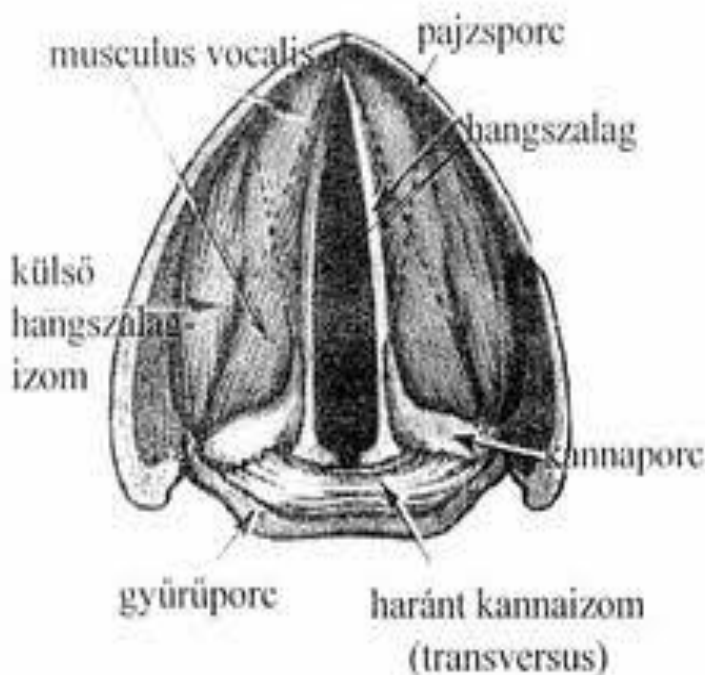


Beszéd és fizika

„A mindenség titkait energiákban, frekvenciákban, rezgésekben keresd” (Nicola Tesla)

A mindennapi életben nagyon sok rezgés vesz minket körül, néha eszünkbe sem jut, hogy például a hangok is rezgések. Hogyan is keletkeznek a hangok? A hangok létrejöttéhez a levegőt a tüdők biztosítják. Belégzéskor a bordaközi belégzőizmok és a rekeszizom, valamint a hasi izmok aktívak. A mellkas térfogatának növelésével az alacsonyabb nyomású térbe levegő áramlik. Ilyenkor nyugalmi állapotában a kupola formájú rekeszizom (a tüdőt és az emésztőrendszert elválasztó izom) összehúzódik, lelapul. Ez után a gégeizmok „behangelődnak”, ennek következtében a hangszalagok zárnak, megfeszülnek. A légzőrendszer növeli a zárt hangszalagok alatti nyomást, majd elindít egy légáramot. Különböző típusú érzékelő idegvégződéseink a gégeizmok feszítettségéről, a légcsőbeli légáramról, valamint a hangképzésért felelős porcok állapotáról jeleket küldenek az agyba. E jelek alapján dönt az agy, hogy a továbbiakban melyik izmot mennyire és miként húzza össze. Szerencsére mindez nem tudatos, különben soha senki nem lenne képes megszólalni, mert már az elején kifáradna annak végiggondolásában, mit és hogyan mozgasson, és mire sikerülne összehangolnia hangképző szerveinek működését (körülbelül 30-40 izom), elfelejtené, mit is akart a hallgatóságával közölni.

A gégefő horizontális metszete



A dolgozatunk célja, a különböző magyar magánhangzók spektrumának számítógépes programmal történő elemzése, mivel a beszéd, mint rezgés objektíven, műszerekkel vizsgálható. Az egyes artikulációs jelenségek megfigyelhetők bizonyos akusztikai következményeknek.

Feltételezésünk alapja, hogy minden személynél a beszédhangokkal kapcsolatos fizikai mennyiségek nagyon eltérnek egymástól. Összehasonlítjuk különböző anyanyelvi, illetve nem anyanyelvi beszélők beszédében észlelt formánsokat. Bizonyítani fogjuk, hogy minden beszélő az idegen nyelv magánhangzóit saját formánskészletével próbálja kiejteni, így a kiejtett hangok formánsai inkább az anyanyelv készletére hasonlít, nem az idegen nyelvére.

Szeretnénk rámutatni arra, hogy a különböző magánhangzók formánsai egyéntől függőek és változóak, mégis valamilyen közös tulajdonsággal rendelkeznek a különböző alanyok azonos hangjai.

Dolgozatunkban felhasználtunk többféle akusztikai fonetikával kapcsolatos fogalmat.

A beszédhangok fizikai sajátosságai a képzésükből adódnak. Ez azt jelenti, hogy ha az artikuláció változik, akkor akusztikai következménye is változik. A beszédhangok fizikai értelemben ugyanolyan hangrezgések, mint amilyenek a mindennapi életben körülvesznek bennünket. A beszéd tehát fizikai jelenség is. Környezetünkben a legkülönbözőbb események eredményeznek hangot (ajtócsapódás, telefoncsengés, gitározás, szélzúgás, földrengés, vizesés stb.). Ezek az események valamiféle mozgással járnak együtt. Ez a mozgás pedig nyomásváltozást, nyomásingadozást eredményez a minket körülvevő levegőben.

A rezgés periodikus, vagyis ismétlődő mozgás az egyensúlyi helyzet két oldalán, két szélső helyzet között. A beszéd is rezgéssorozat, ezért ismernünk kell a rezgések főbb általános akusztikai sajátosságait, hogy megérthessük a beszédnek mint akusztikai jelnek a fizikai tulajdonságait.

A hangképzés, a beszédhullám forrása a hangszalagok rezgése és/vagy a szájüreg különböző helyein keletkező zörejek. Az akusztikai rezgéseknek három fő fizikai tulajdonsága van, az idő a frekvencia és az intenzitás. Beszédünket nem egy monoton forma jellemzi, énekelhetünk, suttozhatunk vagy akár kiabálhatunk is. Éneklés közben a frekvenciával játszódva képezzük a mély, illetve magas hangokat, egy-egy hangot akár nagyon hosszan is kiénekelhetünk. Ha suttozunk, akkor csendesebben beszélünk, nem adjuk bele minden energiánkat a hangképzésbe. A hang rezgése időben megy végbe. A rezgések frekvenciája, az időegységre eső periódusok száma, ez adja a hang magasságát. A hanghullám haladási iránya merőleges egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramlott energia jellemzi a hang intenzitását (a hangerősséget). Ez a három paraméter összetett rezgésben bonyolultan függ össze és rendszert alkot.

