

Hang és zene

(a 2008.04.24-én elhangzott Gyerekegyetem előadás írásos anyaga)

Dr. Wersényi György
SZE - Távközlési Tanszék

Hontvári Csaba
SZE – Zeneművészeti Intézet

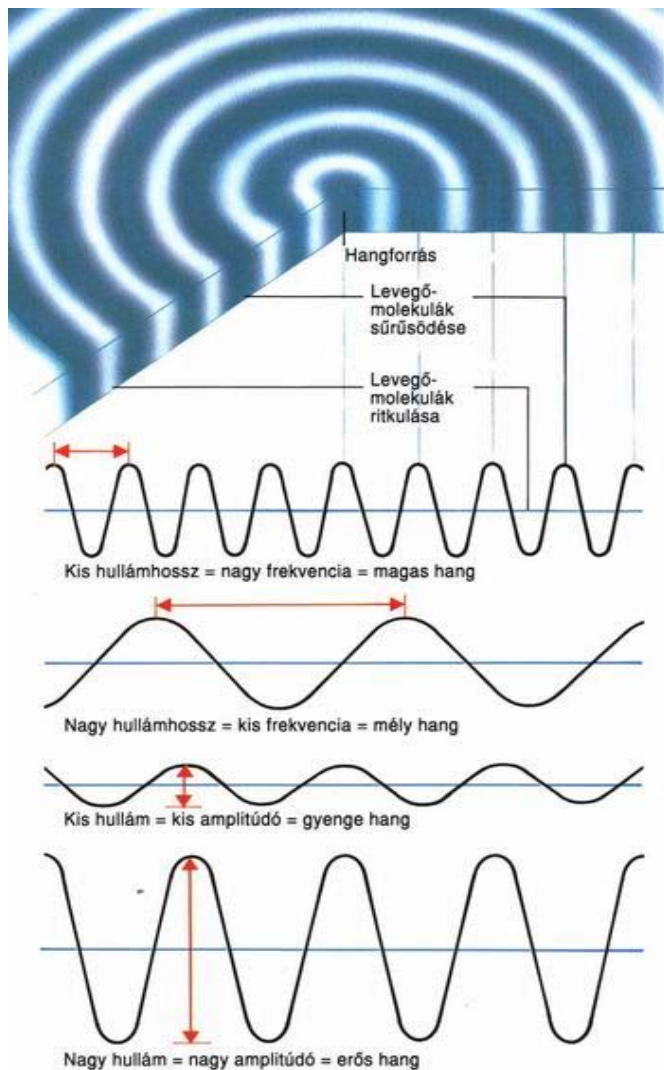
1. Bevezetés

A hang és jellemzői egyrészt fizikai (mérnöki) probléma, másrészt művészeti kérdés. Két tudomány, kétféle megközelítés – de ugyanarról beszélünk a matematika és a művészet nyelvén. Az egyik oldalról egyenletekkel, terjedési módokkal, mértékegységekkel írjuk le a hangterjedést; a másik oldalról hangközökkel, játéktípussal, hangszereléssel. Az előadásunk célja, hogy rámutasson, ez a két világ miként találkozik egymással, hogyan ragadjuk meg és mi a hangterjedés legalapvetőbb fizikai módja és hogyan használjuk ki ezt a hangszeres hangkeltésben.

2. A hang

A hang rezgés, a hang hullám. Pontosabban, a rezgésállapot terjedése megfelelő közegben. Ahhoz, hogy a hang terjedjen és hallhatóvá váljon a rezgés, szükséges, hogy a közeg részecskéi egymásnak átadják a rezgésállapotot. Ennek során maguk a részecskék nem terjednek és mozognak tova, csak bizonyos kis távolságon belül ütköznek egymással.

A hang terjedhet légnemű anyagokban, ennek tipikus, mindennapi esete a levegőben való hangterjedés. Továbbá, a hang terjed folyadékokban is (pld. a vízben kimondottan gyorsan) ill. szilárd anyagokban is, gondoljunk az ajtón történő kopogásra. A légüres térben (vákuum) nincs hangterjedés, mert nincsenek részecskék, amelyek a rezgéseket továbbíthatnák. Az űrben játszódó csatajelenetek a filmekben valójában némafilmek: robbanások, lövések nem hallatszódnának a valóságban. Érdekesség, hogy ugyanez a fényről nem mondható el: a fény terjedéséhez nincs szükség semmiféle anyagrészecskére, az a vákuumban is terjed. (Korábban a fizikusok – hibásan – azt feltételezték, hogy a fényterjedéshez is kell „valami”, amit éternek neveztek el. Később ezt kitörölték a fizikából.)



Rezgés kétféleképpen terjedhet: ún. transzverzális illetve longitudinális hullám formájában. Előbbi esetben a hullám terjedési irányára maga a rezgés merőleges. Ilyen történik akkor, amikor megpendítünk egy húrt, vagy az egyik végén megfogott ostort megpattintjuk. Egy jól látható hullám vonul végig a kötélen. A másik rezgésforma esetén a hullám sűrűsödési és ritkulási pontokat hoz létre. Ilyen rezgést láthatunk egy rugón, amikor hossztengetyében meghúzzuk és elengedjük: a rugó menetei összenyomódnak és kitágulnak. A hang is így terjed a levegőben: a részecskék összesűrűsödnek, majd ritkulnak és egymáshoz ütődve terjesztik a rezgésállapotot.

A rezgéseket aszerint osztályozzuk, hogy milyen gyakran rezegnek, pld. egy másodperc alatt hányszor. Ezt a mértéket frekvenciának nevezzük. A gyors rezgések frekvenciája nagy, a lassú rezgéseké kicsi. A frekvencia mértékegysége az 1/s vagy más néven a Hertz. Ha egy rezgés másodpercenként pontosan egyet rezeg, annak frekvenciája 1 Hz. Ez nagyon lassú rezgésnek számít. A hallható hangok tartománya 20 Hz és 20000 Hz közé esik (utóbbit nevezzük 20 kHz-nek is). A 20 Hz-es lassan rezgő hanghullámok mélyek, nevezzük őket basszusnak is. Ezzel szemben a 10000 Hz feletti rezgések már kimondottan magas hangok.

Minden frekvenciához tartozik egy hullámhossz is. A hullámhossz, amit méterben adunk meg, attól függ, hogy az adott frekvenciájú rezgés milyen közegben terjed. Egy 1000 Hz-es hanghullámnak más a hullámhossza a levegőben és más a vízben. A példa kedvéért tekintsük a levegőt! A 20 Hz-es hangrezgés 17 méteres hullámhosszú, míg a 20000 Hz-es csak 1,7 cm-

es! A magas hangok jobban irányítottak, de egyben „lustábbak” is, mint a mélyek. Amikor vihar közeleg, és még a távolból halljuk, csak a morajlás, a mély hangok jutnak el hozzánk, a magasak nem. Ahogy a vihar közelebb ér, már meghalljuk a mennydörgés magasabb, reccsenés-szerű hangjait is.

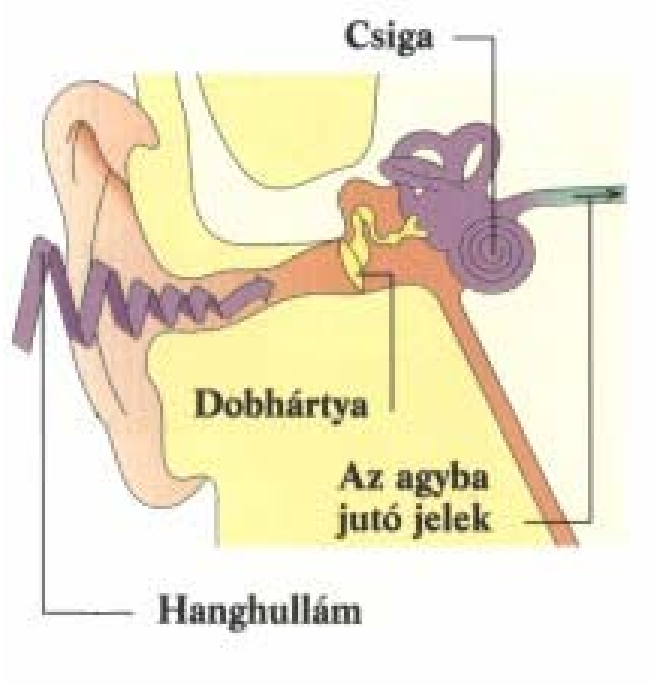
A hangnak a frekvencia mellett van nagysága is. A hangerősség tulajdonképpen a hanghullám által kifejtett nyomást jelenti, ezt hangnyomásnak nevezzük. Ennek mértékegysége a Pascal. Egy Pascal a nyomás, ha 1 négyzetméter felületre 1 Newton erő hat. Ez egy elég magas érték. Az emberi hallószerv képes meghallani az ennél egymilliószor halkabb hangokat is!

