

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

VIDMANTAS BARANAUSKAS

ARTIKULIACINĖS KALBOS SINTEZAVIMAS

MAGISTRO DARBAS

Darbo vadovas
Doc. dr. Gintautas Daunys

Šiauliai, 2006

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas:
doc. dr. Gintautas Daunys
2006 06 10

ARTIKULIACINĖS KALBOS SINTEZAVIMAS

MAGISTRO DARBAS

Recenzentas:
ŠU Technologijos fakulteto
Elektronikos katedros

2006 06 10

doc. dr. Darius Miniotas

Vadovas:
doc. dr. Gintautas Daunys
2006 06 10

Atliko:
RM – 4 grupės studentas
Vidmantas Baranauskas
2006 06 10

Šiauliai, 2006

SUMMARY

In the contemporary world of techniques, voice technologies, such as speech recognition, synthesis of speech signals, and their combined versions, acquire more and more significance. If we had a good synthesizer, we could use it widely. An example could be the reading of electronic books in voice, etc. Speech synthesizers of older generation were quite primitive. A modern synthesis machine is not only able to read the text evenly, but to convey the emotionality as well. Speech synthesizer can raise a tone, dictate a question, and synthesize a voice of a desired timbre and speed. These features considerably enrich the speech synthesized.

The articulatory speech synthesizer is based on a model of the physiology of the human speech production process. Articulatory synthesis usually consists of two separate components – articulatory model and acoustic model. In the articulatory model, the vocal tract is divided into numerous small sections and the corresponding cross – sectional areas are used as parameters to represent the vocal tract characteristics. In the acoustic model, each cross–sectional area is approximated by an electrical analog transmission line. To simulate the movement of the vocal tract, the area functions change time.

The aim of the research paper is to analyze the consistent pattern of the vocal tract, generating the sound of Lithuanian language. The tasks are these: to look at the history of speech synthesis; to look at the architecture of speech; to overlook classification of phoneme; to look at the models of speech generation.

TURINYS

IVADAS.....	5
1. TRUMPA GARSŲ SINTEZĖS ISTORIJA.....	6
2. KALBOS ORGANAI IR KALBOS GENERAVIMAS.....	11
2.1 Kalbos generavimo procesas.....	12
2.2 Kalbos organai.....	13
3. FONEMŲ ARTIKULIACINĖ KLASIFIKACIJA.....	19
3.1 Fonemos.....	19
3.2 Balsiai.....	20
3.3 Priebalsiai.....	22
4. SIGNALO GENERAVIMO MODELIAI.....	27
4.1 Tiesinis kalbos trakto modelis.....	27
4.2 Nuoseklus kalbos trakto modelis.....	30
4.3 Lygiagretus kalbos trakto modelis.....	31
4.4 Netiesinis kalbos trakto žadinimo modelis.....	32
5. INFORMACIJOS KALBOS ARTIKULIACINEI SINTEZEI RINKIMAS.....	36
5.1 Žodžių paieška.....	36
5.2 Būdingų žodžių įrašymas.....	36
5.3 Fonemų išskyrimas.....	37
5.4 Kalbos trakto tyrimas Praat programa.....	38
5.5 Kalbos trakto skerspjuvio kitimo analizė.....	40
6. IŠVADOS.....	50
7. LITERATŪRA.....	51
8. PRIEDAI.....	52

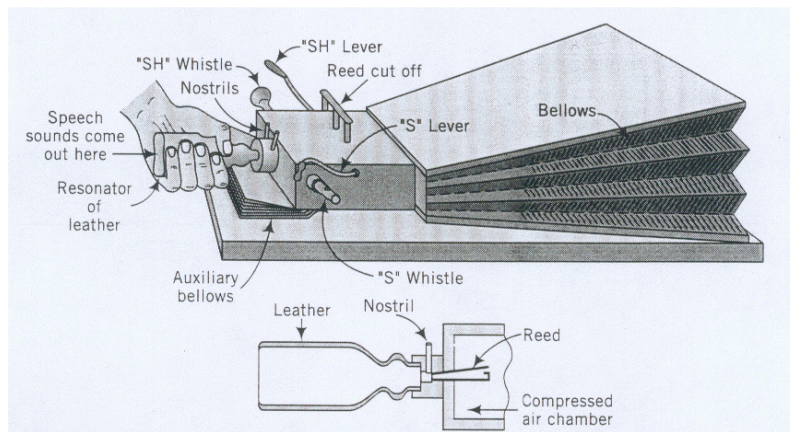
ĮVADAS

Plečiantis žmonių bendradarbiavimui visame pasaulyje, sparčiai augant asmeninių kompiuterių vartotojų skaičiui, žmonės pagrįstai tikisi, kad jie galėtų bendrauti su pasauliu per kompiuterius savo gimtąja kalba. Norint tai padaryti, reikia sukurti tam tikrą bazę, kalbos atpažinimo ir sintezės priemones, automatinio vertimo sistemas, daugiakalbius elektroninius žodynus, daugiakalbius terminologinius bankus, specialias kompiuterines dialogines sistemas, didelius tekstynus bei garsynus ir t.t. Populiariausiomis Europos kalboms (anglų, vokiečių, prancūzų, ispanų, italų) šios priemonės yra sukurtos, naudojamos ir toliau tobulinamos. Kalbos sintezės programos yra aktualios tokiems vartotojams, kurie labiau mėgsta klausytis teksto, o ne skaityti elektronines knygas iš monitoriaus ekrano, kurie saugo savo regėjimą, kurie nori išgirsti kaip skamba žodžiai ir frazės įvairiomis kalbomis. Daugelis kalbos sintezatorių leidžia klausytis elektroninėse knygose spausdinamo teksto per labai pasaulyje populiarių mp3 grotuvą. Taip pat kalbos sintezės programos gali būti įdomios tokiems vartotojams, kurie svajoja išmokyti "kalbėti" savo kompiuterį, arba tiesiog nori sužinoti, kaip dirba kalbos sintezatoriai.

Mano magistro tiriamojo darbo tikslas yra ištirti kalbos trakto kitimo dėsningumus, tariant lietuvių kalbos garsus. Ypač tai galima pastebėti kalbos trakto skerspjūvio priklausomybėse nuo balso trakto ilgio. Darbo uždaviniai yra šie: 1) susipažinti su garsų sintezės istorija ir apžvelgti kas jau yra padaryta; 2) susipažinti su kalbos trakto sandara; 3) apžvelgti fonemų artikuliacinę klasifikaciją; 4) apžvelgti signalo generavimo modelius; 5) išanalizuoti kalbos trakto formos kitimą keičiantis garsiniam signalui.

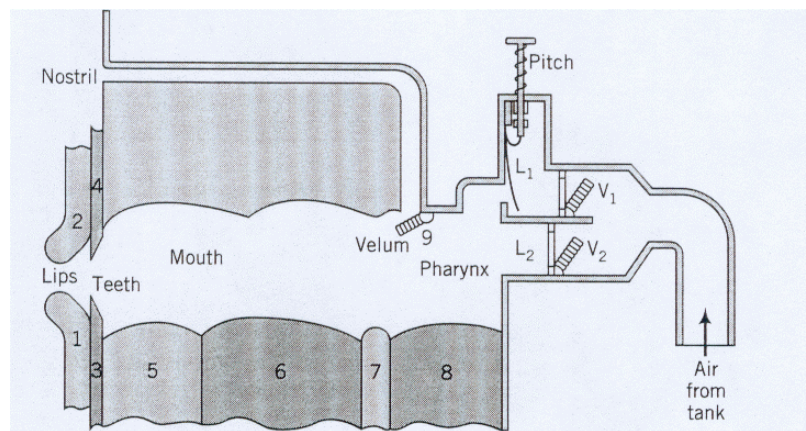
1. TRUMPA GARSŲ SINTEZĖS ISTORIJA

Von Kempelen. Prieš daugelį metų von Kempelen pademonstravo, kad žmogaus kalbos generavimo sistema gali būti modeliuojama. Jis tai pademonstravo maždaug 1780 metais sukurdamas “kalbantį” mechaninį aparatą. Jis taip pat parašė knygą, kurioje nagrinėjo kalbos pagrindus, žmogaus kalbos generavimo sistemą ir savo kalbantį aparatą. 1.1 pav. parodytas Wheatstone sukurtas aparatas, kuris rėmėsi Kempelen'o darbais. Odinis rezonatorius buvo operatoriaus valdomas, bandant kopijuoti balso trakto akustinę konfigūraciją tariant vokalizuosius garsus. Dumplės teikė oro srovę. Vibruojanti nendrė (reed) generavo vibruojančias slėgio bangas ir įvairūs maži švilpukai ir svirtelės (levers) generavo daugumą priebalsių.



1.1 pav. **Wheatstone sukurtas kalbantis aparatas**

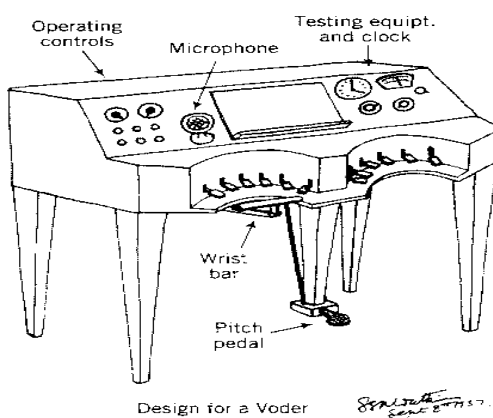
Daug vėliau, maždaug 1937 metais, Riesz sukūrė mechaninį kalbantį aparatą, kuris tiksliau modeliuo žmogaus kalbos generavimo mechanizmą. Jis pavaizduotas 1.2 pav.



1.2 pav. **Riesz kalbantis aparatas**

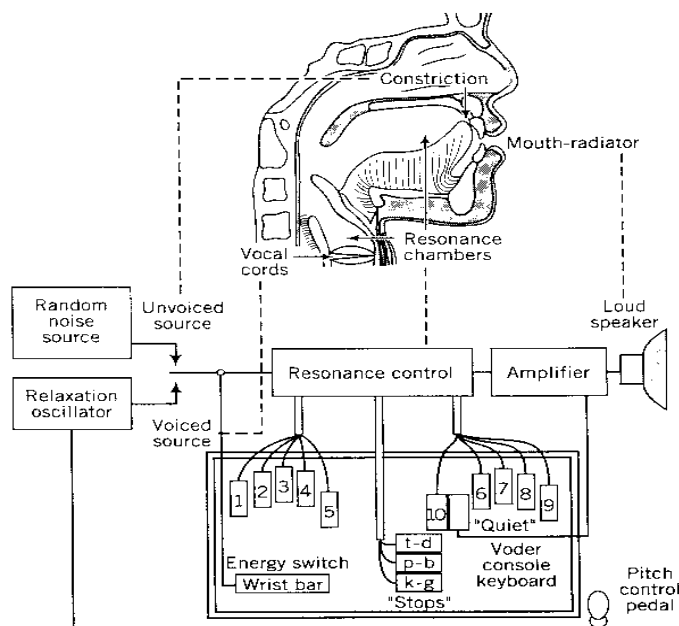
Voderis. Modernūs kalbos apdorojimo metodai prasidėjo JAV. Homer Dudley maždaug 1939 metais sukūrė kanalinių vokoderį ir Voderį (balsu valdomą demonstratorių angl.-demonstrator). Pastarasis buvo triukšmingai išreklamuotas San Francisco ir Niujorko Pasaulinėje Mugėje 1939 metais. To meto laikraščių iškarpose, buvo žavimasi šiuo kūrinium, stebimasi kaip robotas gali kalbėti.

Voderis nekalbėjo be žmogaus pagalbos. Operatorius valdė Voderį iš valdymo pulto, kuris buvo panašus į pianino klaviatūrą. Pulte yra elektroninis prietaisas, kuris kalba. Pagrindinė problema buvo operatoriaus apmokymas. Operatoriaus apmokymas truko nuo 6 mėnesių iki metų, tačiau daugelis operatorių taip ir neišmoko jo valdyti. 1.3 pav. parodytas Voderio valdymo pulto eskizas.



1.3 pav. **Voderio** eskizas

Klavišai buvo naudojami sukurti įvairius garsus. Kakliuko klavišas buvo raktas, kuris nusakydavo ar žadinimas vokalizuos ar ne. Pagrindinio tono (pitch) pedalas suteikdavo intonacijos informaciją. 1.4 pav. vaizduoja Voderio valdymo schemą ir rodo kaip tai susiję su žmogaus balso trakto artikulatoriais.



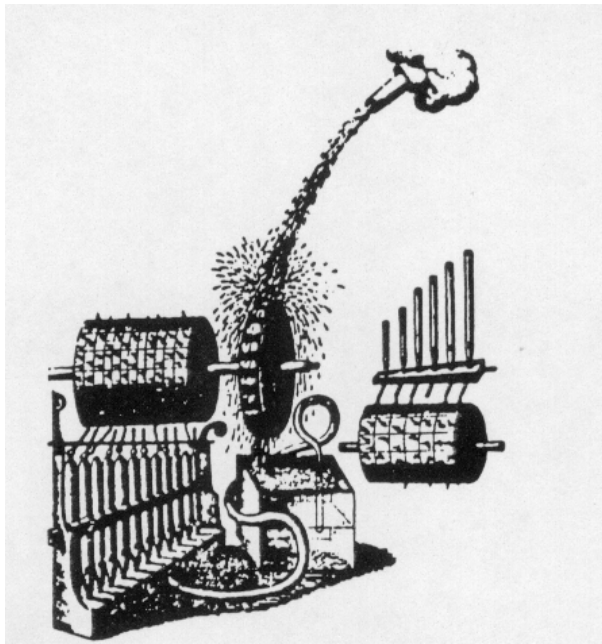
1.4 pav. Voderio valdymas

Klavišai 1 –10 valdo atitinkamus sistemos juostinius filtrus. Jeigu du ar trys klavišai buvo nuspausti ir kakliuko klavišas (wrist bar) buvo zvimbimo (buzz) padėtyje, buvo generuojamos balsės ir nosiniai garsai. Jeigu kakliuko klavišas buvo atleidžiamas, garsai, tokie kaip nevokalizuoti frikatyviniai (pvz., “f”), buvo generuojami. Specialūs jungikliai buvo naudojami generuoti sprogstamuosius garsus (pvz., “p”, “d”) ar afrikatyvinius garsus (“ch” kaip žodyje cheese; “j” kaip žodyje jaw).

Voderis buvo nuostabus ne tik dėl to, kad jis kalbėjo, bet ir dėl to, kad žmogus galėjo būti išmokytas juo "groti". Mūsų laikais kalbos sintezė yra atliekama naudojant realaus laiko kompiuterines programas ir daugiausia naudojama atsakančiose balsu sistemose, kuriose sintetizatorius paima informaciją iš atmintyje saugomo žodyno arba taip vadinamos teksto į kalbą sistemos, kurioje tekstas, kuris yra surinktas iš klaviatūros arba elektroniškai nuskanuotas, yra naudojamas valdyti sintetizatoriaus parametrus.

Kalbos sintezė po Voderio. Daug kalbos sintezės įrenginių buvo sukurta per dešimtmečius po Voderio išradimo, bet patys sintezės principai liko gana panašūs. Tais pačiais principais remiantis sukurta dauguma muzikos sintetizatorių.

Dar vienas 17 amžiaus pavyzdys – vandens sukami būgniniai vargonai (1.5 pav.). Spyruoklės sukami būgniniai vargonai galėjo egzistuoti nuo 12 amžiaus. Būginių vargonų veikimas remiasi tais pačiais principais kaip ir mūsų dienų muzikinių dėžučių veikimas. Jeigu strypelių pozicijos yra parinktos, ta pati muzika bus grojama kiekvienam pilnam būgno apsisukimui.



1.5 pav. 17 amžiaus vandens sukami būgniniai vargonai.

Būgniniai vargonai yra tam tikra tiktai skaitomos (read only) atminties nelabai kompaktiška forma. Būgniniai vargonai negali įrašyti atlikėjo grojamos muzikos. 18 amžiaus pabaigoje abi šios problemos buvo išspręstos melografijos (melography) pagalba, kuri leido įrašyti ir groti muziką naudojant popierinėje juostoje arba popierinėse kortose išmuštas skyles. Joseph Marie Jacquart sukūrė įrenginį, kuris galėjo keisti (advance) ir registruoti (register) kortas. (Perforuotas kortas naudojo didysis inovatorius Babbage bandydamas sukurti mechaninę skaičiavimo mašiną. Mūsų laikais jos buvo naudojamos informacijai į kompiuterį įvesti.) Kortomis valdomi gatvių vargonai naudojo šią technologiją. Perfokortas buvo nesunku dubliuoti, skirtingose perfokortų kaladėse buvo skirtinga muzika, muzikinės mašinos tapo labai perkamos. Apie 20 amžiaus pradžią ši idėja buvo pritaikyta pianinui (player piano).

Ant popieriaus juostos automatiškai galima buvo išmušti skyles grojant kokiam nors žymiam pianistui. Tada ši popieriaus juosta galėjo paleisti grojimo mechanizmą, kad tas sugeneruotų įrašytą variantą. Kadangi pianino klavišai buvo oru valdomi, papildoma perforacija juostoje reguliavo kintantį oro srauto padavimą į sistemą. Iki aukšto tikslumo mikrofono sukūrimo šitokio tipo pianinai (player pianos) užtikrindavo didesnę atgaminimo tikslumą negu gramofono mikrofonai. Žinoma, jie galėjo įrašyti tiktai pianino skambesį, tuo tarpu kai gramofonai galėjo užrašyti visus garsus.

20 amžiaus pradžioje Thaddeus Cahill sukonstravo įrenginį, vadinamą telharmonium. Prisiminkime, kad jis buvo sukurtas *prieš* elektronikos atsiradimą. Cahill buvo tiek išradingas, kad suprato jog bet koks garsas gali būti sintezuotas sumuojant sinusoides su atitinkamais dažniais ir

amplitudėmis. Kiekvieną sinusoidę sukurdamo generatorius. Kad sukurti įdomią muziką reikėjo daug tokių generatorių ir taip pat daug papildomos įrangos. Rezultate gavosi monstras, sveriantis daugelį tonų. Cahill-o adityvios sintezės koncepcija iki šiol yra daugelio elektroninių muzikos sintetatorių svarbi savybė. (Daugelis vėlesnių sintetatorių priešingai naudojo subtractyvią sintezę, kurioje plačiajuostės žadinimo funkcijos adaptivi filtracija generuodavo garsą.) Adityvios sintezės koncepciją naudojo McCaulay ir Quatieri, 1986 kuriant kalbos analizės-sintezės sistemą.

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

Kitas taip pat visiškai kitoks tikras sintetatorius yra thereminas (theremin), pavadintas jo išradėjo ruso Lev Termin vardu. Šioje sistemoje antena yra elektroninio osciliatoriaus grandinės dalis. Judinant ranką netoli antenos dėl grandinės talpumo pasikeitimo keičiasi osciliatoriaus dažnis ir šis kintančio dažnio signalas yra sumaišomas su fiksuoto dažnio osciliatoriaus signalu. Tokiu būdu sukuriama audio tonai, kurių dažnis keičiamas judinant ranką. 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.

Vienas naujausių sintetatorių yra patalpintas į internetinį puslapį [1]. Svetainė sukurta naudojant Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto lekt. dr. Pijaus Kasparaičio lietuvių kalbos teksto transkribavimo ir kirčiavimo algoritmą bei Mbrola sintetatoriui pritaikytą fonetinių vienetų bazę, sukurta Pijaus Kasparaičio ir Vilniaus universiteto Filologijos fakulteto prof. habil. dr. Alekso Stanislovo Girdenio. Balso sintezavimui naudojamas Mbrola [2] sintetatorius, sukurtas Faculte Polytechnique de Mons Universiteto mokslininkų. Svetainę programavo ir patalpino internete Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto studentas Andrejus Andrejus Abrosimovas. Ši "lietuviškai kalbanti" svetainė, skirta pademonstruoti lietuvių kalbos sintezės pritaikymo galimybes internete. Sistema yra toliau kuriama, dirbama prie teksto skaitymo kokybės gerinimo. Šios svetainės sandara labai paprasta. Į laisvą "lango" vietą įvedus vieną ar kelis žodžius ir paspaudus atitinkamą mygtuką, sugeneruojamas garsinis signalas. Galima pasirinkti kelius tarimo grečius bei tono lygį. Atitinkamai pasikeičia ir generuojamas signalas.

2. KALBOS ORGANAI IR KALBOS GENERAVIMAS

Žmogaus balsas yra sudėtingas instrumentas ir turi labai plačias galimybes. Balso stygos gali įsitempti ir atsipalaiduoti, keisti savo storį, oras gali būti išskvepiamas per jas įvairiu slėgiu, liežuviu, lūpų ir dantų padėtis gali koreguoti garsą, krūtinės ir gerklės forma bei įvairių raumenų įtempimas taip pat gali pakeisti balsą. Kiekvienas iš šių veiksmų atitinkamai keičia balso aukštį, tembrą, garsumą ar toną.

Muzikoje dainininko balsai gali būti suskirstyti į tam tikras kategorijas pagal tai, koku būdu išgaunamas garsas. Kiekviena kategorija yra pavadinta pagal tai, kurioje kūno vietoje sukuriama didžiausias rezonansas, taigi, labiausiai formuojamas balsas. Kiekviena iš jų pasižymi tam tikromis unikaliomis savybėmis. Deja, nėra vieningai priimtose klasifikacijos sistemos. Toliau minimi registrai remiasi išgaunamo balso aukščiu.

Krūtinės balsas. Tai yra 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 daininkai dainuoja žemiausias natas savo balso diapazone. Dažniausiai dainavimas krūtine apibūdinamas kaip sodrus, pilnas, tačiau gali būti ir užspausťas. 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 arba perėjimas palaipsniui. Profesionalai dainininkai dažniausiai gali pasipraktikavę pasirinkti, ar dainuoti šias natas krūtinės, ar galvos balsu.