Gégetükrözés során megtalálhatók a beszéd fizikai jellemzőinek megváltozását eredményező morfológiai okok. Ezek a beszédképzésbe oly módon szólnak bele, hogy megváltoznak a képzett hang fizikai tulajdonságai. Így, például a rekedtség okai a hangszalagcsomó gyulladás, polip, daganat a gégefedő táján. Ilyenkor a hangszalag tömege megnő, inhomogén, ez a rezgés frekvenciáját csökkenti és szabálytalanabbá is teszi azt. Az alaphang, az összetett beszédhang legkisebb frekvenciájú összetevője. Egy női hang alaphangfrekvenciája 200 Hz, egy férfihang alaphangfrekvenciája pedig 100-150 Hz.

A felhangok, vagy felharmonikusok az alaphangnál magasabb frekvenciájú hangok, ezek az alaphang egész számú többszörösei (például a női: 400 Hz, 600 Hz; férfi: 300 Hz, 450 Hz).

A spektrum a rezgésben előforduló frekvenciaösszetevők összessége, ezt egy program segítségével könnyen megjeleníthetjük, ugyanis a hangról egy képet kapunk.

A formánsok a rezonátorviselkedés következtében létrejött energiakoncentrációk. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a formánsok a zöngének a rezonátorüregekben felerősödött felharmonikusai, amelyeket az előbb említett képről olvashatunk le.

A formánsok meghatározhatók a frekvenciaértékükkel és az intenzitásértékükkel, valamint a formánssávszélességgel. A formánsok sávszélességét az adott formáns burkológörbéjének maximumpontjához viszonyított -3 dB-es két szélső pont frekvenciátávolsága adja. A formánsokat F-el jelöljük, és számozzuk aszerint, hogy milyen távolságra helyezkednek el az alaphangtól. Az alaphang és két formáns jól meghatároz egy magánhangzót, két formánsnál többet csak különleges célok esetében szoktak megadni [2]

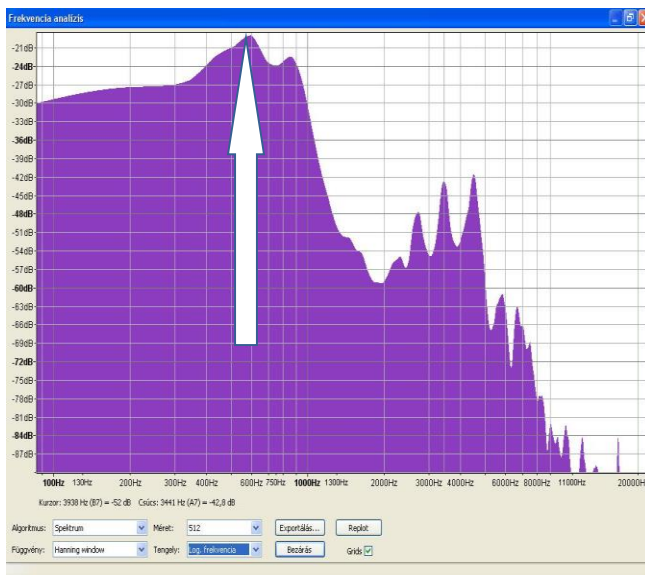
Mérések és eredmények

Igyekeztünk sokféle alanyt beszéltetni, annak érdekében, hogy bebizonyítsuk, hogy állításaink nem csak egy nyelv esetében igazak. Inkább vizsgáltunk, magunk is meggyőződünk, mintsem már meglévő adatokkal bizonyítottuk volna.

Több alany ejtette ki ugyanazokat a magánhangzókat, végül ezek spektrumát vettük fel, elemeztük, hasonlítottuk össze különböző grafikonok segítségével.

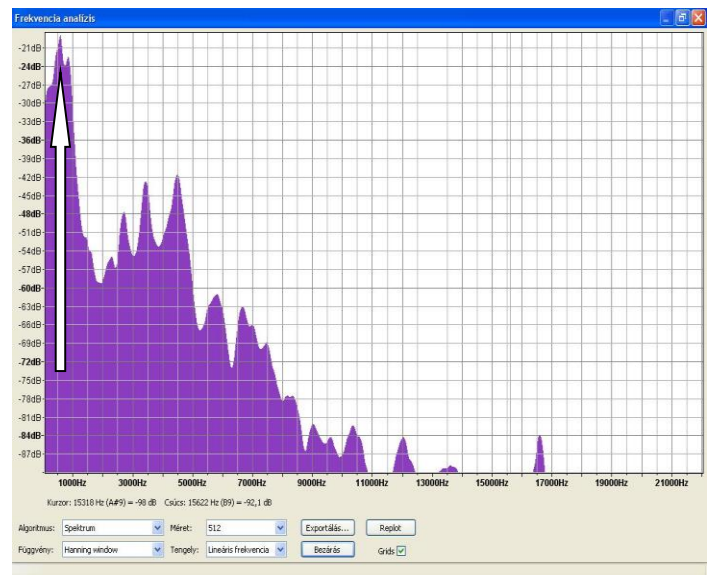
Kezdetben a hangok spektrumát az Audacity program segítségével ábrázoltuk lineáris frekvenciaskálán. Ez után rájöttünk, hogy nem ez a skála a megfelelő, ugyanis itt túl közel vannak egymáshoz a csúcsertékek, így ezek nehezen elemezhetők. Végül a nekünk megfelelő és az általunk használt skála a logaritmus skála volt.

1.a ábra



A logaritmus skála esetén szépen látszik a burkológörbe.