A hangnak van terjedési sebessége. Ennek értéke levegőben 332 m/s, fagyponton. Ha km/h-ban szeretnénk megkapni, meg kell szoroznunk 3,6-al: kb. 1200 km/h-át kapunk. Ezt a szuperszónikus repülőgépek át tudják lépni. Ne keverjük össze ezt a sebességet a fény terjedési sebességével, amelynek értéke sokkal nagyobb: 300 000 000 m/s!

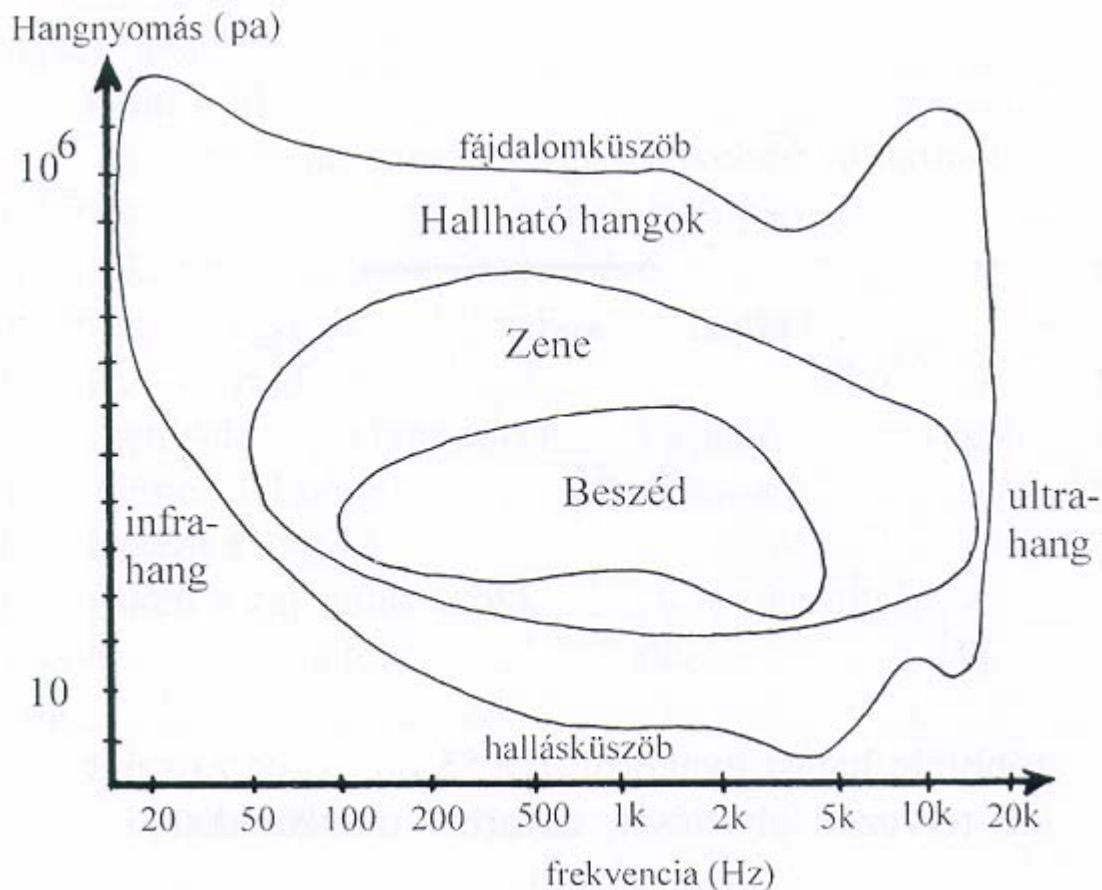
A hang sebessége erősen függ a hőmérséklettől: ha egy fokkal emelkedik a hőmérséklet, a hang több mint 2 km/h-val gyorsabban megy. Ezentúl természetesen a sebessége függ a közegtől is. Meglepő módon a sűrűbb, nehezebb anyagokban a hang terjedhet gyorsabban, mint a levegőben. 15 fokos hidegvízben pld. több mint 5000 km/h, acélban pedig 18000 km/h a sebessége!

3. Hallás a füllel

A hallás során a hanghullámok a fülünkhöz jutnak és a fülkagylón keresztül egész a dobhártyáig terjednek. A dobhártyát mozgásba hozzák, amely a koponyában lévő hallócsontoknak adják tovább a rezgéseket. Végül az idegpályák szállítják az információt az agyba. Végül is nem a fülünkkel hallunk, hanem az agyunkkal!



A túl halk hangokat nem halljuk. Ez azonban függ a hang frekvenciájától: a túl mély és magas hangokat nehezebb meghallani, mint a közepeseket. Ezt nevezzük hallásküszöbnek. A túl hangos hangok viszont károsíthatják hallásunkat: fájdalmat okoznak és ez maradandó károsodáshoz is vezethet. Ezt fájdalomküszöbnek hívjuk. A zene és a beszéd nem használja ki a teljes hallástartományt sem hangerősségben, sem frekvenciában.



4. Zenei hangkeltés

A zene összetett rezgésekből áll. A hangszerek arra valók, hogy a létrehozott rezgéseket felerősítsük, dúsítsuk, széppé tegyük. A hangszereket a rezgés (idegen szóval rezonancia) létrehozásának eltérő módjai, azaz megszólaltatásuk szerint különböző családokba sorolhatjuk:

- **Ütőhangszerek** – ahol a ritmushangszerek esetében a többnyire nem meghatározható hangmagasságú rezgést egy membránra mért ütéssel keltik. A membrán lehet pl. dobőr, míg a konkrét hangmagasságokat megszólaltatni képes dallamhangszereknél üreges vagy tömör fadarab, fémrúd, fémcső, stb.
- **Húros hangszerek** – ahol a húrok egy megfelelően kiképzett hangszertesten vagy hangszertestben vannak, amely a rezgéseket felerősíti (lásd alább).
- **Fúvós hangszerek** – amelyek esetében egy megfelelően hosszú levegőoszlopot kell rezgetetni, amit fújással érhetünk el. A légoszlop mérete és a hangszer kiépítése, testi formája, szájnyílása (hangtölcsére) határozza meg a hangját és hangolását. Az így létrejövő frekvenciákat egyenletekkel leírhatjuk és kiszámíthatjuk.

- A billentyűszerkezettel ellátott akusztikus hangszerek (a szintetizátorról itt most nem beszélhetünk) a rezgés létrehozásának szempontjából lényegében a fenti három családba sorolhatók. A billentyűk a zongora esetében kalapácsokat mozgatnak, amelyek húrokat ütnek, a csembalónál apró nyelvecskéket, amik húrokat pengetnek, a cseleszta klaviatúrájának segítségével fém hanglapocskákat szólaltathatunk meg, míg az orgona manuálja és pedáljai különböző méretű, anyagú és alakú sípokba irányítják a fűtatórendszer által mozgásba hozott levegőt.

Minden hangszernek, pontosabban húrjának, csövének, testének van egy alaphangja, rezonanciája. Húros hangszernél a húr hangját három dolog befolyásolja: milyen hosszú, milyen vastag és mennyire van kifeszítve. A vastagabb húr mélyebb hangon szól, mint a vékonyak. A jobban megfeszített húr magasabban szól, mint a laza. A hosszabb húr hangmagassága (frekvenciája) alacsonyabb, mint a rövideké. Amikor egy hegedűs, gitáros zenél, különböző vastagságú és hangolású húrokat szólaltat meg. A frekvenciát úgy szabályozza, hogy a hosszát rövidíti: néha lefogja és így rövidebb hosszúságú húrt pendít, húz meg. A hegedűk és gitárok végén található csavarok a megfeszítést szolgálják: ezzel lehet az alaphangot behangolni, szabályozni. Ha ezt elforgatjuk, a hangszer húrjai hamisan fognak szólni. A megpendített húron transzverzális hullámok keletkeznek, a húr nem csak egészben, hanem részleteiben is tud rezegni. Ezek a hullámok, melyek a húron végigfutnak, a környezetükben lévő levegőmolekulákat elmozdítják létrehozva a hangterjedést.

Egy húrt rezgésbe hozhatunk:

- ütéssel (a zongora billentyűzete által mozgatott kalapácsmechanika segítségével);
- pengetéssel (gitár, lant, hárfa, csembaló);
- begyantázott vonóval (a gyanta növeli a húr és az őt gerjesztő vonószőr súrlódási együtthatóját, ennek következtében a rezgés intenzívebb, a létrejövő hang pedig hangosabb lesz).

