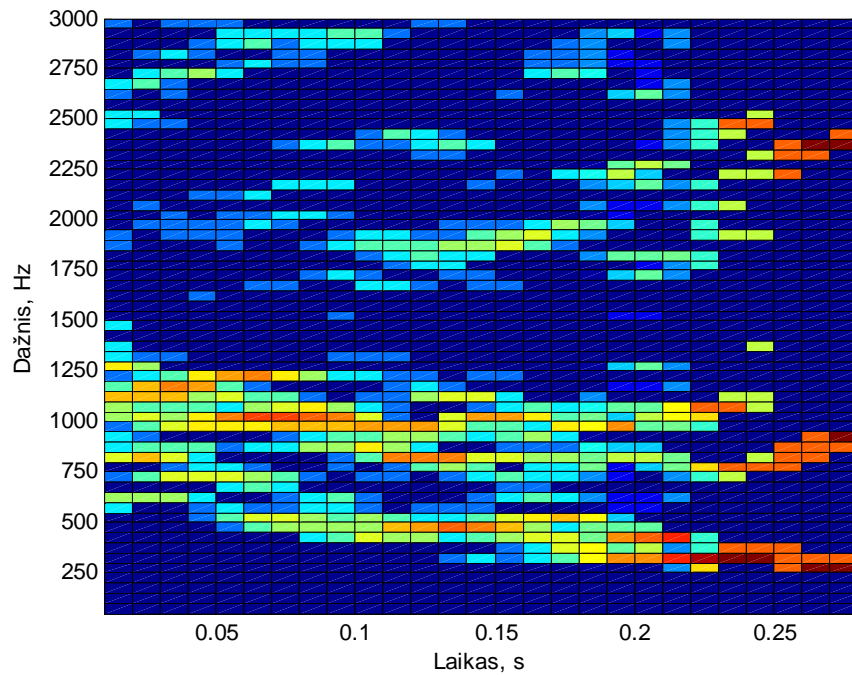
**3 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ai]



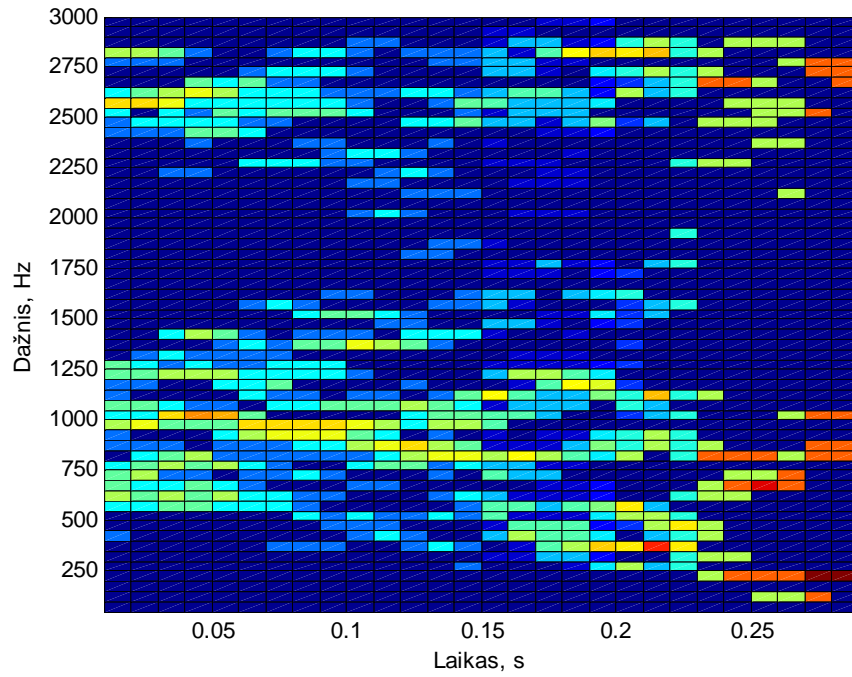
**4 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ai]



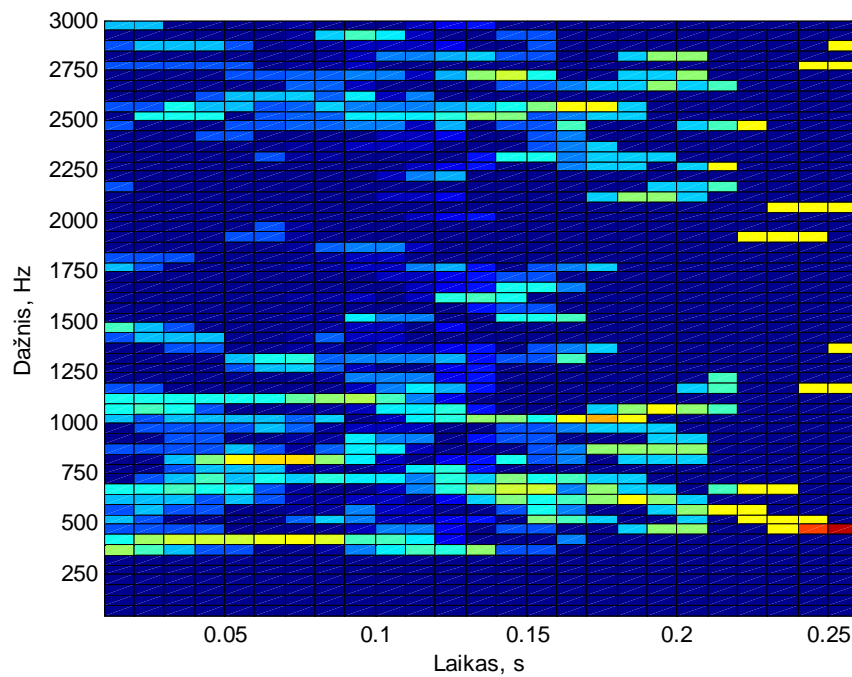
**5 pav.** “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [au]