1.b ábra



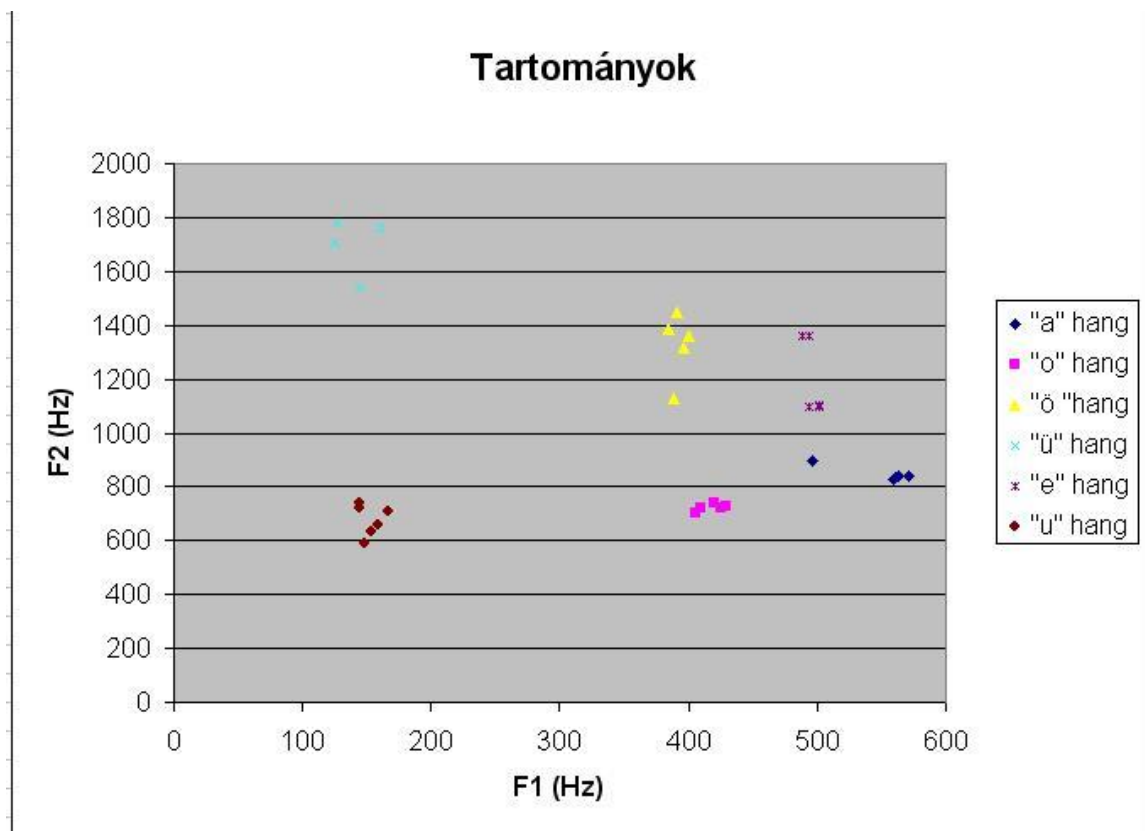
A lineáris spektrum képén nehezen kivehetők a formánsok

A felül látható két ábra az „a” magánhangzó logaritmusos (1.a.), illetve lineáris skálán (1.b ábra) szerinti ábrázolt spektruma látható.

Egy táblázatba 30 személy által kiejtett „a” magánhangzó formánsértékeit vettük fel. Középértéket számoltunk mindkét formánsból, majd kiszámoltuk szórás négyzetet, ezután a szórást. Végül a szórást elosztottuk az átlagértékkel és az eredményt százalékban adtuk meg. A kapott eredmény alapján láttuk, hogy jogos egy adott magánhangzónak egy tartományt tulajdonítani, ha az első és második formáns függvényében ábrázoljuk.

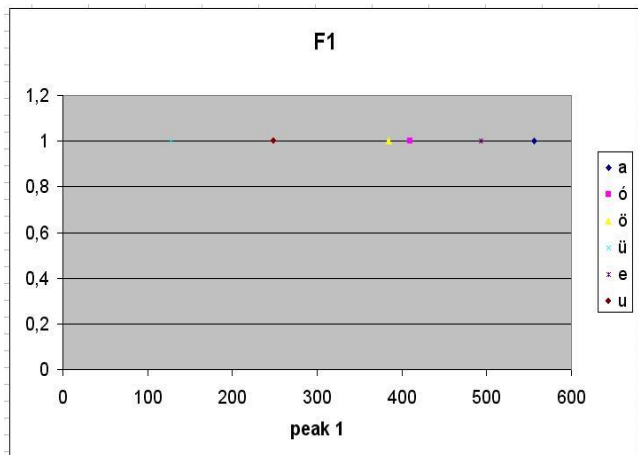
A vizsgált hangok első és második formánsát bevittük egy Excel táblázatba, ahol azt figyeltük meg, hogy az adott magánhangzóra jellemző F1 és F2 szinte megegyezik a magyar anyanyelvű beszélők esetén. A vizsgált magánhangzókat egy grafikonon ábrázoltuk, ahol az abszcissza tengelyre az első, míg az ordináta tengelyre a magánhangzók második formánsát vettük fel.

1.c ábra

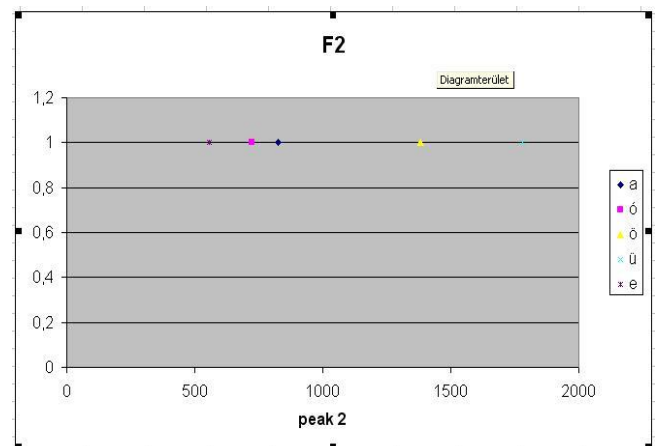


Az első szembetűnő dolog az volt, hogy minden hangnak meglehetősen feleltethető egy tartományt, amely jól elkülöníthető, és a határesetekben is jellemző az adott hangra. Következő lépésként új diagramokat készítettünk, amelyeken egyenként sorba állítottuk az első és második formánsok értékeit különböző hangokra.