A fúvóhangszerek esetében a rezgést létrehozhatja:

- légáram gerjesztette nádnyelv (klarinét, oboa, fagott, szaxofon), vagy ajaksíp (furulya, fuvola) – az így megszólaltatottakat nevezzük, anyaguktól függetlenül, fafúvós hangszereknek;
- az összezárt ajkakon keresztül átréselt levegő, amelyet egy többé-kevésbé kiképzett nyíláson keresztül (kagylókürtök, szarukürtök), vagy fúvóka segítségével (trombita, kürt, harsona, tuba) juttatunk a rezonátor testbe – ezeket hívjuk (szintén anyaguktól függetlenül) rézfúvós hangszereknek.

Amennyiben a gerjesztés hatására a húr teljes egészében mozgásba jön, azaz váltakozva egy hullámhegyet, majd völgyet (egy teljes hullám feleit) ír le, akkor a húr alaphangja szól meg. Ez önmagában nem csengene szépen, ám e hangot egyrészt az úgynevezett felhangok (más néven felharmonikusok), másrészt az ezeket erősítő hangszertest „színezi”. A gerjesztett húr ugyanis nemcsak egész hosszában mozdul ki nyugalmi helyzetéből, és „rajzol” fél-hullámokat, hanem egész számokkal osztott részeiben is. Ezeket a rövidebb hullámhosszú hangokat nevezik angol nyelvterületen részhangoknak, magyarul felhangoknak vagy felharmonikusoknak. Más szóval a felhangok rezgésszámai az alaphang frekvenciájának egész számú többszörösei. Pld. a hangvilla keltette 440 Hz-es (egyvonalas) a^1 hangnak a 880 Hz-es frekvenciájú (kétvonalas) a^2 a kétszeres frekvenciájú felhangja, míg az 1320 Hz a háromszoros frekvenciájú felhangja (e^3).

A fúvóhangszerek megszólaltatásakor is hasonlótl figyelhetünk meg. A fafúvósok esetében a tüdőből kiáramló légáram hozza rezgésbe a hangszer nádját, sípját, rézfúvósoknál az összezárt ajkakot, majd a létrejövő rezgés továbbhaladva a csőben lévő légoszlopot. Ennek hosszát – így a hang magasságát – a játékos a hangszertestbe fűrt nyílások nyitásával-

zárásával (fafúvók), illetve szelepekkel kapcsolt toldalékcsovek beiktatásával (rézfúvók), továbbá a fúvás erejével változtatja. Minél több lyukat fog be, a légoszlop annál hosszabb, a hang pedig mélyebb lesz, mennél erősebben „fújja át” hangszerét, úgy válthat rövidebb hullámhosszra, azaz magasabb felhangra. A csőben ugyanis szintén létrejönnek a sajátos hangkaraktert meghatározó részhangok, azaz felhangok. A szelepek nélküli rézfúvós hangszerek szolgálhatnak talán a természetes felhangok „működésének” legszemléletesebb bemutatására, hiszen rajtuk csak a csőhossz által meghatározott alaphang egész számú többszöröse, azaz a természetes felhangok szólaltathatók meg. A következő ábra a 66 Hz-es rezgésszámú, 5 m hullámhosszú (nagy) C felharmonikusait, egy kb. 2,5 m hosszúságú, C-hangolású barokk trombita hangkészletét szemlélteti. A hangok alatti számok nemcsak a felhangok sorrendjét adják meg, hanem azt is, hogy az adott részhang hullámhossza hányad része az alaphangénak, illetve rezgésszáma a 66 Hz hányszorosát teszi ki. [A kottapéldában szereplő egészkonta a legtöbb esetben megszólaltathatatlan alaphangot (erről alább esik még szó), a félkották zenei értelemben nagyjából tisztának mondható természetes felhangokat jelölnék, a negyedek, illetve a felettük elhelyezett nyilak a „hamis” felharmonikusok elkülönítését, illetve az eltérés irányát adják meg. A kapcsolatok összekötött két kottafej a 11. természetes felharmonikust, a kétvonalas *f* és *fisz* közé eső, a gyakorlati alkalmazásban kétféle intonálható egyazon hangot jelenti.]

1. oktáv 2. oktáv 3. oktáv 4. oktáv 5. oktáv

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

| C | c g | c¹ e¹ g¹ b¹ | c² d² e² fisz² g² a² b² h² | c³ desz³

Számos dolgot figyelhetünk meg. A kettő hatványai oktávokra, azaz nyolc hangnyi távolságot átölelő szakaszokra osztják a rendszert, melyeket az alábbi kottában ütemvonalak választanak el [az első oktáv kezdőhangja C ($2^0=1$); a második oktáv *c* ($2^1=2$); a harmadik oktáv *c*¹ ($2^2=4$); a negyedik oktáv *c*² ($2^3=8$); az ötödik oktáv *c*³ ($2^4=16$)]. Akusztikailag az oktáv távolságra lévő hangok csengenek leginkább össze, amelyek egyidejű megszólalásukkor egymást erősítik. Ezért használjuk megnevezésükre az abc ugyanazon betűjét, vagy azonos szolmizációs szótagot (számok vagy vesszők segítségével azért különbséget teszünk köztük). A szoprán és tenor hang is ilyen távolságban szólal meg együtt Verdi és Puccini operáinak szerelmi kettőseiben, békülési jeleneteinek tetőpontjain. Az oktávok kezdőhangjainak sorszámai azonosak az adott oktávban található felhangok számával. Természetesen nemcsak az alábbi kottapéldában szereplő nagy C-nek vannak felharmonikusai, hanem minden más hangnak is, amelyek ugyanilyen rendben épülnek az alap fölé.

A hangszerek sajátos hangszínei annak köszönhetőek, hogy a részhangok (felhangok) – egészen a 10-12-szeres frekvenciáig, fémből készült ütőhangszerek esetében pedig még nagyobb szorzójú felharmonikusokig – különböző arányban vannak jelen a tényleges hangban. A zenei hang összetettsége hasonlatos a fehér fényéhez. (Nem véletlenül beszélünk a hangok esetében is színekről!) Míg az utóbbit egy prizmával alkotóelemeire, a szivárvány különböző hullámhosszúságú színeire bonthatjuk, addig az előbbi komplexitását (összetettségét) műszerekkel mérhetjük. A felhangokat a különböző anyagú és építésű

hangszerek különböző mértékben erősítik. Ez alapján tudjuk elkülöníteni, hogy egy hegedű vagy trombita szól-e, sőt az azonos hosszúságú és anyagú, de eltérő vastagságú és építésű fúvóhangszerek hangja között is jelentős különbséget tapasztalhatunk. Ebben a hangszerek csövének furata játszik kulcsszerepet, ami alapvetően kétfajta lehet:

- hengeres – idegen szóval cilindrikus (a cylinder, azaz henger szóból); pl. modern fuvola,
- kúpos – idegen szóval kónikus (a kónusz szóból); fokozatosan szélesedő (rézfúvós hangszerek esetében), vagy keskenyedő (barokk fuvola, bizonyos orgonasípok).

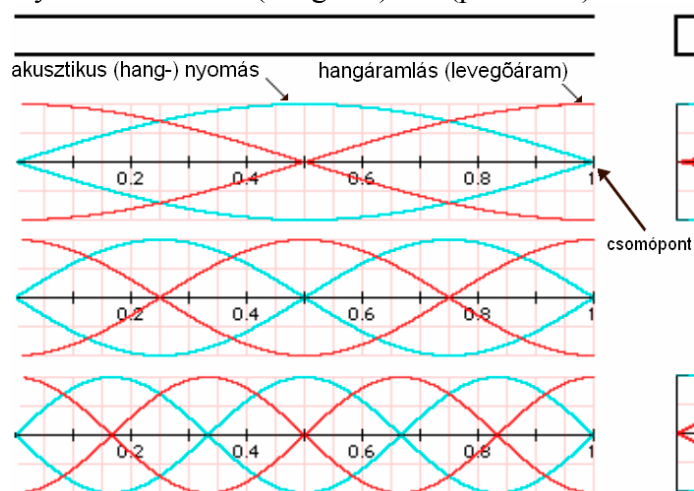
Ezeket zártáguk szempontjából további csoportokra oszthatjuk aszerint, hogy végeiken

- nyitottak; ilyen például az orgonasípok egyik csoportja, az ajaksípos fuvola, furulya. Esetükben sapka, vagy a játékos szájnyílása nem zárja le teljesen a hangszerben rezgő légoszlopot a légkörtől, így a levegő a cső mindkét végén viszonylag szabadon áramolhat ki-be.
- (csaknem) zártak. Közéjük tartozik számos orgonasíp, a fafúvósok közül a nádfúvósok: oboák, klarinétok, szaxofon, tárogató, és az összes rézfúvós hangszer. Előbbi esetében a cső végét egy sapka, a fáknál a nád, míg a rezeknél a csőátmérőnél jóval szűkebbre összehúzott ajkak „zárják le”. Ez gátolja meg a levegő kiáramlását a rezonátorcső játékos felőli oldalán.

