

## 4. AZ ARTIKULÁCIÓ ÉS AZ AKUSZTIKUM KAPCSOLATA

---

A beszédet az artikulációs szervek működtetésével hozzuk létre, amint azt az előző fejezetben részletesen tárgyaltuk. Az artikuláció révén modulált levegőfolyam mint rezgés továbbítódik a levegőben, ezért mondjuk azt, hogy az artikulációs jelenségek következményei az akusztikus jelenségek. A beszéd mint rezgés objektíven, műszerekkel vizsgálható. Az egyes artikulációs jelenségek megfeleltethetők bizonyos akusztikai következményeknek. A beszéd bármely részének elemezhető az akusztikai szerkezete. Ez azt jelenti, hogy a beszédhangok, hangkapcsolatok, szavak, mondatok ejtésének akusztikai következménye, a rezgés vizsgálható. A beszéd akusztikai szerkezete a beszélőtől és a beszédhelyzettől (átviteli körülmények) függően változik, a beszédfeldolgozás normalizációs folyamatai azonban biztosítják, hogy az akusztikai-fonetikai különbözőségek ellenére a fonológiai döntések állandóak maradjanak. Ennek a folyamatnak a biztosításáról a nyelvspecifikus beszédészlelés gondoskodik. Minthogy a beszélők beszéd szervei kisebb-nagyobb mértékben különböznek, továbbá az artikuláció még az ugyanazon nyelvet beszélők esetében sem tökéletesen egyforma, a létrehozott beszéd akusztikailag is különböző lehet. A beszélőre jellemző sajátosságok egyfelől anatómiailag meghatározottak, másfelől a beszélő adott helyzetben létrehozott artikulációs mozgássoraival kapcsolatosak. Ez azt jelenti, hogy a beszélő fonetikai kimenete, tehát az artikuláció végeredménye részben biológiai eredetű, részben tanult hasonlóságokra, illetőleg különbözőségekre vezethető vissza.

Az **akusztikai fonetika célja** az artikuláció akusztikai következményeinek elemzése, eredményei ezáltal egyszersmind a percepció fonetika kiindulásai is. Mielőtt a beszéd mint akusztikai jel vizsgálatát elkezdenénk, áttekintjük azokat az ismereteket, amelyek ehhez szükségesek.

### Beszédakusztikai alapok

#### HANGREZGÉS, HANGTOVÁBBÍTÁS

A beszédhangok fizikai értelemben ugyanolyan hangrezgések, mint amilyenek a mindennapi életben körülvesznek bennünket. A beszéd tehát fizikai jelenség is. Környezetünkben a legkülönbélebb 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. Amikor ez a nyomásváltozás eléri a dobhártyánkat, mozgásba hozza azt, és a hallási mechanizmus idegimpulzusokká alakítja, amelye-

ket valamilyen hangként azonosítunk. Úgy is fogalmazhatunk tehát, hogy a rezgés az időben végbemenő nyomásingadozás. A beszéd is rezgéssorozat, ezért ismernünk kell a rezgések főbb általános akusztikai sajátosságait, hogy megérthessük a beszédnek mint akusztikai jelnek a fizikai tulajdonságait.

Az akusztikai rezgésnek időre van szüksége ahhoz, hogy a forrástól az emberi fülig eljusson. Az akusztikai hullámforma tehát a levegőben különböző hosszúságú „utakat” tesz meg. Ebben az értelemben az akusztikai hullámformát úgy is definiálhatjuk, hogy nem más, mint levegőben terjedő nyomásváltozás (nyomásingadozás). Könnyebben elképzelhetjük ezt, ha arra a helyzetre gondolunk, amikor kavicsot dobunk egy tóba. A kő hatása meglehetősen hosszán tartó változást idéz elő a víztükörben. A víz lényegében nem mozog, ám a kődobás hatására létrejött víznyomás-ingadozás igen. Még szemléletesebb az a példa, amelyben egy pénztár előtt álló embersort képzelünk el. Amikor az első ember lép egyet előre, „vákuum” keletkezik utána, azaz üres hely, amely lehetőséget ad a mögötte állónak, hogy ő is előrelépjen. Ezt követi a harmadik, a negyedik, a tizedik. Egy idő után az utolsó ember is előrelép, s láttuk, hogy az ő mozgását is az indította meg, hogy a legelső ember előrelépett. Mindez – akusztikai kifejezést használva – a nyomásváltozás mozgása következtében jött létre, pedig a sorban az egyes emberek csak igen kicsit mozdultak el. Az akusztikai hullám veszít energiájából a levegőben történő mozgása során, mivel energiát igényel, hogy a molekulák mozogjanak.