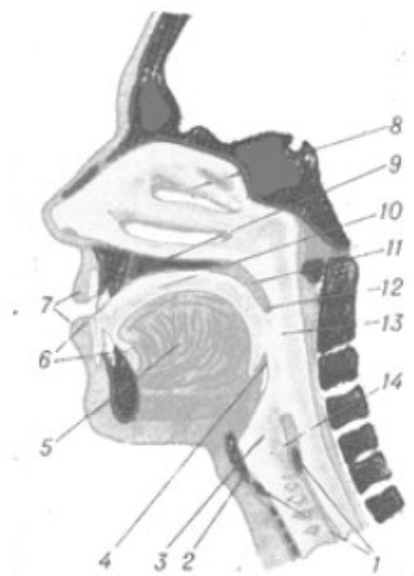
Galvos balsas. Dažniausiai galvos balsas yra naudojamas tada, kai mes šaukiame ar esame susijaudinę. Jam būdingi aukštesnio dažnio garsai, kurie labiau rezonuoja ne krūtinėje, o burnoje ir veido ertmėse. Dainininkai naudoja galvos balsą aukščiausioms savo diapazono natoms išdainuoti. Galvos balsas dažniausiai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

Falctetas. Falcetu vadinamas dar aukštesnis balsas nei galvos. Lengviau pastebėti, kada falcetu dainuoja vyras nei moteris. Dainuoti falcetu yra labai sunku, kadangi balso stygos yra itin įtempiamos. Dažniausiai falcetas būna labai silpnas, išskyrus tuos atvejus, kai kvėpavimo traktas rezonuoja ir sustiprina garsą. Falcetas ganėtinai skiriasi nuo galvos balso ir dauguma dainininkų neįskaito falceto kalbėdami apie savo balso diapazoną. Vyrishkiai, kurie dažnai dainuoja falcetu, yra vadinami kontratenorais.

2.1 KALBOS GENERAVIMO PROCESAS

Balso traktas prasideda ties balsaskyle ir baigiasi ties lūpomis. Balso traktą sudaro ryklė (dalis nuo stemplės iki burnos) ir burnos ertmė. Vidutiniškai vyrui bendras balso trakto ilgis yra apie 17 cm. Balso trakto skersinė sritis, nusakoma liežuvio, lupų, smakro ir minkšto gomurio, kinta nuo nulio (pilnas uždarymas) iki maždaug 20 cm². Nosies traktas prasideda ties gomuriu ir baigiasi ties šnervėmis. Kai gomurys (panašus į liuką mechanizmas burnos ertmės užpakalinėje dalyje) yra nuleidžiamas, nosies traktas yra akustiškai suporuojamas su balso traktu, kas sukurti kalbos nosinius garsus.

Žmogaus balso mechanizmas yra parodytas 2.1 paveikslėlyje. Oras patenka į plaučius per normalų kvėpavimo mechanizmą. Kai oras išeina iš plaučių per trachėją, įtemptos balso stygos gerklose sukelia vibraciją (atpalaiduoto oscilatoriaus režime) dėl oro srovės. Oro srovė yra paverčiama kvaziperiodiniais impulsais, kurie tada moduluojami pagal dažnį praleidžiant per gerklės ertmę (ryklę), burnos ertmę ir galimai nosies ertmę. Priklausomai nuo įvairių artikuliacijų (smakro, liežuvio, minkšto gomurio, lupų, burnos) padėties yra sukuriami įvairūs garsai. 2.1 pav. pavaizduoto šie padargai: 1 – žiedinė kremzlė, 2 – skydinė kremzlė, 3 – balso stygos, 4 – antgerklis, 5 – liežuvis, 6 – dantys, 7 – lūpos, 8 – nosies ertmė, 9 – kietasis gomurys, 10 – burnos ertmė, 11 – minkštasis gomurys, 12 – liežuvėlis, 13 – ryklė, 14 – gerklos.



2.1 pav. **Kalbėjimo padargai**

Plaučiai ir su jais susiję raumenys veikia kaip oro šaltinis, sužadinantis balso mechanizmą. Raumenų jėga stumia orą iš plaučių per bronchus ir trachėją. Kai balso stygos yra įtemptos, oro srovė vibruoja, sukurdamą taip vadinamus vokalizuosius kalbos garsus. Kai generuojant garsą balso

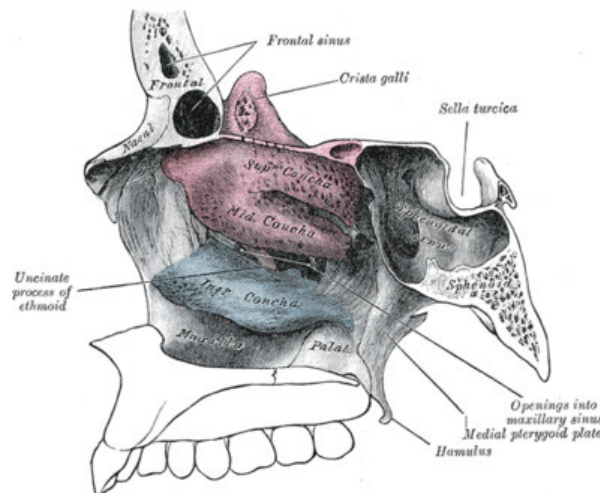
stygos yra atleistos, oro srovė turi arba praeiti per susiaurėjimą balso trakto ir tokiu būdu tapti turbulentine, sukurdamą taip vadinamus nevokalizuotus garsus, arba ji gali sukurti spaudimą pilno uždarymo taško užpakalyje balso trakto viduje ir kai uždarymas yra atidaromas, spaudimas yra staigiai ir šuoliškai išlaisvinamas, sukuriant trumpą trumpalaikį garsą.

Kalba yra sukuriama kaip garsų seka. Vadinasi balso stygų būseną, taip pat ir įvairių artikuliatorių padėtys, formos ir dydžiai kinta laike, atspindėdami kuriamą garsą. Kiek plačiau aptarkime atskirų kalbos padargų sandarą.

2.2 KALBOS ORGANAI

Nosies ertmė. [3] Nosies ertmė yra pagrindinė kvėpavimo takų dalis, taip pat ir uoslės organas (2.2 pav.). Kvepiančios medžiagos, kartu su įkvepiamu oru patekusios į nosies ertmę, dirgina uoslės organo receptorių ir sukelia uoslės pojūtį. Oras nosies ertmėje sušyla, sudrėksta ir apsivalo.

Pertvara nosies ertmę dalija į dvi dalis, kurios su išore susisiečia per šnerves, o su nosiaryklės ertme – per nosinės ryklės angas. Nosies ertmės sienas sudaro kaulai ir kremzlės padengti gleivine, kuri, įvairių dirgiklių veikiami, greitai išbrinksta.



2.2 pav. **Nosies ertmė** [4].

Stambiausios yra nosies pertvaros kremzlė, kuri sudaro priekinę pertvaros dalį, ir lateralinės bei didžiosios sparno kremzlės. Skiriamos viršutinė, apatinė ir medialinė (pertvara) nosies ertmės sienos. Nuo laterinės nosies sienos nutįsta žemyn viršutinė, vidurinė ir apatinė nosies kriauklės. Dvi pirmosios yra akytkaulio plokštelės, o apatinė – savarnkiškas kaulas. Tarp nosies kriauklių susidaro trys landos: viršutinė, vidurinė ir apatinė. Viršutinė nosies landa vadinama uodžiamąja, nes jos gleivinėje yra uoslės organo receptorių, o vidurinė ir apatinė – kvėpuojamąja sritimi.

Nosies ertmė susisiečia su gretimų kaulų ančiais, vadinamais prienosiniais ančiais. Jiems priklauso viršutinių žandikaulių, kaktiniai, pleištakaulių ančiai ir akytkaulio labirintai. Naujagimio kaukolėje yra tik viršutinių žandikaulių ančiai. Visi kiti pradeda vystytis tik 1 – 2 ir galutinai susiformuoja 10 – 12 gyvenimo metais. Viršutinių žandikaulių, kaktiniai ančiai bei akytkaulio priekinis bei vidurinis labirintai atsiveria į vidurinę nosies landą, o pleištakaulių ančiai bei akytkaulio užpakalinis labirintas – į viršutinę nosies landą. Į apatinę nosies landą atsiveria ašarinis nosies latakas.

Iš nosies ertmės oras patenka į nosiaryklę, po to į burninę bei gerklinę ryklės dalis, kur yra viršutinė gerklų anga. Ryklėje kryžiuojasi virškinimo ir kvėpavimo takai. Oras į gerklas gali patekti ir pro burną.

Burnos ertmė. Burnos ertmė – virškinimo sistema dalis esanti už dantų. Priekinėje dalyje ji pereina į burnos prieangį, kurį supa lūpos, o užpakalinėje dalyje susiekia su rykle; jos riboje yra tam tikra anga - žiotys. Burnos ertmės pradinę dalį užima kietasis gomurys, o užpakalinę - minkštasis. Minkštasis gomurys yra burnos ertmės užpakalinėje dalyje. Jo laisvasis galas nulinkęs žemyn liežuvėlio pavidalu. Šis liežuvėlis atskiria burnos ertmę nuo burninės ryklės dalies. Liežuvėlis svarbus ryjant maistą, nes nusileisdamas uždaro praėjimą į kvėpavimo takus. Visa burnos ertmė išklota gleivine, kurioje gausu smulkių seilių liaukučių.

Liežuvis. Liežuvis – stuburinių virškinimo sistemos organas, esantis burnos ertmėje. Skiriamos šios dalys: šaknis ir kūnas. Liežuvį sudaro skersaruožis raumeninis audinys, todėl jo pagalba keičiama forma - vieni raumenys liežuvį plokština, kiti - storina. 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 paliežuvinės ir pažandinės selių liaukos.

Liežuvis labai paslankus organas. Jis varto, minko, maišo maistą, formuoja kąsnį, padeda maistą nuryti, svarbus tariant įvairius kalbos garsus. Be to jis yra ir svarbus lytėjimo organas.

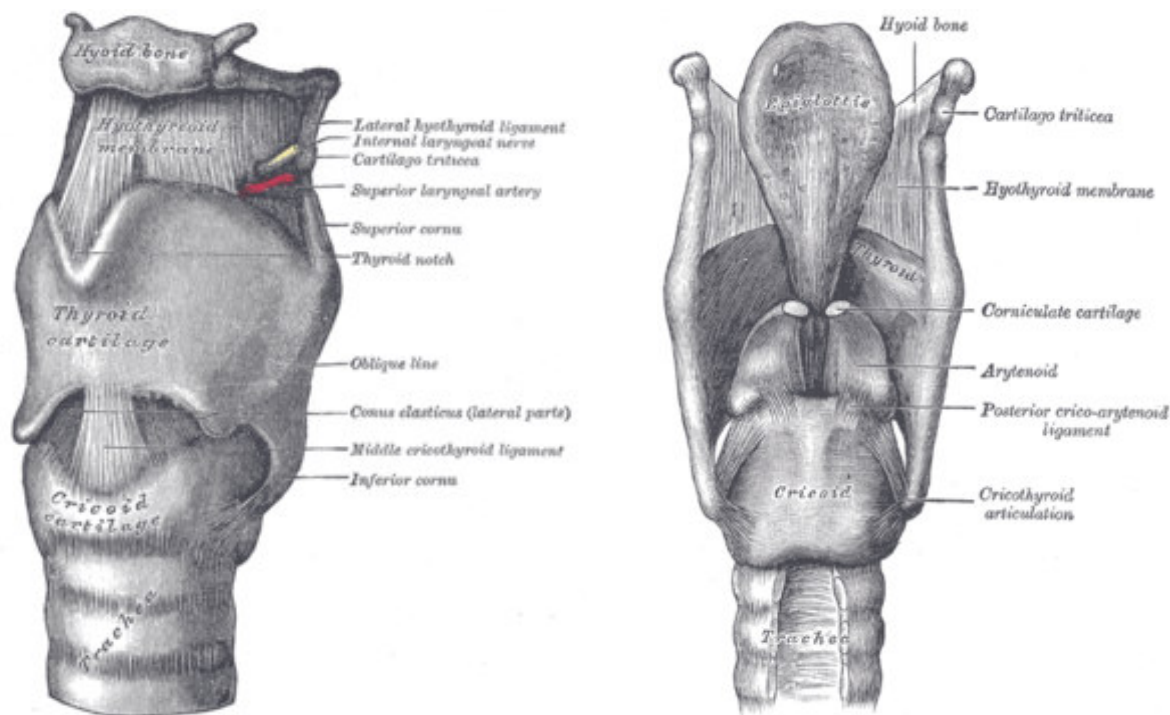
Balso aparatas. Žemiau gerklų prieangio ertmė susiaurėja, sudarydama balso aparatą. Į jį patenkama per prieangio plyšį, kurį apriboja prieangio raukšlės. Balso aparatą sudaro balso raukšlės ir tarp jų esąs balso plyšys (*rima glottidis*). Balso plyšys, ramiai kvėpuojant, yra smailo trikampio formos, kalbant susiglaudžia ir išsiplečia tik styginė plyšio dalis, o tarpkremzlinė 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. [4] 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

produkovimo 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 laryngea*). 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, poodinis 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 [4].

Gerklų kremzlės: porinės ir neporinės, žiedinė kremzlė (*cartilago cricoidea*), skydinė kremzlė (*cartilago thyroidea*), antgerklis (*epiglottis*), vedeginės kremzlės (*cartilagine* arytenoideae), pleištinės kremzlės, gerklų jungtys. Dvi didžiausias gerklų kremzles jungia žiedinis skydo raištis. Jis prasideda nuo žiedinės kremzlės viršutinio krašto lateralinės pusės ir diverguodamas į priekį, medialinę pusę ir į užpakalį, prisitvirtina prie skydinės kremzlės vidinio

paviršiaus įdubimo, esančio tarp abiejų plokštelių, prie vedeginės kremzlės balsinės ataugos ir prie užpakalinio skydinės kremzlės krašto. Šis raištis dar vadinamas elastiniu konusu, nes į viršų eidamas siaurėja.

Į medialinę pusę ir į viršų atsisukęs raiščio kraštas yra sustorėjęs. Sustorėjusių skaidulų pluoštas, esantis tarp vedeginės kremzlės balsinės ataugos ir skydinės kremzlės vidinio paviršiaus (paveikslas) yra balso styga (*ligamentum vocale*).

Virš balso stygų yra prieangio raiščiai. Žiedinę kremzlę su rykle jungia žiedinis ryklės raištis, *lig. cricopharyngeum*. Apačioje gerklos pasibaigia žiediniu gerklės raiščiu, — *lig. cricotracheale*, kuris suriša žiedinę kremzlę su pirmuoju gerklės pusžiedžiu. Tarp skydinės ir žiedinės kremzlių yra sąnarys, kurį sudaro apatiniai skydinės kremzlės ragai ir žiedinės kremzlės skydiniai sąnariniai paviršiai. Žiedinis skydo sąnarys, *articulatio cricothyroidea*, yra derintinis. Per šį sąnarį skydinė kremzlė juda apie horizontalią ašį, priekyje suartėdama su žiedine kremzle arba nutoldama nuo jos. Tuo pačiu didėja arba mažėja atstumas tarp skydinės ir vedeginės kremzlių ir tarp jų esanti balso styga įsitempia ar atsipalaiduoja.

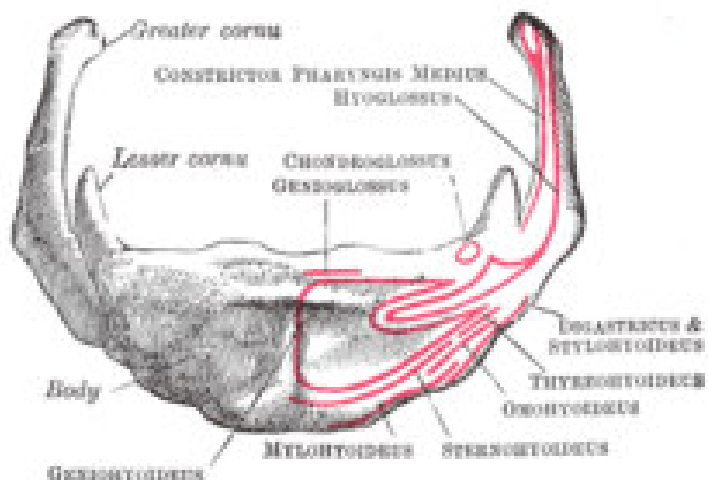
Kitas svarbus sąnarys yra tarp vedeginių kremzlių ir žiedinės kremzlės, būtent žiedinis vedegos sąnarys. Jį sudaro vedeginės kremzlės apačioje esantis sąnarinis laukelis ir viršutinio žiedinės kremzlės krašto analogiškas paviršius. Šis sąnarys vienašis. Vienintelė jo ašis yra vertikali, apie ją juda vedeginė kremzlė, galinti balsinę ataugą pasukti į vidų ir išorę. Be šito judesio, vedeginės kremzlės gali nežymiai slysti sąnariniais paviršiais ir dėl to suartėti arba nutolti viena nuo kitos. Dėl šių vedeginės kremzlės judesių balso plyšys gali susiaurėti ir praplatėti.

Ragelinės kremzlės su vedeginėmis kremzlėmis susijungia kremzlinės sąaugos jungtimi.

Ryklė. Ryklė (lot. *pharynx*) – virškinimo sistemos dalis, esanti už burnos ertmės ir pereinanti į stemplę. Tai piltuvo pavidalo vamzdelis, kuris maždaug 15 cm ilgio. Skiriamos nosinė, burninė ir gerklinė ryklės dalys. Ryklė tęsiasi iki VI kaklo slankstelio, o po juo pereina į stemplę. Ryklės sienelę sudaro raumeninis audinys, kuris susitraukinėja valingai ir padeda nuryti maistą. Į ryklę atsiveria nosies ertmė, ausies trimitas. Priešais ryklę yra gerklos, kurias nuo ryklės atskiria antgerklis.

Trachėja. Trachėja (lot. *trachea*) - kvėpavimo vamzdelis, viename gale susijungęs su gerklų žiedine kremzle, kitame išsišakojantis į bronchus. Ilgis 10-12 cm, skersmuo - 2-2,5cm.

Poliežuvinis kaulas. Poliežuvinis kaulas (lot. *os hyoideum*) – kaukolės veidinės dalies pasagos formos kaulas, esantis po liežuvio ir įsiterpęs tarp kaklo raumenų. Sudaro masyvi priekinė dalis, vadinama kūnu ir nuo jo nusitęsę mažieji ir didieji ragai. Žemiau poliežuvinio kaulo yra skydinės kremzlės kyšulys, vadinamas Adomo obuolio. Poliežuvinis kaulas sudaro atramą liežuviui, ryklės ir kaklo raumenimis.



2.4 pav. Poliežuvinis kaulas [4].

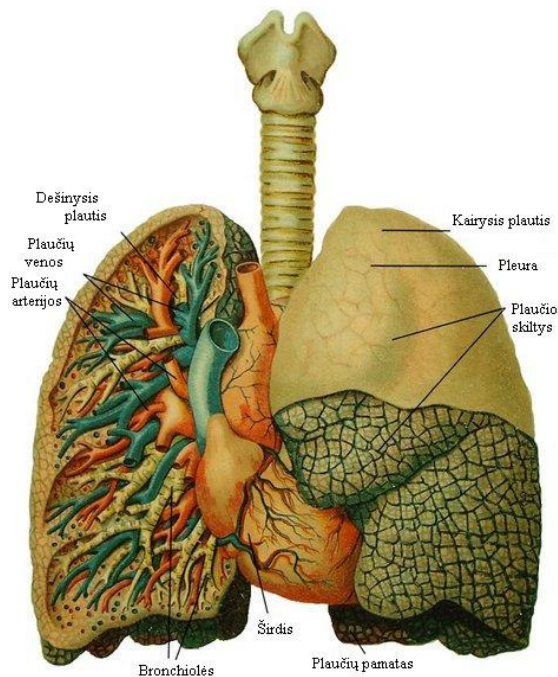
Gerklė. Gerklė yra gerklų tęsinys. Jos siena sudaryta iš 16 – 20 pusžiedžių, sujungtų žiediniais raiščiais. Kremzlė pusžiedžiuose sudaro 2/3 lanko. Užpakalinė siena yra plėvinė, turinti lygiųjų raumenų skaidulų. Gleivinė padengta virpamuoju epitelium, joje yra daug liaukelių ir limfoidinio audinio sancaupų. Gerklė prasideda nuo VI kaklo slankstelio apačios ir baigiasi ties IV – V krūtinės slanksteliu, kur gerklė suskyla į du pagrindinius bronchus. Gerklės išsišakojimai vadinami bifurkacija. Kaklinę gerklės dalį iš priekio dengia skydliaukė, kurios sąsmauka yra ties 2 – 4 gerklės pusžiedžiu. Užpakalyje gerklės yra stemplė, iš šonų – miego arterijos. Krūtininę gerklės dalį iš priekio dengia krūtinkaulis, užkrūčio laikos likučiai ir stambios kraujagyslės.

Bronchas. [5] Gerklė suskyla du pagrindinius bronchus, kurie pro plaučių vartus įeina į plaučius. Dešinysis bronchas yra storesnis ir tumpesnis už kairįjį ir sudaro lyg gerklės tęsinį. Pagrindinių bronchų dalį sudaro kremzliniai pusžiedžiai, sujungti žiediniais raiščiais, kaip ir gerklės. Jungiamajame audinyje daug elastinių skaidulų. Pagrindiniai bronchai plaučiuose skyla į skiltinius, o pastarieji – į segmentinius bronchus, kurie besišakodami susmulkėja ir sudaro bronchinį medį. Stambiųjų bronchų siena sudaryta taip pat, kaip ir pagrindinių.

Plautis. [3] Plaučiai yra krūtinės laštoje. Tarp jų guli širdis ir stambios kraujagyslės. Plaučius (2.5 pav.) dengia serozinis dangalas – krūtinplėvė, kuri sudaro du hermetiškus plaučių maišus. Plaučio forma lyginama su netaisikliu konusu. Skiriamas jo pamatas, atsisukęs į diafragmą, ir viršūnė, iškilusi 2 – 3 cm. Virš raktikaulio. Plautis turi tris paviršius: *šonkaulinis* – iškilas, prigludęs prie krūtinės laštos sienos vidinio paviršiaus, *diafragminis* – atsisukęs į diafragmą ir *medialinis* – atsisukęs į tarpuplautį. Medialiniame paviršiuje yra *plaučių vartai*, pro kuriuos į plautį įeina bronchas, plaučių arterija ir išeina dvi plaučių venos. Jie sudaro *plaučio šaknį*.