Míg a trombita- és harsonafélék teljes csőhosszuk egy vagy kétharmad részében hengeres furatúak (cilindrikusak), addig a kürtfélék a fúvókától kezdve a hangtölcsér végéig fokozatosan táguló csőkeresztmetszettel rendelkeznek (kónikusak). A fafúvósoknál a modern fuvola szinte teljesen, a klarinét pedig javarészt cilindrikus, az oboa, fagott, szaxofon közelítőleg kónikus. Az előbbieknél jóval fényesebb, ércesebb, felhangdúsabb a hangjuk, míg utóbbiaknak kellően telt, puha, lágy. Míg a hengeres furatú csőszelvényt (is) tartalmazó trombitákon, harsonákon – egy szóval a cilindrikus (jellegű) hangszereken – az alaphang csak nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem fújható meg, addig a tisztán kónikus csőszelvezettel bíró instrumentumokon (amelyek esetében a cső a hangszer teljes hosszában fokozatosan szélesedik) ez viszonylag könnyen megszólaltatható. (Pl. a fúvószenekegységek közkedvelt szoprán hangfekvésű dallamjátékos hangszereiben, a kornettekben és a szárnykürtökön, a középregiszterben mozgó kürtön, vagy a basszust szolgáló tubán.) Ennek okát az úgynevezett állóhullámokban kell keresnünk.

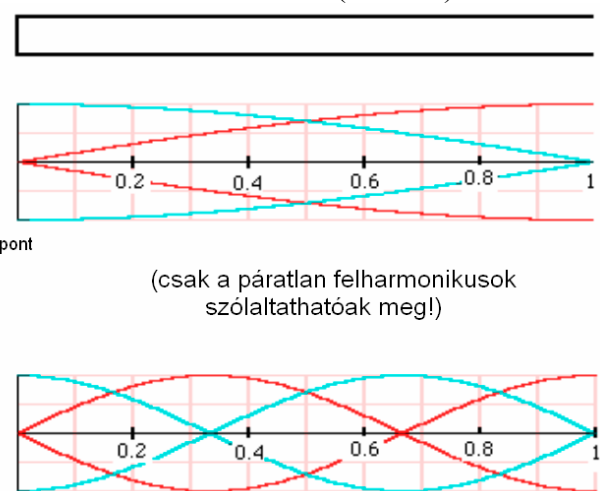
A következő kép szemlélteti a nyitott illetve zárt cilindrikus csőben a hullámok mozgását.

Nyitott cilindrikus (hengeres) cső (pl. fuvola)



<www.phys.unsw.edu.au/music> J. Wolfe UNSW nyomán

Zárt cilindrikus cső (klarinét)

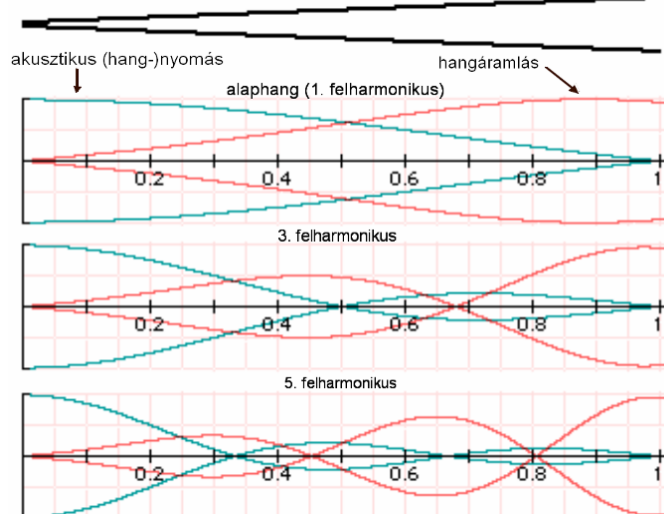


A csőben azonos rezgésszámú, amplitúdójú (intenzitású, azaz hangerejű), sebességű, de ellentétes irányú hullámok haladnak (míg az egyik hegyen, a másik ugyanakkor völgyben

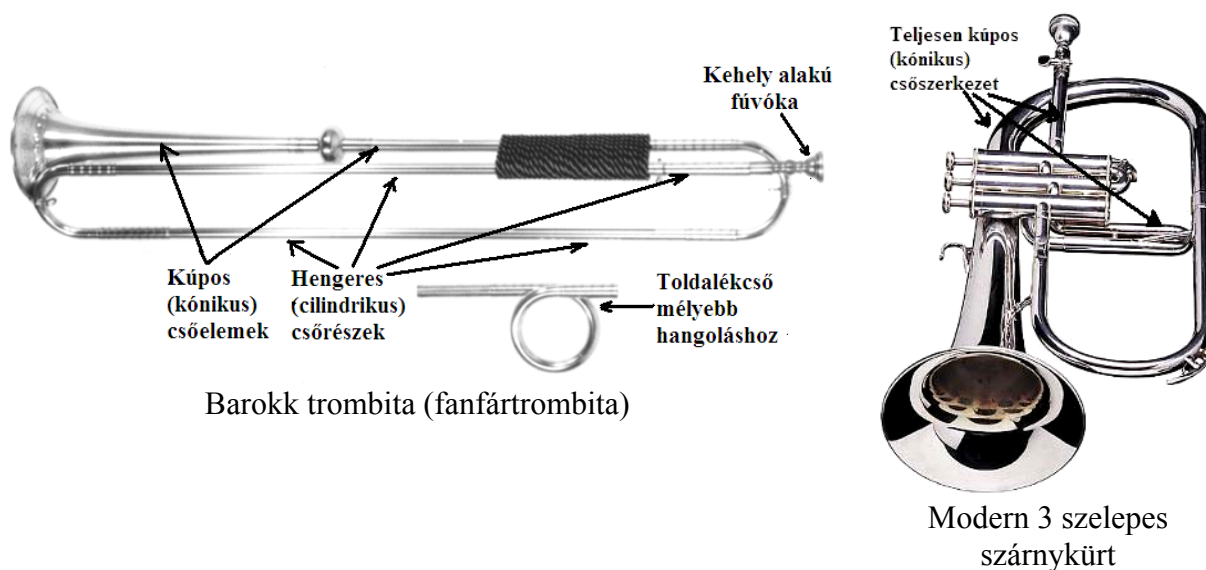
van). Ezek bizonyos pontokon keresztezik egymást, így a nyitott rezonátortest (bal oldali kép) végein is. Mivel az azonos intenzitású, ellentétes irányú energiák kioltják egymást, ezeken a helyeken állóhullámok keletkeznek. Itt a részecskék rezgésüket a szomszédos részecskéknak adják át, maguk egyáltalán nem haladnak tovább. (A távolsággal emiatt csökken a hangnyomás.) A nyomás ezeken a pontokon gyakorlatilag azonos a légkörével, más szóval az akusztikus nyomás változója a nullához közelít (kék görbe). Ezeket a pontokat az akusztikus nyomás csomópontjainak nevezzük. A nyitott rezonátorcső végein a légáramlás (hangáramlás) változója ezzel szemben a maximumon van (piros vonal), hiszen a levegő szabadon áramolhat ki-be. Zárt cilindrikus cső esetén (a klarinét csaknem ilyen) a következőt figyelhetjük meg (jobb oldali kép): a nyomás a zárt végen (a nádnál) maximális (kék görbe), a légáram amplitúdója (piros görbe) pedig minimális (0). Míg nyitott cilindrikus cső esetén (ez leginkább a fuvolára jellemző) az ellentétes irányú mozgás egy teljes hegyet, ill. vele szemben völgyet rajzol le, tehát a teljes hullám egy-egy felét, addig a zárt hengeres csőben csak egy felfelé, vagy lefelé haladó fázist, azaz a teljes hullámmozgás egy-egy negyedét. A cső alaphangját a teljes hullámhossz (amely nyitott cső hosszának kétszerese, a zártéénak négyszerese), a cső hengeres/kúpos minősége, illetve ezek aránya határozza meg. Így azonos hosszúságú nyitott és zárt cilindrikus cső között (fuvola és klarinét) kétszeres a különbség, tehát a nyitott cilindrikus cső (fuvola) egy oktávval magasabb hang megszólaltatására képes, mint a zárt (klarinét). A két láb hosszúságú (kb. 60 cm) fuvola legmélyebb hangja így hozzávetőlegesen az 1,2 m hullámhosszú, 280 Hz rezgésszámú (egyvonalas) c^1 hang, míg a klarinété teoretikusan a 2,4 m hullámhosszú, 140 Hz rezonanciájú (kis) c . (Csak a fenti, durva számítások szerint, a valóságban – mivel ennek a hangszernek vannak kónikus részei is, amelyek az alap- és felhangokat egyaránt felfelé tolják – ennél magasabb: *cisz* vagy *d*.) A zárt hengeres cső esetében a felhangok csőön belüli hullámszakaszai is páratlan negyednyiek ($3/4$, $5/4$, $7/4$, $9/4$ stb.), ezek 4-gyel való szorzata pedig mindig páratlan egész számot (3, 5, 7, 9 stb.) eredményez. Ezért az ilyen csőveken csak a páratlan felhangok szólaltathatóak meg.