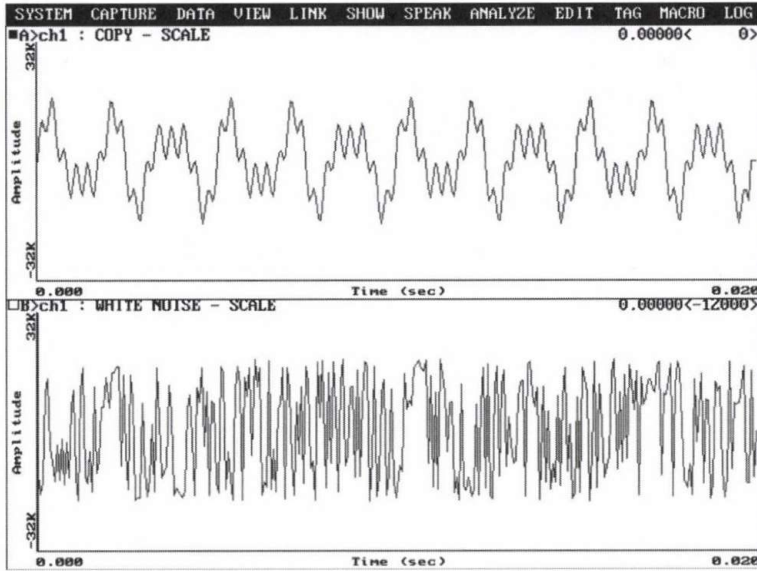
## A HANGOK OSZTÁLYOZÁSA

A hangokat többféleképpen osztályozhatjuk. Vannak **egyszerű** és **összetett (komplex)** hangok. Az egyszerű hangok a tisztahangok vagy szinuszhangok (más szóval szinuszrezgések). Az összetett hangok lehetnek zenei hangok vagy zörejek, zajok. A hangok aszerint is kategorizálhatók, hogy **periodikusak** vagy nem periodikusak, azaz **aperiodikusak**. A periodikus hangok rezgései meghatározott időtartamok szerint ismétlődnek, az aperiodikus hangok nem. A tisztahang periodikus, az összetett hangok azonban lehetnek periodikusak vagy aperiodikusak (38. ábra).

Az ábra felső ablakában három szinuszrezgésből (600 Hz-es, 1000 Hz-es és 3000 Hz-es) létrehozott periodikus hang rezgésképe (oszcillogramja) látható. Az alsó ablak ’fehér zajt’ mutat, amely nem periodikus, rezgésképe szabálytalan formájú. A környezetünkben igen gyakoriak a különböző zörejek, zajok (amelyeket a legkülönbözőbb – nem egyszer hangutánzó vagy hangulatfestő – szavakkal nevezünk meg, mint *susogás, zizezés, robbanás, dörrenés, dörgés, csobbanás, puffanás, csörrenés, zuhogás, krákgóság* és még sorolhatnánk).

A tisztahangok (vagy szinuszhangok) a természetben nem fordulnak elő, de mesterségesen előállíthatók (pl. hangvillával). A hangvillát használó énektanár szinuszhangot hoz létre, s ezzel adja meg az énekkarnak, avagy az egyes szólamoknak a kezdőhangot. Az audiológus és az audiológusasszisztens ugyancsak hangvillát használ, amikor szubjektív hallásvizsgálatot végez.

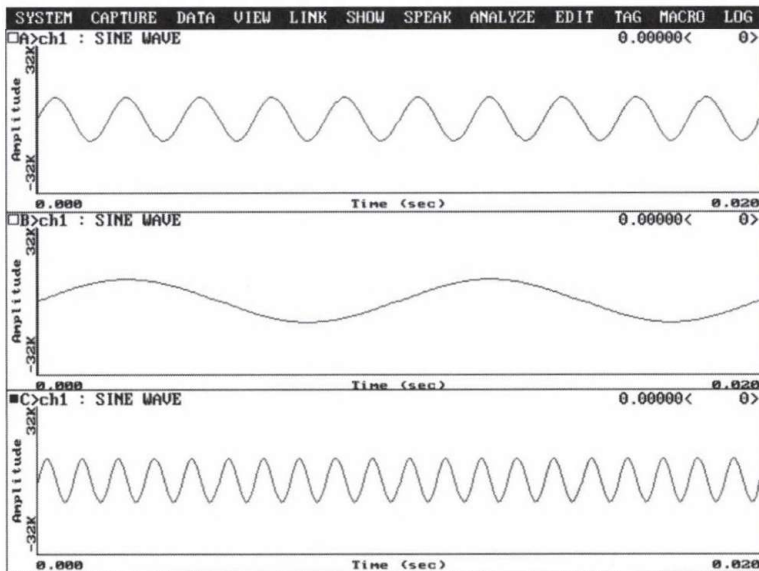
A 39. ábra három ablakában háromféle szinuszrezgés látható, felül 500 Hz-es, középen 100 Hz-es és alul 1000 Hz-es; a jellegzetes rajzolatok ismétlődnek, de ugyanazon



38. ÁBRA

Periodikus (felső ablak) és aperiodikus összetett hangok (alsó ablak) rezgésepe

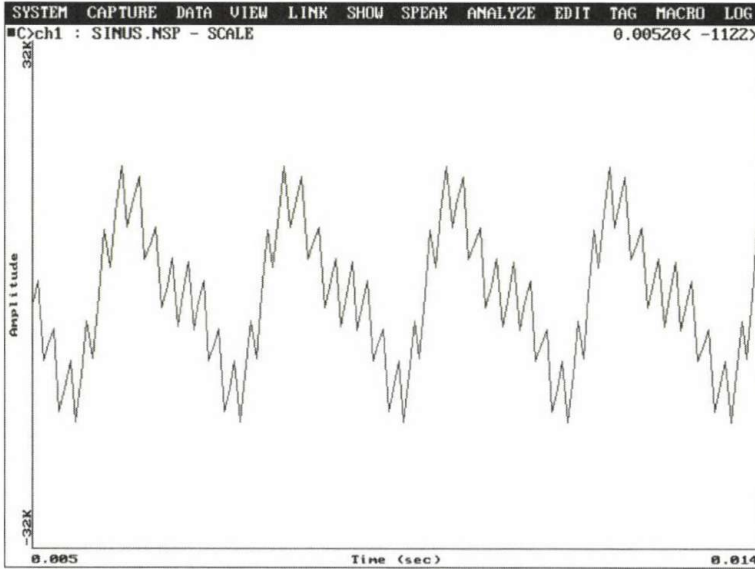
időtartamban a rezgések száma különböző. Az ábrán szemléltetett, különböző frekvenciájú szinuszrezgések **amplitúdója** azonos. Az amplitúdó az akusztikus jel adott időpontban érvényes hangnyomása, a rezgésképen a pozitív és negatív irányú legnagyobb kitérés.



