

# AKUSZTIKA

AJNM\_KMTM031

ÖSSZES KÉPZÉSI FORMA

Dr. Wersényi György

Távokozlési Tanszék  
wersenyi@sze.hu

## A TANTÁRGYRÓL

- Heti 2 óra
  - Előadások szerdánként 8:30-10:00, B105 előadó
  - Laborbemutató (stúdiólátogatás) a félév végén opcionálisan
  - Számonkérés: írásbeli vizsga (ZH nincs)
- Az előadások látogatása nem kötelező
- Elégséges határa 50%
- Letöltések (pdf):
  - [http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/Akusztika\\_2020.pdf](http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/Akusztika_2020.pdf)
  - <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/AZM2J.pdf>
  - Kiegészítő jegyzet (ajánlott irodalom):
  - <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/DEK.pdf>
  - <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/ATK.doc>

## TEMATIKA

### Bevezetés

a hang műszaki paraméterei, leírási módok  
hang és hallás alapjai, tulajdonságai

### Zenei hangkeltés, zenei akusztika

### Teremakusztika alapjai

### Rögzítők

analóg és digitális technika  
mikrofonok, hangszárazók  
mágneses és optikai elvű (CD-DVD és társai)  
sokcsatornás és nagyfelbontású felvételek

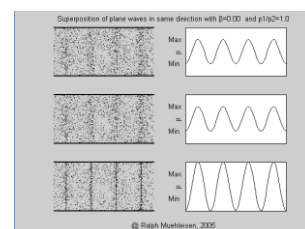
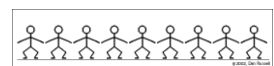
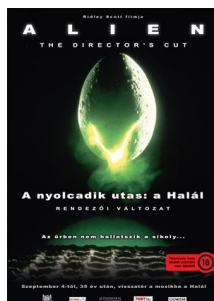
## BEVEZETŐ

### Az átviteli út



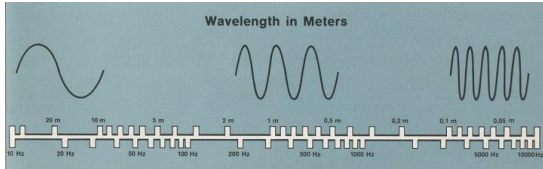
## A HANG

- A hang longitudinális nyomáshullám (hangnyomás).
- A közeg részecskéi egymásnak ütdöve adják tovább az energiát (sűrűsödések és ritkulások).
- Terjedéshez szükség van valamilyen közegre (vákumban, az űrben nem terjed a hang).
- Léteznek fizikai mennyiségek, melyekkel a hangteret leírjuk, megragadjuk.



## FREKVENCIA, HULLÁMHOSSZ

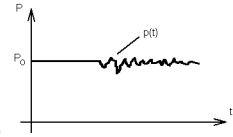
- Frekvencia: másodpercenkénti rezgések száma [1/s], [Hz]
- 1 kHz = 1000 Hz =  $10^3$
- Hullámhossz: egy periódus méterben mért hossza [m]
- $\lambda = c/f$ , ahol  $c$  a terjedési sebesség,  $f$  a frekvencia.  
Következmény: más közegben más hullámhosszú ugyanaz a frekvenciájú hullám.



## HANGNYOMÁS (AMPLITÚDÓ)

- $p = f/A$  a hangnyomás [Pa] [ $N/m^2$ ]  
ahol  $f$  a levegőrészecskék által kifejtett erő az  $A=1\text{ m}^2$  felületre.

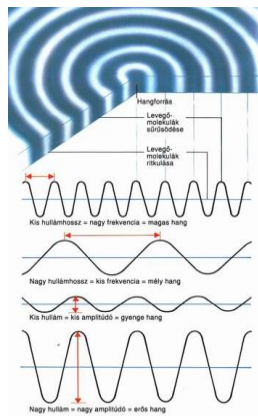
$p(t)$  időfüggvény,  
 $P_0$  atmoszféranyomás  $\sim 10^5$  Pa



A hangnyomás skalár (nem vektor) mennyiség.

1 Pa hangnyomás nagy érték!

- A magas hangok irányítottabbak, de nem terjednek olyan messzire (villám!)
- A mélyhangok hangszóróval nehezen sugározhatók le.



## A HANG SEBESSÉGE

- A hang terjedési sebessége függ a közeg anyagától, hőmérsékletétől, sűrűségétől.

$$c = \sqrt{\frac{1,4P_0}{\rho}}$$

ahol  $P_0$  a  $10^5$  Pa atmoszféranyomás,  $\rho$  pedig a levegő sűrűsége:  $1,3\text{ kg/m}^3$ .  
Ebből  $c = 328\text{ m/s}$ .

Ettől azonban lényegesen is eltérhet a valóságos érték, különösen a hőmérséklet függvényében változó. Szobahőmérsékleten ( $20^\circ\text{C}$ ) a **344 m/s** átlagos értékkel számolhatunk, ha más nincs megadva.

A hangsebesség a 1 fokos hőmérséklet emelkedés esetén 0,6 m/s-al megnő!