Kónikus (kúpos) építés esetén a hullámok másként terjednek. A hangnyomás amplitúdója a cső átmérőjével nagyjából fordított arányban áll, így szélesedő rezonátortest esetén folytonosan csökken (egyre laposabb hullámvonalakat rajzol le), mialatt a hangáramlás (légáram) faltól-falig „kilengve” egyre magasabb hullámokat vet. A kialakuló csomópontokban az állóhullámok is változóak, a hang terjedésére pedig döntő befolyással vannak.

Hangterjedés és hangnyomás változása kónikus csőben



Az akusztikus (hang)nyomás fokozatosan csökkenő amplitúdója a magas frekvenciáknak kedvez oly annyira, hogy a cső alaphangját és felharmonikusait felfelé tolja, továbbá jó tervezés esetén „ki is tisztítja” azokat. A fuvalával hozzávetőleg azonos hosszúságú, de szélesedő furatú „zárt” oboa legmélyebb hangja nem a klarinétéval azonos, hanem szintén az (egyvonalas) c^1 körül van, akárcsak a cilindrikus fuvaláé. (Pontosabban alatta egy teljes hanggal: „kis” b .) A szélesedő csőszelvények zárt rezonátorcsövekre gyakorolt másik pozitív hatása az, hogy a hengeres zárt cső esetében tapasztaltakkal ellentétben rajtuk a természetes felhangok közül már a párosak is megszólaltathatóak, nemcsak a páratlan számúak. A rézfúvós hangszerek fúvókájának szárában rögtön ilyen táguló szakasszal találkozhatunk, de a megszülető hangot ennél is nagyobb mértékben a kiszélesedő hangtölcsér befolyásolja. A trombita és harsona esetében a hengeres szakasz egyenletes rajzolatú hullámai (és állóhullámai) miatt az alaphang kevésbé „emelkedik”, mint a felhangok, ezért a kónikus részt (hangtölcsért) is tartalmazó cilindrikus hangszerek felhangjai – immáron páratlanok és párosak együtt – nem az alaphang egész számú többszörösei. Ez az oka, hogy a hengeres csőszelvényt tartalmazó rézfúvós hangszereken nem szólaltatható meg az alaphang. A tisztán kónikus cső gyakorlatilag egyenletesen tolja feljebb a teljes hangkészletet, így az alaphangot is, amely ennek következtében megszólaltathatóvá válik. Döntően e törvényszerűségek befolyásolják és határozzák meg a zárt rezonátorcsövek alap és felhangjait. Fentiekből láthatjuk, hogy a csőszerkezet kiképzésének milyen fontos szerep jut a hangszerek tervezésekor.



A beszéd és az ének is nagyon fontos hangkeltés. A beszéd lényeges része a 3000-4000 Hz-es tartományban van. A beszéd felhangjai a szövegértéshez nem olyan fontosak, de a beszélő felismeréséhez, a tájszólás, dialektus, vagy az idegen nyelv hangzóinak megszólaltatásához annál inkább! Ha telefonon beszélünk, az átvitel csak 3400 Hz-ig terjed, a felhangok nem mennek át. Ezért nehéz felismerni a beszélőt a vonal másik végén. Halláskárosult embertársaink, akik a magasabb frekvenciájú hangokat egyáltalán nem, vagy csökkent mértékben hallják, visszaadni sem képesek az anyanyelv felhangdús hangjait: a „c, sz, t” mássalhangzók az ő szájukból különösen tompának, színtelennek hatnak.

5. Hangközök

A hangköz nem más, mint két zenei hang frekvenciakülönbségének arányban kifejezett mértéke. Ezzel a témával már az ókori görögök is behatóan foglalkoztak. Püthagorasz, a jón származású antik görög filozófus és matematikus számára a világ számokban, arányokban kifejezhető rendszert jelentett. A természetes felhangok, hangközök és a hangrendszer tanulmányozására a korabeli egyhúrú pengetős „hangszert”, a monochordot használta. Megállapította, hogy a hangközök a felhangrendszer törvényeit követik. Két olyan hang, amelyeknek természetes felharmonikusai között sok megegyező van, azok mindig „jól szólnak együtt”, idegen szóval KONSZONÁNSNAK, azaz együtthangzónak hívjuk őket. Ezek a TISZTA hangközök. Ha két hang felhangszerkezetében kevés a megegyezés, akkor a felharmonikusok között bizonyos ütközések, súrlódások jönnek létre. Egy ilyen hangközöt nevezünk DISSZONÁNSNAK, azaz nem együtt hangzónak. A disszonancia fogalma és esztétikuma koronként változó volt, ezért Püthagorasz elméletét tiszteletben tartva ez utóbbiakat a zenében KIS és NAGY jelzőkkel illetjük, megtartva a tiszta terminust az azonos hangmagasságú prím, az ókori gondolkodó által kutatott és tisztának tartott oktáv, kvint (öt hang), továbbá ez utóbbit oktávra kiegészítő kvart (négy hang) hangközökre. A fentiekből következik, hogy miért is kell a húros hangszerek húrjait egymáshoz hangolni. Ha ezt nem teszi meg a hangszerjátékos, a tiszta kvint távolságokra hangolt (g. d^1 , a^1 , e^2) hegedűhúrok, vagy a zömében tiszta kvartokra épülő gitárhúrok (e , a , d^1 , g^1 , [most kivételesen egy terc jön] h^1 , e^2) felharmonikusai nem fognak a kellő pontokon találkozni (nem fejezhetőek ki egész számú szorzattal), együttes megszólalásuk ezért fog hamisnak hatni. A begyakorolt hanglefogások (húrrövidítések) húr váltás esetén nem a kívánt frekvenciakülönbséget eredményezik, a dallam tehát hamis lesz. Lássuk hát, hogy a természetes felhangrendszer tagjai miként viszonyulnak egymáshoz.

1. oktáv 2. oktáv 3. oktáv 4. oktáv 5. oktáv

1:2 oktáv (dó-dó')	2:3 kvint (dó-szó)	4:5 nagy terc (dó-mi)	5:6 kis terc (mi-szó)	7:8 hamis nagy szekund [túl nagy]	11:12 hamis kis szekund [túl nagy]
1:4 két oktáv	3:4 kvart (szó-dó)		6:7 hamis kis terc (szó-tá)	8:9 nagy szekund (dó-ré)	12:13 hamis kis szekund [nagyobb a kívánatosnál]
1:8 három oktáv				9:10 nagy szekund (ré-mi)	
1:16 négy oktáv				10:11 hamis nagy szekund [túl kicsi] (mi-fi)	14:15 kis szekund [picit nagyobb a kívánatosnál]
1:32 öt oktáv					15:16 kis szekund (ti-dó)

Ha két húron, vagy hangszeren azonos frekvenciájú hangot szólaltatunk meg, a rezgésszámok aránya 1:1, akkor TISZTA PRÍM (T1, dó-dó) hangközről beszélünk. A két hangszer eltérő felhangszerkezetű hangjai ekkor bizonyos mértékig összeolvadnak, és új hangszint eredményeznek. Ennek oka részben ugyanaz, mint amit az állóhullámok keletkezésekor figyelhettünk meg: az azonos frekvenciájú, energiájú, de ellentétes irányú hullámok elfedik, kioltják egymást. Az azonos irányúak viszont erősítik. Hogy a kívánt hatás

megszülethessen, a két játékosnak egységes, egymáshoz alkalmazkodó hangerővel és pontos intonációval (tisztán) kell megszólaltatnia a hangot. Ezt az effektust – hatást – használják ki a zeneszerzők, hangszerelők amikor ugyanazt a dallamot különböző hangszereken egyszerre játszatják. A különböző kombinációk eredményeként a hangszínek úgy keverednek, mint festőművész palettáján a festékek: újabb és újabb variációik teszik változatosabbá a felcsendülő dallamokat, megteremtve azok különböző karakterét.