39. ÁBRA

Különböző frekvenciájú szinuszhangok (felül 500 Hz-es, középen 100 Hz-es, alul 1000 Hz-es)

Az összetett hangokat felbonthatjuk összetevő (szinusz) rezgésekre, azaz tiszta hangokra. A 40. ábrán látható rezgés egy 500 Hz-es, 1000 Hz-es és 5000 Hz-es tiszta rezgésre bontható fel. Az eltérő összetevők különböző összetett rezgéseket eredményeznek. Egy teljes rezgésmintát nevezünk **periódus**nak (vagy ciklusnak). Az az időtartam, amely alatt a folyamat lezajlik, a **periódusidő**. Egy-egy periódus tartama alatt a rezgésminta teljes egészében megismétlődik.

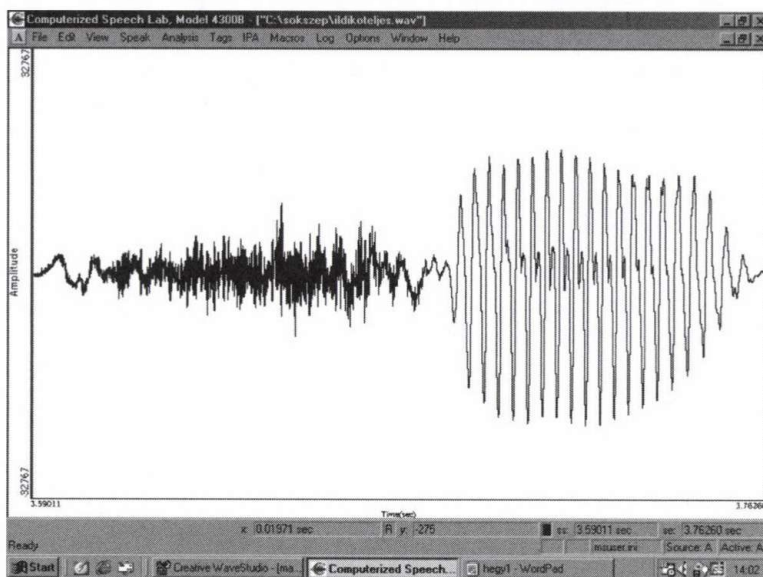


40. ÁBRA

*Komplex periodikus rezgés, amely 500 Hz-es, 1000 Hz-es és 5000 Hz-es szinuszhangra bontható fel*

A periodikus összetett (komplex) hangok tehát szinuszhangokból épülnek fel, ilyen például a zene vagy a beszédben a magánhangzó. A periodikus és az aperiodikus akusztikai jelek rezgése jellegzetesen különböző. A 41. ábrán két beszédhang, a [jo] hangkapcsolat rezgése (oszcillogramja) szemlélteti ezt a különbséget.

Az oszcillogram első szakaszában a mássalhangzóra jellemző zörej látható, ez aperiodikus. A magánhangzó rezgése periodikus. A zörejmássalhangzó amplitúdója lényegesen kisebb, mint a magánhangzóé.



41. ÁBRA  
A szó hangkapcsolat rezgéképe

## AKUSZTIKAI PARAMÉTEREK

Az akusztikai rezgések három alapparamétere az **idő**, a **frekvencia** és az **intenzitás**. A komplex rezgésekben ez a három paraméter bonyolultan függ össze, és rendszert alkot. Az időtartam azt az időt jelenti, amely alatt az akusztikai jelenség lezajlik. A frekvenciaszerkezet az összetevő frekvenciák értékeit tartalmazza. Az intenzitás szerkezet a rezgésben előforduló összetevők erőssége.

A hang rezgése az időben megy vége. Attól függően, hogy milyen tartamú és milyen típusú hangot elemzünk, kell megválasztanunk az idő mértékegységét. Az akusztikai fonetikában leggyakrabban a milliszekundumot (ms), azaz az ezredmásodpercet (a másodperc ezredrészét), ritkábban a szekundumot (s) használják. Előfordulhat a másodperc, bizonyos esetekben a perc és legritkábban (hosszú közlések időtartamának a meghatározására) az óra használata.

A rezgések frekvenciája az időegységre eső periódusok száma, ez adja a hang magasságát. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a hang magassága a másodpercenkénti rezgésszámtól függ. Mértékegysége a Hertz (Hz), tehát  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ rezgés } 1 \text{ s idő alatt}$ . Például: 180 Hz azt jelenti, hogy 1 másodperc alatt a rezgés 180 periódust végzett. Az összetett beszédhang legkisebb frekvenciájú összetevője az **alaphang**, az ennél magasabb frekvenciájúak pedig – amelyek az alaphang egész számú többszörösei – a **felhangok** vagy **felharmonikusok**. A szabályos összetett rezgés más kifejezéssel a zenei hang. Zenei hangról tehát akkor beszélünk, ha a komplex hangot összetevő rezgések egymás egész számú többszörösei.

A legtöbb rezgés nem zenei hang, más szóval zöreje vagy zaj. A beszédhangok szabálytalan rezgéseit zörejeknek nevezzük. Az időbeli lefolyásuk szerint a zörejek és zajok lehetnek folyamatosak vagy megszakításosak, továbbá ismétlődhetnek is. A zenei hang és a zaj között számos fokozat létezik, a zörejek, zajok is tartalmazhatnak periodikus részteket, például a fűrógép keltette zaj, az autó motorjának hangja, a harkály kopácsolása, a madarak csivitelése vagy a kutyaugatás.