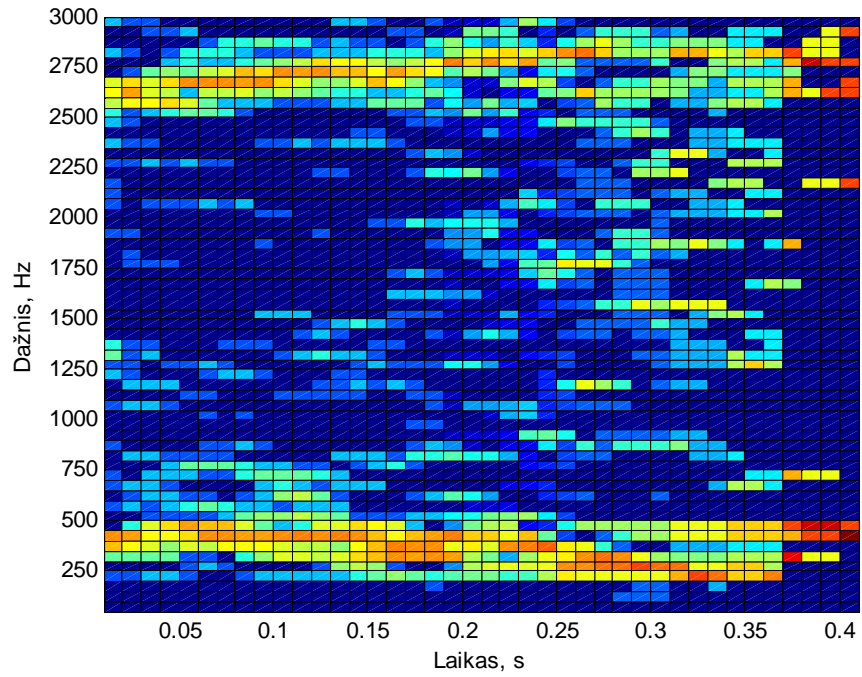
**6 pav.** “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [au]



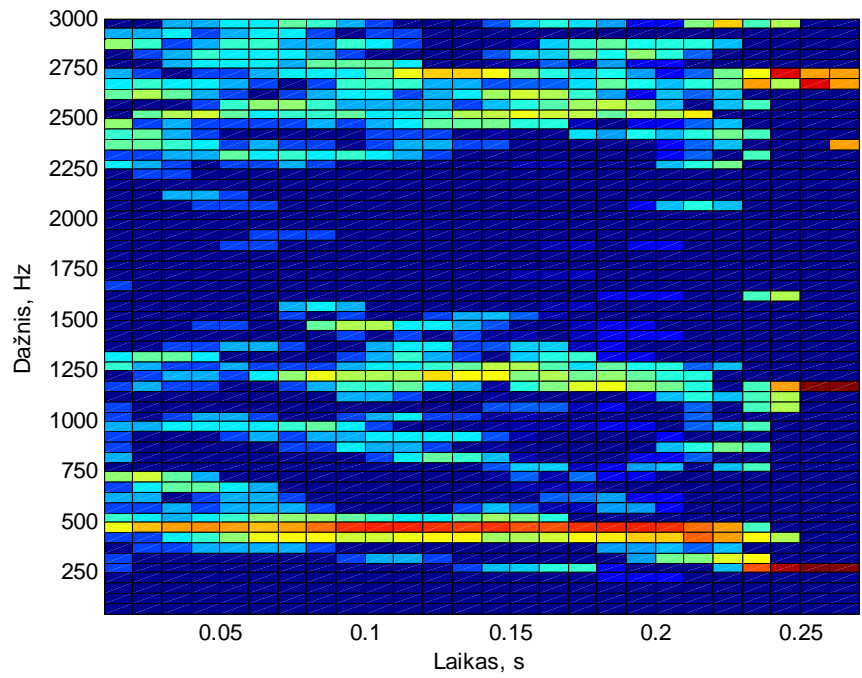
**7 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [au]



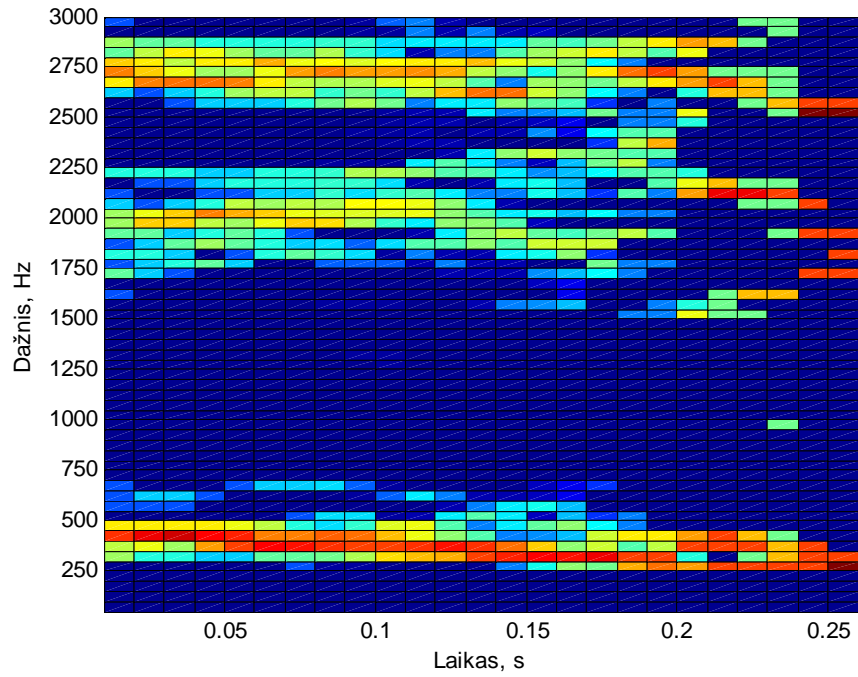
**8 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [au]