Ha a monochord húrját a felénél fogjuk le, a hosszarány 1:2-re változik, a két hang frekvenciája egymáshoz képest pedig kétszeres lesz. Ez a hangköz a fentebb már említett TISZTA OKTÁV (T8, dó-dó'). Ha a 440 Hz-es (egyvonalas) a^1 -ra hangolt húrt a közepén lefogjuk (itt most tekintsük el a hajlásból eredő eltéréstől, amivel a vonós hangszereken játszóknak egyébként mindig számolniuk kell), akkor a 880 Hz-es rezgésszámú (kétvonalas) a^2 hangot fogjuk megszólaltatni, ami pontosan egy oktáv távolságra van mélyebb testvérétől. Az oktáv a zeneelmélet legfontosabb hangköze, alapegysége. Az oktáv hangközt alkotó hangok nagyon jól szólnak együtt, felhangrendszerük azonosságából adódóan hasonlóan egymásra.

A 2:3 arányú hangköz neve: TISZTA KVINT (T5, dó-szó). Ez a második legfontosabb hangköz. Hangjaik jól szólnak együtt, mert felharmonikusaik között még esetükben is sok a megegyező. A hegedű szomszédos húrjait is kvint hangközökre hangolják. Püthagorasz hangrendszerét úgy alkotta meg, hogy tiszta kvinteket épített egymásra mindaddig, amíg vissza nem ért a kiinduló alaphanghoz (illetve annak oktávjához): a sor első tagját $3/2$ -del szorozta, majd a kapott értéket is. Ezt a számot megfelezte, így egy oktávval mélyebbre tette a hangot (dó→szó, szó→ré', ré'→ré). Majd ismét $3/2$ -del szorozva fölfelé lépett (ré→lá), amit szintén megfejtelt egy újabb kvinttel (lá→mi'), a kapott arányszámot pedig ismét megfeleztve egy oktávval mélyebbre szállította a hangot (mi'→mi). Mindezt addig folytatta, míg vissza nem ért kezdőhangjához. Elmélete az európai zene talán legfontosabb elemének, a kvintkörnek kiinduló pontja. Felfelé haladva e körön a következő, 13 tagból álló sort kapjuk (abc-s nevekkal): *C–G–D–A–E–H–Fisz–Cisz(Desz)–Gisz(Asz)–Disz(Esz)–Aisz(B)–Eisz(F)–Hisz(C)*. Az utolsó tag, a fél hanggal megemelt H (Hisz), elméletileg azonos – idegen szóval enharmonikus – a C-vel, tehát csak 12 tagról beszélhetünk, európai zenekultúránk 12 fokúságának gyökeréről. A gyakorlatban azonban a $3/2$ hatványaiból adódóan kis különbség mutatkozik a Hisz és a C között. Mértéke egész pontosan 531441:524288 a Hisz javára, utóbbi ugyanis ennyivel magasabb a C-nél. Az eltérésnek nevet is adtak: *püthagorasz komma*. A differencia már a nagytercnél is mutatkozik (dó-mi, C-E), ahol a természetes felhangsorból adódó arány 4:5, míg a kvintépítkezés 64:81-et ad. Ez $1/64$ -del magasabb a természetes nagytercnél, az eltérés neve pedig *düdimoszi*, avagy *szintonikus komma* lett. Az eltérés a többszólamúság általános használatának korától (reneszánsz) komoly fejtörést okozott a muzsikusoknak, ugyanis ha a billentyűs hangszerek húrjait püthagorasz értelemben vett tiszta kvintekre hangolják, akkor a kiindulóponthoz közeli hangnemek, annak harmóniai tiszták lesznek ugyan, ám a távolabbi húrokon játszandó akkordhangok az eltérések miatt hamisan fognak szólni, nem is szólva a távoli hangnemekről. A pengetős és vonós hangszereknél a húrok korlátozott számából és abból a tényből adódóan, hogy a játékosnak módjában áll pillanatonként változtatni a húr rezgő hosszán – így az eltérések korrigálására a játék közben is lehetősége nyílik – ez nem jelentett áthidalhatatlan problémát. Ám a rögzített húrhosszúságú, síprendszerű billentyűsökön annál inkább. A 17. századtól fogva egyre több rendszert dolgoztak ki a probléma orvoslására. Javarészt a nagytercre vetített eltérés mértékét, a *düdimoszi kommat* próbálták leosztani a rendszer építőköveire, a kvintekre, úgy szűkítve azokat, hogy minél több nagyterc (pl. dó-mi, lásd alább) aránya közelítsen a természeteshez, és ne legyen annál nagyobb. Ezt hívták középfangos temperálásnak.

Andreas Werckmeister német orgonista és zeneszerző a *püthagorasz komma*hoz tért vissza, azt negyedelte el, és a kapott mennyiségekkel az első három, valamint a hatodik

kvintet szűkítette. Rendszerét a *wohltemperiertes* jelzővel illette, azaz jól hangoltnak hívta. Segítségével minden hangnemben lehetett már játszani, ám a hangnemekhez sajátos arányok kapcsolódtak, ezért azok eltérő jelleggel, színnel, karakterrel szólaltak meg. Johann Sebastian Bach is valószínűleg az ő szisztémáját alkalmazta, mikor hangszerét 1722-ben írt nagyszabású művének, a *Wohltemperiertes Klavier*-nak az előadására felhangolta. A mű tételi a 12 dúr és 12 moll hangnem adta lehetőségeket aknázzák ki, egyenként bemutatva a hangnemek karaktereit.

A ma használt egyenletes temperálás, amely matematikailag egyenlő részekre – centekre, a félhang század részeire – osztja a hangok birodalmát, csak a 19. század harmincas éveitől került fokozatosan gyakorlatba. A régiak ennek használata ellen tiltakoztak, ugyanis ez a hangolás nem a felhangokra, hanem egy elméleti állandóra épül, eredményeként pedig minden hangnem egyformán „hamis” lesz. A különböző dúr és moll hangnemek ebben a rendszerben egyformákká válnak, sajátosságaikat elveszítik.

A 3:4 arányú hangköz neve TISZTA KVART (T4, szó-dó', vagy dó-fá). Egy kvint meg egy kvart összesen egy oktávot tesz ki. Kvart hangközre hangolják a nagybőgő és a basszusgitár húrjait, illetve egy-egy hangköz kivételével a lant és a gitár húrjait is.

A 4:5 arányú hangköz a NAGYTERC (N3, dó-mi), az 5:6 pedig a KISTERC (k3, mi-szó). A nagyterc és a kisterc egymás fölé építve – 4:5:6 – dúr hármashangzatot ad (c^1 - e^1 - g^1 , dó-mi-szó), fordított sorrendben – 10:12:15 – pedig mollt eredményez (e^2 - g^2 - h^2 , mi-szó-ti, vagy még inkább lá-dó-mi), ami a mai európai zenekultúránk két legfontosabb harmóniája. Amíg a terceket diszsonánsnak, vagy tökéletlennek tartották (a görögök idejében, ill. a középkorban), addig az úgynevezett modális hangnemeket részesítették előnyben, nem a tercépítkezéssel létrejövő, dúr-moll harmóniakon alapulókat, így ezek esetleges tisztatlansága nem jelentett problémát. A reneszánsz kor esztétikája viszont kíváncsúnak tartotta tercek bőséges alkalmazását. Ennek köszönhető, hogy az 1500-as évektől fogva mind több kísérletet tettek a „jó hangolás” kialakítására. Ahogy arról már fentebb szó esett, a 17-18. századi hangolások azt célozták, hogy a nagytercek lebegése viszonylag egyenletes legyen.

A fül számára kellemesnek és tökéletesnek mondható természetes nagyterc (N3) zenei tökéletlenségét egy kis számolással szemléltethetjük. A fizikus számára a nagyterc az oktáv centnyi pontossággal meghatározható harmada. Lássuk, hogy Püthagorasz, illetve a felhang-arányok számára is az-e?

Ha az oktáv alsó, kiinduló hangjának (c^1) rezgésszámát 1-nek vesszük, akkor a felső oktávhangénak (c^2) 2-nek kell lenni. Az első terc (e^1) rezgésszáma az alap 5/4-szeresének felel meg. A második ez utóbbi 5/4-szerese ($gisz^1$), míg a harmadik 5/4-del való szorzással illene elérnünk az oktávot jelentő két egészet. Nézzük, sikerül-e?

$$\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{125}{64}$$

$$\frac{128}{64} - \frac{125}{64} = \frac{3}{64}$$



3/64 tehát hiányzik az oktávból, ami annyit tesz, hogy egy természetes nagy terc 1/64-nyivel kisebb az egyenletes lebegésűnél.

A korabeli trombitákon – a felhangrendszer kötöttségeiből adódóan – a 2.-tól a 8. felharmonikusig terjedő hangok voltak viszonylag könnyen előadhatóak. E regiszterben az alap és kvinthangokon kívül a terc is része a hangkészletnek, így ezek egymás után való megfújása a dúr hármashangzat felbontását, a fanfárokra, katonai jelekre oly jellemző dallamok megszólaltatását eredményezi. Nem véletlen, hogy ezeket az instrumentumokat alkalmazták különböző harci, vadászati jelek harsogtatására.