A rezgésnek az egyensúlyi helyzetből történő legnagyobb kitérését neveztük amplitúdónak. A rezgés kilengésének nagysága adja a rezgés jellemző hangerősségét, azaz **intenzitását**. Más megfogalmazásban azt mondjuk, hogy a hanghullám haladási irányára merőleges egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramlott energia jellemzi a hang intenzitását (a hangerősséget). (A tetszőleges felületelemen időegység alatt átáramló energia a hang teljesítménye.) A beszédelemzésben kétféle intenzitás szerkezet létezik. Az egyik a beszédhangokat felépítő **frekvencia-összetevők intenzitás szerkezete**; a másik pedig a **beszédhangok átlagintenzitása**. Az első eset az, amikor a beszédhangok különböző komponenseinek (formánsok, zörejösszetevők) intenzitás viszonyait vizsgáljuk (pl. megállapítjuk az első formáns intenzitásértékét a harmadik formánshoz képest). A második eset pedig az, amikor a hangkapcsolatban vagy szóban vagy mondatban megjelenő beszédhang(ok) intenzitásának (specifikus intenzitásának) összehasonlítását végezzük el.

A természetes és a mesterséges (technikai) hangforrások hangteljesítménye igen nagy átfogású. A leghangosabb néhány billiószor múlja fölül a leghalkabb forrás hangteljesítményét. Ilyen széles tartományban nehéz mérni, ezért célszerű a logaritmikus skála bevezetése. Ennek a skálának az egységét Alexander Graham Bell tiszteletére belnek nevezték; az akusztikában a tízszer kisebb egységet vezették be, ez a decibel (dB). **A decibelskála mindaddig relatív, amíg alapérték nincs rögzítve hozzá.** Mindenfajta teljesítmény vagy teljesítménnyel arányos jellegű fizikai mennyiség kifejezhető decibelben, így tehát a hangintenzitás is (Tárnóczy 1984). (A decibelnek az audiológiában használatos referenciaszintjéről lásd *Az emberi hallás* című fejezetet.)

A fentiekből egyértelmű, hogy a decibel viszonzyszám, ezért mindig meg kell határozunk azt a referenciaszintet (alapértéket), amihez viszonyítunk. Bármely két teljesítmény számszerű értékének összehasonlítására az akusztikában a két érték hányadosának tízes alapú logaritmusát használják. Ez a szintérték dimenzió nélküli szám, amelynek a tízszerese a decibel:

$$L = 101g \frac{W_1}{W_2} (dB)$$

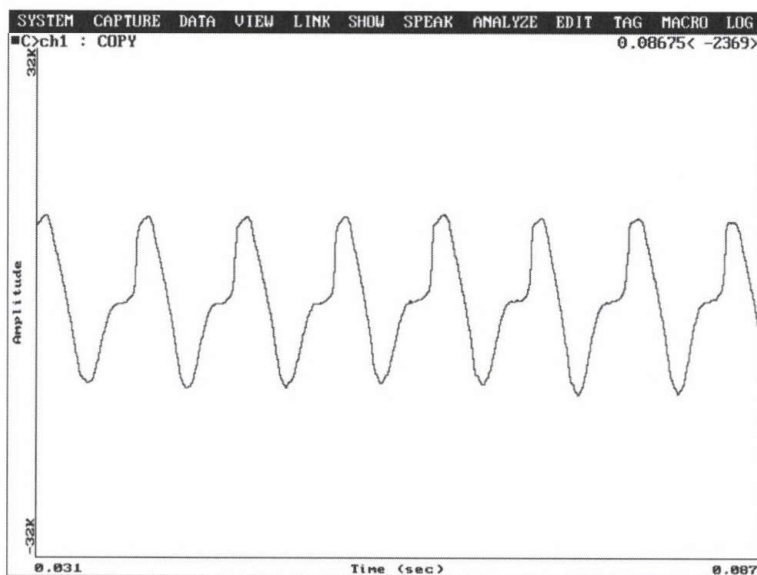
A hangnyomás nemzetközileg rögzített alapszintje:  $P_0 = 2,04 \times 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$ .

Amikor a beszédelemzésben az intenzitás kifejezésére a decibelt használják, akkor vagy az adott hangmintában meglévő legnagyobb amplitúdóhoz viszonyítják (ekkor az amplitúdóértékeket negatív számok fejezik ki), vagy a legkisebb amplitúdóhoz, ekkor az amplitúdóértékeket pozitív számok fejezik ki. Ez azért tehető meg, mert a beszédben a legtöbb esetben nem az abszolút észlelési decibelértékre van szükségünk, hanem az adott beszédmintában található amplitúdók viszonyának kifejezésére. Például a beszédhangok specifikus intenzitásának jellemzésére az [a:] magánhangzó intenzitását tekintették 0 dB-nek, ez volt a referenciaszint, ehhez viszonyították a többinek az intenzitását (lásd a 144. oldalon).

## A beszéd mint akusztikai hullám

A beszédhangok fizikai sajátosságai a képzésükből adódnak. Ez azt jelenti, hogy ha az artikuláció változik, akkor akusztikai következménye is változik. Például, ha egy résmássalhangzót ejtünk, akkor a résképzés helyétől függően más-más lesz az arra a résmássalhangzóra jellemző frekvenciaszerkezet. A beszédhullám forrása a hangszalagok rezgése és/vagy a szájüreg különböző helyein keletkező zörejek. A beszéd frekvencia-, intenzitás- és időszerkezeti sajátosságai vizuális és numerikus formában szemléltethetők, illetőleg adhatók vissza.\*

A hangszalagrezgés kváziperiodikus, vagyis csaknem teljesen periodikus. Azért nevezzük a hangszalagrezgést majdnem-periodikusnak (kvázi), mert a szigorú értelemben vett periodikusság nem tökéletesen érvényesül a hangszalagműködés következtében létrejött hangban. A hangszalagok rezgésének eredményét nevezzük **zöngének**, amely az **alaphangból** és a **felhangokból** (**felharmonikusokból**) áll. A fonetikában a zöngén és az alaphangon lényegében ugyanazt értik. (Az 'alaphang' szinonimái még az alaphangmagasság és az alpfrekvencia.) Az alaphang(magasság) jele az F0. A 42. ábra a **zöngé** vagy **alaphang** rezgésképét szemlélteti.