## EGYÉB TERJEDÉSI SEBESSÉGEK

Substance	Temperature ( $^\circ\text{C}$ )	Speed (m/sec)
CO <sub>2</sub>	0	258
CO <sub>2</sub>	35	274
Air	0	331.5
Air	20	344
Water Vapor	35	402
Hélium	20	927
Hydrogen	0	1,270
Water	15	1,437
Steel	-	5,000

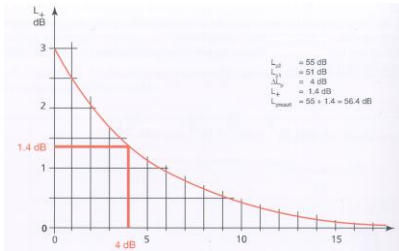
## A LOGARITMUS ÉS A DECIBEL

- A hangnyomászint:  
 $P = 20 \cdot \log(P/P_0)$  [dB]  
ahol  $p_0 = 20 \cdot 10^{-6}$  Pa = 20  $\mu\text{Pa}$ .

A hangnyomászint vonatkoztatási értéke  $p_0$  nem ugyanaz, mint az atmoszféranyomás  $P_0$  értéke! A hangnyomászint angolul Sound Pressure Level, rövidítve SPL.

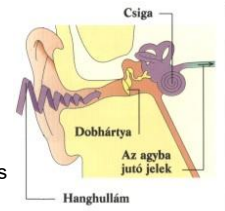
## HANGNYOMÁSSZINTEK ÖSSZEGZÉSE

- 55 dB + 51 dB nem 106 dB, csak 56,4 dB!
- Két azonos hangnyomásszintű hang összegzésekor az eredő +3 dB-el nő:
  - 10 dB+10 dB = 13 dB vagy 100 dB+100 dB = 103 dB.

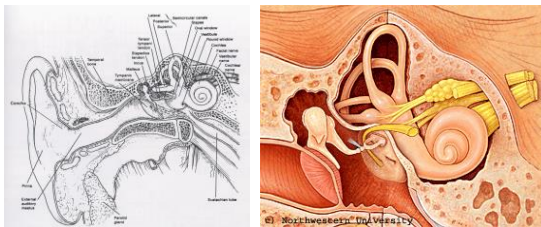


## HALLÁS

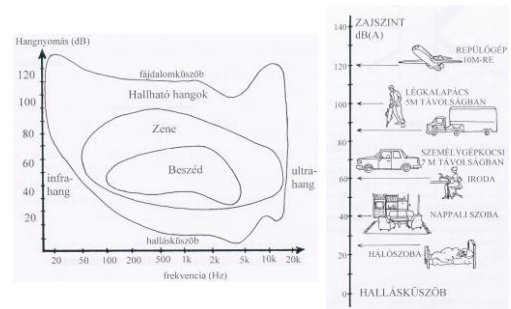
- Agy + fülek
- Hallásküszöb, fájdalomküszöb  
20 Hz - 20 kHz, öregsgel romlik
- Irányhallás: a fül és a felsőtest hatása, idő és szintkülönbség a dobhártya jelében (sztereó hatás alapja)



## A HALLÓRENDSZER



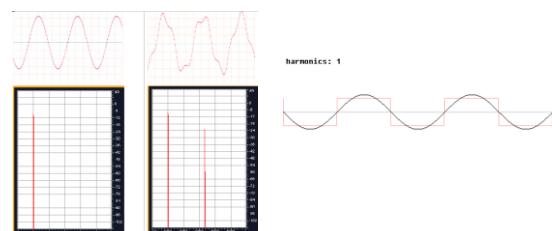
## A HALLÁSTARTOMÁNY



## SPEKTRUM, ALAPHANG ÉS FELHARMONIKUSOK

- A spektrum megmutatja bármely (hang)jel „alkotóelemeit” a frekvenciák szerint csoportosítva.
- Egyfrekvenciás jel = szinuszos, tiszta hang.
- Hangszeres hangkeltés = alaphang és annak felharmonikusai. (Zenei „A hang” = 440 Hz + felharmonikusok)
- Zene = több hangszer egyszerre szól, az alaphangok és felharmonikusok keveredése (folytonos spektrum).
- Mire jó? Analizálni a hangjeleket, zavarok és torzítások kiszűrése, átvitel és hangminőség megállapítása.
- Van rá matematikai módszer (papíron), számítógépes ill. mérőműszer (ún. spektrumanalizátor) és a fülünk...

## AZ 1000 HZ, 1000+3330 HZ JEL IDŐ- ÉS FREKVENCIA-TARTOMÁNYBELI KÉPE

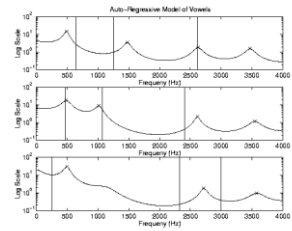


## SÁVSZÉLESSÉG

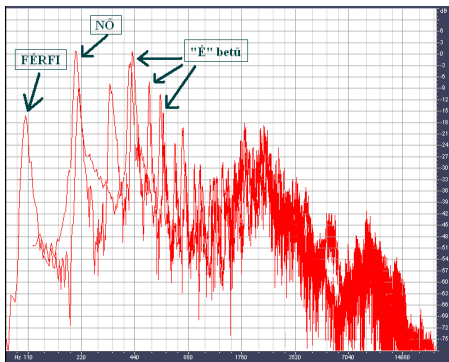
- Sávszélesség az adott jel spektrumának szélessége Hz-ben megadva.
- Pl. a hallásunk kb. 20 Hz – 20000 Hz sávszélességű
- A zene ennél valamivel kisebb (bár lehetnek nagyobb felharmonikusok is).
- A beszédjel kisebb sávszélességű (a telefonátvitel pl. csak 3400 Hz-ig terjed).
- A mozgókép-információ (TV adás) nagyon nagy sávszélességű (6 MHz).