1.d ábra



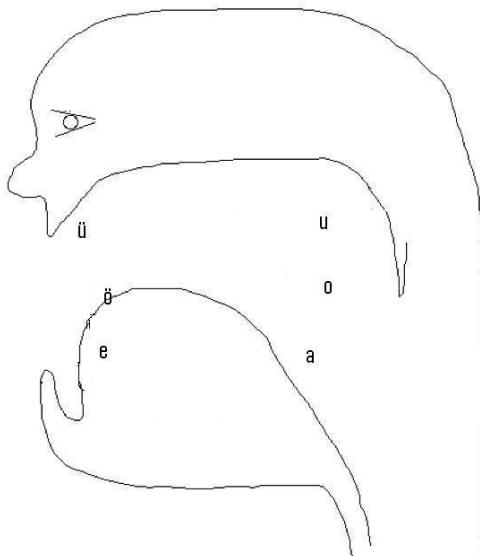
1.e ábra



Hangok a szájban

Utána néztünk a szakirodalomban és megfigyeltük, hogy a különböző hangokat milyen szájnyitottsággal és milyen nyelvállással képezik. Megfigyeltük azt, hogy az 1.e ábra és 1.d ábra alapján, a hangokat ábrázolni tudjuk a szájban. Az „a” hang: hátul képzett és alsó nyelvállású; az „o” hang: hátul képzett és középső nyelvállású; az „ö” hang elöl képzett, középső nyelvállású; az „ü” hang elöl képzett, felső nyelvállású; az „e”: hang elöl képzett, alsó nyelvállású; az „u” hang: hátul képzett és felső nyelvállású,[2]. Egy ábrát készítettünk az emberi szájról elhelyeztük rajta a tanulmányozott magánhangzókat az 1.e ábra és 1.d ábra alapján

2. ábra



Megfigyelve az ábrát, az F1 nő, amikor a felső nyelvállás felől az alsó nyelvállás felé megyünk, legnagyobb az a-nak megfelelő F1. Az F2 pedig nő, ha a képzés helye egyre előbbre van, legkisebb a-ra, u-ra, legnagyobb az ü-re.

A nyelv függőleges mozgása összefüggést mutat az F1 értékével. Minél alacsonyabb az F1, annál magasabb nyelvvállású a magánhangzó. A második formáns a nyelv vízszintes mozgásával hozható kapcsolatba. A hátul képzett magánhangzók alacsonyabb, az elül képzetteknek magasabb frekvenciájú F2-jük van.

Spektrumok átalakítása

Több számítógépes program is lehetővé teszi, hogy egy adott hang spektrumát módosítsuk, majd a módosított spektrumú hangot is meghallgassuk.

Ilyen program az Adobe Audition, amelyhez FabFilter Pro-Q vágót csatolunk, amelynek ablakát 4.b ábrán láthatjuk. Ebbe bevihetjük a spektrumot, amelyen az átalakítást végezzük. Kiválaszthatunk frekvenciatartományokat, amelyeket továbbra is megtarthatunk és módosíthatjuk erősségüket, ezek zöld színűek, másokat levághatunk, ezek sötét színűek az ábrán. A kurzort mozgatva egyszerre láthatjuk a végrehajtott módosítást, s hallhatjuk az okozott akusztikai következményt.

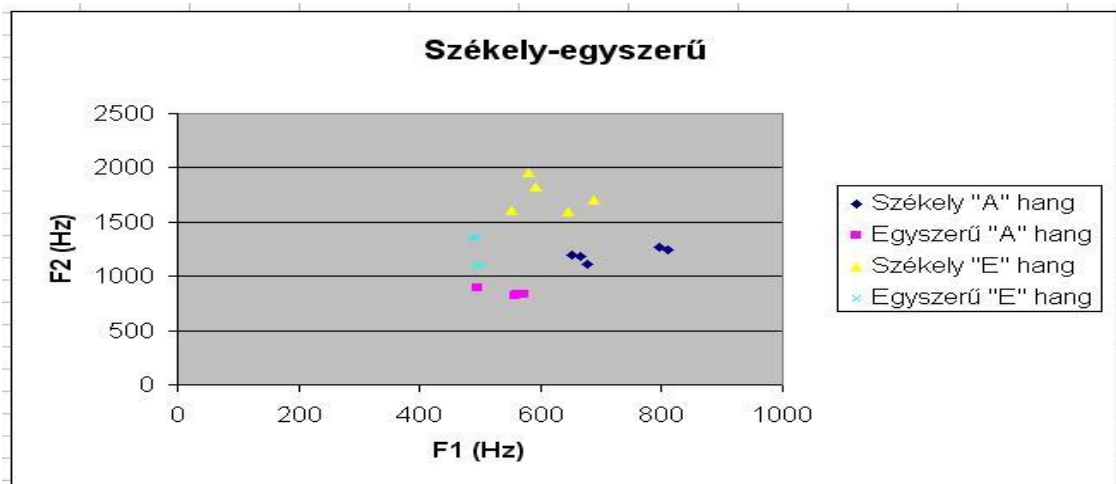
A szakirodalom (7.) szerint az alaphang és az első két formáns a fül számára azonosíthatóvá teszi egy magánhangzót. Kíváncsiak voltunk arra, hogy meddig vághatjuk le a magas frekvenciákat, azaz a felső formánsokat úgy, hogy a hang még érthető maradjon. Vizsgáltunk egy „a” hangot, a kurzor mozgásával s hang figyelmes hallgatásával 848 Hz-nél azt tapasztaltuk, hogy ha e fölött minden frekvenciát levágunk (ahogy a 8.ábrán is láthatjuk), a hang még jól azonosítható. A vizsgált hang második formánisa körülbelül ennél az értéknél van. Az általunk végzett összes kísérletből arra következtetésre jutottunk, hogy az alaphang illetve az első két formáns valóban meghatározzák egy magánhangzót.

Székely hangok

Kíváncsiak voltunk arra is, hogy milyen eredményt kapunk, ha a magyar nyelv egyik regionális változatának magánhangzóit vizsgáljuk. Végül a székely tájszólást választottuk. Mivel alapjában ez magyar nyelv, arra számítottunk, hogy a magánhangzók formánsai, nagyon hasonlítani fognak, az egyszerű magyar magánhangzók formánsaira, de valami eltérésre is vártunk, a kissé különböző kiejtés miatt.

Megfigyeltük, hogy leginkább a hangok spektrumának második csúcsa tér el, vagyis a székely hangok F2-je nagyobb a magyar hangok F2-jénél. Ezek a megfigyelések szemléltetve vannak az alábbi grafikonon:

4. ábra



A székely és egyszerű magyar nyelv vizsgálata rámutatott arra a feltételezésünkre, hogy a más nyelv magánhangzóit a saját nyelvünk formánskészletével próbáljuk meg kiejteni. Mivel az általunk elsődlegesen vizsgált magyar, és a székely tájszólás is a magyar nyelvhez tartozik, a kapott eredmények megfelelnek feltételezéseinknek és a szakirodalom azon megállapításának, hogy a dialektusok elsősorban a második formáns értékében mutatnak különbséget [2].