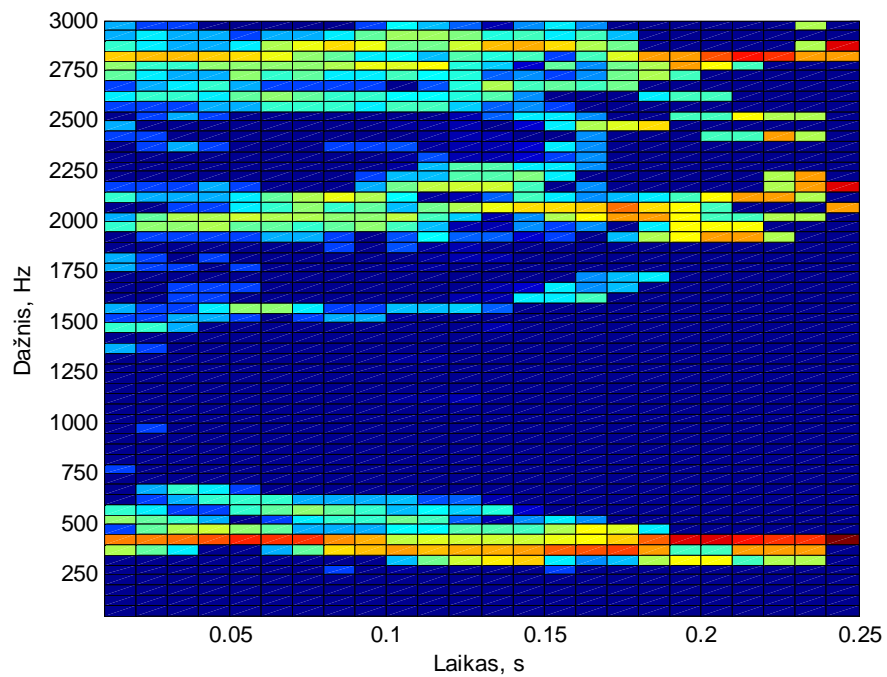
**9 pav.** “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ei]



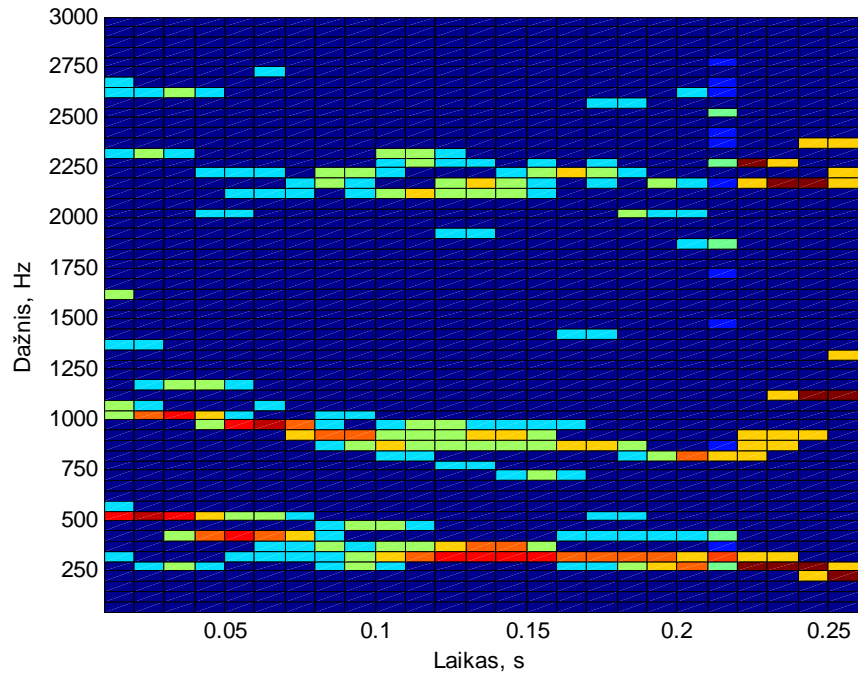
**10 pav.** “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ei]



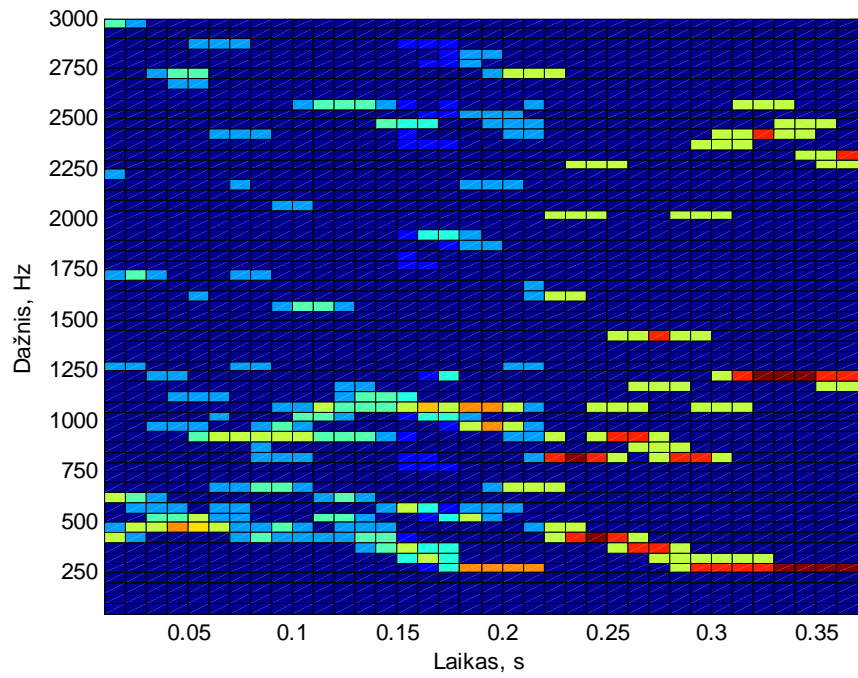
**11 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ei]