## A BESZÉD

- Legfontosabb akusztikai hangjel
- Energiájának 90% 4000 Hz alatt van
- Alaphang + felharmonikusok (mgh) vagy zajszerű hangok
- Formáns; adott mgh-ra jellemző helyi maximum(ok) a spektrumban
- 10 kHz felett egyénre jellemző részek
- A beszéd hibajavítással bír
- Beszédérthetőség mérhető
- A beszéd teljesítmény átlaga kb. 20µW, a kiabálás elérheti a 100mW-ot. A dinamikatartomány (a leghalkabb suttogástól a leghangosabb kiabálás aránya) kb. 50 dB.



○ „éjféli”



## KOKTÉLPARTI-EFFEKTUS

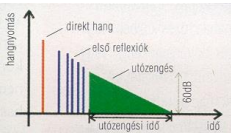
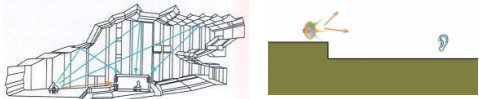

- A *koktélparti-effektus* nevét arról kapta, ahol a leggyakrabban tapasztaljuk.
- Egy síkban, élő beszéd esetén az emberi hallás képes arra, hogy a nagy zsivajban (háttérben sok beszélő) egy adott emberi beszédre oda tudjon figyelni, a többi pedig elnyomni és zajként tekinteni.
- Ugyanezt képes váltogatni, tehát másik emberre odafigyelni.
- A gépek erre nem vagy csak nehezen képesek, és az ember sem képes megoldani ezt a problémát, ha hangfelvételtől próbálja kinyerni az információt.

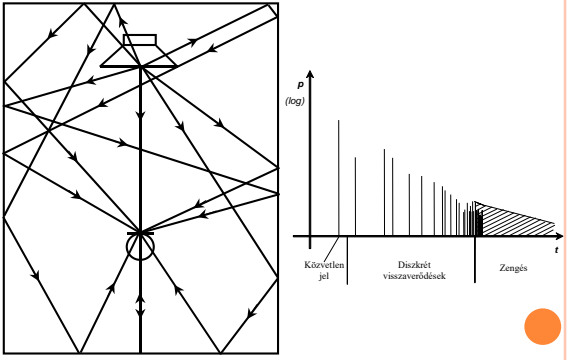
## TEREMAKUSZTIKAI ALAPOK

- Süketszoba és zengőszoba a két véglet, a valóságos termek, stúdiók között vannak
- Mennyire visszhangos?
- Visszhanghatár kb. 50 msec. (17 méter útkülönbség)
- Mérhető, számítással becsülhető mértékegysége van annak, milyen egy terem akusztikája.
- A hang falba ütközéskor: elnyelődik, áthatol, visszaverődik.

## UTÓZENGÉSI IDŐ

- A legfontosabb mérhető paraméter az *utózungési idő*.
- A hangforrás kikapcsolása utáni hangenergia exponenciális „lecsengése”.
- Értéke akár több másodperc is lehet, de stúdiókban 1-1,5 másodpercnél nem lehet hosszabb.
- A hangnyomásszint 60 dB-el esik
- Ezt mérhetjük ill. számolhatjuk is.
- Kis utózungési idő jó beszédérthetőséget tesz lehetővé, de a cél nem a nulla elérése, mert az túl „szárazza” teszi a hangfelvételt. A zenei élményhez szükség van reflexiókra is! A stúdióban frekvencia független utózungési idő a cél, beszédhez kb. 0,5 s., zenéhez másfél másodperc ajánlott.

- Echogram
 
- Geometriai számítások
 
- Mesterséges mérőszobák: süket, zengő.
 

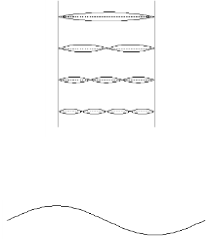


### ZENEI HANGKELTÉS

- Hangszerek: vonós, fúvós, membrános, (elektronikus).
- Vonós: megfeszített húrok pengetése megfelelő üregű testen kiképezve.
- Fúvós: légoszlopok rezgése, fújással gerjesztjük és szabályozzuk a légoszlop magasságát.
- A precíz kialakítás fontos: a fémtölcser alakja, felülete; a hegedű teste, anyaga, lakkrétege. A különböző hangszerek felépítése színezi a hangot.

### A MEGFESZÍTETT HÚR

- A megfeszített húr arra törekszik, hogy a lehető legrövidebb legyen, vagyis egyenes "szeretne" lenni.
- A húr hajlékony, nem csak egyszerre tud rezegni az egész, hanem részleteiben is.
- A közönséges módon megpendített húr hangjának vannak természetes **felhangjai**. Nem vesszük észre őket, mert jól harmonizálnak az alaphanggal, annak felharmonikusai.
- Transzverzális hullámok rezgése: vastagság, megfeszítés, hossz.