A 4.ábrán nagyon szépen látszanak a különböző hangtartományok közötti különbségek, illetve hasonlóságok.

Ezeknek az információknak a birtokában elhatároztuk, hogy bárkiből székelyt faragunk egy program segítségével. Ekkor mér nem az Audacityt használtuk, hanem az Adobe Auditiont, amely többféle lehetőséget biztosít a kísérletezésre. Ezzel a programmal felerősíthetünk tetszőleges frekvenciaértékeket, vagy kivághatjuk ezeket. A második formánst felerősítve a szavak székelyes jelleget kapnak. A 4.b ábrán zölddel jelölt tartományt erősítettük fel.

4.b ábra



Ez a kísérletünk is bizonyította azt, hogy a beszéd egy komplex rendszer, ugyanis az is sokat számított, hogy a szó mely részét milyen gyorsan mondtuk ki. Tehát nagyon sok tényező befolyásolja az akusztikát.

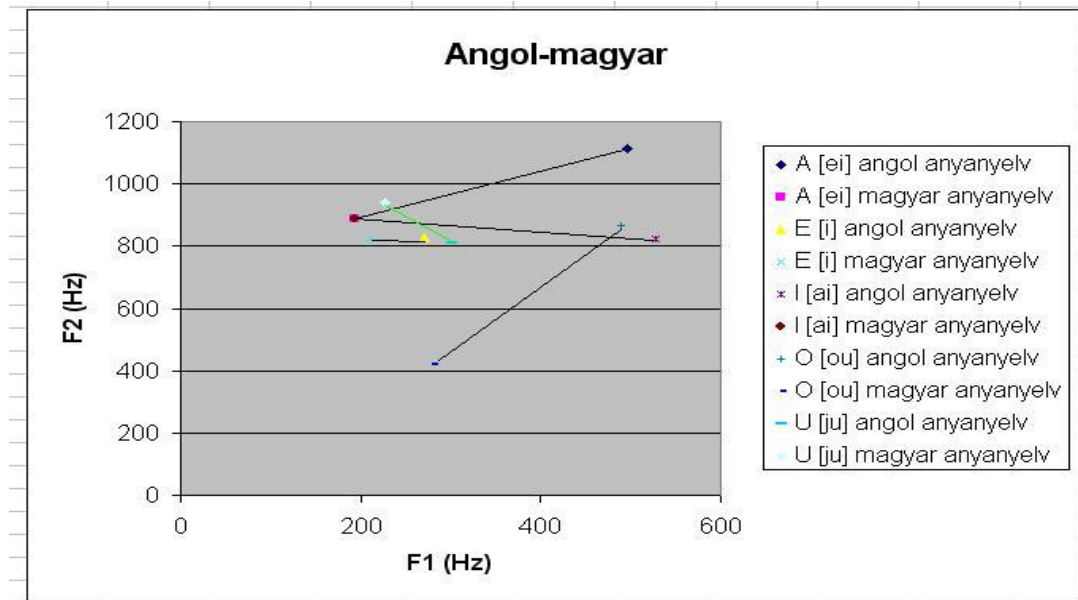
Angol hangok

A továbbiakban még egy idegen nyelv, az angol magánhangzókat vizsgáltuk és elemeztük. Mivel nem találtunk olyan angol anyanyelvű személyeket, akik kimondták volna a számunkra szükséges magánhangzókat, egy az Interneten talált videóból vettük fel ezeket. A legpontosabb mérés érdekében minden adódó háttérzajt kiszűrtünk az általunk már használt Audacity program zajszűrő funkcióját felhasználva. Ahhoz, hogy meggyőződjünk arról, hogy a kapott formáns értékek helyesek és reálisak, egy már

meglévő online adatbázis értékeivel hasonlítottuk össze őket. Ezután M. Cs. kiejtette a már vizsgált magánhangzókat és összehasonlítottuk őket az előzőleg felvett angol beszélők hangjaival.

Ezeket is ábrázoltuk egy Excel grafikon segítségével.

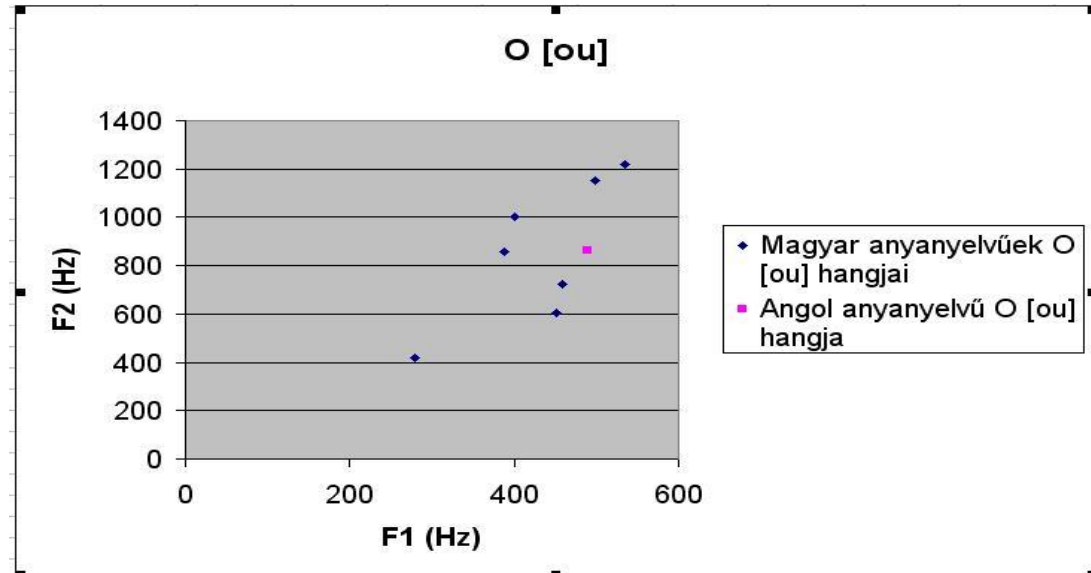
5.a ábra



Eddigi állításaink itt is beigazolódnak, ugyanis eltérés van az angol anyanyelvű személy, illetve az általunk kiejtett magánhangzók között. Az figyelhető meg, hogy az általunk kiejtett hangok spektrumainak csúcsai inkább a magyar nyelv formánskészletére hasonlít, megerősítve a fent kijelentetteket.