Kiekvieną plautį plišys dalija į skiltis: dešinįjį plautį į tris skiltis (viršutinę, vidurinę ir apatinę), o kairįjį – į dvi (viršutinę ir apatinę). Kairiojo plaučio kairiame krašte yra širdies įlanka atitinkanti širdies išpaudo kontūrą.

Plaučių skiltys sudarytos iš segmentų. Segmentu vadinama plaučio dalis, atskirta nuo kitų jungiamojo audinio pertvara. Segmente yra segmentinis bronchas ir segmentinė plaučio arterija, kurie šakojasi tik jame. Segmentai yra netaisaklingo konuso arba piramidės formos. Jų pamatai apsisukę į plaučių paviršių. Dešiniajame plautyje skiriama vienuolika segmentų, o kairiajame – dešimt.



2.5 pav. **Plaučių sandara** [4].

3. FONEMŲ ARTIKULIACINĖ KLASIFIKACIJA

Kalbotyros šaka, tirianti garsinę kalbos sandarą, vadinama *f o n e t i k a*. Fonetikos objektas ne tik garsai (balsiai, priebalsiai, dvigarsiai), bet ir jų derinimo dėsniai, skiemuo, kirtis, priegaidė, intonacija. Kalbos garsinės sandaros nagrinėjimo aspektai yra keli: *artikuliacinis, akustinis, funkcinis, ortoepinis*. Pagal tai fonetika (plačiaja prasme) gali būti skirstoma į *artikuliacinę* ir *akustinę fonetiką* (siaurąja prasme), *fonologiją, ortoepiją*. Panagrinėkime vieną iš jų.

Artikuliacinė fonetika. (lot. *Articulatio* < *articulo* – aiškiai tariau, 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, priekiniai dantys, alveliolės (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. Kad paaiškėtų kalbos padargų funkcijos, trumpai pasižiūrėkime, kuo skiriasi balsių ir priebalsių artikuliacija.

3.1 FONEMOS

Sakiniai, kuriais reiškiamos mintys, susideda iš žodžių grupių arba atskirų žodžių [6]. Žodžiai susideda iš morfemų: šaknies, priešdėlio, priesagos, galūnės. Morfemas sudaro dar smulkesni kalbos vienetai – fonemos. Fonemomis vadinami patys smulkiausi, toliau nebeskaidomi kalbos vienetai. Fonemos nėra atskiri garsai, o tam tikri garsiniai tipai, kurie skiria žodžius, jų formas arba morfemas.

Fonemų variantai esti dvejopi:

a) Variantai priklausantys nuo žodžio kirčio ir kirčiuoto bei nekirčiuotų žodžio skiemenų priegaidės, vadinami poziciniais. Pavyzdžiui, *à* žodyje *vištà* ir *a* žodyje *višta* (vn. šauksm.) yra du fonemos *a* variantai; *ī* žodyje *dygę* (būt. k. 1. veik. dal.) ir *ī* žodyje *dygę* "tokia pelkių samanų rūšis" (vn. gal.) yra du fonemos *ī* variantai.

b) Variantai, priklausantys nuo gretimų garsų įtakos, vadinami kombinaciniais. Jų pavyzdžiu gali būti du fonemos *ō* variantai: užpakalinės eilės *ō* po kietųjų priebalsių *p, s* žodžiuose *kumpo, sauso* ir užpakalinės eilės supriešakėjęs *ō* po minkštųjų priebalsių *p', s'* žodžiuose *kumpio, sausio*.

Fonemos variantų akustinės bei fiziologinės ypatybės priklauso nuo kalbėjimo stiliaus, kurį nulemia konkretaus šnekamosios kalbos proceso tikslas, aplinkybės ir emocinis turinys. Skiriami du pagrindiniai kalbėjimo stiliai: aiškasis ir šnekamasis stilius. Aiškiojo stiliumi vadinamas kiek

sulėtintas, tikslus visų garsų kalbos sraute ištarimas, laikantis nustatytų tarimo normų. Šnekamuojų stiliumi vadinamas kalbos srauto garsų pagreitinimas be ypatingo emocinio atspalvio. Kalbant šiuo stiliumi, nekirčiuoti lietuvių kalbos balsiai ir dvibalsiai labiau trumpėja, negu kalbant aiškiau stiliumi. Nustatant lietuvių literatūrinės kalbos fonemas, remiamasi aiškiau stiliumi.

Lietuvių kalboje yra 65 fonemos, kurias sudaro balsiai, dvibalsiai ir priebalsiai.

3.2 BALSIAI

Balsių akustinę pagrindą sudaro tonai su nedideliu kiekiu šlamesių. Tonai - tai tam tikro dažnumo periodiškai pasikartojantys virpesiai. Šlamesiai yra netolygūs, neperiodiški virpesiai.

Dabartinė lietuvių literatūrinė kalba turi 12 balsinių fonemų: *ī, i, é, e, ę, ē, ū, u, ō, o, a, ā*, kurios skirstomos į ilgąsias: *ī, é, ē, ū, ō, ā* ir trumpąsias: *i, e, ę, u, o, a*.

Visų balsių artikuliacijai būdinga:

- a) vieno artikuliacijos židinio nebuvimas;
- b) silpna iškvepiama iš plaučių oro srovė;
- c) burnos atviruma, pro kurią oro srovė iškvepiama be kliūčių;
- d) balso stygų veikimas.

Lietuvių literatūrinės kalbos balsiai klasifikuojami pagal dviejų pagrindinių aktyviųjų kalbos padargų - liežuvio ir lūpų - veiklą. Pagal liežuvio judėjimą horizontaliai skiriami priešakinės ir užpakalinės eilės balsiai.

1. **Priešakinės** eilės balsiai. Literatūrinėje kalboje yra šie priešakinės eilės balsiai: *ī, i, é, e, ę, ē*. Tariant priešakinės eilės balsius, visas liežuvis pasistumia į priekį. Priešakinėje balso vamzdžio dalyje susidaro nedidelis rezonatorius, o užpakalinėje - gana didelis. Liežuvio galiukas remiasi į apatinius dantis, vidurinė liežuvio nugarėlės dalis pakyla prie kietojo gomurio, liežuvio šonai liečia gomurio pakraščius.

2. **Užpakalinės** eilės balsiai. Literatūrinėje kalboje yra šie užpakalinės eilės balsiai: *ū, u, ō, o, a, ā*. Tariant užpakalinės eilės balsius, liežuvis atsitraukia nuo priešakinių apatinių dantų, o užpakalinėje jo nugarėlės dalis kiek pakyla prie minkštojo gomurio. Užpakalinėje balso vamzdžio dalyje susidaro nedidelis, o priešakinėje dalyje - gana didelis rezonatorius.

Liežuvis, užimdamas vieną iš dviejų minėtųjų horizontalių padėčių, kartu kyla vertikalčiai prie kietojo gomurio. Pagal liežuvio judėjimą vertikalčiai skiriami aukštutinio (kitai dar vadinami uždaraisiais arba siauraisiais), vidutinio ir žemutinio (kitai dar vadinami atviraisiais, arba plačiaisiais) pakilimo balsiai.

1. **Aukštutinio pakilimo balsiai.** Lietuvių kalboje yra šie aukštutinio pakilimo balsiai: *ū, u, ī, i,*. Tariant *ū, u*, liežuvio užpakalinė dalis, aukštai pakilusi minkštojo gomurio link, liečia kieto

gomurio užpakalinės dalies krašteliu. Balsiai *ī, i* artikuliuojami liežuvio vidurinę ir priešakinę dalį aukštai pakėlus kietojo gomurio link (liežuvio kraštai plačiai liečiasi su kietojo gomurio vidurinės ir priešakinės dalies kraštais).

2. **Vidutinio pakilimo balsiai.** Lietuvių kalboje vidutinio pakilimo balsiai yra *ė, e, ę, ē, ō, o*. Vidutinio pakilimo balsiai, tariami nebe taip aukštai pakėlus liežuvį, todėl ir gomurio liečiamasis plotas būna mažesnis. Balsis *ė* iš visų šios grupės balsių yra aukščiausio pakilimo, pats uždariausias. Jis savo artikuliacija beveik priartėja prie aukštutinio pakilimo balsių. Atviriausias priešakinės eilės vidutinio pakilimo balsis yra *ē*. Užpakalinės eilės balsis *ō* yra uždaras, o balsis *o* atviresnis.

3. **Žemutinio pakilimo balsiai.** Žemutinio pakilimo balsiai yra *a, ā*. Tariant žemutinio pakilimo balsius, burna plačiai atidaroma, o liežuvis visiškai neliečia kietojo gomurio.

Su liežuvio pakilimu yra susijęs burnos atvirumas. Kuo žemesnio pakilimo balsis, tuo atviresnė burna. Todėl ir aukštutinio pakilimo balsiai dažnai vadinami *uždariaisiais (siauraisiais)*, o žemutinio pakilimo – *atviraisiais (placiasiais)*.

Pagal lūpų artikuliaciją, nuo kurios priklauso priešburnio rezonatoriaus didumas, balsiai skirstomi į lūpinius (labialinius) ir nelūpinius (nelabialinius).

1. **Lūpiniai balsiai.** Lietuvių kalboje yra šie lūpiniai balsiai: *ū, u, ō, o*. Tariant lūpinius balsius, į priekį atkištos suapvalintos lūpos didina priešburnio rezonatorių. Ilgieji balsiai tariami, labiau įtempiant lūpas, o trumpieji -mažiau įtempiant lūpas ar visai jų neįtempiant.

2. **Nelūpiniai balsiai.** Literatūrinėje kalboje yra šie nelūpiniai balsiai: *a, ā, ī, i, é, e, ę, ē*. Tariant nelūpinius balsius, lūpos nesuapvalinamos, neatkišamos į priekį ir nepadidinamas priešburnio rezonatorius. Tiesa negalime sakyti, kad nelūpinių balsių artikuliacijoje lūpos visai nedalyvauja. Tardami priešakinės eilės balsius, lūpos dažniausiai šiek tiek patempiame į šalis, atgal, kad paplatėtų lūpų plyšys. Vadinasi, liežuvio ir lūpų poslinkio kryptis priešinga: liežuvis atsitraukia atgal – lūpos atsikiša priekin, liežuvis pasislenska priekin – lūpų kampai atsitraukia atgal. Balsių klasifikacija pavaizduota 1 lentelėje.

1 lentelė

Balsių klasifikacija

Eilė Pakilimas	Priešakinės eilės balsiai				Užpakalinės eilės balsiai			
	ilgieji		trumpieji		ilgieji		trumpieji	
	nelūp.	lūp.	nelūp.	lūp.	nelūp.	lūp.	nelūp.	lūp.
Aukštut.	ī		i			ū		u
Vidutinio	ė, ē		e, ę			ō		o
Žemutinio					ā		a	

1 lentelė – balsių klasifikacija

Lietuvių kalbos žodžių, jų formų ar morfemų reikšmės skirtumai gali priklausyti nuo kirčio, plg.: *svėrė* (but. k. 1. 3 asm.): *svėrė* "tokia piktžole", *višta* (vn. šauksm.): *višta* (vn. vard.). Tačiau kirtis yra ne atskiro garso ar fonemos, bet viso žodžio ypatybė. Todėl tie patys balsiai, esantys kirčiuotuose ir nekirčiuotuose skiemenyse, laikomi ne skirtingomis fonemomis, o tų pačių fonemų poziciniais variantais.

Dėl kirčio ir priegaidės įtakos kiekvienam lietuvių kalbos ilgajam balsiui būdingi 3 poziciniai variantai:

a) **tvirtapradiškai** kirčiuojamo skiemens ilgasis balsis, tariamas labai intensyviai ir energingai, stipriai įtempiant balso vamzdžio raumenis;

b) **tvirtagališkai** kirčiuojamo skiemens ilgasis balsis, tariamas ne taip intensyviai ir energingai, kaip pirmasis, ir kiek mažiau itempiant balso vamzdžio raumenis;

c) **nekirčiuoto** skiemens ilgasis balsis, tariamas dar mažiau įtempiant balso vamzdžio raumenis arba visai jų neįtempiant.

Balsių tarimui turi reikšmės ne tik pozicija, bet ir gretimai einantys balsiai, dvibalsiai ar priebalsiai, dėl kurių itakos susidaro kombinaciniai balsių variantai. Balsinių fonemų kombinacinius variantus daugiausia nulemia kelios aplinkybės:

1. Priebalsis, einantis betarpiškai prieš balsį;
2. Balsis, einantis betarpiškai po balsio;
3. Priebalsiai, supantys balsį;
- 4) Balsio ar dvibalsio, einančio gretimame skiemenyje, kokybė;
- 5) Balsio vieta žodyje.

3.3 PRIEBALSIAI

Priebalsių akustinį pagrindą sudaro šlamesiai, kurie kyla, stipriai oro srovei veržiantis pro bet kurioje kalbos trakto dalyje susidariusią uždaramą ar ankštumą [7]. Lietuvių literatūrinė kalba turi 45 priebalsines fonemas: *b, b', c, c', ch, ch', č, č', d, d', dz, dz', dž, dž', f, f', g, g', h, h', j, k, k', l, l', m, m', n, n', p, p', r, r', s, s', š, š', t, t', v, v', z, z', ž, ž'*.

Visų priebalsių artikuliacijai yra būdinga:

- a) kalbos padargų uždarama ar ankštuma, pro kurią eidama oro srovė sukelia šlamesį;
- b) labai stipri (palyginti su balsiais) iš plaučių iškvepiama oro srovė, tariant dusliuosius, ir kiek silpnesnė, tariant skardžiuosius priebalsius;
- c) kalbos padargų įtempimas, lokalizuotas toje vietoje, kur susidaro uždarama ar ankštuma.

Priebalsiai skirstomi pagal kelis artikuliacinius požymius: *oro skverbimosi būdą, artikuliacijos vietą* (aktyvųjį ir pasyvųjį kalbos padargą), *balso stygų veiklą, palatališkumą* (minkštumą).

1. Oro skverbimosi būdas. Tariant priebalsius, oro srovė, pučiama iš plaučių, burnoje sutinka įvairių kliūčių ir turi kuriuo nors būdu prasiskverbti. Pagal šį požymį skiriami *sprogstamieji*, *pučiamieji* ir *sklandieji priebalsiai*.

Sprogstamųjų priebalsių yra dvi pagrindinės tarimo frazės: uždaruma ir sproginas. Iš pradžių tam tikrais padargais burnoje sudaroma aklina pertvara – uždaruma. Padidėjus pučiamo oro slėgiui, ta kliūtis likviduojama – tarsi susprogdinama: kalbos padargai stipriai staigiai prasiskečia, ir oras akimirksniu prasiveržia. Sprogstamųjų priebalsių turime 12: *p, b, p', b', t, d, t', d', k, g, k', g'*.

Tariant *pučiamuosius* priebalsius, kurioje nors burnos vietoje susidaro ne aklina uždaruma, o tik ankštuma – plyšys, pro kurį oras pučiamas vienoda srove, be jokių pertrūkių. Dabartinėje lietuvių kalboje yra 14 pučiamųjų priebalsių: *s, z, s', z', š, ž, š', ž', x, h, x', h', f, f'*. Pirmieji 8 priebalsiai lietuvių kalboje vartojami iš seno, o kiti 6 – nauji, atėję su svetimomis kilmės žodžiais.

Artikuluojant *sklandžiuosius* priebalsius, oro srovė juda sklandžiai, be didelės trinties. Praplėtę sklandžiuųjų priebalsių sąvoką, galime aprėpti 11 garsų: *v, v', j', m, m', n, n', l, l', r, r'*. Ši garsų grupė dažnai vadinama *pusbalsiais*, *sonantais*, *balsingaisiais* ir pan.

Sklandžiuųjų priebalsių artikuliacijos metu oro srovė skverbiasi įvairiais keliais ir būdais. Pagal tai sklandžiuosius priebalsius turime dar smulkiau skirstyti: *paprastuosius*, *nosinius*, *šoninius*, *virpamuosius*.

Tariant *sklandžiuosius paprastuosius* priebalsius *v, v', j'*, oras eina tolydžiai, yprastu keliu – balso vamzdžio viduriu, kaip ir tariant ankštumos pučiamuosius priebalsius. Todėl jie dažnai skiriami pučiamųjų garsų grupei.

Sklandžiuųjų nosinių priebalsių *m, m', n, n'*, artikuliacija savita. Oras, atėjęs į burną, sutinka aklina uždarumą, bet randa laisvą šalutinį kelią – pro nosį. Mat, tariant nosinius priebalsius, minkštasis gomurys nusileidžia, atsitraukia nuo ryklės užpakalinės sienelės ir oras gali laisvai, sklandžiai išeiti pro nosį. Dėl šitokios kombinuotos artikuliacijos *m, m', n, n'* kartais vadinami uždarumos – atvirumos garsai.

Sklandieji šoniniai priebalsiai yra *l, l'*. Juos tariant, liežuvio priešakinė dalis prisispaudžia prie dantų arba alveolių, bet tarp liežuvio šonų ir šoninių dantų (paprastai abiejose pusėse) lieka angos, pro kurias oro srovė sklandžiai, be trinties išeina lauk. Taigi šių priebalsių artikuliacijos kliūtis taip pat kombinuota: priekyje – uždaruma, šonuose – atviruma.

Sklandžiuųjų virpamųjų priebalsių *r, r'* artikuliacijos kliūtis kintama. Liežuvio galiukas virpėdamas čia atsitrenkia į alveoles (balso vamzdis priveriamas ar net trumpam visai uždaromas), čia vėl nuo jų atšoka (balso vamzdis praveriamas). Tokių dūžių gali būti 1 – 2 ar daugiau.

2. Artikuliacijos vieta. Tariant priebalsius, tam tikroje balso vamzdžio vietoje kliūtis sudaroma *aktyviais* ir *pasyviais* kalbos padargais.

Pagal aktyvius kalbos padargus skiriami *lūpiniai*, *liežuvio priešakiniai*, *liežuvio viduriniai*,

liežuvio užpakaliniai priebalsiai.

Pagal pasyvųjį kalbos padargą skiriami *lūpiniai, dantiniai, alveoliniai, gomurio viduriniai, gomurio užpakaliniai* priebalsiai. Apibūdinant priebalsių artikuliacijos vietą, patogiausia iš karto nurodyti aktyvųjį ir pasyvųjį kalbos padargą.

Ir pagal aktyvųjį, ir pagal pasyvųjį kalbos padargą lūpiniais, t.y. abilūpiais, priebalsiais vadinami p, b, p', b', m, m'. Juos tariant, apatinė (aktyvesnė) lūpa prisispaudžia prie viršutinės (pasyvesnės) lūpos, ir čia susidaro aklina uždaruma.

Lūpiniai, dantiniai priebalsiai yra f, f', v, v'. Jie tariami apatinę lūpą priartinus prie priekinių viršutinių dantų. Liežuvio priešakiniais, dantiniais laikytini t, d, t', d', s, z, s', z', n, n', l, o liežuvio priešakiniais, alveoliniais – š, ž, š', ž', l', r, r'. Neabejotinas liežuvio vidurinis, gomurio vidurinis priebalsis yra j'. Jis tariamas liežuvio vidurinę dalį priartinus prie kietojo gomurio vidurinės dalies. Taip pat liežuvio viduriniai, gomurio viduriniai reliatyviai laikytini k', g', x', h'. Kietieji k, g, x, h yra liežuvio užpakaliniai, gomurio užpakaliniai. Jų uždaruma arba ankštuma sudaroma tarp liežuvio užpakalinės dalies ir minkštojo gomurio.

3. Balso stygų veikla. Balso stygos lemia priebalsių duslumą ir skardumą. Tariant *dusliuosius* priebalsius, balso stygos būna prasiskleidusios ir oras, pučiamas iš plaučių, jų nevirpina. Duslieji priebalsiai yra šie: p, p', t, t', k, k', s, s', š, š', x, x', f, f'.

Artikuliuojant *skardžiuosius* priebalsius, oro srovė virpina suartėjusias balso stygas. Skardieji priebalsiai yra šie: b, b', d, d', g, g', z, z', ž, ž', h, h' v, v', j', m, m', n, n', l, l', r, r'.

Nors šiaip jau dusliųjų ir atitinkamų skardžiųjų priebalsių artikuliacija labai panaši, galima pastebėti, kad dusliųjų priebalsių iškvepiamo oro srovė stipresnė (tad stipresnis esti ir sproginimas ar pūtimas) negu skardžiųjų, pgl.: p – b, s – z ir kt. Mat, tariant *dusliuosius* priebalsius, prasiskleidusios balso stygos nekliudo oro srovei ir ji gali skverbtis pro kliūtis su didesne jėga, o tariant *skardžiuosius* priebalsius, suartėjusios balso stygos pristabdo oro srovę, dalis jo energijos suvartojama balso stygų virpesiams sukelti ir į burnos ertmę patenka apsilupusi oro srovė. Taigi iškvepiamo oro srovės stiprumas yra antrinė artikuliacijos ypatybė, pareinanti nuo balso stygų veiklos.

4. Palatališkumas (minkštumas). Lietuvių bendrinės kalbos priebalsiai sudaro poras pagal palatališkumą (minkštumą): p – p', b – b', t – t', d – d', k – k', g – g', s – s', z – z', š – š', ž – ž', x – x', h – h', f – f', v – v', m – m', n – n', l – l', r – r'. Tik minkštasis j' neturi kietojo atitikmens. Taigi iš viso yra 18 kietųjų ir 19 minkštųjų priebalsių.

Mikštieji priebalsiai tariami liežuvio vidurinei daliai papildomai pakilus prie kietojo gomurio. Liežutis gana plačiai liečia kietojo gomurio pakraščius. Todėl minkštieji priebalsiai lingvistinėje literatūroje dažnai vadinami *palataliniais* arba *palatalizuotais*. Liežuvio vidurinės dalies pakilimas kietojo gomurio link yra pagrindinė priebalsio j' artikuliacijos ypatybė, todėl jis iš esmės yra

palatalinis garsas.