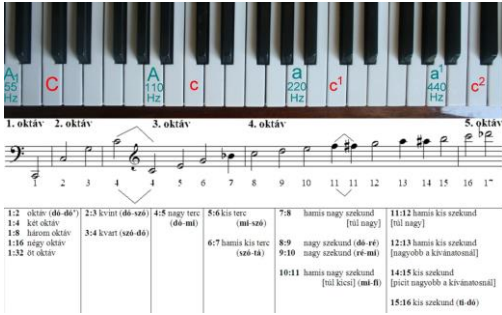


- A rezgő húr hangmagassága függ tehát a feszítéstől, a hosszától és hosszegységre eső tömegtől (sűrűségtől, vastagságtól). A hosszabb húr alacsonyabb hangot ad ki, a frekvencia fordítottan arányos a hosszal:
 
$$f \propto \frac{1}{l}$$
- A lazább húr szintén mélyebb hangot ad ki, a frekvencia a megfeszítés négyzetgyökével arányos:
 
$$f \propto \sqrt{T}$$
- A sűrűbb, „nehezebb”, vastagabb húr mélyebb hangot ad ki, a frekvencia fordítottan arányos a sűrűség négyzetgyökével:
 
$$f \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

### HANGKÖZÖK ÉS A FIZIKA

- Ha a frekvenciák aránya 1:2 akkor ez a két hang egy OKTAV hangközt alkot. Az oktáv a zeneelmélet legfontosabb hangköze, alapegysége. Az oktáv hangközt alkotó hangok nagyon jól szólnak együtt, hasonlítanak egymásra.
- A 2:3 arányú hangköz neve: KVINT. Ez a második legfontosabb hangköz. Ez is nagyon jól szól együtt. A hegedű szomszédos húrjait kvint hangközökre hangolják.
- A 3:4 arányú hangköz neve: KVART. Egy kvint meg egy kvart összesen egy oktavot 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, az 5:6 pedig a KISTERC. A két hangköz összege egy kvint.

## FELHANGARÁNYOK



## HANGSZEREK CSOPORTOSÍTÁSA

- Egyszerű hangszerek
- Húrral működő hangszerek
- Levegővel működő hangszerek

## EGYSZERŰ HANGSZEREK

- Önmagukban hangot adó zőrej hangszerek
  - Minden rugalmas szilárd test mechanikai rezgés esetén hangot ad
  - Gerjesztés: ütés (ráütés, összeütés), vonóval húzás, dörzsölés
  - Szilárd testben lecsengő vagy impulzus-szerű a hang, spektruma sűrű, rendszertelenül elhelyezkedő vonalakból áll
  - Ezek a hangszerek általában „semleges” hangúak, gyakran nincs határozott hangmagasság és kevés a felharmonikus tag

- Példa: triangulum
  - többfajta rezgés egyszerre, amelyek nem harmonikusak egymással
  - Nincs határozott hangmagasság érzet
  - „Hangfekvése” van: 1600-4000 Hz sávban sűrű a spektrumvonalak
  - A triangulum hangja áthat a nagyzenekar hangján? Nem, mert kb. 30 dB-el halkabb, mint a zenekari forte. De egyenes felhangeloszlása kb. 8-16 kHz környékére esik, ahol más hangszerek kevésbé hangosak és fedik el, ezért meghallható.
- Nem olyan jó példa: zongora
  - Van határozott hangmagasság és a spektrum is folytonosabb
  - Húros hangszer, amelyet ráütéssel gerjesztünk

- Példa: bizonyos (kis)dobok, (fém)tányérok
  - Az alaphártya (membrán) feszítésével határozzuk meg az alaphangot és vannak felharmonikusai kis frekvencián (200, 400, 600, 800 Hz), de feljebb tipikusan nem harmonikusak.
  - Réztányér (cintányér): nem felharmonikus részhangok. Anyag, forma és lemezvastagságtól függ. Leghosszabb zengése a nemesfémeknek van (arany). Ez igaz a harangokra is. Érdekesség: összeütéskor kevesebb a felhang (kb. 3 kHz-ig), mint ráütéskor (9 kHz-ig).
  - Az ütősök dallamvezetésre alkalmasak, úgy tűnik, mintha határozott hangmagasságuk volna, önálló dallamképzésre alkalmatlanok (nem hangolhatók klasszikus értelemben, „csak úgy nagyjából”).
  - Gerjesztés: súrlódó összeütés és széttartás, dobverők, seprők.
  - Ritkán: fa összeütős hangszerek, pl. kasztyenyett: száraz, gyorsan elhaló, impulzusszerű hang