**12 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ei]

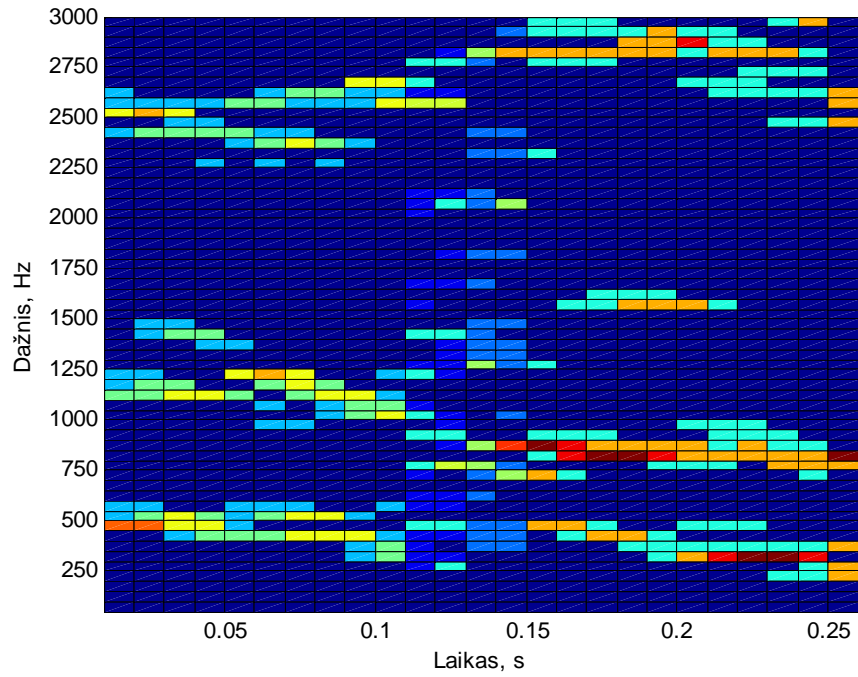


**13 pav.** “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [eu]

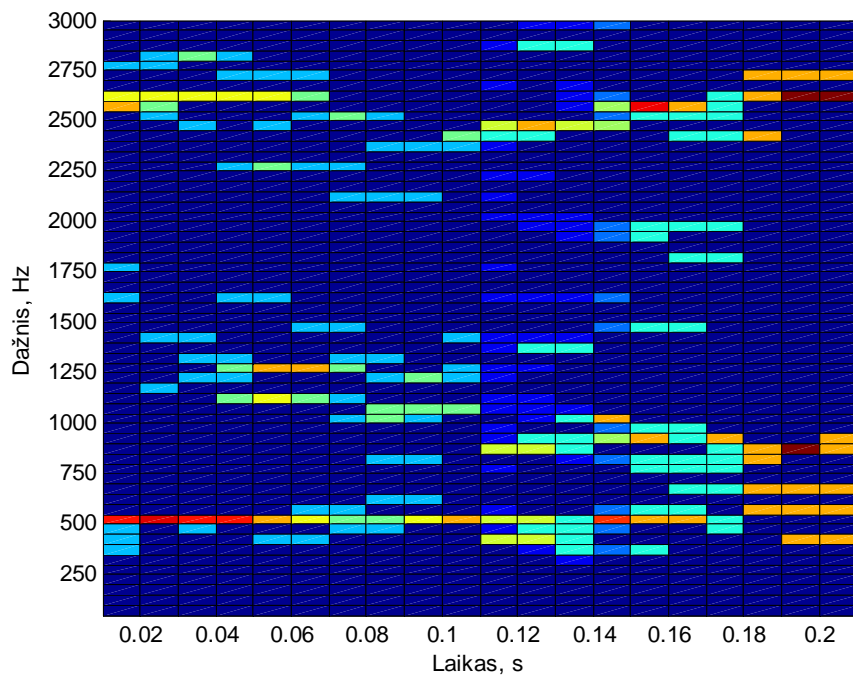


**14 pav.** “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [eu]