Tariant *kietuosius* priebalsius, liežuvio vidurinė dalis nebūna pakilusi prie kietojo gomurio. Liežvis arba visai neliečia gomurio kraštų, arba liečia tik tiek, kiek tai būtina, kad susidarytų reikiama artikuliacijos kliūtis. Kietųjų ir minkštųjų priebalsių pagrindinė artikuliacija beveik ta pati. Pastebima tik nedidelių skirtumų. Pavyzdžiui, tariant minkštuosius p', b', m', lūpos šiek tiek stipriau susispaudžia, negu tariant kietuosius p, b, m. Dėl palatališkumo priebalsiai k', g', x', h', artikuliuojami nebe taip giliai burnoje, kaip kietieji k, g, x, h. Kietasis l yra liežuvio priešakinis, dantinis, o minkštasis l' – liežuvio priešakinis, alveolinis.

Artikuliaciniai priebalsių požymiai pateikti 2 lentelėje. Ji sudaryta taip, kad, skaitydami terminus iš kairės į dešinę, gautume išsamią kiekvieno priebalsio charakteristiką.

2 lentelė

Artikuliaciniai priebalsių požymiai [6]

Oro skverbimosi būdas	Artikuliacijos vieta		Balso stygų veikla	Palatališkumas (minkštumas)	Priebalsis
	Aktyvusis kalbos padargas	Pasyvusis kalbos padargas			
Sprogstamieji	Lūpiniai	Lūpiniai	Duslieji	Kietas	p
				Minkštas	p'
			Skardieji	Kietas	b
				Minkštas	b'
	Liežuvio priešakiniai	Dantiniai	Duslieji	Kietas	t
				Minkštas	t'
			Skardieji	Kietas	d
				Minkštas	d'
	Liežuvio užpakaliniai	Gomurio užpakaliniai	Duslusis	Kietasis	k
			Skardusis	Kietasis	g
Liežuvio viduriniai	Gomurio viduriniai	Duslusis	Minkštasis	k'	
		skardusis	Minkštasis	g'	
Pučiamieji	Liežuvio priešakiniai	Dantiniai	Duslieji	Kietas	s
				Minkštas	s'
			Skardieji	Kietasis	z
				Minkštasis	z'
		Alveoliniai	Duslieji	Kietas	š
				Minkštas	š'
	Skardieji	Kietasis	ž		
		Minkštasis	ž'		
	Liežuvio užpakaliniai	Gomurio užpakaliniai	Duslusis	Kietasis	x
			Skardusis	Kietasis	h
	Liežuvio viduriniai	Gomurio viduriniai	Duslusis	Minkštasis	x'
			Skardusis	Minkštasis	h'
Lūpiniai	Dantiniai	Duslieji	Kietasis	f	
			Minkštasis	f'	

Sklandieji	Paprastieji	Lūpiniai	Dantiniai	Skardieji	Kietasis	v
		Liežuvio vidurinis	Gomurio vidurinis	Skardusis	Minkštasis	v'
	Nosiniai	Lūpiniai	Lūpiniai	Skardieji	Kietasis	m
		Liežuvio priešakiniai	Dantiniai	Skardieji	Minkštasis	m'
	Šoniniai	Liežuvio priešakiniai	Dantinis	Skardusis	Kietasis	n
			Alveolinis	Skardusis	Minkštasis	n'
	Virpami	Liežuvio priešakiniai	alveolinis	Skardieji	Kietasis	l
					Minkštasis	l'
	Virpami	Liežuvio priešakiniai	alveolinis	Skardieji	Kietasis	r
					Minkštasis	r'

Taigi tariant *balsius*, oro srovė virpina suartėjusias balso stygas (taip atsiranda balsas), bet ryklės ir burnos ertmėje nesutinka tikrų kliūčių ir išeina pro burną palyginti laisvai. Todėl balsiai vadinami *nekliūtiniais* garsais. Tiesa, kai kurių (ypač aukštutinio pakilimo) balsių artikuliacijai būdinga tam tikra sąsmauka. Pavyzdžiui, tariant ū (u), liežuvio užpakalinė dalis būna pakilusi aukštyje prie minkštojo gomurio, lūpų anga susiaurėjusi. Vis dėl to tarpai tarp kalbos padargų dar nėra tokie siauri, kad kliudytų orui išeiti be trinties.

Artikuluojant *priebalsius*, kurioje nors burnos vietoje susidaro kliūtis: aklina uždaruma arba bent ankštuma (plyšys). Pro tą kliūtį balsinga ar nebalsinga oro srovė turi skverbtis su didesne jėga, negu tariant balsius. Pavyzdžiui, tardami priebalsį p, iš pradžių lūpas sučiaupiame ir užtveriamo kelią oro srovei, po to šią uždarumą susprogdiname; tariant s, tarp priešakinės liežuvio dalies ir beveik sukąstų dantų paliekame siaurą plyšelį, pro kurį skverbiasi oras. Dėl šių priežasčių priebalsiai vadinami *kliūtiniais* garsais.

Savitas priealsių poklasis – *pusbalsiai* – pagal artikuliacijos būdą užima lyg tarpinę padėtį tarp balsių ir kitų priebalsių. Pavyzdžiui, tariant m, suspaustos lūpos sudaro uždarumą, bet oras gali laisvai išeiti pro nosį, nes minkštasis gomurys būna nusileidęs žemyn; tariant l, liežuvio priešakinė dalis būna prispaudusi prie priekinių dantų, tarp liežuvio ir šoninių dantų lieka laisvi tarpai. Priebalsių (neišskiriant nė pusbalsių) artikuliacijos vietą galima tiksliai nurodyti. Pavyzdžiui, p – abilūpis, s – liežuvio priešakinis, dantinis, š – liežuvio priešakinis, alveolinis, j – liežuvio vidurinis, gomurio vidurinis, k- liežuvio užpakalinis, gomurio užpakalinis. Balsių taip negalėtume apibūdinti. sakysim, bslisio y (i) artikuliacija yra priešakinė, bet susidarymo vieta nėra apibrėžta, nes liežuvio priešakinė ir vidurinė dalis priartėjusi ir prie priešakinės ir prie vidurinės gomurio dalies. Vadinasi, priebalsiai yra *lokalizuoti*, o balsiai – *nelokalizuoti*.

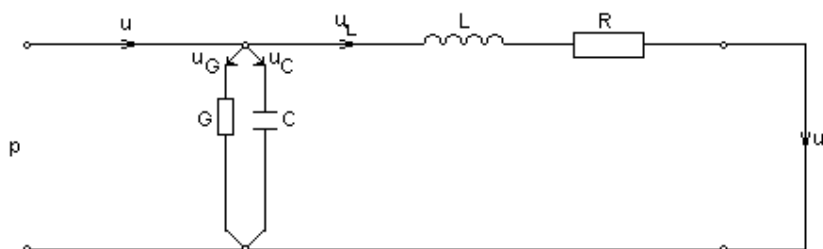
4. SIGNALO GENERAVIMO MODELIAI

4.1 TIESINIS KALBOS TRAKTO MODELIS

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

Kai vamzdžiu teka oro srautas, tai susidaro inercijos jėgos, proporcingos oro masei ir srauto pagreičiui. Energijos nuostoliai dėl trinties į vamzdžio sienes yra proporcingi sauto greičio kvadratui, o nuostoliai dėl šilumos laidumo per sienes yra proporcingi greičio slėgio kvadratui.

Elementarus akustinis vamzdis. [8] 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 dažnių diapazone, kol bangos ilgis yra daugiau 8 l (l – vamzdžio ilgis).



4.1 pav. Akustinio vamzdžio ekvivalentinė schema.

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

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

4.1

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

A – vamzdžio skerspjūvis

Akustinė varža „R“. Akustinė varža – tai nuostoliai dėl trinties į vamzdžio sienes, proporcingi u^2 . Ekvivalentinė paviršiaus varža R_a vamzdžio ilgio l vienetui išreiškiama taip:

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

4.2

μ - vidinės trinties koeficientas, $\mu=1,86 \cdot 10^{-7} \text{ nsek/m}^2$;

ω - oro greičio kampinis dažnis l kryptimi;

s – vamzdžio perimetras.

Akustinis talpumas. Ekvivalentinis akustinis talpumas, arba elastingumas, priklauso nuo to, kiek galima suspausti oro tūri, kuris yra l ilgio vamzdyje (oro stangrumas). Akustinis talpumas vamzdžio ilgio vienetui C_a :

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

kur

c – garso sklidimo greitis;

$c = 3,5 \cdot 10^{-2}$ m/s.

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

$$G_a = s \frac{\eta - 1}{\rho c^2} \sqrt{\frac{\lambda \omega}{2c_p \cdot \rho}} [kg^{-1} \cdot m^3 \cdot s], \quad 4.3$$

η - adiabatinė pastovioji: specifinės šilumos prie pastovaus slėgio santykis su specifine šiluma prie pastovaus tūrio;

$\eta = 1,4$ orui normalinėse sąlygose;

α - šilumos laidumo koeficientas;

$\alpha = 23,03 \cdot 10^{-3}$ W/m⁰C;

c_p – specifinis oro šilumos talpumas prie pastovaus slėgio;

$c_p = 1005$ J/kg⁰C (1 atm).

Rašome lygtis ekvivalentinei akustinio vamzdžio schemai, kurioje kintamuosius išreiškiame Laplaso vaizdais.

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

4.4

Išsprendžiame lygtis srautų atžvilgiu:

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

Sumuodami srautus, gauname:

$$U(p) = U_G(p) + U_C(p) + U_L(p) = P(p) \left(G + pC + \frac{1}{R + pL} \right). \quad 4.6$$

Iš čia turime akustinio vamzdžio impedanso išraišką:

$$Z(p) = \frac{P(p)}{U(p)} = \frac{R + pL}{(G + C_p)(R + pL) + 1} = \frac{R + Lp}{LC \left(p^2 + \frac{RC + LG}{LC} p + \frac{1 + RG}{LC} \right)}. \quad 4.7$$

Įvedame laiko konstantės parametą, pažymėdami:

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

Tada akustinio vamzdžio impedanso išraiška įgyja šią formą:

$$Z(p) = R \cdot \frac{(1 + T_L p) \cdot \frac{1}{T^2}}{p^2 + \frac{T_c + T_G}{T^2} p + \frac{1 + RG}{T^2}} \quad 4.8$$

Išsprendžiame charakteringą lygtį:

$$p^2 + \frac{T_c + T_G}{T^2} p + \frac{1 + RG}{T^2} = 0. \quad 4.9$$

Gauname charakteringosios lygties šaknų išraišką:

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2} \frac{T_c + T_G}{T^2} \pm \frac{1}{T} \sqrt{\frac{1}{4} \frac{(T_c + T_G)^2}{T^2} - (1 + RG)}. \quad 4.10$$

Jeigu pošaknis yra neigiamas, t.y.

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

tai šaknys yra kompleksinės jungtinės:

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

29

Įvedame standartinius parametrus:

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

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 dinaminės grandies (akustinio vamzdžio) santykinis slopinimas.

Tuo būdu, elementaraus akustinio vamzdžio charakteringosios lygties šaknų išraiška įgijo įprastąją švytuojančios grandies formą:

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

4.11

Tuo atveju, kada laidumą galima paneigti, t.y. $G=0$, turime:

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{T_C}{T},$$

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

Tai yra idealus akustinis vamzdis be nuostolių.

4.2 NUOSEKLUS KALBOS TRAKTO MODELIS

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

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

4.12

kur poliai

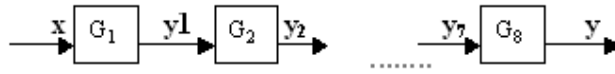
$$z_{k_1} = -e^{-\delta_k T} e^{-j\omega_k T}, \quad z_{k_2} = e^{-\delta_k T} e^{j\omega_k T};$$

koeficientai –

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

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

$$\begin{aligned}
 h_k &= 1, & b_{k_0} &= 1; \\
 b_{k_1} &= -(z_{k_1}^0 + z_{k_2}^0) = -(e^{-\delta_k T} \cos \omega_k T + 1); \\
 b_{k_2} &= z_{k_1}^0 \cdot z_{k_2}^0 = e^{-\delta_k T} \cos \omega_k T;
 \end{aligned}$$



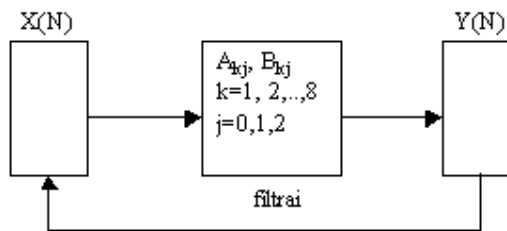
4.2 pav. Nuoseklaus modelio struktūra

Nuoseklių dinaminių grandžių junginių aprašo rekurentinių skirtuminių lygčių sistema:

$$\left\{ \begin{aligned}
 y_1[nT] &= \sum_{j=0}^2 b_{1j} x[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{1j} y_1[(n-j)T] \\
 y_2[nT] &= \sum_{j=0}^2 b_{2j} y_1[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{2j} y_2[(n-j)T] \\
 &\dots\dots\dots \\
 y_k[nT] &= \sum_{j=0}^2 b_{kj} y_{k-1}[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{kj} y_k[(n-j)T] \\
 &\dots\dots\dots \\
 y_7[nT] &= \sum_{j=0}^2 b_{7j} y_6[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{7j} y_7[(n-j)T] \\
 y_8[nT] &= \sum_{j=0}^2 b_{8j} y_7[(n-j)T] - \sum_{j=1}^2 a_{8j} y_8[(n-j)T]
 \end{aligned} \right.$$

4.13

Šiai lygčių sistemai išspręsti gerai tinka rekursyvinė algoritmo struktūra (4.3 pav.)



4.3 pav. Nuoseklaus modelio algoritmo struktūra

4.3 LYGIAGRETUS KALBOS TRAKTO MODELIS

m-tosios eilės skirtuminė lygtis bendru atveju sutrumpintai išreiškiama taip:

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

Tegu koeficientas $a_0=1$, o lygčiai suteikiame rekurentinę formą:

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

4.15

Ši lygties forma pabrėžia, kad ji rekursyvinė: jeigu žinome m ankstesnių išėjimo signalo reikšmių $y[(n-1)T], y[(n-2)T], \dots, y[(n-m)T]$ ir $r+1$ ankstesnių įėjimo signalo reikšmių $x[nT], x[(n-1)T], \dots, x[(n-r)T]$, tai galime paskaičiuoti naują išėjimo signalo reikšmę.

Bendrą sprendinį $y[nT]$ priklausomai nuo įėjimo signalo sekos ir nuo sistemos parametru 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.

4.4 NETIESINIS KALBOS TRAKTO ŽADINIMO MODELIS

Žadinimo šaltiniai. Kalbos traktą sužadina tokie šaltiniai:

1. Balso stygų virpėjimas.
2. Triukšmas, kai oro srautas praeina per trakto susiaurėjimą.
3. Impulsas, kai traktas tam tikrame taške uždaromas, o po to atidaromas.

Pavyzdžiai.

1. Stygų virpėjimas sudaro balsius a, o, e, i, u.
2. Triukšmas sudaro friktyvinius garsus: f, s, š.

Triukšmą generuoja turbulentinis oro srautas trakto susiaurėjime ar plyšyje. Artikuliacinis plyšys sudaromas tarp liežuvio ir dantų (dantiniai priebalsiai), tarp viršutini dantų ir apatinės lūpos, tarp liežuvio ir gomurio, tarp balso stygų fiksuotoje padėtyje. Triukšmas sudaro friktyvinius garsus. Jei garsą sudaro kartu triukšmo ir balso šaltiniai, tai friktyvinis garsas yra skardus (vokaliziuotas). Jei garsą sudaro tik triukšmo šaltinis, tai friktyvinis garsas yra duslus (nevokaliziuotas).

Skardūs ir duslūs friktyviniai garsai sudaro giminingų garsų poras priklausomai nuo to, ar dalyvauja balso stygos jo formavime.

3. Srauto impulsas sudaromas, staiga atidarant kalbos traktą. Šiuo būdu formuojami sprogstamieji garsai. Jie būna duslūs ir skardūs.

Balso stygų virpėjimo principas. Balso stygų virpėjimą iššaukia oro srautas, pratekantis stygų plyšyje. Oro srautas ir balsas stygos – tai mechaninė sistema, kurioje susidaro autošvytavimai. Jie priklauso nuo stygų masės, elastingumo ir geometrinių savybių.

Nagrinėjame mažos amplitudės virpesius. Pagrindinė virpanti sistema aprašoma lygtimi:

$$M\ddot{\xi} + B\dot{\xi} + K\xi = f(\xi, \dot{\xi}, t) \quad 4.16$$

M, B, K – masė, slopinimas ir elastingumas atitinkamai;

f – varomoji jėga;

$\xi, \dot{\xi}, \ddot{\xi}$ - atsilenkimas, jo greitis ir pagreitis.

Esminė virpėjimo priežastis yra ta, kad jėga f priklauso nuo greičio $\dot{\xi}$. Pavyzdžiui ši jėgos komponentė $f(\dot{\xi})=b\dot{\xi}$. Tada lygtis:

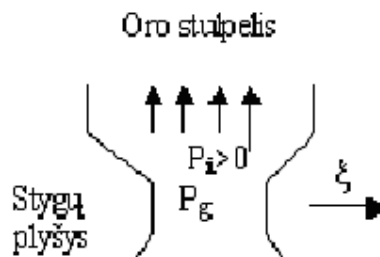
$$M\ddot{\xi} + B\dot{\xi} + K\xi = f(\xi, t) + b\dot{\xi} \quad 4.17$$

Kai $B = b$, sistemoje nėra slopinimo, vyksta autišvytavimas. Kai greitis $\dot{\xi}$ keičia kryptį, jėga f irgi turi keisti kryptį. Kaip tai parenkama balsas stygų virpančioje sistemoje?

Panaudojami du skirtingi būdai:

1. kalbos trakto esančio oro masės inercija;
2. keičiant balsas stygų plyšio geometriją, nevienodai deformuojant audinius.

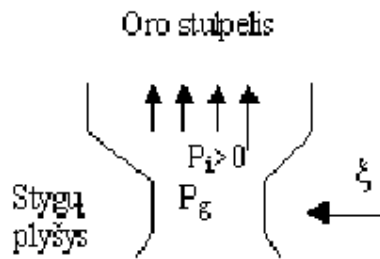
Kai balsas stygų plyšys atidaromas (4.4 pav.), oro slėgis trakto įėjime padidėja virš atmosferinio, dėl to srautas trakte greitėja. Be to, plyšio viduje slėgis irgi pakyla, dėl to balsas stygos atsilenkia. Tuo būdu, varomoji jėga yra tos pačios krypties, kaip stygų judėjimo greitis, energija yra suteikiama balsas stygomis.



4.4 pav. **Balso stygų plyšio atidarymas**

Kai balsas stygų plyšys uždaromas, oro stulpelis trakte stengiasi palaikyti įgytą greitį. Dėl to sumažėja slėgis trakto įėjime ($p_1 < 0$), susidaro siurbimas. (4.5 pav.).

Sumažėjus oro slėgiui balsas stygų plyšyje, varomoji jėga, veikianti stygų audinius sumažėja, kai stygos pakeičia judėjimo kryptį.



4.5 pav. Balso stygų plyšio uždarymas

Slėgis balso stygų plyšyje apytikriai išreiškiamas taip:

$$P_g = P_s - \frac{1}{2} \rho v^2. \quad 4.18$$

Kur P_s – slėgis žemiau stygų plyšio.

Taigi slėgis atdarų balso stygų plyšyje varomoji virpančios sistemos jėga – monotoniškai mažėja, kaip ir stygų greitis. Tuo būdu, varomoji jėga yra proporcinga stygų greičiui.

$$\text{Jeigu } P = \text{const, tai } dP_g = \frac{1}{2} \rho V dv \text{ arba } \Delta P_g = -\rho V \Delta V. \quad 4.19$$

Ženklas „-“, paskutinėje lygybėje yra svarbiausia charakteristika tokioje sistemoje, kur srautas sukelia sienelių virpesius. Srauto dalelių greitis auga, o slėgis į sieneles mažėja. Tai yra vadinama Bernulli efektas.

Balso stygų virpėjimų aprašymas. Balso plyšys yra trimatė erdvė tarp balso stygų. Balso stygų geometrija nustato oro srauto debitą [m^3/s] – tūrinį greitį, kurį galime laikyti garso šaltiniu. Tuo būdu, modeliuodami balso stygų judėjimą, galime nustatyti kalbos trakto žadinimo funkciją.

Balso stygų autošvytavimai priklauso nuo šių faktorių:

- 1) atstumas tarp kairės ir dešinės stygų;
- 2) vertikali balso stygų forma statikoje, stygos konverguoja, stygos diverguoja ar stačiakampis paviršius;
- 3) fazės skirtumas tarp viršutinės dalies ir apatinės dalies judėjimo;
- 4) balso stygų krūvis, kurį sudaro kalbos traktas.

Pagrindinio tono žadinimo aproksimacija. Balso stygos – netiesinė sistema su paskirstytaisiais parametrais. Dar nėra tokios sistemos matematinio modelio, kurį naudotume praktiniams skaičiavimams.