- Önmagukban hangot adó hangolható hangszerek
  - Hosszabb, bonyolultabb dallam kiadására alkalmatlanok, mert a nekik tulajdonított hangmagasság néha bizonytalan és összeéveszhető
  - Példa: harangzúgást utánzó lógó csövek, rudak hajlító rezgései. Egy cső légoszlopa is rezeg, és ha a csővel együtt rezonál, felerősítheti azt, ezzel erősítve a hangmagasság meghatározhatóságát (egydimenziós hangolás)
  - Példa: természetes xilofon. Halk, de hallható a zenekarban az impulzusjelleg miatt. A modern xilofon rezonátorai a hangmagasságot stabilizálják és a hatásfokot növelik.
  - Különleges példa: üvegharmonika: dörzsöléssel vagy enyhé ütéssel megszólaltatott „hangolt” üvegpoharak sorozata. Bronzedények peremének dörzsölése is ad ki hangot, a bele töltött vízzel lehet hangolni.



o Gong és harang (kolomp, csengő)

- Kétdimenziós hangolás: vékony lemezalakú ill. köpennyé hajlított fém
- Csörgődob
- Példa: gong.
  - o Több kovácsolt, hangolt körgyűrű egybeolvasztása, ahol egy gyűrű, csigavonalban összekalapált húzal
  - o 40-120 cm átmérő, 2 oktav terjedelem
  - o Csak körkörösen szimmetrikus rezgőmozgást végez, úgy mintha a *pereme be lenne fogva* (ott nem mozog)



• Példa: harang

- o Szabad *peremű* rezgés, itt maximális az amplitúdó, a közepén nem mozog
- o Az akusztikája (fizikája) ismert, jó példa
- o Három része: függesztés, köpeny, ütőnyelv (kívül vagy belül)
- o Ütés után egyetlen, gyors lecsengésű fémes alaphang szólal meg, majd a köpeny rezgései adják a zúgást. A zúgás általában terc, kvint, oktav távolságra van.
- o Lecsengés az öntvény anyagától függ, a hangmagasság az anyagtól és az átmérőtől. Azonos átmérőjű harangoknál a vastagabb köpenyű magasabb hangú (nagyobb a hangereje is); azonos vastagságú köpenyek esetén a nagyobb átmérőjű mélyebb.

o Hártás dobok

- A hártya mellett a rezonátor nagyon fontos eleme
- Fizika (kör alakú feszített hártýára):

$$f_0 = \frac{0,766}{d} \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

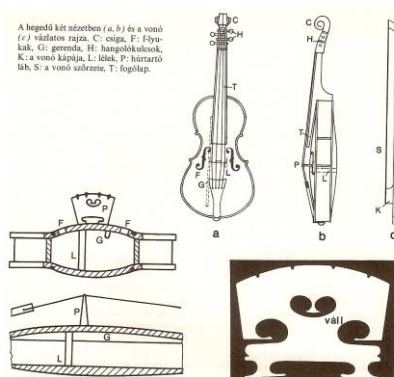
ahol  $f_0$  az alaprezgés (legalsó rezgési módus),  $d$  az átmérő [m],  $F$  a felületi feszítettség [N/m<sup>2</sup>],  $\rho$  a felületi sűrűség [kg/m<sup>2</sup>].

- A húr (egydimenziós rezgés) kétdimenziós megfelelelője, mert a hajlítási merevség elhanyagolható
- A felhangok nem harmonikusak, ezért nem lehet konkrét hangmagasságot rendelni a módusokhoz
- A rezonátor(test) több, egyszerre sűrűn jelenlévő, nem harmonikus felhang(csoport)ot erősít

HÚRRAL MŰKÖDŐ HANGSZEREK

o A húr és a test csatolása

- Hangkeltő a *feszített, hajlékony húr*, melyet pengetéssel, vonással vagy megütéssel mechanika rezgésbe hozunk.
- Hangszer attól lesz, ha megtervezett *teste* (üregrezonátora) is van, mely a felhangokat (hangszínt) erősíti, és a sugárzás irányát is meghatározza
- Fizikai törvényeknek (látványosan) engedelmeskedik
- A húr és a test általában mereven (szilárdan) csatlakozik, de légcsatolás is lehet (a gitár nyílása)
- A *lélek*, nincs rögzítve a hegedű testéhez, de hangszínbén döntő jelentőségű az elhelyezése. Ha nincs, a hegedű gitárszerű lesz pengetéskor. Emellett a *láb* végzi a csatolást a húr rezgése és a test rezgése között. A láb célja, hogy annyi energiát vegyen el a húrtól és adjon át a testnek, hogy a lesugárzás egyenletes maradjon. De annyi energia maradjon a húron, hogy állandó vonással az állandósult rezgés fennmaradjon rajta. Jó esetben, kis hegedűvel, kis erőfeszítéssel is egész zenekari hangtervet egyenértékű hangot lehet megszólaltatni! („kis” energia befektetés azt jelenti, hogy 1% hatásfok mellett, 99% hővé alakul; de ugyánekkora hangerő eléréséhez az operaénekes tízszeres munkát végez).
- Gitár esetén pengetünk, egyszeri pendítéskor nincs folyamatos energiapótlás. Így sok energiát a húrról nem szabad áttenni a rezonátorra. A légcsatolás miatt a szomszéd hűrok gyakrabban berezegnek, amiket le kell fogni (hárfá), vagy felengedni a pedállal (zongora). Ahol nincs lefogás (pedálmentes cimbalom, citera) nem lehet túl gyors dallammenetet játszani, inkább akkordos kíséretre jók.