Ezt a grafikont azért készítettük, hogy kimutassuk azt, hogy az azonos anyanyelvűek által kiejtett hangoknál is van eltérés, és ez azt jelenti, hogy a beszélő fonetikai kimenete, tehát az artikuláció végeredménye részben biológiai eredetű, részben tanult hasonlóságokra, illetőleg különbségekre vezethető vissza.

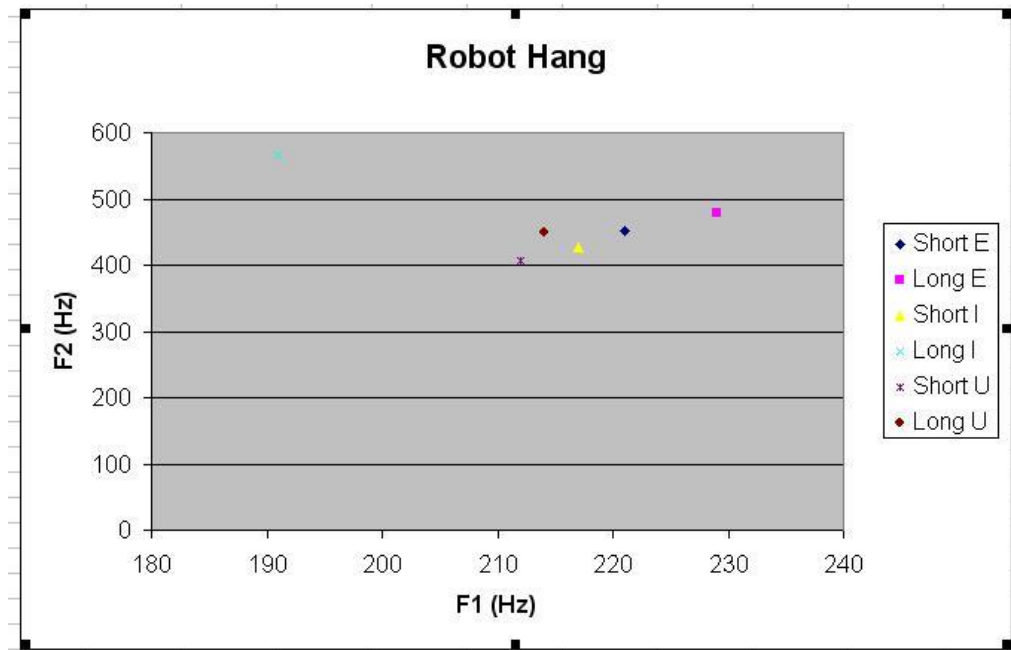
5.b ábra



Robot magánhangzók

Érdekességképpen robot magánhangzókat is megvizsgáltunk, nagyon kíváncsiak voltunk a leendő eredményekre, mivel a robotoknál sem biológiai, sem tanult jellegzetességek nincsenek. Itt is vigyáztunk a nem kívánatos zajok kiszűrésére. Ezt a 6. ábrán tüntettük fel:

6.ábra



A 6. ábrán az a feltűnő, hogy különböző magánhangzók majdnem egybeesnek, vagyis egy tartományt alkotnak. Valóságos személyeknél csak úgy jön létre egy ilyen tartomány, ha ugyanazt a magánhangzót többször kimondják.

A hangképző csatorna fizikai modellezése

A beszéd, mint rezgés (vagy mint hullám) ugyanazokkal az akusztikai paraméterekkel jellemezhető, mint bármilyen más akusztikai jel. A beszéd tehát ekkor fizikai jelenség, amely meghatározott időtartamban zajlik, meghatározott frekvenciaszerkezete és intenzitás szerkezete van.

A beszédhangok fizikai sajátosságai az artikulációjuk következménye. Ez azt jelenti, hogy ha az artikuláció változik, akkor annak akusztikai következménye is változik. A beszédhullám forrása a hangszalagok rezgése, valamint a szájüreg különböző helyein keletkező zörejek. A beszéd frekvencia-, intenzitás- és idő szerkezeti sajátosságai a hangszínekkel (spektrum) jól szemléltethetőek.

Méréseink során bebizonyítottuk, hogy a beszélő fonetikai kimenete, tehát az artikuláció végeredménye részben biológiai eredetű, részben tanult hasonlóságokra, illetőleg különbözőségekre vezethető vissza. Kimutattuk azt, hogy a beszélők az idegen

nyelv magánhangzóit saját formánskészletével próbálja kiejteni, így a kiejtett hangok formánsai inkább az anyanyelv készletére hasonlít, nem az idegen nyelvére.

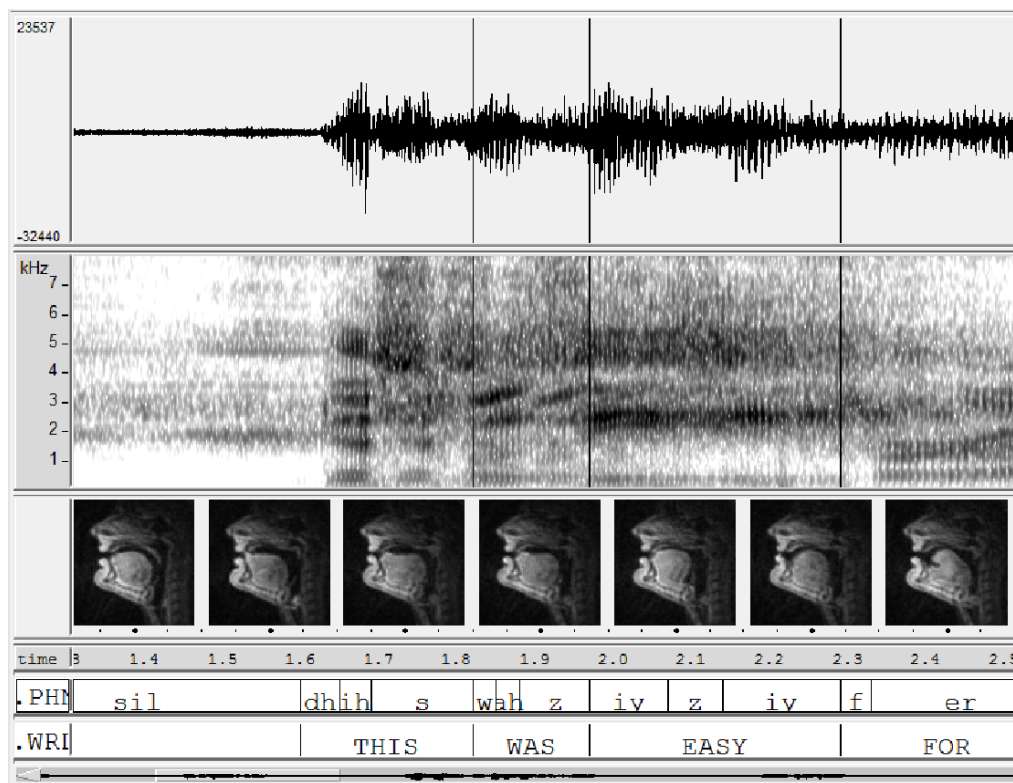
A zöngé, a hangszalagok és a hangdobozként működő gége által keltett hang két üregen halad keresztül: a garaton és a szájüregen. Ezekben az üregekben a felharmonikusok bizonyos csoportjai rezonancia révén felerősödnek, ezek a formánsok. Az üregek úgynevezett Helmholtz-féle rezonátorok, amelyeknek nem csak egy lineáris mérete, hanem térfogata és a kivezető nyílásoknak nagysága is számít a rezonanciafrekvencia vonatkozásában.