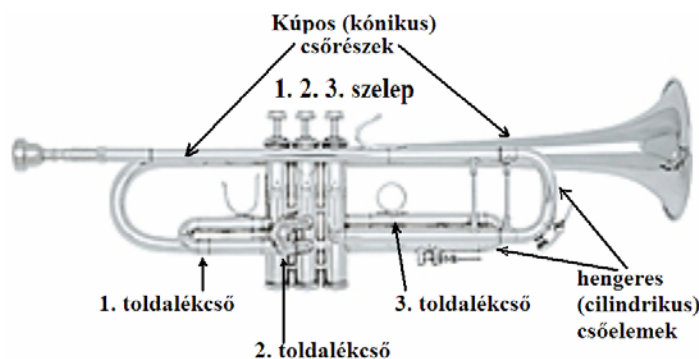
A 6:7 arányú hangköz zeneileg használhatatlan „szűk” kis terc, míg a 7. és 8. felhang közötti lépés is hamis. Ez egy „bő” nagyszekundot ad.

A 8:9 arányú hangköz a NAGYSZEKUND (N2, dó-ré), amelyből még egy következik 9:10 arányban (ré-mi).

Efölött a lépések szűkülnek, a hamis hangok egyre sűrűbben fordulnak elő (lásd a fenti ábrát).

Tiszta még a 12-ik, a 15-ik és a 16-ik felhang. E két utóbbi aránya (15:16) adja meg a KISSZEKUND (k2, ti-dó') hangközt. A többi gyakorlatilag a fentiek fordításaival (az alsó hang egy oktávval feljebb rakásával), illetve összeadásaival (szorzataival) meghatározható.

A modern rézfúvós hangszereken a fenti arányok szerint képeznek ki toldalékcsőveket, amelyek a légoszlopot különböző mértékben növelik, mélyítve ezzel a hangszer felhangszerkezetét. A toldalékcsőveket az úgynevezett szelepek segítségével kapcsolja a játékos az alapsőhöz, amely a hangszer alaphangolását határozza meg. Az első szelep által közbeiktatott toldalékcső közelítőleg az alaphossz 1/8-át teszi ki, így bekapcsolásával a teljes légoszlop 9/8-ra változik, a hang pedig egy nagyszekunddal mélyebb lesz. A második szelephez tartozó csőtoldalék nagyjából 1/15-nyi hosszúságú, azaz kisszekundot mélyít, míg a harmadik kb. 1/5-nyi, azaz hozzáadva az alaphosszhoz 6/5-ös méretet, kisterccel mélyebb hangot kapunk. Ezek kombinációival kitölthetjük a felhangrendszerben adódó hézagokat és a rézfúvós hangszereket a skála mind a 12 hangjának megszólaltatására képessé, idegen szóval kromatikussá (színessé) tehetjük. Az 2. és 3. ventil együttes használatakor nagyterccel mélyül hangszerünk, az 1. és 3. szelep egy tiszta kvarttal viszi lejjebb a hangot, mindhárom „billentyű” lenyomásával pedig három egész hangot (három nagyszekundnyit) adunk hozzá az alaphanghoz. Az utóbbi kettő kombinációi az eltolódó arányok miatt zeneileg magas hangokat eredményeznek, amit a játékosnak minden esetben korrigálnia kell.



Modern 3 szelepes trombita

6. Hangolás

A fentiekből látszik, hogy matematika–fizika–zene szerves egységet képezve miként határozzák meg egy hangszer hangkészletét, hangszínét, intonációs hibáit, amelyeket a muzsikusként játék közben korrigálnia kell. A hallgató számára ugyan csupán a végeredmény, a szép zenei hang a fontos, ám hogy ez megszülethessen, a hangszernek nevezett hangkeltő eszközök kezelésében a zenésznek nagy jártasságra kell szert tennie. Ennek alapfeltétele a rendszeres munka, a szorgalmas gyakorlás, és az alapos behangolás. Saját hallására kell támaszkodnia, hogy a megfelelő frekvenciára beállítsa instrumentumát. Amennyiben a rezonátorcső hosszát nem megfelelően határozza meg a fúvós, a fül számára kínos pillanatokkal eredményezve társainál mélyebben, vagy magasabban fogja megszólaltatni a dallamokat. A vonósok egy-egy húrját olykor a zeneszerző szándékait követve szándékosan más hangra kell beállítani. Ezt olasz szóval *scordatura*-nak hívják, amely technikát

évszázadok óta alkalmazzák. Ám csak ritkán, hiszen ilyen hangszeren minden viszony, arány átértékelődik, a mindennapos gyakorlatok érvényüket veszítik, a hagyományos fogásokkal nem azok a hangok szólalnak meg, amihez a játékos hosszú évek gyakorlásai során hozzászokott. Úgy is mondhatnánk, hogy a tárulkozó új lehetőségek záloga a szokott rendből való kilépés. Régen a különböző hangnemek emberi lélekre gyakorolt hatását, hangokon túli mondanivalóját egy görög szóval fejezték ki: *ethosz*. Bizonyos hangnemek az ünnep csillogását, az örömet adják vissza (C-dúr, D-dúr), mások méltóságteljesen komorak (h-moll), továbbiak a lelkiállapot ábrázolására alkalmasak (e-moll, cisz-moll, fisz-moll). Falusi élet légkörének megidézésére az F-dúr a leggyakoribb. Az elhangolás e kialakult hagyománnyal való szakítást jelentette.

Az ókori Kínában, i.e. 2698-ban a „nagy Sárga Császár”, *Huang-Ti* ült a trónon. Elrendelte, hogy miniszterei találják meg az uralkodó saját, „sárga harang” nevű hangját (*huang-csung*). A monda szerint egyik főtisztviselője, Ling Lun volt az, aki a bambuszszállakat „püthagorasz” arányba állítva, megállapította a felhangok rendjét, és megtalálta a hön áhított alapértéket. (Püthagorasz előtt több, mint kétezer esztendővel!) Nü-va királynő korábbi találmányát, a *sheng* nevű fúvós hangszert, illetve az Öt Törvényhozó egyikének, Fu-Hszi-nek (i. e. 2695) pengetős hangszerét ezentúl Ling Lun referenciasípjára, azaz a császár hangjára kellett hangolni. Bambuszcsőve határozta meg a hossz mérték alapegységét is. (Ne feledjük, Európában a láb volt az a mértékegység, amelynek hossza egybeesett a C hangok hullámhosszával. A korabeli eltérések pedig a területenként különböző láb-méretekből adódtak.) A kínaiak rájöttek a felhangrendszer törvényszerűségeire, hibáira, és – akárcsak később a görögök – megalkották 12 fokú hangrendszerüket, amelynek a *lü* – szabály, törvény nevet adták. Ling Lun a hím és nőstény fönixmadár énekéből kiindulva a 12 hangot másként csoportosította, mint később az európai zenetudósok: kétszer hat nagyszekund lépésből álló hangsorba rendezte őket. Az első skálát, amely a világ férfiúi-szellemi természetét, a jangot szimbolizálja, *c*-re, a másodikat, ami a világ anyagi voltát, a nő *jin* szellemét jelképezi, *f*-re építették fel. A kvintsor kezdőhangja Kínában az európai *f* hangnak felelt meg (az alábbi két hangsorból cikk-cakkban haladva olvasható ki):

c – d – e – fisz – gisz – aisz
f – g – a – h – cisz – disz

A kvintek, amelyek az európai klasszikus zenében is a kiindulási pont és ellenpólus (tonika és domináns, dó–szó) egymást kiegészítő, egymást feltételező, és egymást feloldó párijai, Kínában külön hangsorokba kerültek (*f* - jin, *c* - jang, *g* - jin, *d* - jang, *a* - jin, stb.) Ezek kezdetben sosem szerepelhettek együtt, egy dallamban. Később, a második évezredben a *jang-lü* és a *jin-lü* első hangjaiból alakult ki a kínai zene pentaton (kisszekundot nem tartalmazó, bizonyos hangokat kihagyó ötfokú) hangrendszere, ami a mi ősi népdalkincsünknek is alapvető jellegzetessége (*f – g – a – c – d*). (A hangokat Kínában természetesen nem abc-s névvel illették: *Kung, Shang, Chiao, Chih, Yü*.) A sor következő két hangja, az *e* és a *h* is előfordulhatott a dallamokban, de nem a rituális zenékben. E vendéghangokat *pien*-nek hívták és a kínai szót átvéve nevezik mind a mai napig világszerte.