A hegedű kétféle metszete a láb helyén. Erdősen leegyszerűsített vázlat.

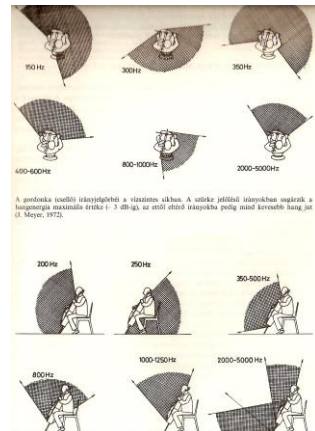
A láb alakja. A húrök az egyes bevéágásokban fekszenek, a két talp pontosan követi a terelőmező domborulatát.

### o Rezonanciák

- A rezonanciák helye, erőssége, sűrűsége és egyenletessége fontos
- Akusztikai jellegét meghatározza: anyag, méret, formai kiképzés
- Mindezeket együttesen kell összehangolni
- A *tető* behangolása kopogtatással lehet, vékonytáccsal nő a frekvencia. Ez a *fő rezonanciája*. (Századmilliméter pontosság kell hozzá). A többi az összeszerelés után a húrok megszólaltatásával kereshető meg. Így állapítható meg az *egész hegedűtest levegőrezonanciája* is.
- Egy hegedű 50 cm-re akár 90-100 dB erősségű is lehet
- Legjobb faanyag a (tető) lucfenyő: rugalmas, kis sűrűségű, hajlékony. A lakkolás azonban nem túl jelentős, csak konzervál, ha nem túl vastag.

### o A test sugárzása, irányhatás

- A különböző frekvenciák különböző mértékben irányítottak, mélyhangok általában kevésbé, magasak jobban
- A hangszer teste (pl. a zongora tetejének kinyitása) erősen befolyásolja a terjedést



### o Vonósok megszólaltatása

- Használhatóság feltétele: a hangképzés tisztasága és pontossága, hangszinbeli és dinamikai árnyalhatóság
- Vonósnál a hangszín szabályozása a legnehezebb, elsősorban a vonó miatt (fűrészfog jellegű)
- A vonósebesség fokozásával növelhető a húr kilendülése (és a hangereje)
- A vonóerő (vonónyomás) fokozással csak a hangszínt (a húr rezgési alakját) lehet befolyásolni, az intenzitást nem.
  - o A lábhoz közel végzett vonóhúzásához egyben nagyobb vonóerő is kell
  - o Van egy legkisebb vonóerő, ami alatt nem képződik zenei hang
  - o Vastagabb húr megvonásához nagyobb erő (nyomás) kell
  - o Vastagabb húrú hangszerekhez rövidebb vonó tartozik
  - o A vonóerő megváltoztatja a felhangok intenzitás-eloszlását: nagyobb erő magasabb felhangokat kiemeli, alsókat elnyomja – az összenergia megváltozása nélkül.
  - o Ezért – tévesen – úgy érzékelheti a zenész, hogy a vonóerővel intenzitást (is) növeli, de ezt csak ő érzékeli, a közönség már nem

### o Vonócsalád

- A négyféle emberi hangfekvésnek megfelelően négy tagú a család: hegedű, mélyhegedű, cselló, nagybőgő
- Eredetileg hattagú volt (brácsa és a cselló között voltak hangszerek)
- Hangolásuk nem egységes, kvintor helyett kvarttorban hangolt a bőgő
- A hegedű az „egységnyi” alaphangszer, a többit ehhez hasonlíthatnánk (a méret pl. nem lineárisan változik a hangfekvéssel)

### o Zongora

- Ütött húrú hangszer
- A csembaló nem őse, hanem mellékága a zongorának, a húrú pengetéssel szólaltatja meg (akusztikailag hasonlóak)
- A húr kilendülése itt is az érintkezés sebességétől függ (gyors leütés, nagyobb húr kilendülést ad)
- A mai zongora 88 billentyűt és ugyanennyi hangot tartalmaz, de dinamikai okokból 243 húrja van: a húr hossz nem pontosan fordítva arányos a hangmagassággal, a túl rövid (10-12 cm-nél rövidebbnek) nem is volna hangereje.
- „Elvben” a legmélyebb húrunk 9 méteresnek kéne lennie, de a feszítés csökkentésével és a húr tömegének növelésével ez 2 m-re rövidíthető. (Pianínónál 105 cm). Manapság megoldható 55 mm-es legrövidebb húr is. Alsó oktávokban több húr együttesen alkot „egyét”.