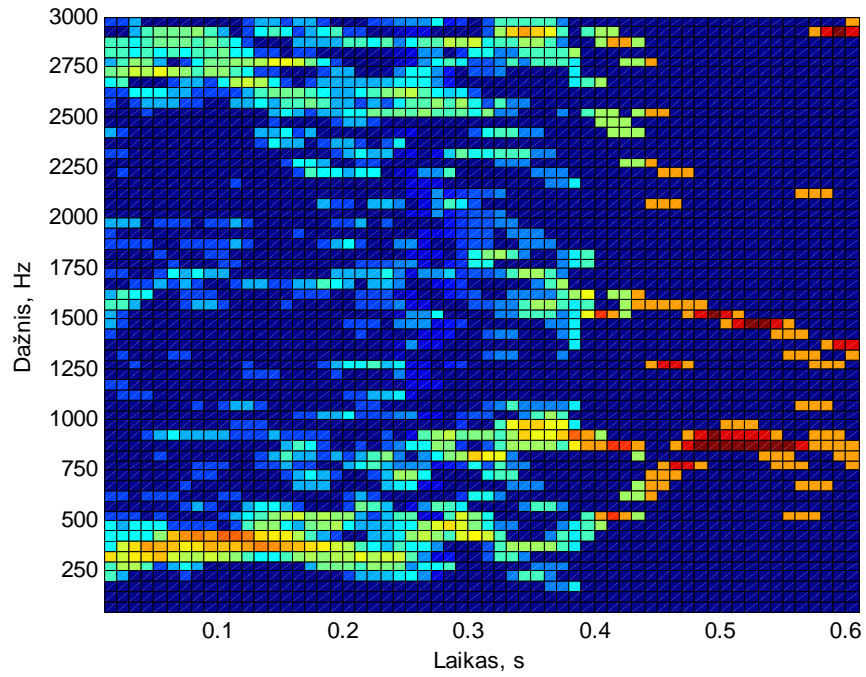




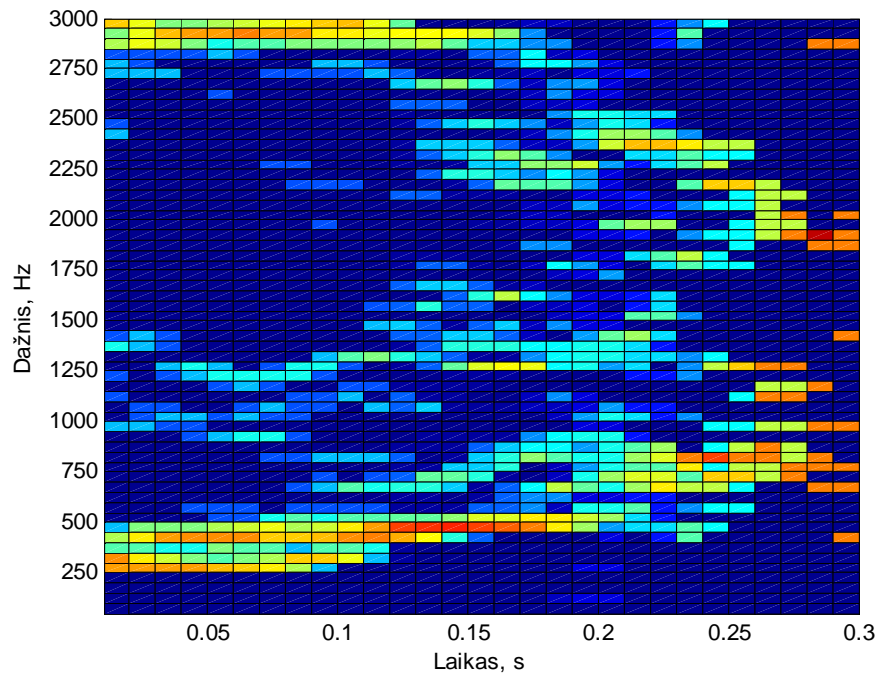
**15 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [eu]



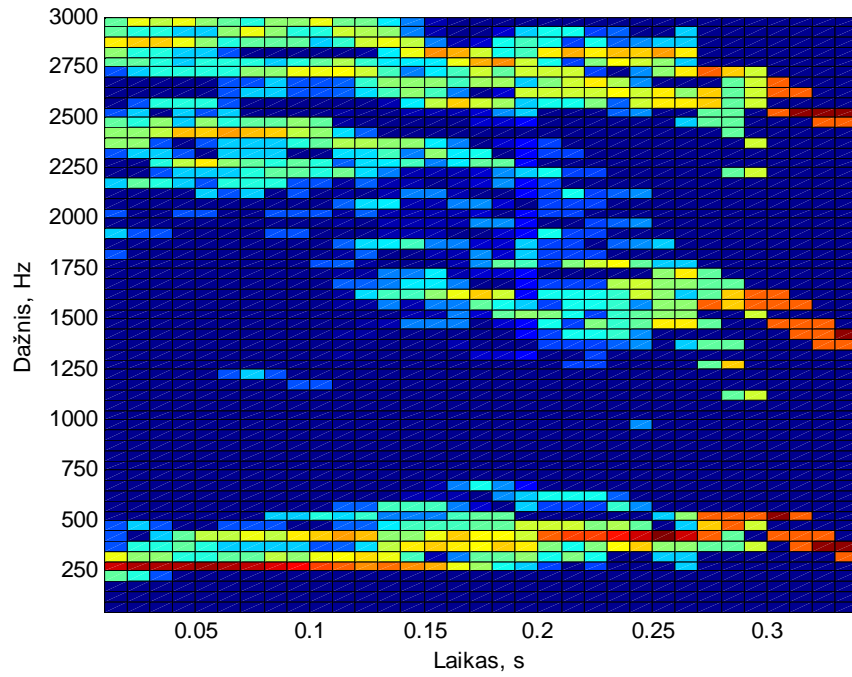
**16 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [eu]