Impulso formos trigonometrinę aproksimaciją galima aprašyti šia išraiška:

$$U = \begin{cases} 0.5U_0 \left(1 - \cos \pi \frac{t}{T_p} \right), & 0 \leq t \leq T_p \\ U_0 \left(1 - \delta + \delta \cos \pi \frac{t - T_p}{T_p} \right), & T_p \leq t \leq T_p + T_N \\ 0, & T_p + T_N \leq t \leq T_0 \end{cases}$$

4.20

Kalbos traktą žadina impulso kitimo greitis U' :

$$U' = \begin{cases} U_1 \sin 2\pi F_g t, & 0 \leq t \leq T_p \\ 2U_1 \delta \sin 2\pi F_g (t - T_p), & T_p \leq t \leq T_p + T_N \\ 0, & T_p + T_N \leq t \leq T_0 \end{cases}$$

4.21

kur

$$F_g = \frac{1}{2T_p} = \frac{1}{2\gamma\lambda T_0} \text{ - atvirų stygų dažnis;}$$

$U_1 = \pi U_0 F_g$ – impulso kitimo greičio amplitudė, $0 \leq t \leq T_p$;

$$\delta = \frac{T_p}{T_N} \text{ - impulso asimetrija;}$$

T_0 – pagrindinio tono intervalas;

T_p – stygų atidarymo intervalas;

T_N – stygų uždarymo intervalas;

$$\gamma = \frac{T_p + T_N}{T_0} \text{ - santykinė impulso trukmė;}$$

$$\lambda = \frac{T_p}{T_p + T_N} \text{ - santykinė balso stygų atidarymo trukmė.}$$

Dabar U' išraišką galima pakeisti taip:

$$U' = \begin{cases} \pi U_0 \frac{1}{2\gamma\lambda T_0} \sin 2\pi \frac{1}{2\gamma\lambda T_0} t, & 0 \leq t \leq T_p \\ 2\pi U_0 \frac{1}{2\gamma\lambda T_0} \delta \sin 2\pi \frac{2}{2\gamma\lambda T_0} (t - T_p), & T_p \leq t \leq T_p + T_N \\ 0, & T_p + T_N \leq t \leq T_0 \end{cases}$$

Šios išraiškos po to ir naudojamos pagrindinio tono žadinimo impulso skaičiavimui. O remiantis 4.20 lygtimi sudarome Matlab programa algoritmą akustiniam vamzdžiui.

5. INFORMACIJOS KALBOS ARTIKULIACINEI SINTEZEI RINKIMAS

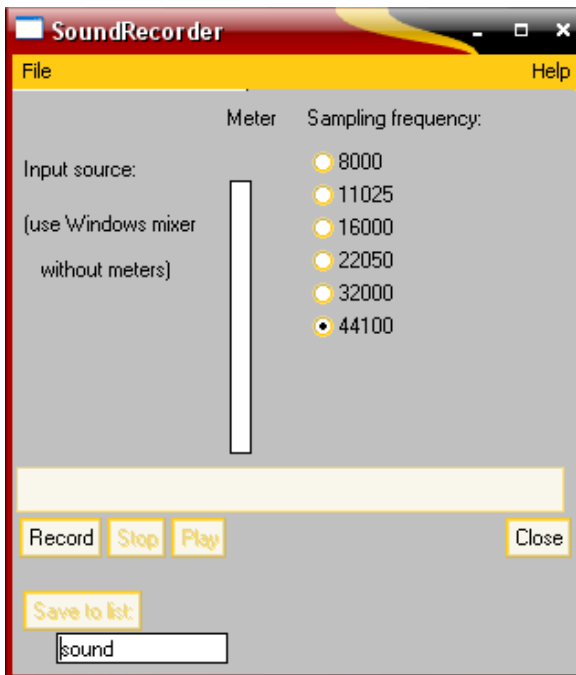
5.1 ŽODŽIŲ PAIEŠKA

Artikuliacinės kalbos sintezavimui buvo parenkami žodžiai iš Lietuvių kalbos žodžių bazės. Siekiant supaprastinti žodžių paieška buvo naudojamos ne tik knyginiams žodynams [9], bet ir internetiniams žodynams [10]. Buvo kreipiamas didelis dėmesys į balsių ilgumą – trumpumą, priebalsių minkštumą – kietumą, taip pat į kirčio vietą žodyje. Visas žodžių sąrašas, kuris buvo panaudotas tiriamajame darbe, pateiktas lentelėje 2 priede. Jame ilgosios ir trumposios balsės išskirtos skirtingomis grafomis, o priebalsių minkštumas – kietumas pažymėtas skirtingomis spalvomis.

Kiekvienai balsinei fonemai (tiek trumpai, tiek ilgai), buvo parinkta po dešimt skirtingų žodžių. Priebalsinei fonemai buvo parinkta 5 kietai tariami priebalsiai ir 5 minkštai, kad vėliau būtų galima juos palyginti ir nustatyti pagrindinius skirtumus. Iš viso atrinkti 323 žodžiai, kurių paieška užtruko 19 val.

5.2 BŪDINGŲ ŽODŽIŲ ĮRAŠYMAS

Įrašai buvo daromi tylioje aplinkoje, bet ne profesionaliose garso įrašų studijose. Buvo naudojamas personalinis kompiuteris bei neprofesionalus mikrofonas. Įrašai saugomi PCM 44100 Hz 16 bitų mono formatu. Kaip diktoriaus buvo pasirinktas magistro darbo autorius, kurio žodžių įrašymo laikas 11 val. Žodžio įrašymui ir skaitmeniniam apdorojimui naudojama PRAAT programa. Jos langas parodytas 5.1 pav.

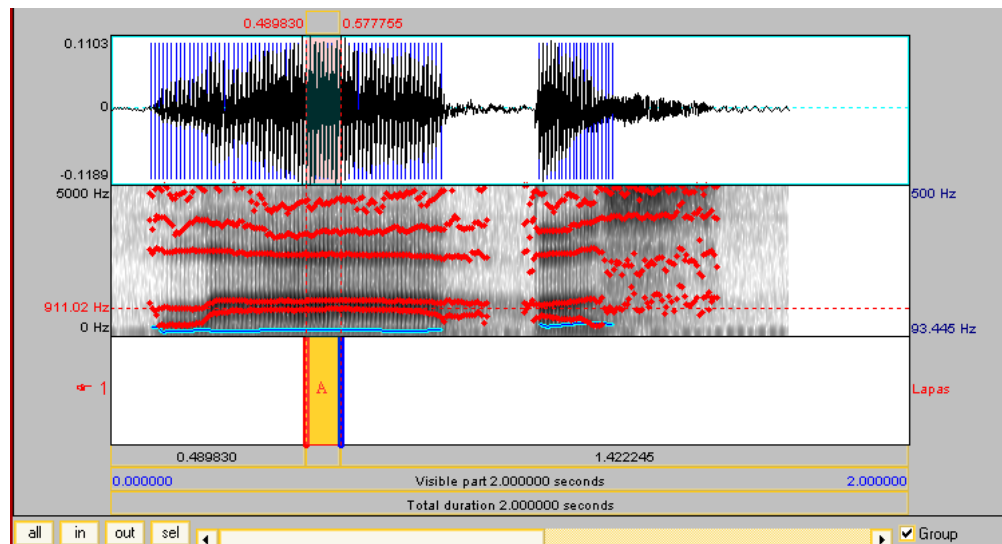


5. 1 pav. Programos PRAAT įrašymo laukas

Ši programa pasirinkta dėl jos gero lankstumo atliekant kalbos signalų akustinę analizę. Kalbos signalų apdorojimo programos paprastai suteikia vartotojui tokias galimybes: įvesti kalbos signalą į kompiuterį, pamatyti ekrane signalo grafiką, redaguoti signalus, pasiklausyti signalą ar norimą fragmentą, pamatyti ekrane spektrografą, formantinių dažnių trajektorijas, pagrindinio tono periodo grafiką ir pažymėto segmento spektrą, filtruoti signalą, užrašyti į failą signalo charakteristikas (segmentus, jų ilgius, formantinius dažnius ir pagrindinio tono periodo reikšmes). Žodžiai įdiktuojami vartotojo, be jokios intonacijos. Siekiant kuo labiau išlaikyti vienodą tartį buvo įrašoma ne po vieną žodį, o visi tai fonemai priskirti žodžiai (vienodu balso padargų įtempimu). Įrašant taip pat buvo atsižvelgiama į balso aiškumą, teisingą žodžių kirčiavimą, tarimą ir kt.

5.3 FONEMŲ IŠSKYRIMAS

Kaip anksčiau minėjome, fonemos išskiriamos PRAAT programa. Tai užtruko apie 49 val. Pažymėtina yra tai, kad kiekvienas kalbėjimo aktas kaip fizinis reiškinys yra visiškai unikalūs, niekada nepasikartojantis ir žmogaus kalbos padargais nepakartojamas įvykis. Galėtume sakyti, kad negalima du kartus pasakyti visiškai tą patį žodį ar garsą. Tuo akivaizdžiai galime įsitikinti padirbę su šia programa. Fonemos karpomos rankiniu būdu atsižvelgiant į kiekvienos fonemos prigimtinę trukmę. Fonemos kirpimo atveju pradžią ir pabaigą stengiamasi parinkti iš fonemos vidurio, kur formantės nekito ar kito bet nežymiai. Vienas iš pagrindinių aspektų pagal kurį buvo išskiriamos fonemos, tai jų trukmė. Ji buvo parenkama vienoda visoms fonemoms. Taip pat buvo stengiamasi išskirti fonemą su lyginiu periodu skaičiumi. 5.2 pav. parodyta iš žodžio “lapas” išskirta fonema “A”.

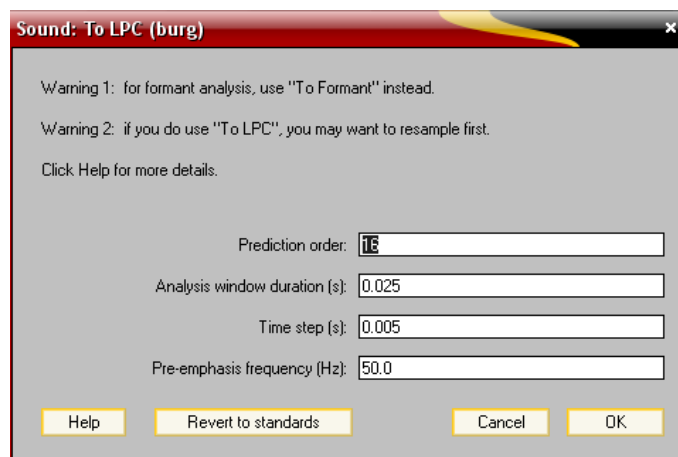
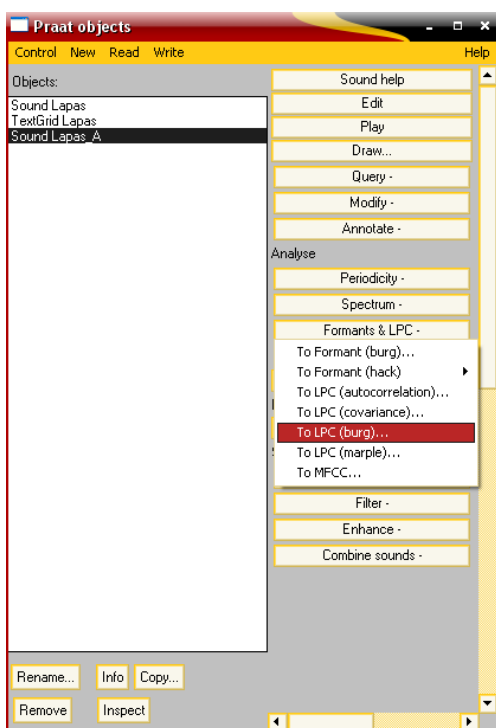


5.2 pav. Žodžio “lapas” signalas PRAAT lange ir išskirta “A” fonema

5.4 KALBOS TRAKTO TYRIMAS PRAAT PROGRAMA

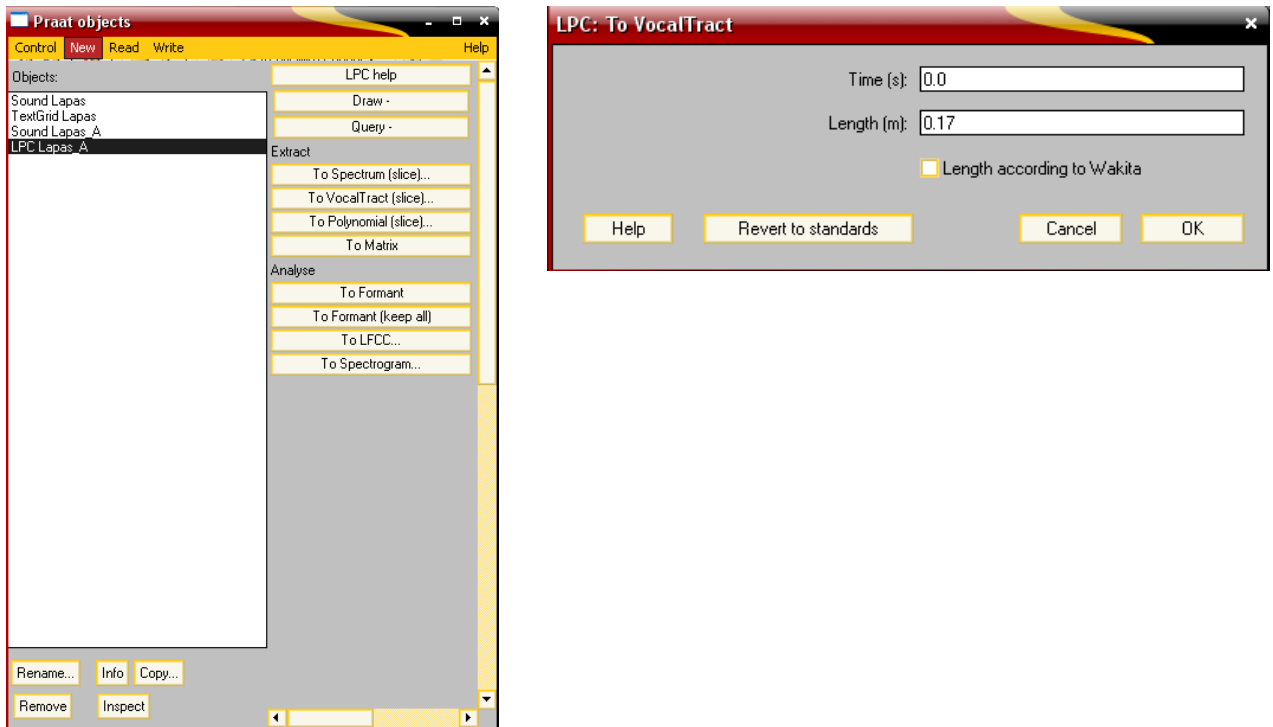
Atliekame sintezės modeliavimą. Tuo būdu naudosime savo išskirtas fonemas, kiekvienam iš žodžių atskirai. Sintezės bandymą atlikome pasinaudodami PRAAT programa. Tai užtruko apie 177 val.

- Iš meniu funkcijų eilutes Formants & LPC pasirinkome LPC burg metodą (5.3 pav. kairėje).
- Nustatėme prognozavimo koeficientų skaičių (**Prediction order**); pagal nutylėjimą 16, mes pasirenkame 34 (žiūr. 5.3 pav. dešinėje).
- Pasirenkame analizės lango plotį sekundėmis (**Analysis window duration**). Siūloma vertė 0,025 s;
- Pasirenkame gretimo analizės lango postūmį sekundėmis (**Time step**). Siūloma vertė 0,005 s; tokiu būdu gavome fonemas charakterizuojančius LPC koeficientus.
- Nustatome pradinio stiprinimo žemų dažnių ribą Hz (**Pre-emphasis frequency**). Nenorint panaudoti pradinį stiprinimą reikia įvesti Naikvisto dažnį (t. y. pusę atskaitų dažnio vertės).
- Paspaužiamo OK mygtuką ir sukuriamas naujas praat objektas LPC failo vardas.



5.3 pav. Paat langas pasirenkant To LPC burg metodą (kairėje), bei nustatant prognozavimo koeficientų sk. ir kt. (dešinėje).

- Pasirenkame **To vocal tract (slice)...** Paspaudžiame OK mygtuką ir gauname kalbos trakto skerspjūvio kitimą. 5.4 pav.



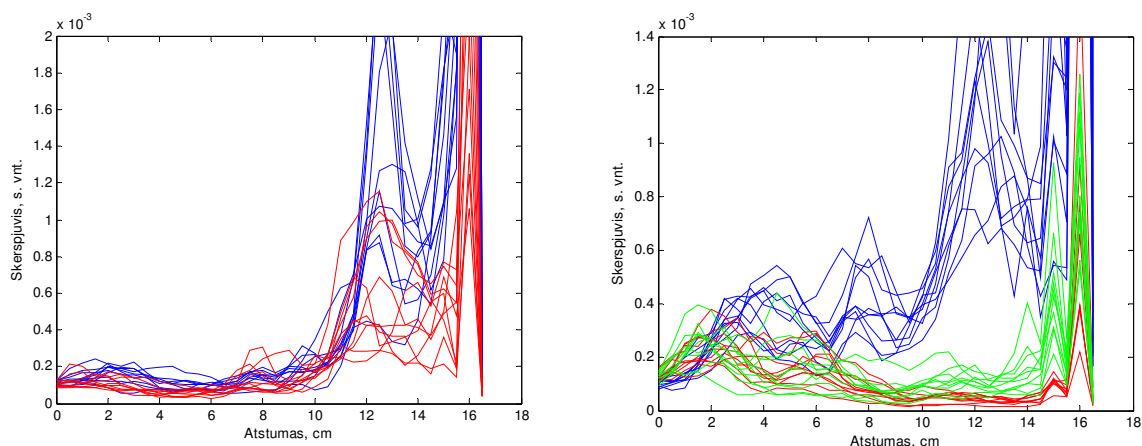
5.4 pav. Praat langas pasirenkant **To Vocal Tract (slise) mygtuką** (kairėje), bei **OK mygtuką** (dešinėje).

- Sukurtą naują Praat objektą **VocalTract** _failo pavadinimas išsaugome atskirame aplanke. Visus šiuos etapus atliekame su visais darbui išrinktais žodžiais.

Pagal gautus duomenis nubraižome kiekvienam išrinktam žodžiui skerspjūvio priklausomybę nuo balso trakto ilgio. Siekiant supaprastinti grafikus ir jų analizę Matlab programos dėka (programos algoritmas pateiktas 2 priede) kiekvienos fonemos priklausomybes atvaizduojame viename grafike. Platesnė gautų rezultatų analizė pateikiama sekančiame skyrelyje.

5.5 KALBOS TRAKTO SKERSPJŪVIO KITIMO ANALIZĖ

Balsės. Aptarkime kalbos trakto skerspjūvio priklausomybę nuo balso trakto ilgio. 5.5 pav. pavaizduotos “a”, “e” ir “ė” fonemų kalbos trakto skerspjūvio priklausomybės nuo balso trakto ilgio.



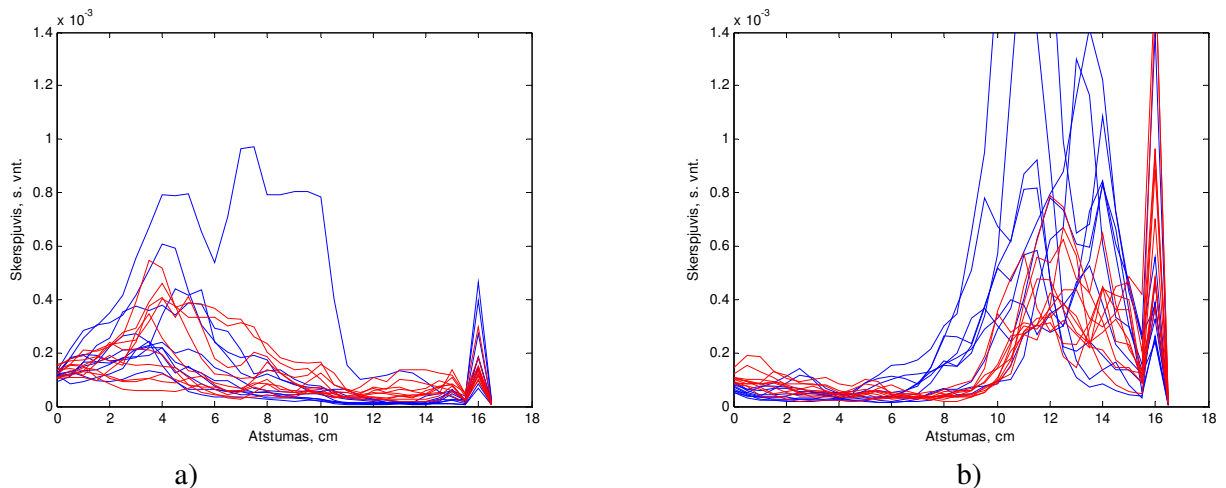
a)

b)

5.5 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas: a) fonemai “a”; b) fonemoms “e” ir “ė”

“a” yra užpakalinės eilės žemutinio pakilimo balsis. Skiriamos ilgosios ir trumposios balsės. 5.5 pav. a) mėlyna spalva pažymėtos ilgosios (pvz. lapas, batas, faktas), o raudona – trumposios balsės (pvz. nafta, šaka, meška ir kt.). Tariant užpakalinės eilės žemutinio pakilimo balsius burna plačiai atidaroma, liežuvis atsitraukia nuo priešakinių apatinių dantų, o užpakalinė jo nugarėlės dalis kiek pakyla prie minkštojo gomurio, tačiau jo neliečia. Kaip matyti iš paveikslo (žiūr. 5.5 pav a)), skirtumai tarp šių fonemų nėra ryškūs. Ilgosios fonemos skerspjūvio plotas (ties 12 cm) yra šiek tiek didesnis nei trumpųjų fonemų. Tai galėjo įtakoti ir kiek labiau įtempti kalbos padargai tariant fonemas.

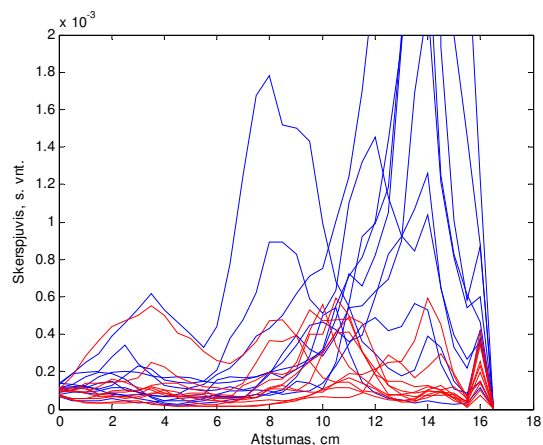
“e” ir “ė” yra priešakinės eilės vidutinio pakilimo nelūpiniai balsiai. Taip pat skiriamos ilgosios ir trumposios balsės (“e” balsei, nes “ė” – visada ilgas). Tariant priešakinės eilės vidutinio pakilimo nelūpinius balsius lūpos nesuapvalinamos, neatkišamos į priekį. Liežuvio galiukas remiasi į priekinius dantis, jo kraštai liečia gomurio pakraščius, vidurinė liežuvio nugarėlės dalis pakyla prie kietojo gomurio. 5.5 pav. b) mėlyna spalva pažymėta “e” ilgoji (pvz. keras, penas melas ir kt.), raudona – “ė” (pvz. skylė, giesmė, voverė ir kt.) o žalia – “e” trumpoji balsės (pvz. lesti, pešti, vesti ir kt.). Priklausomybės panašios, tik ilgosios balsės “e” skerspjūvio plotas kiek didesnis. Balsis “ė” iš visos šios grupės balsių yra pats uždariausias iš vidutinio pakilimo balsių.