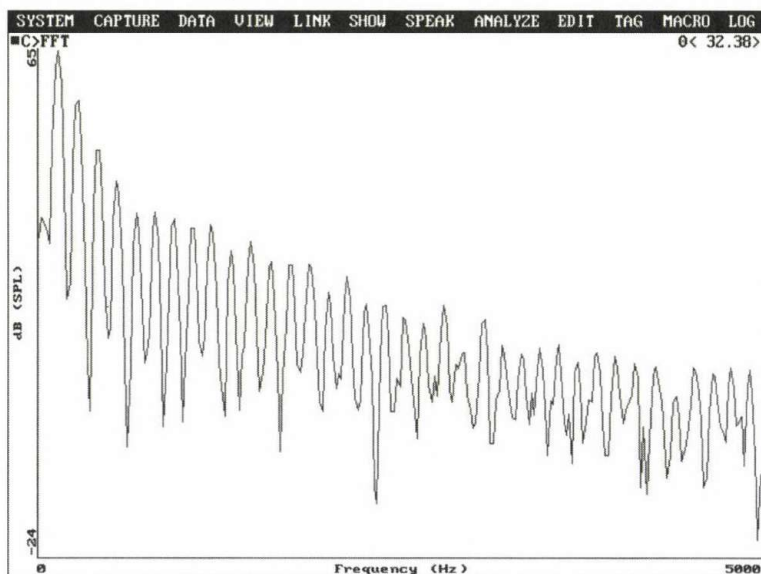


42. ÁBRA

*A zöngé rezgésképe (női hang)*

\* A 'látható beszéd' (visible speech) a 20. század negyvenes éveinek elején a Bell Telephone Laboratories (USA) által kifejlesztett, illetőleg a beszéd vizsgálatára alkalmazott hangszínkép-elemzési eljárást jelentette (Fant 1961).

A zöngé felhangokban (felharmonikusokban) gazdag (43. ábra). A felhangok száma az alaphang frekvenciáértékétől függ. Minél magasabb az alaphang, annál kevesebb felhang található ugyanabban a frekvenciatartományban. Ha egy női hang alaphangfrekvenciája 200 Hz, akkor a felhangok – 1,5 kHz-es tartományban – a következők: 400 Hz, 600 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1200 Hz, 1400 Hz. Ha egy férfihang alaphangfrekvenciája 150 Hz, akkor ugyanebben a tartományban a felhangok a következők: 300 Hz, 450 Hz, 600 Hz, 750 Hz, 900 Hz, 1050 Hz, 1200 Hz, 1350 Hz, 1500 Hz. Az ábra szemlélteti azt is, hogy a felharmonikusok intenzitása (erőssége) változik a frekvencia függvényében. Minél magasabb a felhang frekvenciája, annál kisebb az intenzitása. A legintenzívebb tehát az alaphang. Az alaphang magassága a hangszalagok fiziológiai paramétereitől függ, ennél fogva az egyes embereknél az alaphang frekvenciaértéke különböző.

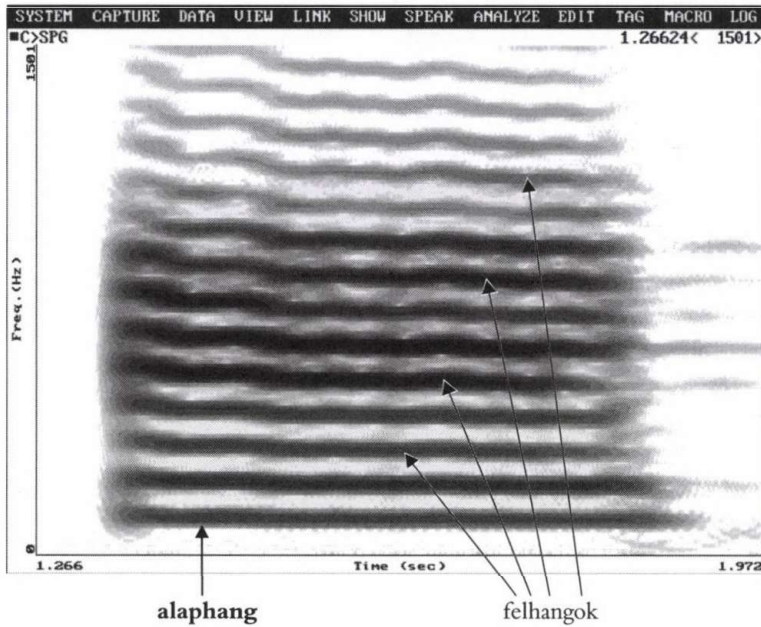


43. ÁBRA

*A hangszalagrezgés felharmonikusainak ábrázolása a frekvencia (vízszintes tengely) és a dB-ben kifejezett intenzitás (függőleges tengely) függvényében*

A 44. ábra a frekvencia és az idő viszonyában, hangszínképen szemlélteti az alaphangot és a felharmonikusokat az [o] hang képzésekor. Az elemzett frekvenciasáv 1500 Hz, a beszélő alaphangmagassága 104 Hz. A vastag nyíl az alaphangot mutatja, a vékonyabb nyilak néhány felharmonikust jeleznek.