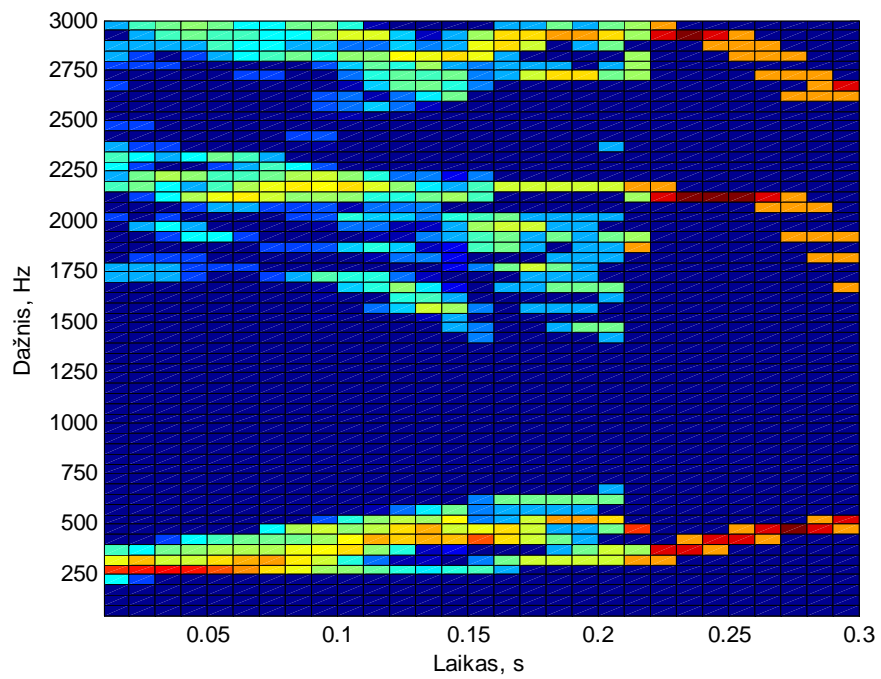
**17 pav.** “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ie]



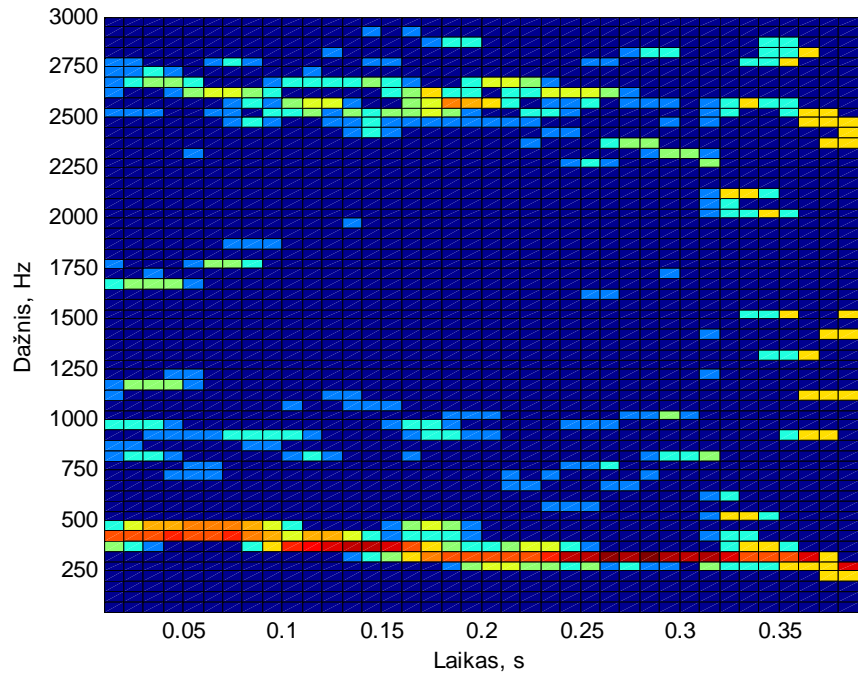
**18 pav.** “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ie]



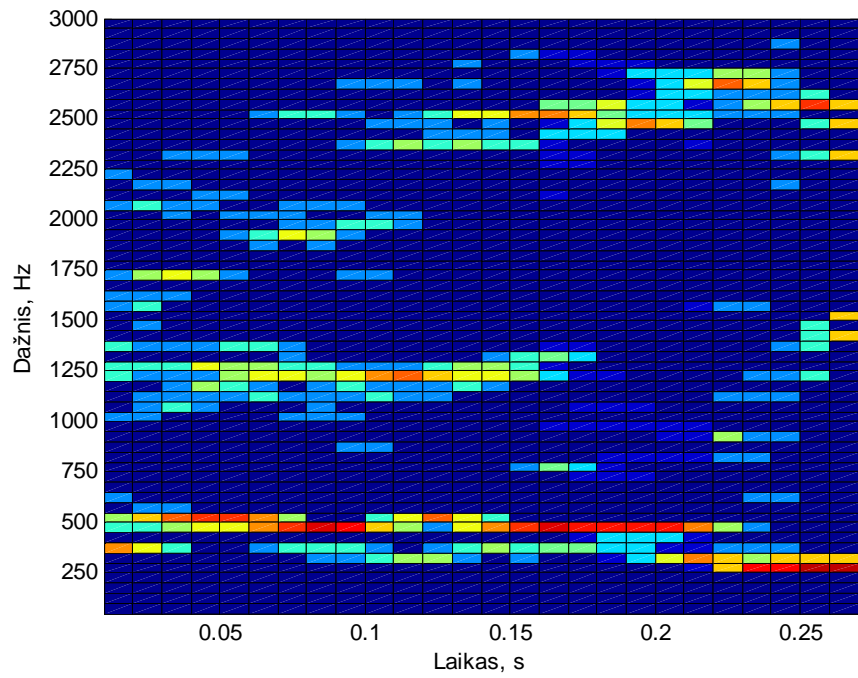
**19 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ie]