5.6 pav. **Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a)“i” fonemai b) fonemai “o”**

“I” yra priešakinės eilės aukštutinio pakilimo nelūpinis balsis. Skiriami ilgieji ir trumpieji balsiai. 5.6 pav. a) mėlyna spalva pažymėta ilgoji balsė “y” (pvz. genys, šlakys, lokys), o raudona – trumpoji balsė “i” (pvz. analginas, aspirinas, švinas ir kt.). Kaip matome, grafikai labai panašūs, tačiau nuo kitų skiriasi savo artikuliacijos vieta, t. y. tariant “I” balsę artikuliacijos vieta nusikelia labiau į burnos gilumą. Tariant priešakinės eilės aukštutinio pakilimo balsius liežuvis labai aukštai pakyla prie kietojo gomurio. Jo galiukas remiasi į priekinius dantis, burna mažai atidaroma.

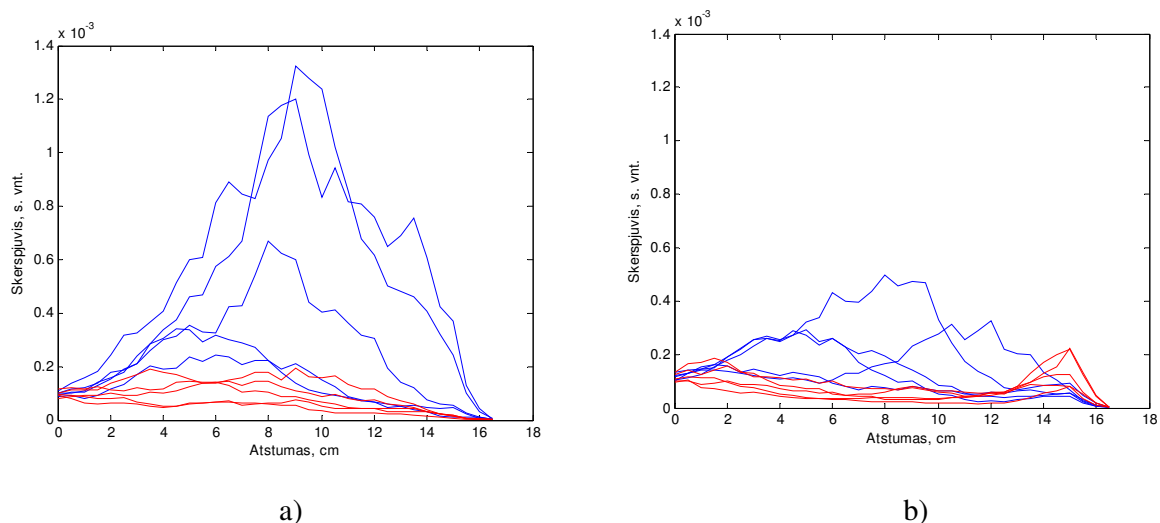
“O” yra užpakalinės eilės vidutinio pakilimo lūpiniai balsiai. Taip pat skiriami ilgieji ir trumpieji balsiai. 5.6 pav. mėlyna spalva pažymėta ilgoji balsė “o” (pvz. Žodis, skonis, šakotis ir kt.), o raudona spalva – trumpoji balsė (pvz. Dokas, kopija, kokosas ir kt.). Tariant užpakalinės eilės vidutinio pakilimo lūpinis balsius lūpos suapvalinamos, atkišamos truputi į priekį, liežuvis pakyla prie kietojo gomurio, burna vidutiniškai atidaroma.



5.7 pav. **“u” fonemos kalbos trakto skerspjūvio kitimas**

“U” yra užpakalinės eilės aukštutinio pakilimo lūpiniai balsiai. Skiriami ilgieji ir trumpieji balsiai. 5.7 pav. pavaizduota “u” balsės priklausomybė. Mėlyna spalva pažymėta ilgoji balsė (pvz. Svogūnas, gyvūnas, bijūnas ir kt.), o raudona – trumpoji (pvz. Malonus, puošnus, šaunus ir kt.). Ilgosios balsės “ū” skerspjūvio plotas didesnis. Tariant užpakalinės eilės aukštutinio pakilimo lūpinius balsius, lūpos suapvalinamos, atkišamos į priekį, burna mažai atidaroma, liežuvis atitraukiamas nuo priekinių dantų ir aukščiau pakyla prie kietojo gomurio.

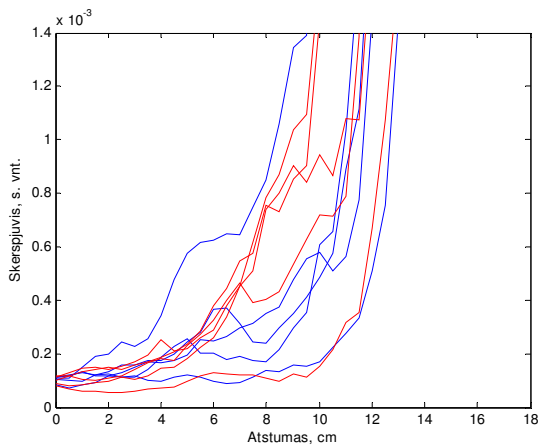
Priebalsės. Aptarkime priebalsių priklausomybes. 5.8 pav. pavaizduotos fonemų “b” ir “d” priklausomybės.



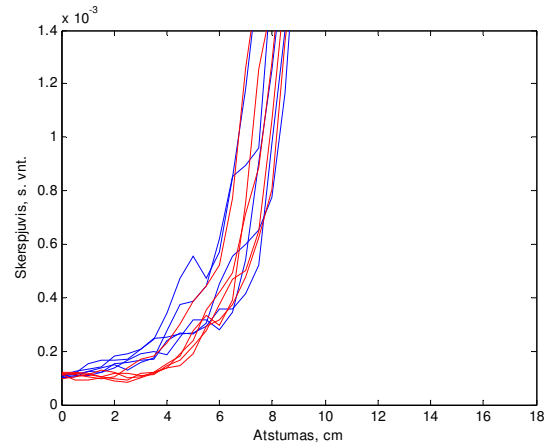
5.8 pav. **Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “b” b) fonemai “d”**

“b” yra sprogstamasis lūpinis skardusis priebalsis. Skiriami minkštieji ir kietieji priebalsiai. 5.8 pav. a) mėlyna spalva pažymėtas kietasis (pvz. Žaibo, raibo, ir t.t.), o raudona – minkštasis (pvz. ambicija, arbitras ir t.t.) priebalsiai. Kaip matyti iš paveikslo kietosios fonemos skerspjūvio plotas yra didesnis nei minkštojo. Sprogstamieji tariami staiga orui prasiveržus, sprogu. Tariant minkštuosius priebalsius liežuvio vidurinė dalis papildomai pakyla prie kietojo gomurio, jo galiukas remiasi į priekinius dantis. Burna vidutiniškai atidaroma, lūpos nesuapvalinamos ir neatkišamos į priekį. Tariant kietuosius priebalsius liežuvio vidurinė dalis nebūna pakilusi prie kietojo gomurio. Burna plačiai atidaroma, lūpos nesuapvalinamos, neatkišamos į priekį. Dėl šios priežasties skiriasi ir skerspjūvio plotas (burnos atidarymo).

“d” yra sprogstamasis dantinis skardusis priebalsis. Skiriami ir kietieji ir minkštieji priebalsiai. Tarimas analogiškas kaip ir “b” priebalsių. 5.8 b) paveiksle mėlyna spalva spalva pavaizduotas kietasis (pvz. padas, badas, žadas), o raudona – minkštasis (pvz. gedimas, radimas, sėdimas ir kt.) priebalsiai.



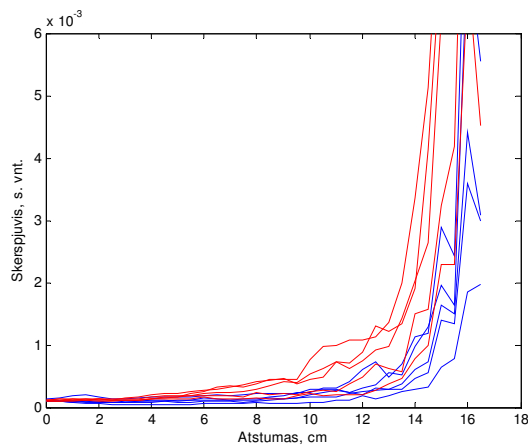
a)



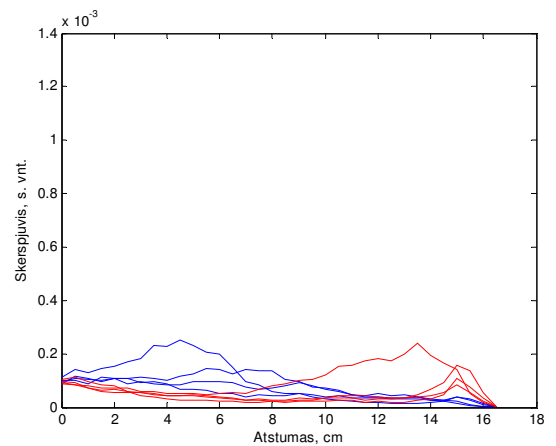
b)

5.9 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “c” b) fonemai “č”

“C” ir “Č” yra uždarnos priebalsiai. Juos tariant tam tikroje trakto dalyje susidaro uždaruma, kurią turi įveikti iškvepiama oro srovė. Tą uždarumą sudaro liežuvio galiukas ar priešakinė jo dalis priartėjusi prie viršutinių dantėnų ir alveolių. Taip pat skiriami kietieji ir minkštieji priebalsiai. 5.5.2.2 paveiksle pavaizduotos jų priklausomybės. Mėlyna spalva pavaizduotos kietosios (pvz. ginčas, pučas, beicas, hercas ir kt.) o raudona – minkštosios (pvz. plečia, verčia, policija, pozicija) fonemos.



a)

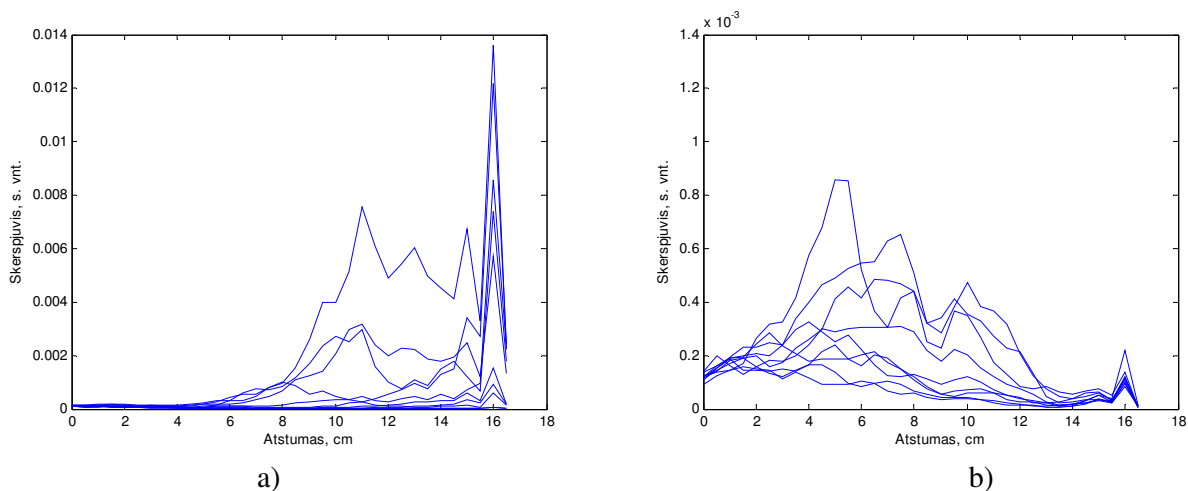


b)

5.10 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “f” b) fonemai “g”

“f” yra pučiamasis dantinis duslusis priebalsis. Skiriami kietieji ir minkštieji priebalsiai. 5.10 a) pav. mėlyna spalva pavaizduotos kietosios (pvz. rivas, grifas ir kt.), o raudona – minkštosios (pvz. grafitas, delfinas ir kt.) fonemos. Tariant pučiamuosius priebalsius, kurioje nors burnos vietoje susidaro ankštuma, plyšys, pro kurią veržiasi pučiamas oras vienoda srove, be jokių pertrūkių. Kaip matome iš paveikslo, jog minkštieji priebalsiai nuo kietųjų skiriasi nežymiai.

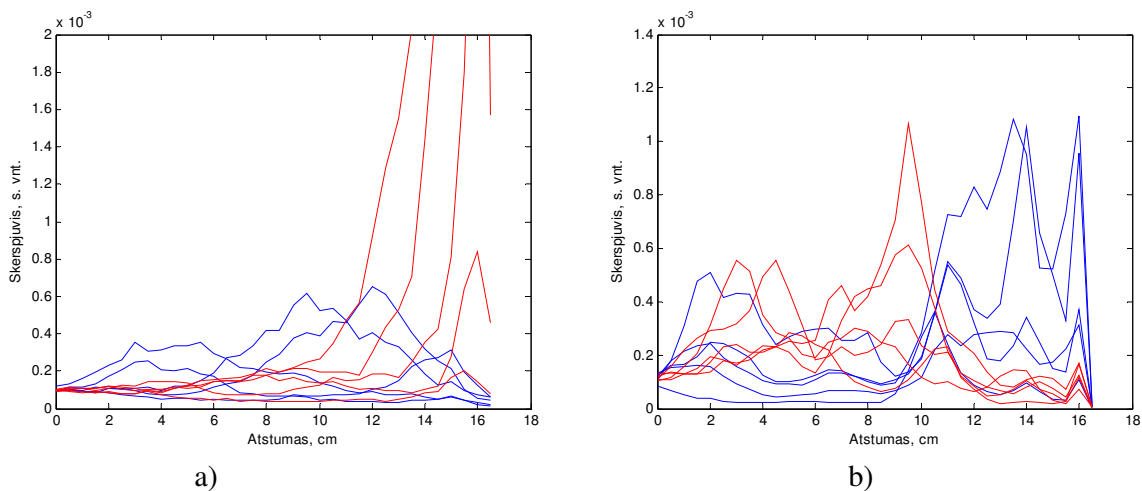
“g” yra sprogstamasis gomurio užpakalinis (vidurinis) skardusis priebalsis. Pagal pasyvųjį kalbos padargą skiriami gomurio viduriniai (5.5.2.3 pav. b, raudona spalva) ir gomurio užpakalinį (5.10 pav. b, mėlyna spalva). Taip pat skiriami minkštieji (raudona) ir kietieji priebalsiai (mėlyna). Pagrindiniai skirtumai matyti iš grafiko (žiūr. 5.10 pav. b), kuriame matyti vieta, kur vyksta artikuliacija.



5.11 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “h” b) fonemai “j”

5.11 pav. a, pavaizduota “h” fonemos priklausomybė. Ji yra pučiamasis gomurio užpakalinis (vidurinis) skardusis priebalsis. Jis taip pat skirstomas i minkštuosius ir kietuosius. Tačiau dėl žodžių trūkumo su šiuo priebalsiu smulkiau išanalizuoti nepavyko. Dėl to ir grafike pateikiami tik bendri žodžiai, kad galėtumeme juos palyginti.

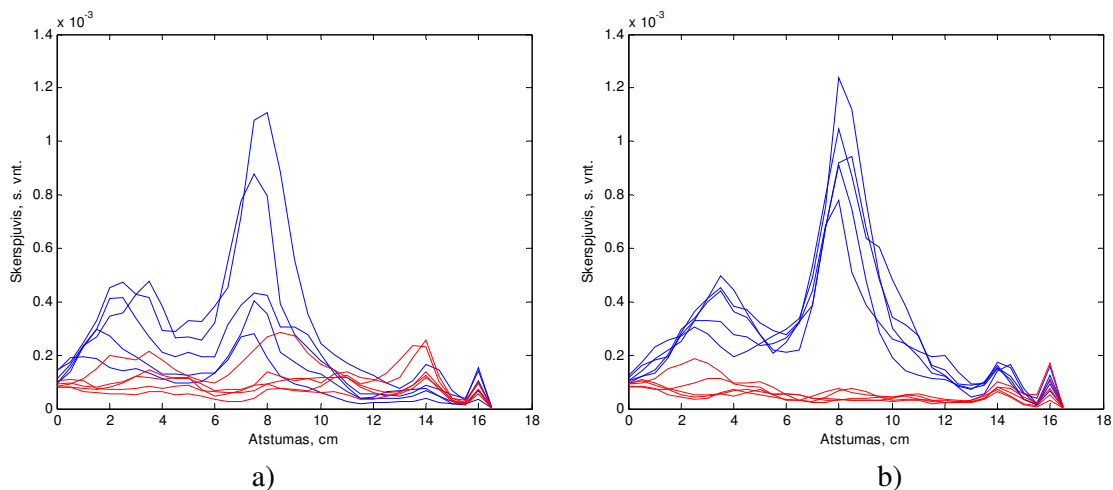
“j” yra sklandusis paprastasis gomurio vidurinis skardusis priebalsis. Vien iš pagrindinių priebalsio “j” artikuliacijos ypatybių yra liežuvio vidurinės dalies pakilimas kietojo gomurio link, todėl jis iš esmės visada yra minkštas. 5.11 pav. b) yra pavaizduota “j” priebalsio priklausomybė.



5.12 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “k” b) fonemai “t”

“k” yra sprogstamasis gomurio užpakalinis (vidurinis) duslusis priebalsis. Taip pat skiriami kietieji ir minkštieji priebalsiai. Kietasis “k” yra gomurio užpakalinis, nes jų uždaruma arba ankštuma sudaroma tarp liežuvio užpakalinės dalies ir minkštojo gomurio. Jis pavaizduotas 5.12 pav. a, mėlyna spalva (pvz. bokalas, dekanas ir kt.). Raudona spalva pavaizduotas “k” minkštasis, arba gomurio vidurinis priebalsis, kuris tariamas liežuvio vidurinę dalį priartinus prie kietojo gomurio vidurinės dalies, tik kiek giliau burnoje, nei priebalsis “j”. Visa tai matosi “k” priebalsio grafike.

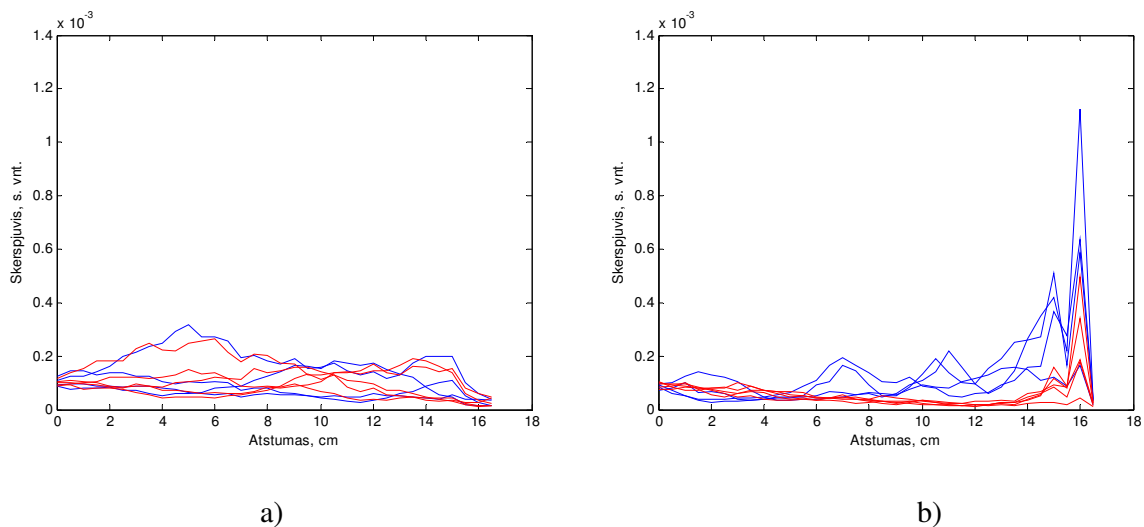
“l” yra sklandusis šoninis dantinis (alveolinis) skardusis priebalsis. Skiriami kietieji (pvz. kaladė, melagė ir kt.) ir minkštieji priebalsiai (pvz. eilinis, molinis ir kt.). Juos tariant, liežuvio priešakinė dalis prisispaudžia prie dantų (kietasis) arba alveolių (minkštasis), bet tarp liežuvio šonų ir šoninių dantų susidaro plyšiai, pro kuriuos oras laisvai, nekliudomas be trinties išeina lauk. 5.12 pav. b, mėlyna spalva pažymėti “l” kieti, o raudona – “l” minkšti priebalsiai. Kaip matyti kietiems priebalsiams labiau aktyvus yra balso trakto priekis.



5.13 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “m” a) fonemai “n”

“m” yra sklandieji nosiniai lūpiniai skardieji priebalsiai. Kaip ir visi priebalsiai skiriami kietieji (pvz. formatas, aromatas ir kt.) ir minkštieji (pvz. giluminis, šiluminis) . Sklandžiuosius nosinius priebalsius tariant oras atėjęs į burną sutinka aklina uždarumą, bet randa laisvą kelią pro nosį. Juos tariant minkštasis gomurys nusileidžia, atsitraukia nuo ryklės užpakalinės sienelės ir oras gali laisvai, sklandžiai išeiti pro nosį. Lūpos suglaudžiamos, burna aklina uždaroma. 5.13 pav. a, mėlyna spalva pavaizduota kietoji, o raudona – minkštoji fonema. Kaip matyti iš grafiko, skerspjūvio plotas didesnis yra kietosios “m” fonemos, nes tariant kietąjį priebalsį burna labiau likusi atsідaryti.