E két rezonátor esetén a csatolást az a tény jelenti, hogy a tüdőből kiáramló levegő egymásután áthalad mindkét üregen. (7.a ábra) A strasbourg-i foniátriai intézet internetes honlapja [8] szerint, az első üreg (a garat) határozza meg az F1 értéket, míg a második üreg (szájüreg) az F2 értéket.

Lian Apostol és munkatársai (Université Pierre Mendès-France, Grenoble) [9] MRI rétegfelvételeket készítettek alanyok hangképző csatornájáról, miközben azok hosszan ejtették ki a magánhangzókat. Meg tudták adni a hangképző csatorna teljes geometriáját, az üregek alakját és méretét. Ezek alapján a hangképző csatornának egy komplexebb modellje látszik helyesnek, amely szerint az egész csatornát egy egésként kell kezelni, túlzott egyszerűsítés a dupla rezonátor modell, már csak azért is, mert nagyon nehéz a rezonátorok határait kijelölni.

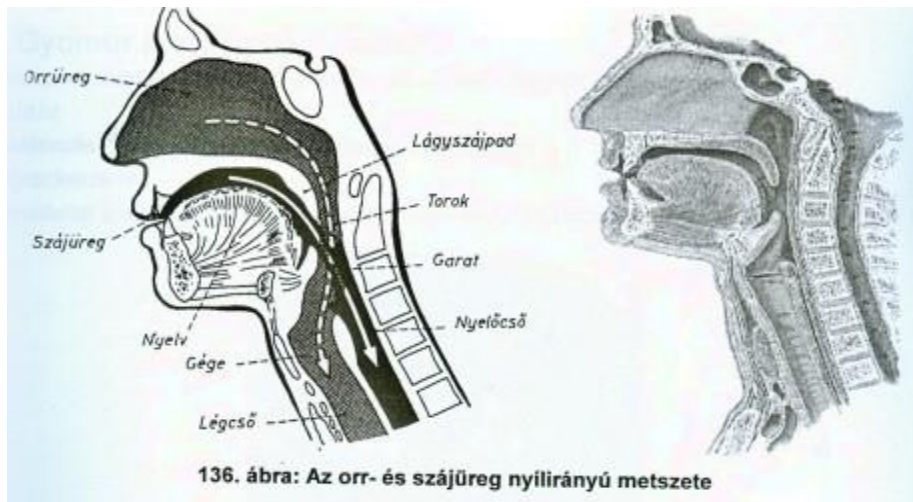
Az alábbi kép a University of South California laboratóriumában készült, a garat és szájüreg időbeli változását követi a „This was easy for” mondattöredék kimondása során [12]. A felső sor az amplitúdó időbeli változását ábrázolja, a második sor a spektrogram, amelyben a frekvenciaösszetevők erősségét a szürke árnyalatai jelenítik meg.

7.a ábra (Forrás <http://sail.usc.edu>)

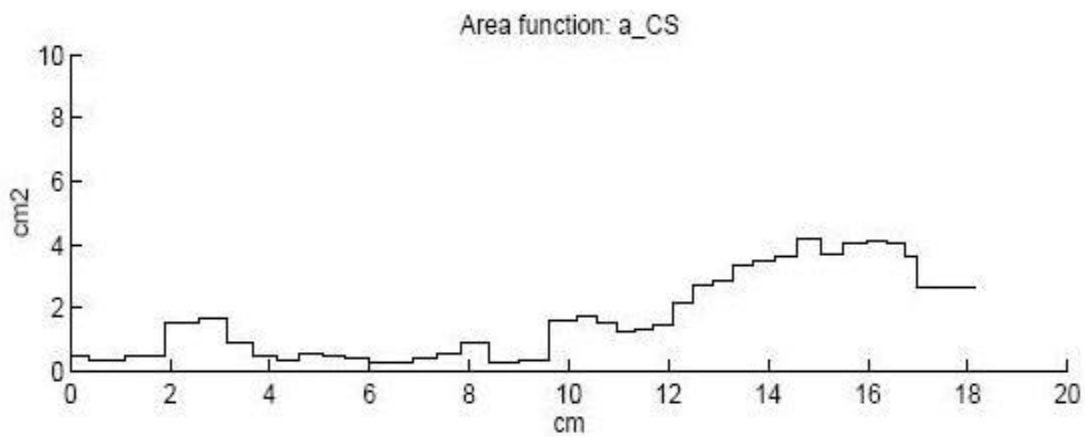


A száj anatómiája

7.b ábra (Forrás <http://www.termeszetgyogyaszat-1.eoldal.hu>)



7.c ábra (forrás:[9])



A hangképző csatorna keresztmetszete, a hangszalagtól való távolság függvényében.