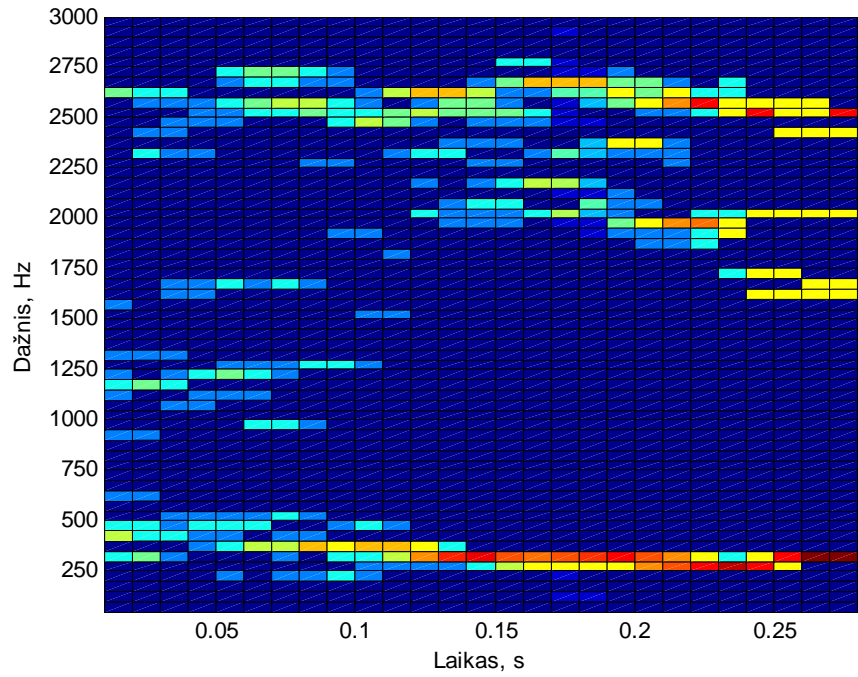
**20 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ie]



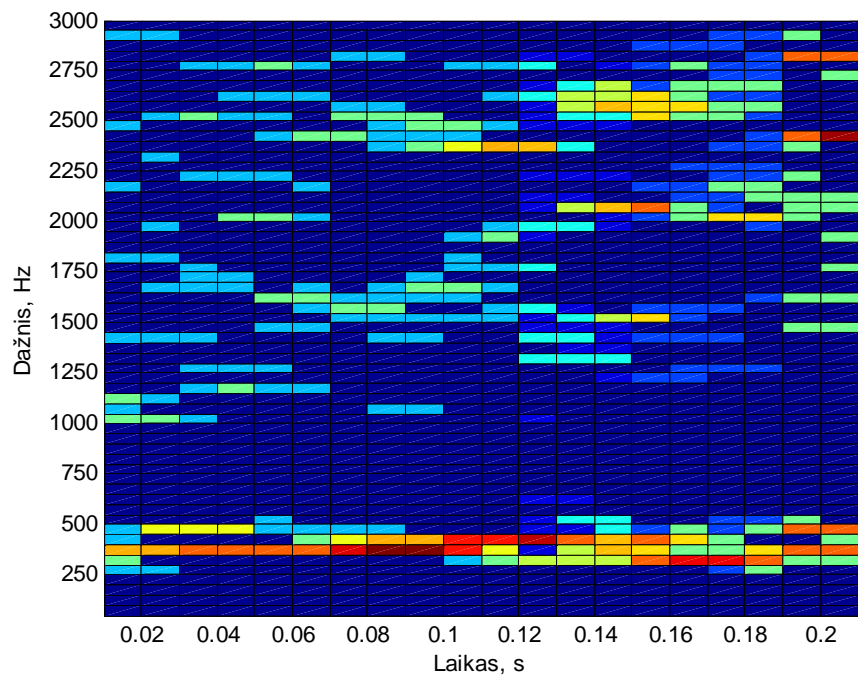
21 pav. “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ui]



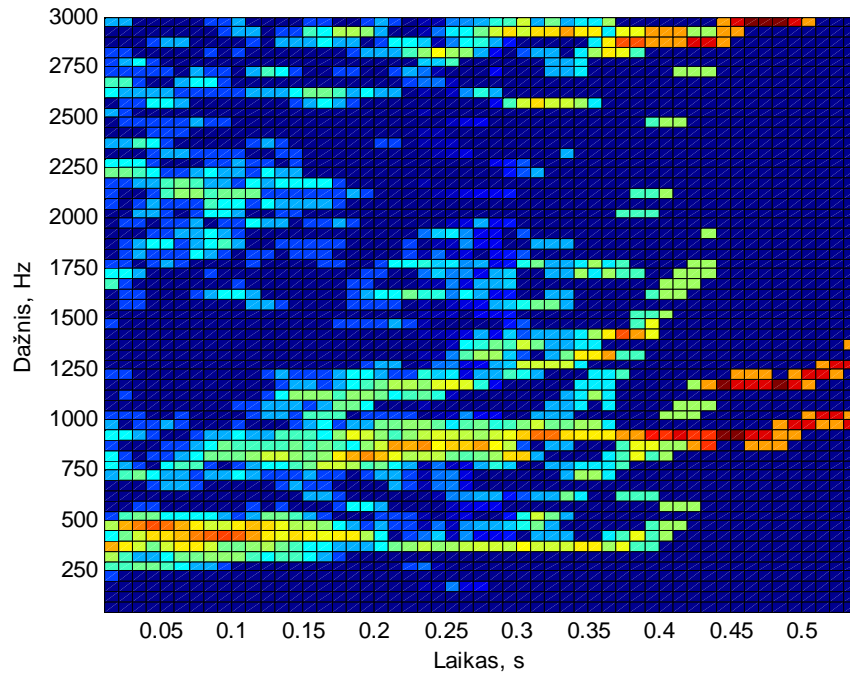
22 pav. “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ui]