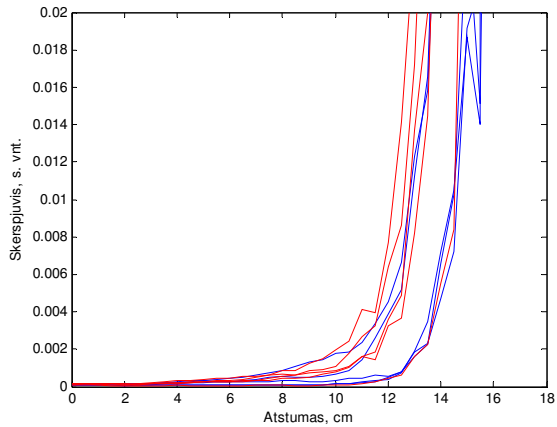
“n” yra sklandusis nosinis dantinis skardusis priebalsis. Jų tarimas analogiškas kaip ir “m” priebalsio, tik liežuvio galiukas tariant “n” remiasi į priekinius dantis. Burna minimaliai atidaroma, lūpos nesuglaudžiamos ir neatkišamos. 5.13 pav. b, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis (pvz. antonimas, sinonimas ir kt.), o raudona – minkštasis “n” (pvz. bananas, benamis ir kt.) priebalsiai.



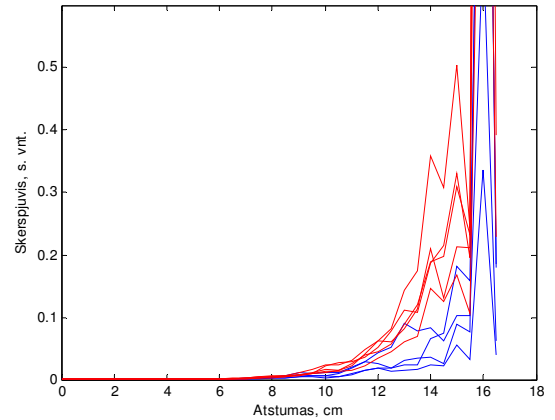
5.14 pav. **Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “p” b) fonemai “r”**

“p” priebalsis priskiriamas prie sprogstamųjų lūpinių duslių priebalsių grupės. Tariant juos iš pradžių sudaroma aklina uždaruma. Padidėjus pučiamam oro slėgiui ta kliūtis staiga likviduojama ir oras išsiveržia, sukeldamas sproginimą. 5.14 pav. a, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis (pvz. kvėpavimas, okupavimas ir kt.), o raudona – minkštasis (pvz. lipimas, supimas ir kt.) priebalsiai. Grafikai labai panašūs.

“r” priebalsis priskiriamas prie sklandžiujų virpamųjų alveolinių priebalsių grupės. Juos tariant artikuliacijos kliūtis nuolat kinta. Liežuvio galiukas čia atsitrenkia į alveoles, čia vėl atšoka. 5.14 pav. b, mėlyna spalva pavaizduota kietasis (pvz. ekranas, paradas ir kt.), o raudona – minkštasis (pvz. barimas, būrimas ir kt.) priebalsiai. Iš grafiko matyti, jog po “r” priebalsio einanti balsė “i” suminkština jį. Kietojo priebalsio skerspjūvio plotas yra šiek tiek didesnis nei minkštojo.



a)

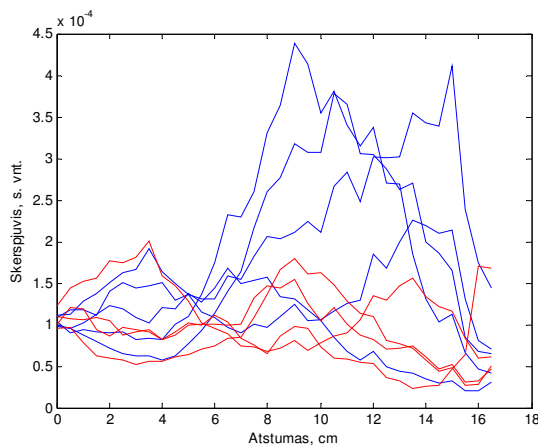


b)

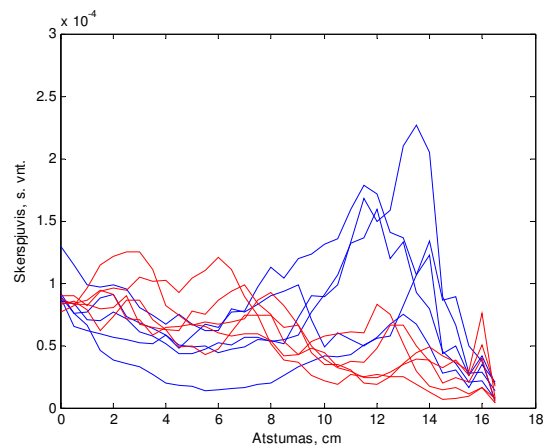
5.15 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “s” a) fonemai “š”

“s” priskiriami prie pučiamųjų dantinių dusliųjų priebalsių grupės. Tariant “s” liežuvio galiukas remiasi į priekinius dantis, burna minimaliai atidaroma. Skiriami kietieji (pvz. alsavo, apsalvo ir kt.) ir minkštieji (pvz. pepsinas, toksinas ir kt.) priebalsiai. 5.15 pav. a, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis o raudona – minkštasis priebalsiai. Grafikai labai panašūs, gal kiek didokas skerspjūvio plotas, kurį įtakojo garsiau įdiktuoti žodžiai.

“š” – prie pučiamųjų alveolinių dusliųjų priebalsių. Skirtingai nuo “S”, tariant “š” priebalsį liežuvio galiukas remiasi ne į priekinius dantis, bet į alveoles. Likusi artikuliacija yra panaši. 5.15 pav. b, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis (pvz. dvišalis, dvišakis ir kt.), o raudona – minkštasis (pvz. lošikas, rišikas) priebalsiai.



a)



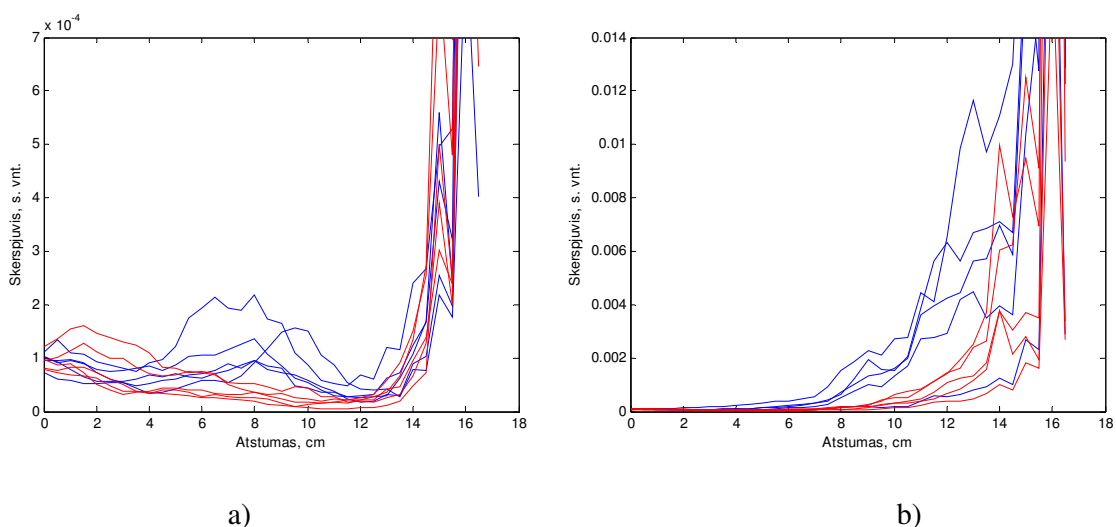
b)

5.16 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “t” b) fonemai “v”

Prie sprogstamųjų dantinių dusliųjų priebalsių grupės priskiriami ir “t” priebalsiai. Jų tarimas analogiškas kaip ir “d” priebalsio. Skirtumas tik tas, kad “t” yra duslusis, o “d” yra

skardusis. 5.16 pav a, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis “t” (pvz. botagas, metalas ir kt.), o raudona – minkštasis (pvz. svetingas, sultingas ir kt.) priebalsiai. Kaip matyti iš grafiko kietųjų priebalsių skerspjūvio plotas žymiai didesnis ties 8 cm, nes tariant burna atidaroma plačiau, nei minkštųjų.

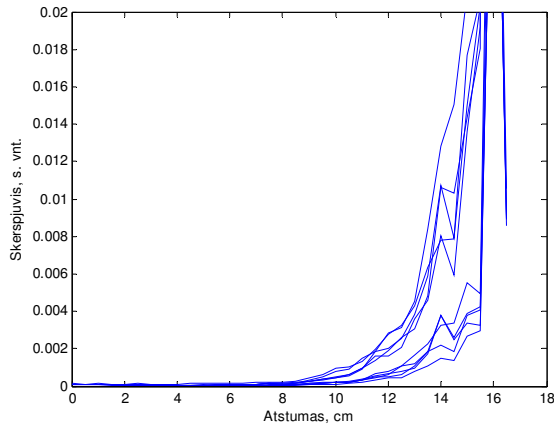
“v” priskiriama prie sklandžiųjų paprastųjų dantinių skardžiųjų priebalsių grupės. Juos tariant oras tolydžiai eina balso vamzdžio viduriu, virpindamas suartėjusias balso stygas. Apatinė lūpa priartinama prie priekinių viršutinių dantų, burna minimaliai atidaroma. Lietuvių kalbos gramatikoje taikliai pastebėta, kad “v” yra tarpiniai tarp sonatų ir kitų priebalsių. 5.16 pav. b, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis (pvz. karavanas, antikvaras ir kt.), o raudona – minkštasis (pvz. krovikas, pjovikas ir kt.) priebalsiai.



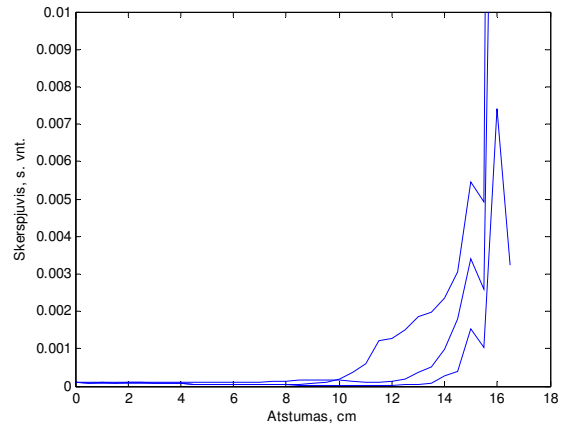
5.17 pav. Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) fonemai “z” b) fonemai “ž”

“z” priskiriama prie pučiamųjų dantinių skardžiųjų priebalsių grupės. Tariant juos, burnoje susidaro plyšys, pro kurį oras pučiamas vienoda srove virpina suartėjusias balso stygas. Liežuvis liečiasi prie apatinių dantų, burna minimaliai praveriama. 5.17 pav. a, mėlyna spalva pavaizduotas kietasis (pvz. fazanas, balzamas ir kt.), o raudona – minkštasis (pvz. bazilika, benzinas ir kt.) priebalsiai. Kaip matyti iš grafiko ties 8 cm kietųjų priebalsių skerspjūvio plotas šiek tiek didesnis, nei minkštųjų.

“ž” kaip ir “z” priskiriama prie pučiamųjų, bet ne dantinių, o alveolinių skardžiųjų priebalsių grupės. Todėl ir tarimas panašus. Skirtumas tas, kad tariant “z” liežuvis liečiasi prie priekinių dantų, o “ž” – prie alveolių. 5.17 pav. b, kaip ir visur, mėlyna spalva žymi kietąjį, o raudona – minkštąjį priebalsį.



a)



b)

5.18 pav. **Kalbos trakto skerspjūvio kitimas a) afrikatai “dz” b) afrikatai “dž”**

Daugelyje kalbotyros veikalų rašoma, kad lietuvių bendrinėje kalboje yra 45 priebalsinės fonemos. Į šį skaičių įtraukiamos ir 8 afrikatos, tarp kurių yra “dz” ir “dž”. Afrikatos pasižymi sudėtine artikluliacija: jos turi sprogstamųjų pradžią – uždarumą ir pučiamųjų galą – ankštumą. Perėjimas nuo sprogstamojo prie pučiamojo elemento yra tiek sklandus, kad negalima nustatyti ribos tarp šių dviejų elementų. 5.18 pav a., pateiktos “dž”, o b, “dz” afrikatos. Pastarosios palyginimui buvo rasti tik trys žodžiai. Kaip matyti iš grafikų, tariant šias afrikatas aktyvus yra kalbos trakto galas, t. y. liežuvio galiukas, alveolės, dantys.

Pasinaudodami Matlab programos algoritmu (3 priedas) gauname amplitudės ir fazės dažnumines charakteristikas, kurios pateiktos 4 priede (pateiktos tik kelios charakteristikos).

IŠVADOS

Tiriamajame magistro darbe yra apžvelgta garsų sintezės istorija, kalbos generavimo procesas, kalbos padargų sandara, fonemų artikuliacinė klasifikacija, aptarti signalo generavimo modeliai. Atlikę išsamų informacijos artikuliacinei sintezei rinkimą gavome kalbos trakto skerspjūvio kitimą skirtingoms fonemoms.

Apžvelgę garsų sintezės istoriją akivaizdžiai galime pastebėti, kad kuriami įvairūs garso sintezatoriai kurie laikui bėgant vis tobulėja. Tuo galima įsitikinti apsilankius internetiniame puslapyje [1]. Iš kalbos generavimo proceso ir kalbos padargų sandaros galima daryti išvadą, kad artikuliacinės kalbos sintezavimui lemiamą įtaką turi kalbos padargai (t.y. jų sandara). Norint tinkamai ir tiksliai sugeneruoti garsinį signalą, būtina sudaryti tam tikras taisykles, pagal kurias būtų galima suskirstyti visas fonemas. Tai supaprastina artikuliacinę analizę. Išanalizavus kalbos trakto formos kitimą keičiantis garsiniam signalui nustatyta, kad didelę įtaką turi fonemos kietumas – minkštumas (priebalsiams) bei ilgumas – trumpumas (balsėms). Tuom įsitikome atlikę kalbos trakto skerspjūvio kitimo analizę.

LITERATŪRA

1. <http://www.text-talk.com/lt/kalbos-sinteze.html>. (žiūrėta 2006 05 25).
2. <http://tcts.fpms.ac.be/synthesis/mbrola.html>. (žiūrėta 2006 05 26).
3. Vorobjova J., Gubar A., Safjanikova J. (1978). Anatomija ir fiziologija. Vilnius.
4. <http://wikipedia.org/> (žiūrėta 2006 06 01).
5. Mader S.S. (1999). Biologija. II knyga. Vilnius.
6. Pakerys A. (2003). Lietuvių bendrinės kalbos fonetika. Enciklopedija. Vilnius.
7. Lietuvių kalbos gramatika. I tomas. 1965. Vilnius.
8. Kemėšis P. (1996). Kalbos signalo algoritmai. Kaunas.
9. Lietuvių kalbos žodynas. I – XXII tomai.
10. <http://autoinfo.lt/webdic/> (žiūrėta 2006 05 10).
11. Navardauskas D., Paulikas Š. (2004). Skaitmeninis signalų apdorojimas programa Matlab. Vilnius.
12. Childers D.G. (2000). Speech Processing and Synthesis Toolboxes. New York.

PRIEDAI

Žodžių sąrašas panaudotas tiriamajame darbe

R <u>a</u> ktas F <u>a</u> ktas L <u>a</u> pas B <u>a</u> tas Kv <u>a</u> pas N <u>a</u> mas Š <u>a</u> palas Š <u>a</u> mas B <u>a</u> ltas R <u>a</u> stas	<u>A</u>	Mešk <u>a</u> Band <u>a</u> Barzd <u>a</u> Nakviš <u>a</u> Nars <u>a</u> Naft <u>a</u> Šak <u>a</u> Šaln <u>a</u> Šarm <u>a</u> Kalb <u>a</u>	A	Grai <u>b</u> o Gnai <u>b</u> o Žnai <u>b</u> o Rai <u>b</u> o Žai <u>b</u> o Ambi <u>c</u> ija Arbi <u>t</u> ras Debi <u>t</u> as Kabi <u>n</u> ti Abi <u>p</u> us	B	Ma <u>c</u> as Bei <u>c</u> as Her <u>c</u> as Kvar <u>c</u> as Prin <u>c</u> as Ambi <u>c</u> ija Pol <i>i</i> ci <u>j</u> a Koa <i>l</i> i <u>c</u> ija Poz <i>i</i> ci <u>j</u> a Kond <i>i</i> ci <u>j</u> a	C
Gin <u>č</u> as Kivir <u>č</u> as Pu <u>č</u> as Ma <u>č</u> as Vi <u>č</u> as Lie <u>č</u> ia Ple <u>č</u> ia Ver <u>č</u> ia Kej <u>č</u> ia Švej <u>č</u> ia	<u>Č</u>	B <u>a</u> das P <u>a</u> das Pr <u>a</u> das Ž <u>a</u> das V <u>a</u> das Aud <u>i</u> mas Ged <u>i</u> mas Rad <u>i</u> mas Ved <u>i</u> mas Sėd <u>i</u> mas	D	Se <u>k</u> ti Ne <u>š</u> ti Me <u>s</u> ti Ve <u>ž</u> ti Te <u>p</u> ti De <u>g</u> ti Ke <u>p</u> ti Le <u>s</u> ti Pe <u>š</u> ti Ve <u>s</u> ti	E	Me <u>n</u> as Me <u>l</u> as Me <u>t</u> ai Se <u>n</u> as Pe <u>n</u> as Ge <u>r</u> as Ke <u>r</u> as Le <u>d</u> as Že <u>m</u> as Pe <u>r</u> as	<u>E</u>
Našl <u>ė</u> Sėkm <u>ė</u> Vover <u>ė</u> Bausm <u>ė</u> Svėr <u>ė</u> Skyl <u>ė</u> Pel <u>ė</u> Eket <u>ė</u> Versm <u>ė</u> Giesm <u>ė</u>	<u>Ė</u>	Ri <u>f</u> as Gri <u>f</u> as So <u>f</u> os Relje <u>f</u> as Filosof <u>a</u> s Amf <i>i</i> bi <u>j</u> a Delfi <u>n</u> as Graf <i>i</i> tas Paraf <i>i</i> nas Metaf <i>i</i> zika	F	Ma <u>g</u> as Na <u>g</u> as Ra <u>g</u> as Žio <u>g</u> as Sto <u>g</u> as Angi <u>s</u> Va <u>g</u> is Bėgi <u>k</u> as Pagij <u>o</u> Rugi <u>n</u> ė	G	Ho <u>l</u> as He <u>r</u> bas Ha <u>r</u> emas Ha <u>l</u> ė He <u>l</u> is He <u>r</u> cas Hi <u>e</u> na Hi <u>m</u> nas Ho <u>b</u> is Hu <u>m</u> oras	H

Vitam <u>i</u> nas Insul <u>i</u> nas Apels <u>i</u> nas Jurg <u>i</u> nas Šv <u>i</u> nas Delf <u>i</u> nas Bedu <u>i</u> nas Gruz <u>i</u> nas Analg <u>i</u> nas Aspir <u>i</u> nas	I	Nar <u>y</u> s Kar <u>y</u> s Bail <u>y</u> s Šaul <u>y</u> s Šlak <u>y</u> s Gen <u>y</u> s Ak <u>y</u> s Dag <u>y</u> s Kor <u>y</u> s Lok <u>y</u> s	Y	Ras <u>o</u> ja Dėk <u>o</u> ja Byl <u>o</u> ja Auk <u>o</u> ja Pl <u>o</u> ja Gro <u>o</u> ja Kov <u>o</u> ja Grum <u>o</u> ja Dor <u>o</u> ja Pl <u>o</u> ja	J	Ik <u>a</u> lti Ik <u>a</u> linti Bok <u>a</u> las Dek <u>a</u> nas Advok <u>a</u> tas Esk <u>i</u> zas Išk <u>i</u> lo Sk <u>i</u> rti Sk <u>i</u> nti Sk <u>i</u> lo	K
Bal <u>a</u> dė Kal <u>a</u> dė Mel <u>a</u> gė Mul <u>a</u> tė Bel <u>a</u> pė Dal <u>i</u> nis Eil <u>i</u> nis Mol <u>i</u> nis Uol <u>i</u> nis Žol <u>i</u> nis	L	Reum <u>a</u> tas Autom <u>a</u> tas Diplom <u>a</u> tas Form <u>a</u> tas Arom <u>a</u> tas Aksom <u>i</u> nis Alium <u>i</u> nis Atram <u>i</u> nis Gilum <u>i</u> nis Šilum <u>i</u> nis	M	Kan <u>a</u> las Ban <u>a</u> nas Ben <u>a</u> mis Din <u>a</u> ras Fin <u>a</u> las Anton <u>i</u> mas Sinon <u>i</u> mas Sutin <u>i</u> mas Sumyn <u>i</u> mas Supyn <u>i</u> mas	N	K <u>o</u> das K <u>o</u> mikas K <u>o</u> pija D <u>o</u> kas K <u>o</u> smosas K <u>o</u> nsulas K <u>o</u> kosas K <u>o</u> deksas K <u>o</u> misas K <u>o</u> mpasas	O
Sv <u>o</u> ris St <u>o</u> vis St <u>o</u> ris Skon <u>i</u> s Pl <u>o</u> tis Bl <u>o</u> gis Ž <u>o</u> dis Gro <u>o</u> bis Šak <u>o</u> tis A <u>o</u> stis	O	Pump <u>a</u> vimas Grip <u>a</u> vimas Grup <u>a</u> vimas Kvėp <u>a</u> vimas Okup <u>a</u> vimas Alp <u>i</u> mas Kep <u>i</u> mas Lip <u>i</u> mas Sup <u>i</u> mas Tap <u>i</u> mas	P	Ekr <u>a</u> nas Pyr <u>a</u> gas Nor <u>a</u> gas Gar <u>a</u> žas Par <u>a</u> das Bar <u>i</u> mas Būr <u>i</u> mas Dūr <u>i</u> mas Gyr <u>i</u> mas Nēr <u>i</u> mas	R	U <u>o</u> šako Ats <u>a</u> ko Mos <u>a</u> vo Als <u>a</u> vo Aps <u>a</u> lo Peps <u>i</u> nas Tok <u>s</u> inas Dels <u>i</u> mas Raus <u>i</u> mas Knis <u>i</u> mas	S