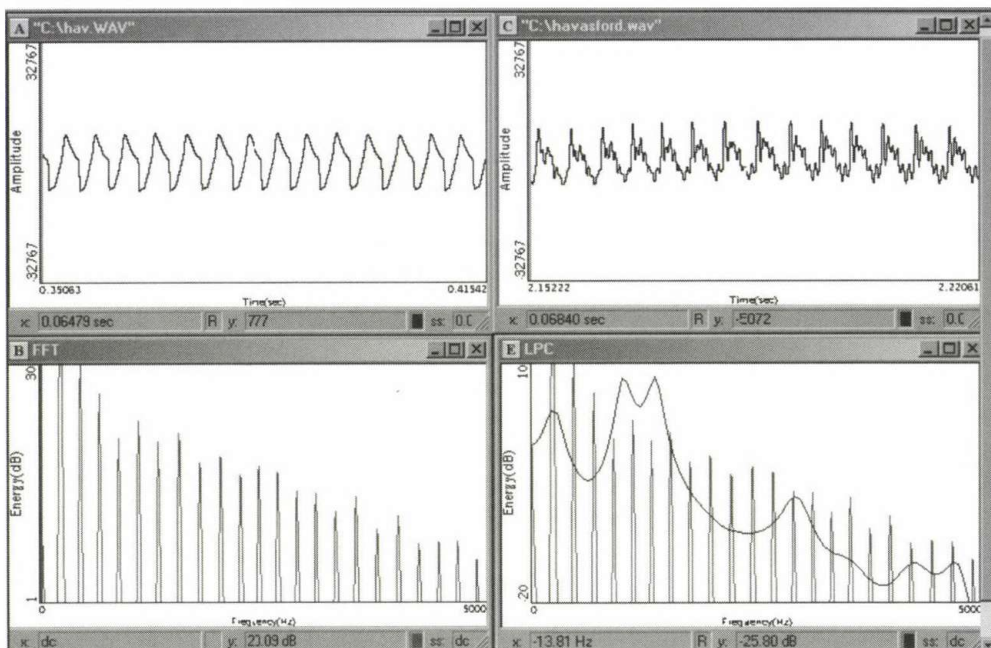
44. ÁBRA

*Az alaphang és a felharmonikusok az [o] magánhangzónál a frekvencia (függőleges tengelyen) és az idő (vízszintes tengelyen) viszonyában (1500 Hz-es tartományban)*

Az ábrán az is megfigyelhető, hogy a felharmonikusok nem egyformán sötétek, ami azt jelzi, hogy az intenzitásuk különböző.

A magánhangzók létrejötte akusztikailag a következőképpen írható le. Az alaphangból és a felhangokból álló zöngé áthalad az üregrendszeren. Az üregrendszer (garatüreg, szájüreg, orrüreg) rezonátorként viselkedik. A rezonátorviselkedés azt jelenti, hogy a zöngé frekvenciáiból az üreg a sajátfrekvenciájának megfelelő vagy ahhoz közel eső felhangokat (felharmonikusokat) felerősíti. Ezen a módon energiakonzentráció alakul ki bizonyos frekvenciákon. Ezeket az energiakonzentrációkat nevezzük **formánsoknak**. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a **formánsok a zöngének a rezonátorüregekben felerősödött felharmonikusai** (45. ábra).

Az ábra bal felső ablakában (A) a zöngerezgés oszcillografikus képe, a jobb felső ablakban (C) pedig az [a:] magánhangzó képzésére jellemző rezgéskép látható azután, hogy a modulált levegő elhagyta az ajkakat. Normális körülmények között a zöngét nem hallhatjuk, hiszen a hangszalagrezgés minden esetben keresztülmegy a toldalékcsövön. (Műszerrel, elektroglottográffal azonban rögzíthető és így elemezhető a zöngé.) Az ábra bal alsó képén (B) a frekvencia (vízszintes tengely) és az intenzitás (függőleges tengely) függvényében látható a zöngerezgés energiaspektruma. A legnagyobb amplitúdójú az alaphang, a többi a felharmonikus. Az ábra jól érzékelteti a felharmonikusok intenzitásának csökkenését a magasabb frekvenciákon. A jobb alsó ábrakép (E) azt mutatja meg, hogy a toldalékcső üregrendszere mint rezonátor hogyan alakítja ki a formánsokat. A toldalékcső az [a:] magánhangzó képzési konfigurációjának



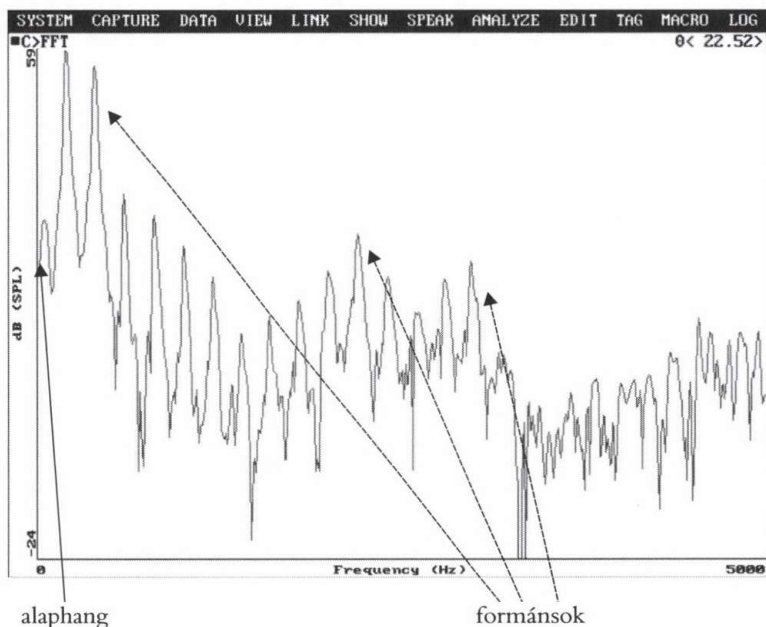
45. ÁBRA

*A formánsok kialakulása (az [a:] magánhangzóval szemléltetve)*

felel meg, az ennek következtében módosult üregrendszer sajátfrekvenciáit szemlélteti a vékony fekete vonal. Ez erősíti, illetve gyengíti a zöngé felhangjait, aminek következtében létrejönnek a formánsok (46. ábra). Ezen az ábrán az [i] magánhangzó energia-spektruma látható.