- A nagyobb feszítőerő merevít, nő a nem felharmonikus hangok száma. A húrok teljes feszítő ereje 30 tonna...masszív szerkezet kell, a fa nem elég!
- A kalapács egyszer és rövid időre érintkezzen a húrral, és gyorsan lehessen ismétetni, a keletkező hang minden sajátosságát a kalapács minősége és sebessége határozza meg.
- A billentyű (és a kalapács) félig visszazengedett helyzetéből újraindítható (mechanikai ismételő-erőelő segítségével)
- A billentés módjával semmiféle hangszínszabályozás nem valósítható meg (ez egy misztikus tévhit). A hangerő a kalapács végsebességétől függ, amit a billentyű megütési erősségével szabályozhatunk, ezt a billentés technikája nem befolyásolja. Az ütési erőssége azonban a keletkező felhangokat, a hangszínt befolyásolja és a kettő egymástól nem választható el.
- A billentés (nagyon nehéz) feladata a hangulatnak megfelelő hangerő-hangszín beállítása, gördülékeny továbbvitele hangról hangra az elért ütési sebesség mellett.
- A hangolás nagyon nehéz, és a „szép” zongora hanghoz „kicsit” el is kell hangolni húrokat, akár 30%-al is az egyenletesen temperált hangokhoz képest. Ennek oka, hogy nem pontosan harmonikus felhangok vannak csak, hanem nem-harmonikusak is. Ott, ahol a harmonikus felhangsor van jelen (orgona), ott a pontos temperált értékeket kell behangolni.



## ○ Egyéb húros hangszerek

- **Hárfa**
  - A zongorával ellentétben, ahol a test rezonanciája nagyon fontos, a hártának a húrrendszere is sugároz jelentősen
  - 31-2960 Hz (6 és fél oktáv átfogás)
  - Pedálok használata: 7 pedállal vagy egyéb más módon hangmagasságot változtat
- **Cimbalom**
  - Ütött húros, de a dinamika és a hangszínezet változtatható rajta
  - A külföldi szerzők sokszor magyar hangszerként említik (népi és cigányzene), noha nem jellegzetesen magyar hangszer valójában
  - Magasabb hangok egy teljes húr két egyenlő részre osztásával ugyanazon húr két felén szólaltathatók meg
  - Helykímélő, viszonylag kicsi, pedálkezelés fontos
  - Fajták: nagyméretű, közepes (húrok száma marad, de rövidülnek és kisebb a táv a húrok között), kicsi (húrok száma kevesebb).

## LEVEGŐVEL MŰKÖDŐ HANGSZEREK

### ○ A megszólaltatás módja

- Közvetlen levegőpótlás: emberi légbefúvás adja az energiát (fúvósok, szájharmonika). Legárnyalabb szabályozás.
- Közvetett: tartály feltöltése, de abból folyamatosan adunk ki energiát (dudák, népi hangszerek). Levegővétel közben is lehet játszani.
- Mechanikai: túl nagyhangszernél, pl. harmónium, orgona.
- **Részei**
  - Hangkeltő szerkezet (becsatóló tag)
  - Rezonátor test (cső)
  - Sugárzó tag (kicsatóló tag)

## ○ A működés elve

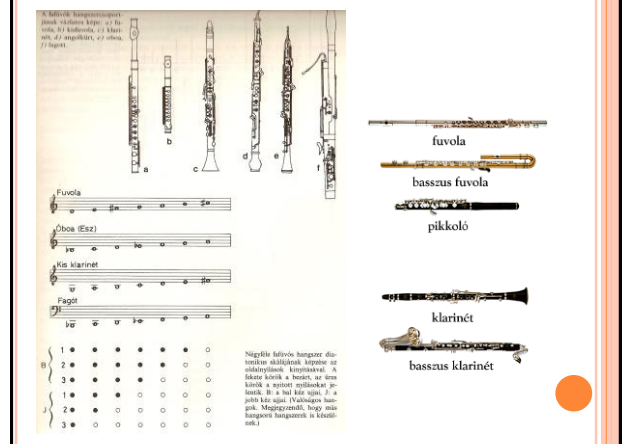
- **Fúvóka-ék:**
  - Egy szűk résen kiáramló levegő ék-alakú akadályba ütközik, s az akadálynak hol az egyik, hol a másik oldalán leválva légörvényeket kelt gyors egymásutánban (ún. peremhang).
  - Egyszerű ajkaspók, furulyák. Csak a befúvás erőssége változtatható.
  - Harántfúvás (fuvola = harántfuvola)
    - Fúvóka = az ajakkal képzett rés
    - Ék = a csőbe vágott nyílás pereme
    - Az áramlás sebessége, az ajakkal képzett rés nagysága és a fúvóka-rés távolság is szabályozható
- **Rezgőnyelves-elv**

A rezgőnyelves bonyolultabb: nádnyelvek, fémmylevek, ajkak és a megfeszített hangszál is ide sorolható

- Egyenylvű nádújs (klarinét, szaxofon). A nádlemezke rezgése szabályozza a hangot. Az ilyen sípok a másik végükön nyitottak kell legyenek. A befúvó nyílás kiképzése fontos, 0,1 mm eltérés már rontja a hangzást. A csőrezonancia visszahatása a nádra erős, befolyásolja azt. A hang indításához egy minimális nyomásra szükség van.
- Kettős nádújs (oboa, fagott). A kettős nyelvek rezgése szimmetrikusabb, felhangtartalma kisebb, felhangjainak intenzitása erősen csökken, a kiemelkedő formánsok megjelenése a hangszertest tulajdonsága.
- Tölcséres fúvókájú hangszerek (kürt, trombita, harsona, tuba). A hangforrás az ajkak rezgése, együttműködik a tölcsérrel. A test visszahatása csekély. Felhangokban gazdag a rezgés. Erősebb befúvás esetén a hang magassága nő.