8.ábra



Megpróbáltuk ennek műveletnek az ellentétét is, tehát az alsó tartományt vágtuk le, viszont így majdnem semmi sem volt érthető. **Tény, hogy le lehet vágni pl.100Hz-ig vagy 150Hz-ig, s a hang minősége jó,** ezt telefonhang továbbításánál használták. **Kérlek, nézzétek meg a programmal, s lássuk, mit tapasztaltok(megnéztük, de nem tudjuk, hogy fogalmazzuk meg)**

Fomráns szintézis

A formáns szintézis alatt azt értjük, hogy két különböző magánhangzóból („x” hang és „y” hang) egy harmadikat képzünk („z” hang).Felvetődött bennünk az a kérdés is, hogy összerakhatnánk-e egy magánhangzót formánsaiból.Ez a művelet úgy történik, hogy a „z” hang első formánsát az „x” hangból vágjuk ki, míg a másodikat az „y” hangból. Amikor két kivágott részt egyidőben játszottuk le, akkor megkaptuk a harmadik („z”) hangot. Ehhez eljáráshoz az Adobe Audition programot használtuk fel, amihez a FabFilter pro-Q vágót csatoltuk hozzá.Ezzel úgy próbálkoztunk, hogy egy adott magánhangzónak megfelelő első és második formánstartományt a meglevő hanganyag más magánhangzóinak spektrumából kivágtunk, majd két sáv egyidejű lejátszásával egyszerre szolgáltattunk meg.Következtetés képpen a formánszintézisnek a mesterséges

beszédben van jelentősége, ez volt az első olyan beszéd-szintézis technológia, amelynek segítségével elektronikus beszédet lehetett létrehozni.

A fül becsaphatósága

Miután a robothangokat vizsgáltuk és rájöttünk, hogy az emberi fül becsapható, kíváncsiak voltunk arra, hogy még milyen más módon lehet becsapni az emberi fület. Ha egy hangon belül egyszerre levágjuk az alsó és felső tartományt, úgy hogy csak egy kicsi rész maradjon meg, egy érdekes jelenséget tapasztalunk.

8.b ábra



A levágás során más és más tartományokat hagytunk meg, miközben különböző, jól felismerhető hangokat hallottuk. Így hallhatunk ü, o, a, e, é, á, i hangokat egy magánhangzón belül, ezek 250Hz-től körülbelül 4000 Hz-ig mutatkoznak. Annak ellenére, hogy úgy tűnik, módosítottuk a hangmagasságot, hiszen mind magasabban fekvő frekvenciatartományokat hagytunk meg, a magánhangzóknak mégis az a magassága, amelyet a vágásnak alávetett hang képviselt, egy átlagos magasságuk van. Ez a jelenség a virtuális magasságnak tulajdonítható. A legmélyebb komponens frekvenciája és az alaphfrekvencia speciális kombinációjának fennállása esetén jön létre virtuális hangmagasság. Azért jelentkeznek megközelítőleg 4000 Hz-ig a magánhangzók, mert azok a komplex hangok, melyek legalacsonyabb frekvenciakomponense is 5 kHz feletti, nem rendelkeznek virtuális hangmagassággal, bármekkora is legyen az alaphfrekvenciájuk.

Az előző vizsgálatok során rájöttünk, hogy a virtuális magasság által is becsapható a fül, ugyanis valójában egy nem létező magasságot hallunk, amit virtuális magasságnak nevezünk. Ha a fül egy komplex hangot hall, akkor abból még akkor is képes kihallani az alaphangnak „megfelelő magasságot”, ha az alaphangot kivágtuk. Ezt a megmaradt frekvenciák közös osztójának az ösztönös azonosítása teszi lehetővé. A legújabb elméletek szerint a fül kiválaszt egy sorozat csaknem harmonikus összetevőt és ez alapján határozza meg a hangmagasságot. (2, 69. old.) A mindennapi életből egy példa az orgona sípjai. Az orgona esetében a nagyon mély hangok kiadásához hatalmas méretű sípokra lenne szükség, de mivel ez nem kivitelezhető úgy alakítják ki a sípokot, hogy ezáltal becsapják az emberi fület és mély hangot hallunk.

A felvetett kérdés, az emberi hangkeltés fizikai modellezése tulajdonképpen még nyitott. Nagyon sokan foglalkoznak beszédelemzéssel, mert ennek óriási gyakorlati jelentősége van a beszéd felismerésben és mesterséges beszéd szintetizálásában.

Irodalom

1. Budó Ágoston: Kísérleti fizika, Tankönyvkiadó, Budapest 1975
2. Németh Géza, Olasz Gábor: A magyar beszéd, Akadémiai könyvkiadó, 2010
3. Sevinger Csaba: Beszédjelek előállítása érthetőségi vizsgálatok számára, összefoglalás, diplomamunka, Szeged
4. <http://www.phys.unsw.edu.au/jw/voice.html>: University of New South Wales, Australia, An Introduction to Voice Acoustics
5. Costinescu, Garbea, Oto-rino-faringologie, Editura medicala 1964
6. <http://www.origo.hu/tudomany/20100805-a-hangszalagok-mukodese-videon.html>
7. Evinger Csaba: <http://mnytud.arts.unideb.hu/tananyag/hangtan/gosy001.pdf>, Artikuláció és akusztikum kapcsolata
8. http://phoniatriestrasbourg.free.fr/Site_6/Resonateurs.html
9. 2004 Apostol, L., et al. "A model of acoustic interspeaker variability based on the concept of formant-cavity affiliation." J Acoust Soc Am
10. 2010 Honda, K., et al. "Visualisation of hypopharyngeal cavities and vocal-tract acoustic modelling." Comput Methods Biomech Biomed Engin
11. <http://lib.semi.ac.cn:8080/tsh/dzzy/wsqr/selected%20papers/journal%20of%20the%20acoustical%20society%20of%20america/110-1315.pdf>. Torbjörn A. Johansson and Mendel Kleiner Theory and experiments on the coupling of two Helmholtz resonators, Journal of Acoustical Society, 2001 ,
12. <http://sail.usc.edu/> Signal Analysis and Interpretation Laboratory (SAIL)
13. Dr. Dóczy Annamária fül-orr-gégész
14. http://ganymedes.lib.unideb.hu:8080/dea/bitstream/2437/97014/1/szd_btzs.pdf

Szerzők: Tankó Balázs, Márton Csaba
Iskola: Bolyai Farkas Elméleti Líceum
Felkészítő szaktanár: Máthé Márta