A formánsokat F-fel jelöljük, és sorszámozzuk aszerint, hogy milyen távolságban vannak az alaphangtól. Az alaphang jele az F0, az első formánsé F1, a másodiké F2, a harmadiké F3 és így tovább. Három formáns jól meghatároz egy magánhangzót, három formánsnál többet csak különleges célok esetén szoktak megadni.

A magánhangzó kialakulását akusztikailag tehát úgy kell elképzelnünk, hogy a gazdag felhangtartalmú zöngé áthalad a toldalékcsővön – a toldalékcső ekkor már egy adott magánhangzóra jellemző artikulációs helyzetben van –, a toldalékcsőben bizonyos felhangok felerősödnek, és létrejönnek a formánsok. A zöngés beszédhang létrejöttében tehát a forrás a zöngé. A garat- és a szájüreg olyan méretű és alakú lesz, amilyen az adott hang képzéséhez szükséges. Másmilyenek az üregek, ha [o:], vagy ha [i:] magánhangzót artikulálunk. A különféle üregek akusztikailag különböző rezonátorokként viselkednek. Ennélfogva sajátfrekvenciájuk is eltérő. Ennek a következménye az, hogy különböző frekvenciahelyeken fogják felerősíteni a zöngé felhangjait; különböző frekvenciájú formánsok keletkeznek. Ezek a formánsok pedig jellemzők lesznek az adott képzési konfigurációra. A szájüregből távozó modulált levegő tartalmazza az adott hangra jellemző képzési konfiguráció összes akusztikai következményét. A felharmonikusok



46. ÁBRA

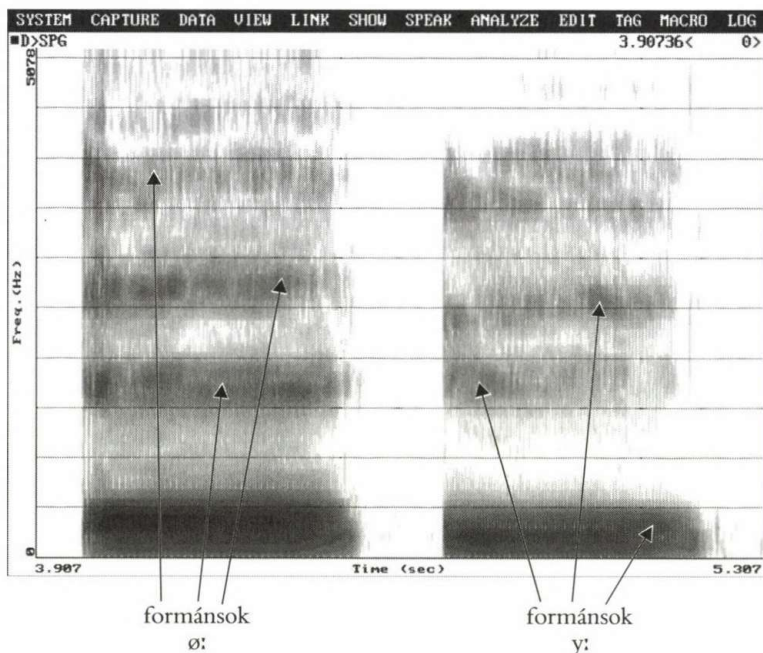
*Az [i] formánsainak megjelenése a frekvencia (vízszintes tengely) és az intenzitás (függőleges tengely) viszonyában (5000 Hz-es tartományban)*

energiakonzentrációi, azaz a formánsok a hangszínképen erős feketedésként jelentkeznek (47. ábra).

Az ábra egy hangszínkép (hangspektrogram). A hangszínkép függőleges tengelyén olvashatók le a frekvenciaértékek, a vízszintes tengelyen pedig az időviszonyok. A feketedés mértéke a beszédhangra jellemző összetevő elemek intenzitását szemlélteti (a feketedés mértéke az adott formáns intenzitásának erősségét jelzi). A formánsok intenzitáseloszlása éppúgy az artikuláció következménye, mint a formánsfrekvenciák maguk. A magyarban rendszerint az első formáns a legintenzívebb, a további formánsok esetében az intenzitásérték csökken. A periodikus hangrezgés minden periódusának a hangszínképen egy függőleges vonal felel meg, így az időegység alatti vonalak számából meghatározható a hang alaprezgésszáma.

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 frekvenciatávolsága adja. Jelölésük: B1, B2, B3 stb.