Dvišakis Dvišalis Trišakis Trišalis Keturišakis Aršinas Hašišas Lošikas Rišikas Nešikas	Š	Botagas Metalas Metanas Notaras Titanas Turtingas Svetingas Sultingas Ryžtingas Lemtingas	T	Dangus Seklus Meilus Šaunus Apkūnus Išmanus Klusnus Malonus Puošnus Švelnus	U	Šampūnas Šarūnas Lakūnas Bijūnas Gyvūnas Malūnas Klajūnas Pirmūnas Svogūnas Perkūnas	Ū
Karavanas Antikvaras Archyvaras Intervalas Karnavallas Krovikas Pjovikas Šlavikas Tilvikas Išdavikas	V	Fazanas Balzamas Partizanas Sazanas Peizažas Bazilika Benzinas Limuzinas Brazilas Gružinas	Z	Aranžavo Masažavo Šaržavo Stažavo Šmėžavo Įbrėžimas Įdaužimas Įveržimas Išvežimas Čiuožimas	Ž	Atidžiai Gardžiai Saldžiai Slidžiai Išdidžiai Solidžiai Vabzdžiai Pavyzdžiai Aplaidžiai Nuobodžiai	DŽ
Dzūkas Prabindzena Bindzinti							DZ

Matlab programos algoritmas

```
for i=1:5

    [file, path]=uigetfile('*.VocalTract');
    if file~=0
        cd(path)

            z=SkaitykVocalTract([path file]);
            plot((0:length(z)-1)*0.5, z, 'b')
            hold on

    else
        i=18;
    end
end
for i=1:5

    [file, path]=uigetfile('*.VocalTract');
    if file~=0
        cd(path)

            z=SkaitykVocalTract([path file]);
            plot((0:length(z)-1)*0.5, z, 'r')
            hold on

    else
        i=18;
    end
end
xlabel('Atstumas, cm')
ylabel('Skerspjuvis, s. vnt.')
```


Matlab programos algoritmas

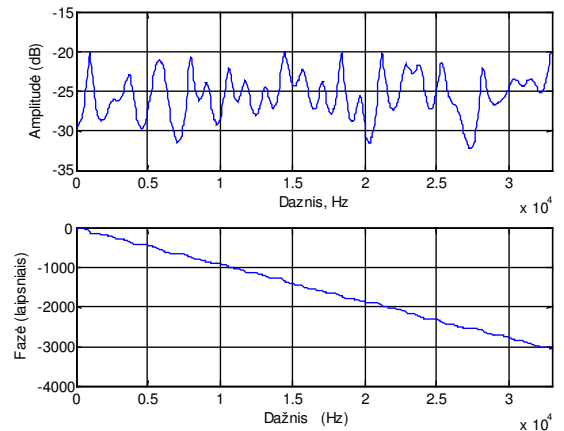
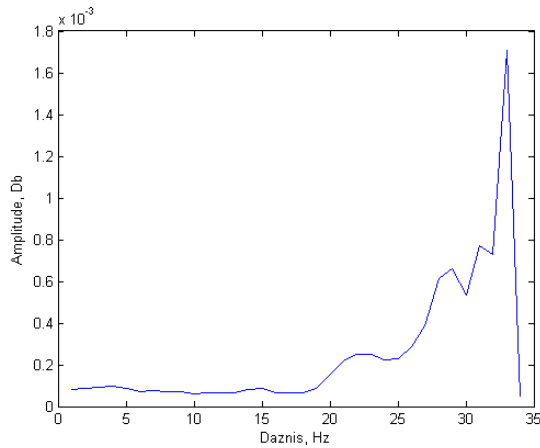
```

clear
close all
[file, path]=uigetfile('*.VocalTract');
S=SkaitykVocalTract([path file]);
figure, plot(S)

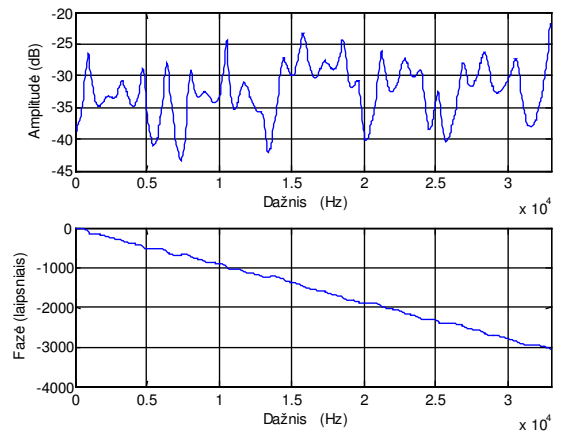
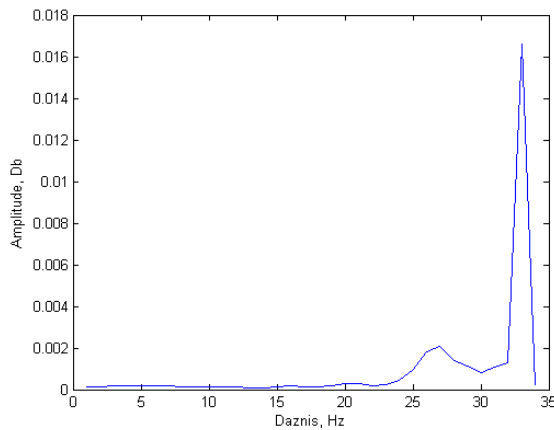
N=length(S)-1;
ltract=0.17;
len = ltract/N;
v = 340;
k = (S(1:end-1)-S(2:end))./(S(1:end-1)+S(2:end));
fs = round(v/len);
x = zeros(1,1000);
x(1) = 1;
g = 0.95;
d = 0.99;
F0 = zeros(1,length(S));

F1 = zeros(1,length(S)-1);
B0 = zeros(1,length(S));
B1 = zeros(1,length(S));
for n = 1:length(x),
    F0old = F0;
    F1old = F1;
    B0old = B0;
    B1old = B1;
    B0(1) = B1old(1);
    F0(1) = B0(1)*g+x(n);
    F1(1) = F0old(1);
        if ( length(B0) < 3),
            B1(1) = 0;
        else
            B1(1) = B1(2)*d*(1+k(1)) + F1(1)*d*k(1);
        end
    for i = 2:length(F1),
        B0(i) = B1old(i);
        F0(i) = F1(i-1)*d*(1-k(i-1)) + B0(i)*d*(-k(i-1));
        F1(i) = F0old(i-1);
        B1(i) = B1(i+1)*d*(1+k(i)) + F1(i)*d*k(i);
    end
    b02(n) = B0(2);
    B0(end) = 0;
    F0(end) = F1(end)*d*(1-k(end));
    y(n) = F0(end);
end
figure
freqz(y,1,1024,fs);
title('Frequency response')

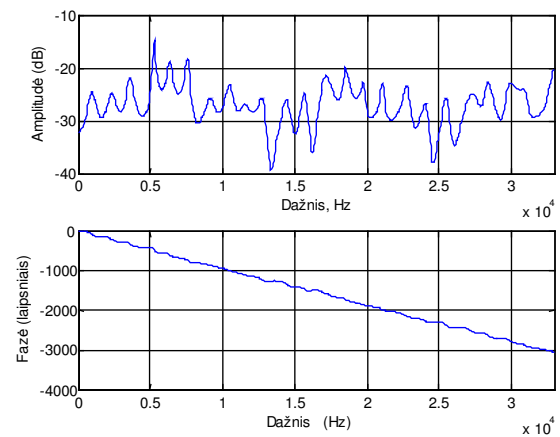
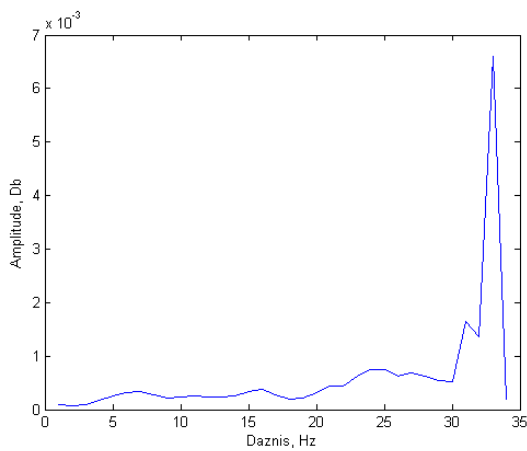
```



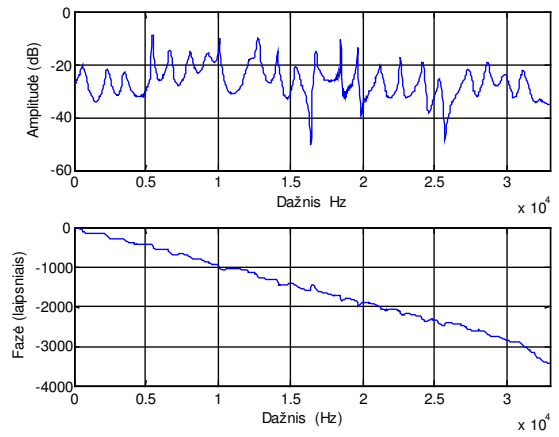
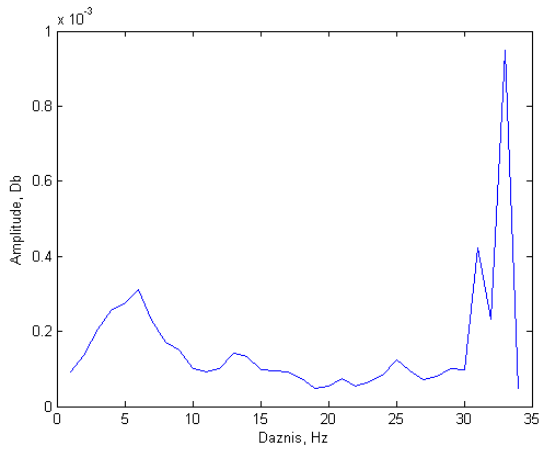
Žodžio “meška” fonemos “a” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



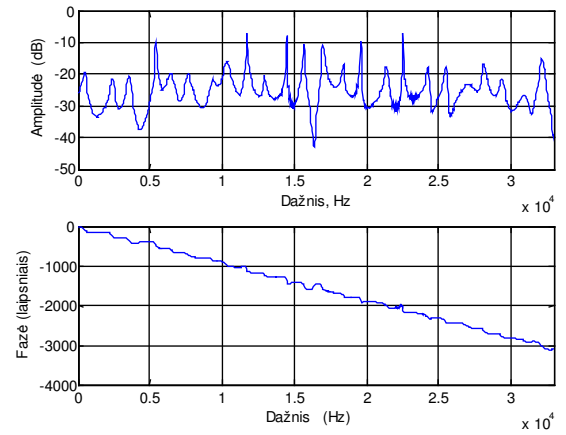
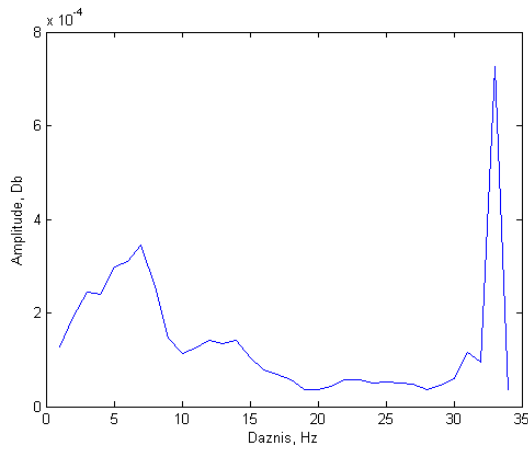
Žodžio “faktas” fonemos “a” (pirmosios) amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



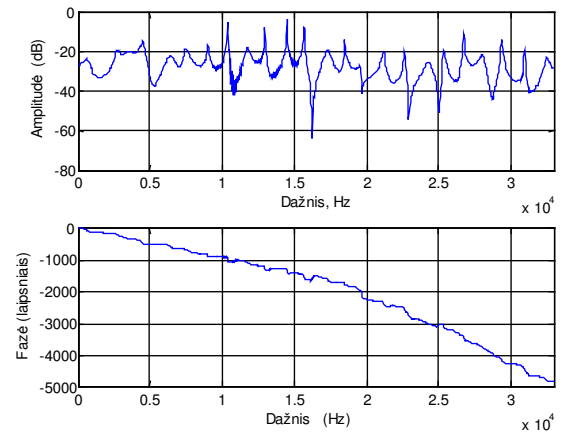
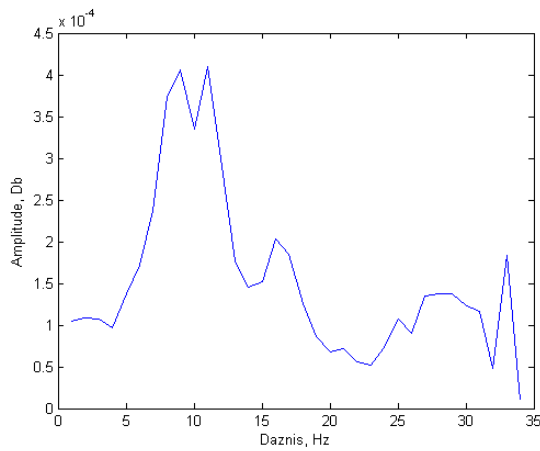
Žodžio “geras” fonemos “e” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



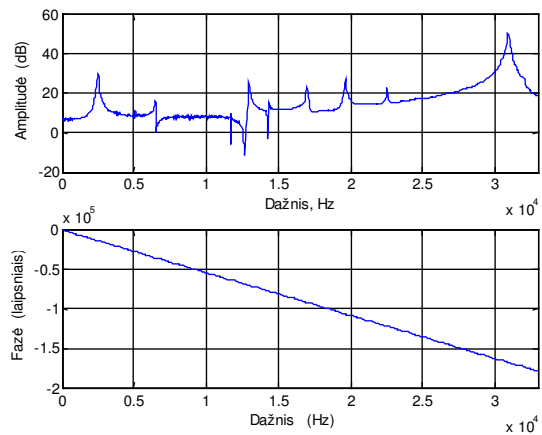
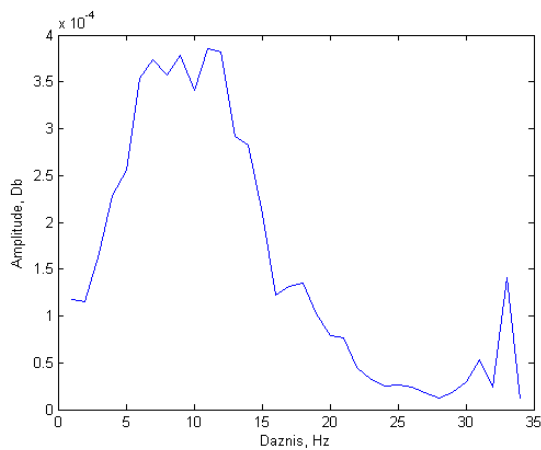
Žodžio “sekti” fonemos “e” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



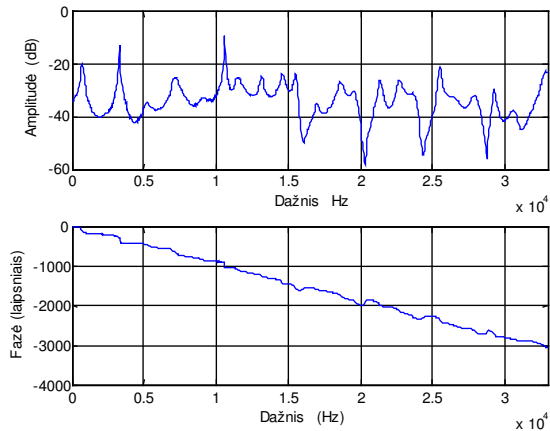
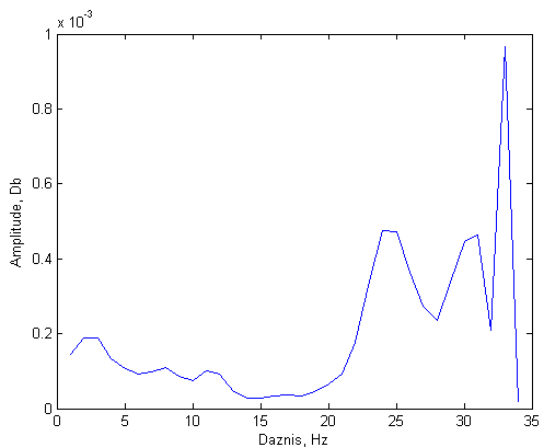
Žodžio “voverė” fonemos “e” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



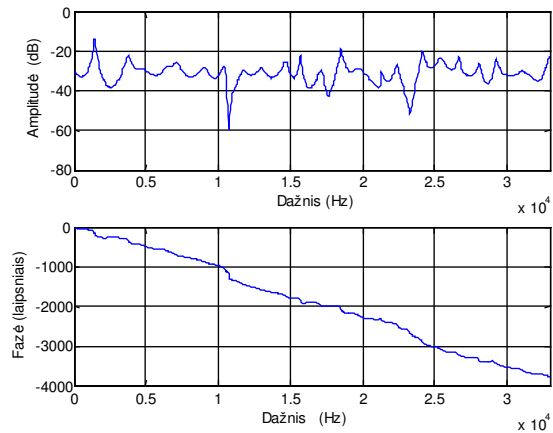
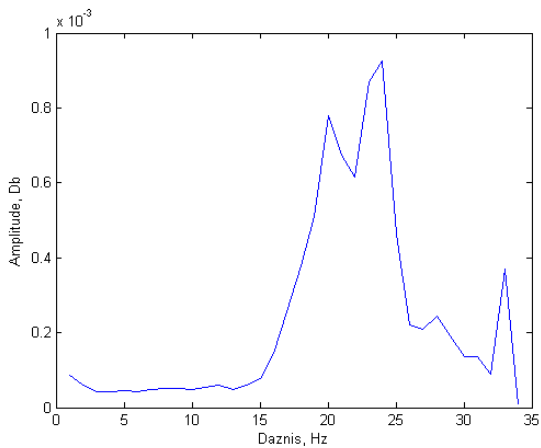
Žodžio “delfinas” fonemos “i” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



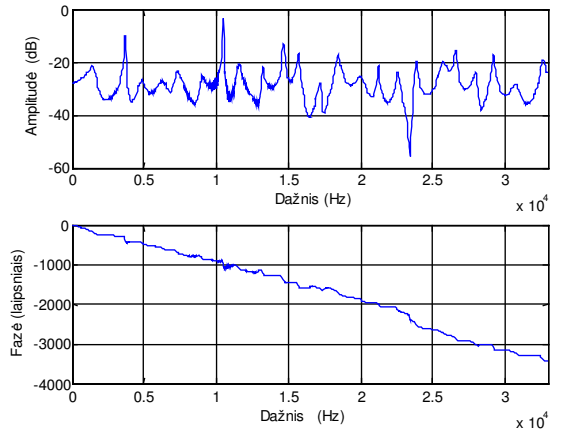
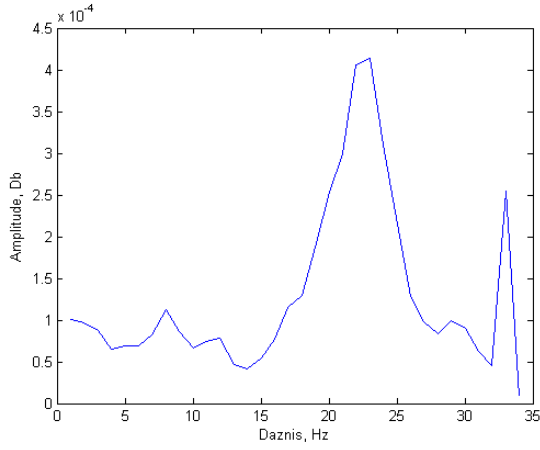
Žodžio “genys” fonemos “y” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



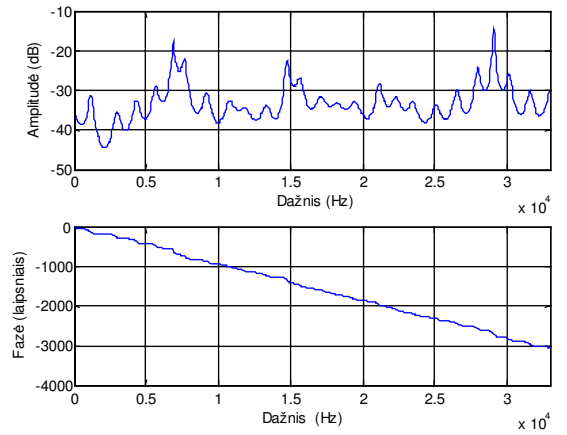
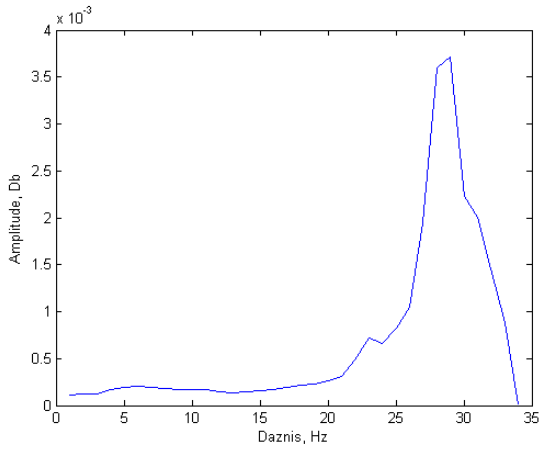
Žodžio “kodeksas” fonemos “o” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



Žodžio “svoris” fonemos “o” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



Žodžio “šaunus” fonemos “u” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos



Žodžio “gyvūnas” fonemos “ū” amplitudės ir fazės dažnuminės charakteristikos