A kínaiak párhuzamot véltek felfedezni a 12 hónap, a 12 csillagjegy, a napok órái és a 12 hang között. A világegyetem ugyanazon törvényei irányítják, hatják át mindegyiküket, amelyekből csak a zene területére van befolyással az ember. A zenén keresztül lehet hatással a világ és társadalom rendjére. A rend biztosítása érdekében mindennél fontosabb, hogy az alaphang egységes legyen az egész birodalomban. A Su-jing, a legősibb kínai krónika arról számol be, hogy Sun császár (i.e. 2286 körül) elrendelte a hangrendszer és hangolás egységes alkalmazását minden zenei műfajban, és „személyesen utazott a keleti tartományokba, hogy ellenőrizze a négy évszak, a hónap első napja és a hangok rendjét”. Több császár hatalomra kerülését követően legfontosabb teendői között tartotta nyilván az alaphang ellenőrzését,

esetleges megváltoztatását, uralma idején annak betartatását, mint a hatalom fenntartásának egyik legfontosabb biztosítékát. Körülbelül száz esztendővel időszámításunk előtt Vu-ti császár a Mértékügyi Minisztérium keretein belül Zenei Hivatalt állított fel, melynek fő feladata a pontos hangmagasság betartatása volt. A zenei versenyek győztesei nagy kegyben részesülhettek. A legjobbak jutalmul a császártól engedélyt kaptak, hogy hangszerüket áthangolhassák, és más hangmagasságban szólaltathassák meg.

A fentiekből látható, hogy az ősi kínaiaknál a hangszerjáték a fizikai értelemben vett hangkeltés, a világmindenséget átható rezgések legnemesebb válfaja volt, amely a világ egységének szerves részét, a harmónia és rend fenntartásának eszközét jelentette. A jó zenei előadás legfontosabb előfeltételének pedig a rendezett hangolást, és a tiszta játékot tekintették. E kitételek mind a mai napig semmit sem vesztek érvényükből.

Gyerekegyetem: Muzsika a fizika nyelvén, matematika a hegedű hangjain



Hontvári Csaba zongorán is szemléltette a zenei hangközöket, ami egy fizikus számára hertzben mérhető fogalom. Fotó: B. A.

Bach és a Csillagok háborúja

GYŐR

LACZÓ BALÁZS

A hang természetéről s a muzsikáról volt szó tegnap a Gyerekegyetem előadásán Győrben. Kiderült: aki az ősi Kínában eltért a zenei alaphangtól, megzavarta a csillagokat.

A Széchenyi István Egyetem tanárai trombitán, hegedűn és zongorán is bemutatták, ami egy hangmérnök számára számok és görbék halmaza. „Mi a hang?” – tette fel az alapkérdést Versényi György villamosmérnök docens, aki Hontvári Csaba zenetanárral együtt a fizika és a művészet egymásra építéséről beszélt tegnap a mintegy

200 lelket számláló gyerekhallgatóságnak. A szavakat az egyetem hallgatója, Zsebi Viktória kísérte hegedűjén. A gyerekek megtudhatták például, hogy ezentúl illendő lesz a fejünket csóválni, amikor a Csillagok háborújában óriási robbanást hallunk az űrből. Ez ugyanis képtelenség.

Folytatás a 6. oldalon.

Gyerekegyetem: Miért torzít a telefon és miért zúg a fülünk a diszkó után?

Bach és a Csillagok háborúja



Hontvári Csaba a hangszerekről, Versényi György a hanghullámokról adott alapos áttekintést.



Papp Cseperke



Fodor Dániel



Hetyési Anna



Mi a hang? A zsinagógában értő közönségre találtak a széchenyi professzorok.

Fotó: Bertleff András

GYŐR

FOLYTATÁS AZ 1. OLDALRÓL

A világűrben nincs közeg, ezért Luke Skywalker a valóságban nem tudna akkora hangzavart csapni, mint a filmekben – ez is tanulsága volt a Kisalföld kezdeményezése, a Nyugat-magyarországi és a győri Széchenyi-egyetemmel, illetve a Revita Televízióval közösen szervezett Gyerekegyetem tegnapi előadásának. Ezt értették is a 12–13 éves diákok, akikkel kapcsolatban a tanároknak tudniuk kellett, hogy még nem tanultak a frekvenciáról. Azt azonban már nem lehetett nehéz elképzelniük, hogy a legmagasabb hanghullámok egy-két centiméteres tartományban mozognak, míg a legmélyebbeknek 15–17 méterre van szükségük.

Ha viszont ekkora teret nem adunk nekik, akkor a plazmatévéjét hiába is állítgatjuk a szobában, nem fogjuk hallani a legmélyebb hangokat.

Ez is kiderült a tanárok előadásából, ahogyan az is, hogy az emberi fül csak a 20 és 20 ezer hertz közötti hangokat érzékel, s a 3–4 ezer hertze a legérzékenyebb: ez a beszédhang. A kisebb és nagyobb



frekvenciájú hangokkal kapcsolatos az a jelenség is, hogy a villámlás rémisztő reccsenését akkor halljuk, ha hozzánk viszonylag közel csap be a „mennnykő”, távolabbról csak a halk morajlást érzékeljük. Ennek az az oka – fogalmazott a gyerekeknek Versényi György, hogy „a magas hangok lustábbak”. Szintén idetartozik a kérdés, hogy „miért torzít a telefon?”. Hát azért, mert a beszédhangnak azok a felhangjai, amelyek meghaladják a 3–4000 hertzes határt, már „nem férnek bele” a csatornába. A hang terjedési sebességéről is esett szó, a börtönökben nem véletlenül konzultálnak a rabok csöveken keresztül: az acél 15-ször gyorsabban vezeti a hangot a levegőnél.

Emellett volt némi egészségmegőrzési üzenete a hallottaknak, a rendszeres diszkózene és a fülhallgatózás káros hatásaira hívták fel a figyelmet az előadók. Ha a halló-

szerveink számára már egészségtelen zajból jövünk ki, a fülünk egy ideig még zúg az utcán. Ezt szinte minden tizenéves tudja, de tudni kell azt is, hogy ez a belső fül védekezése a tomboló zene ellen, tehát a zúgás a mi érdekünket szolgálja. Kint viszont a szervezetnek átállási időre van szüksége. És a baj az, hogy ez az átállási idő egyre hosszabb és hosszabb, egy idő után pedig tartóssá válhat azok számára, akik minden hétfőn az erősítő körül próbálnak ellazulni vagy a fülüken bömböltetik a zenét.

Ami a mérnök számára 440 hertz, az a zenésznek oktáv, amit három tercere lehet tagolni. Visszakanyarodtunk egészen Pitagoraszra, aki egy húros hangszereken kísérletezett, s elértük Bachot, akinek már a billentyűs hangszerek egyenletes hangolását is sikerült megoldani. Az előadás során megtudhattuk, hogy az egyes hangközök hogyan arányulnak az alaphanghoz és hogyan szólnak meg a kürtön, vagy a párhuzamos csőszerkezetű trombitán, amihez már nem is lehet hasonlítani az egyenesen szélesedő, ősi szarukürtöket. Végül egy adalék: az ókorban nemcsak a görög birodalomban fejlődött a zenei matematika, de az ősi Kínában is meghatározták az alaphangot, amit „sárga hangnak” hívtak. Hontvári Csabától megtudhatták a hallgatók,

hogy a sárga hang volt a birodalom valamennyi hangszerének alapkiindulása, aki ettől eltért, az a kínaiak hite szerint megvadhatta a csillagokat. Így erre csak a császár adhatott engedélyt, s ünnepkor a zenei versenyek győztesei jutalmul áthangolhatták húrjaikat.

A jobbára hatodikos gyerekek értőn hallgatták mindazt, amit fizikából csak a középiskolában fog-nak tanulni. A tulipános iskola diákja, Fodor Dániel maga is zongorázik, s negyedévesként igyekezett a hallottakat saját játéka lefordítani. Természetesen nemcsak Mozartot, de a rapműfajt is kedveli, ám ha már a hang természetéről beszélünk, a fizika törvényei mindegyikre vonatkoznak.

Szintén zongorázik a győri Bartók-iskola tanulója, Papp Cseperke, aki ötödikesként szokatlan választ adott a kedvencét firtató kérdésre: számára Halmos László a legjobb zenész. Ebből azt is tudhatjuk, hogy a Győrött 1997-ben elhunyt szerző egyházi műveit tanítják a zenei iskolában.

A radnóti Hetyési Anna elmondta: igen élvezte az előadást, leginkább őt is a zongora érdekli, de maga nem játszik, inkább táncra fordítja az időt. Ha kérdezhetne, verseny táncra vagy más sporttal kapcsolatos kérdése lenne a Gyerekegyetem professzoraihoz.