Az artikulációs konfiguráció tehát akusztikai következményekkel jár. Az artikuláció és az akusztikum között bonyolult az összefüggés (Pickett 1980). Az első formáns megfelel az alsó állkapocs nyitásszögének, illetőleg a szájüreg nyíltságának. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a nyelv függőleges mozgása összefüggést mutat az F1 értékével. Minél alacsonyabb az F1, annál magasabb nyelvállású a magánhangzó. Például az [i:] felső nyelvállású magánhangzó első formánisa 260 Hz körüli, míg az [a:] legalsó nyelvállású



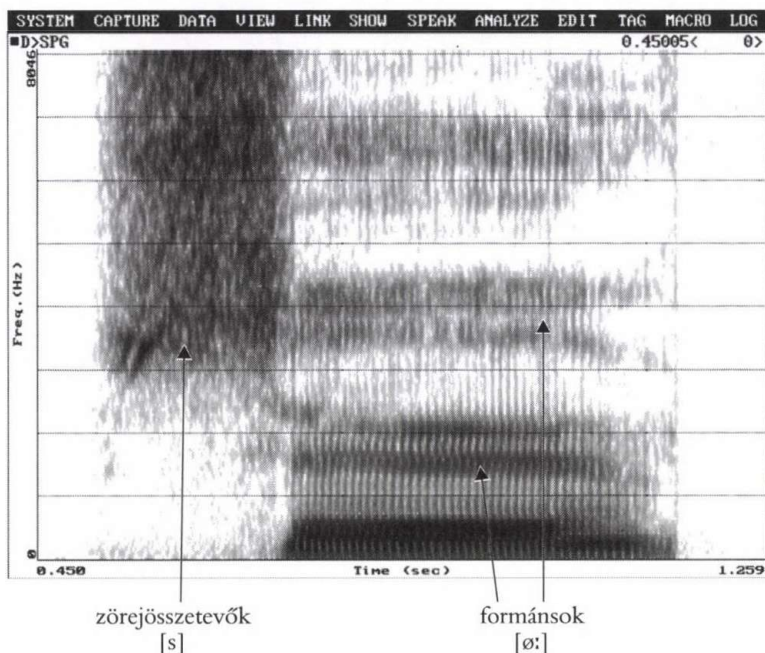
47. ÁBRA

*A formánsok megjelenése a hangszínekben az [ø:] és az [y:] magánhangzóban*

magánhangzóé mintegy 700 Hz. A második formáns a nyelv vízszintes mozgásával hozható kapcsolatba. A hátul képzett magánhangzóknak alacsonyabb, az elől képzetteknek magasabb frekvenciaértékű F2-je van. Például az [u:] hátul képzett magánhangzó F2-je mintegy 600 Hz-en van, az [y:] elől képzett magánhangzóé 1700 Hz körüli. Az ajakréses magánhangzók második formánisa is magasabb frekvenciájú, mint az ajakkerekítéseké. Például az [e:] és az [ø:] magánhangzók F2-je 2000 Hz, illetőleg 1600 Hz körül található. A közelítőhangok vagy a nazálisok éppúgy meghatározhatók formánsokkal, mint a magánhangzók; sőt minden zöngés mássalhangzó esetében beszélhetünk formánsokról is.

A beszédhangok közül periodikusak a magánhangzók, a közelítőhangok, a nazálisok és ejtéstől függően a pergőhang. A zörejmássalhangzók vagy obstruensek aperiodikusak; ez azt jelenti, hogy a levegőmolekulák mozgása esetükben rendszertelen. Akusztikai szempontból lehetnek kevert típusúak is, amikor a zörejnyalábok mellé – a hangképzés következményeként – a zöngé rezgése is társul. A 48. ábra hangszínekben szemlélteti a formánsokat, illetőleg a beszéd zörejösszetevőit.

A hangszínekben látható a zöngés és a zöngétlen hangok akusztikai következménye az alaphang meglétében és hiányában. A zöngétlen hangnál a 400 Hz alatti tartományban nem láthatók a hangszalagműködésre utaló, periodikusságot jelző pálcikák. A magánhangzóknál ezek természetesen a felsőbb frekvenciákon is mutatkoznak. A nem periodikus zörejösszetevők jellegzetesen eltérnek a periodikus hangok komponenseitől.



48. ÁBRA

*A szó hangsor ejtéséről készült hangszínekp férfi ejtésben*

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az artikuláció következményeként jön létre a rezgés, amint a levegő az ajkakon át kikerül a levegőbe. 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. Mindezek megértéséhez ismernünk kell az akusztikai alapfogalmakat. A rezgéseknek két csoportjuk van, az egyszerű és az összetett hangok. A hangok továbbá lehetnek periodikusak és aperiodikusak. Az összetett hangok felbonthatók tiszta hangokra. Egy teljes rezgésminta idejét nevezzük periódusnak. A rezgések frekvenciája az időegységre eső periódusok száma, ez adja a hang magasságát, amit Hz-ben fejezünk ki. Alaphangnak a komplex hang legkisebb frekvenciájú összetevőjét nevezzük, az ennél magasabb frekvenciájúak, amelyek az alaphang legkisebb egész számú többszöröse, a felhangok vagy felharmonikusok.

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 szemléltethetők. A hangszalagrezgés kváziperiodikus, vagyis

csaknem teljesen periodikus, a zöngé tehát periodikus összetett hang. A magánhangzók létrejötte akusztikailag úgy történik, hogy a zöngé áthalad az üregrendszeren, amely rezonátorként viselkedik; és a zöngé frekvenciájából az üreg a sajátfrekvenciájának megfelelő vagy ahhoz közel eső felhangokat (vagy felharmonikusokat) felerősíti. Az így létrejött energiakoncentrációt nevezzük formánsnak. A magánhangzók és a zöngés mássalhangzók a formánsokkal jellemezhetők. A formánsok sorszáma arra utal, hogy a zöngéhez ( $F_0$ ) képest milyen távolságra helyezkednek el ( $F_1$ ,  $F_2$  stb.). A zörej mássalhangzók szerkezetét az artikulációnak megfelelő akusztikai következmény jellemzi (zár-felpattanás, turbulens zörej). A beszédet mint akusztikai hullámformát ugyanazon három paraméterrel jellemezzük, mint a többi akusztikai rezgéssorozatot: az időtartammal, a frekvenciával és az intenzitással.