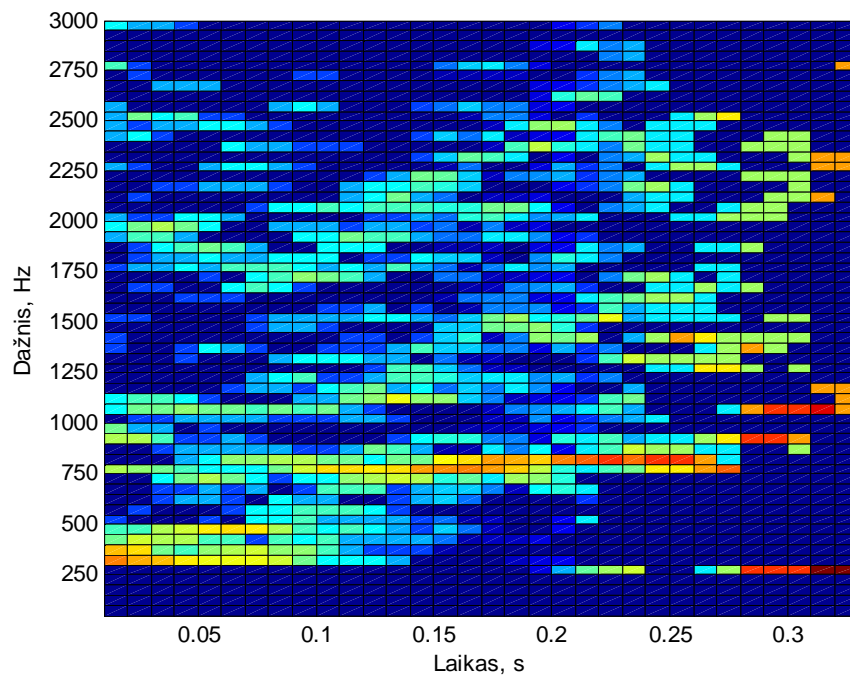
**23 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ui]



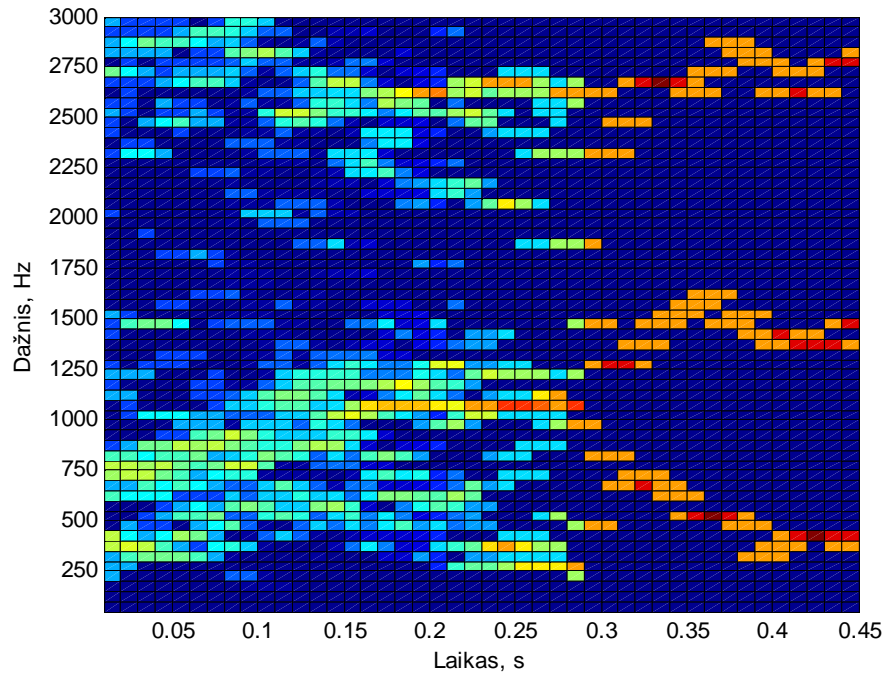
**24 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [ui]



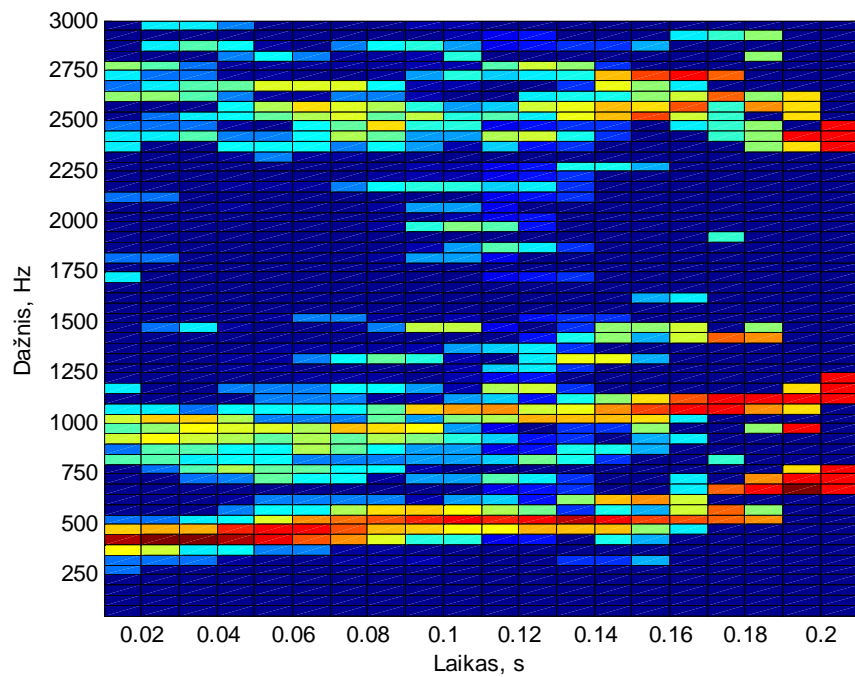
**25 pav.** “Moters 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [uo]



**26 pav.** “Moters 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [uo]



**27 pav.** “Vyro 1” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [uo]



**28 pav.** “Vyro 2” įkalbėtų žodžių formantai, tariant dvibalsį [uo]