## FUVOLA (PÉLDA)

- Az egyszerű cső helyett, nyílások vannak fúrva rajta (fafúvósok), kromatikus skálákat lehet rajta játszani viszonylag nagy terjedelemben
- Ha minden lyukat lezárva tartunk, akkor a hangszer legmélyebb hangja szólal meg. A lyukak kinyitásával, mivel megváltozik a csőben a levegőoszlop hosszúsága, módosítható a hangok magassága. Minden fafúvós hangszer elve a furulyához hasonló.
- A fúrt lyukak méretével és elhelyezkedésével az alaphang magassága szabályozható (a fúrt lyuk felfelé emeli a cső alaphangjának magasságát).
- Különböző módon elhelyezett lyukak minden fafúvós hangszer hangját megváltoztatná.
- Klasszikus fuvola: 70 cm-es egyenes cső vagy kissé keskenyedő végű. Három darabból áll, ébenfa, hat hangoló lyukkal, d1 alaphang. A mai billentyűs fuvola: h-vel kezdődik, c4-ig vagy d4-ig tart.
- A fuvola akusztikailag mindkét végén nyitottnak tekinthető csőve esetén mindig nagyjából a megszólaló hang hullámhosszának fele. Átfúvással, tehát a megfúvás módjának megváltoztatásával a rezgő levegőoszlopot másféle, egy vagy két oktávval magasabb hangnak megfelelő rezgési módok felvételére lehet készíteni.
- A legfűrgőbb fafúvós. Mélyebb változata az altfuvola, de van egészen mély hangú fuvola is (hajlított csővel). Kistestvére a pikkoló. Egészen éles, magas hangja van. A zenekarban általában 1-3 fuvolista foglal helyet.



#### o A klarinét

- Leggyakrabban fából készül.
- Szemben az oboával, a fúvóka egy nádlemezéből áll. A nád rezgése adja meg a klarinét hangjának alaptónusát. A hangszer megfújása viszonylag könnyű, de a hangszer szerkezete, billentyűrendszere rendkívül bonyolult.
- Gyorsasága megközelíti a fuvaléét. A hangerő különböző árnyalatai tekintetében a klarinét a leggazdagabb fúvós hangszer.
- Hangterjedelme igen nagy. Képes kísérő feladatok ellátására és nagyívű melódiák megszólaltatására.
- A nagyobb szimfonikus zenekarokban két klarinétos és egy basszusklarinétos szokott helyet foglalni

#### o Az oboa

- A levegő egy nádból készült fúvókán jut a hangszer testébe. A fúvóka két egymással szembe fordított nádnyelvből áll. A két nyelv között igen kis rés keletkezik, ezen kell átpréselni a játékosnak a levegőt. Fizikai értelemben ez az oboajáték legnehezebb és legfárasztóbb része.
- Az oboa nagyobb testű rokona az angolkürt. Ennek hangja mélyebb, tölcsére körteszzerűen kitágult.
- A zenekarokban általában két oboa és egy angolkürt található

#### o A fagott

- 3 méteres U-alakú cső, S-alakú vékony fémcső
- Ehhez a fémcsőhöz illeszkedik egy kettős nádnyelv, mely ugyanolyan, mint az oboa kettős nyelve, csak valamivel nagyobb annál.
- Egészen mély hangok megszólaltatására alkalmas a kontrafagott, mely kiegyenesítve közel hat méter lenne. Így is másfél méter magas, a rajta való játék különleges felkészültséget és erőt igényel.
- A fagottok párban szerepelnek a szimfonikus zenekarban, kontrafagott rendszerint egyedül

#### o Tölcséres fúvókájú hangszerek működése

- A tölcsér szerepe: alakja határozza meg, hogy adott frekvencián mennyi energia kerül lesugárzásra ill. verődik vissza. A mélyeket gyengébben, a magasabbakat erősebben sugározza ki a térbe.
- Leghosszabb tölcsére a trombitának van
- Ha egy rézfúvót erősebben fújunk, a hang nem ugrik át más rezonanciára, hanem további harmonikus felhangok jönnek rezgésbe (a frekvenciát az ajakrezgés diktálja)
- A szelepek csődarabok betoldását jelentik, a rezonanciák fél vagy egész hanggal lejjebb csúsztathatók. A harsona esetén U-alakú csőtoldalékat mozgatunk, vegyes hangolású: részben a fafúvósok hangolását idézi, de tölcséres lesugárzása is van.

#### o A test sugárzása, irányítás és hatásfok

- A fúvósok hatásfoka is rossz, a levegő testen való sűrűdési vesztesége jelentős, hőtermelés is van, ami az energia 70%-át felemészti
- Legnagyobb veszteséget a cső jelenti, ráadásul magasabb frekvenciákon a veszteségek nagyobbak
- A kicsatoló tölcsér ezen valamit javítani tud
- Csak a harsonának és a tubának van jelentős akusztikai teljesítménye a teljes zenekarhoz képest (5 Watt)
- Fafúvósoknál elsősorban a nyitott nyílások sugároznak, kevésbé irányítottak.

- Rézfúvósoknál a tölcsér a végén van a sugárzás, magas frekvencián különösen irányítottak.

#### o A rézfúvósoknak

- nincsen nádsípjuk,
- hiányoznak róluk azok az oldalnyílások is, melyek a fafúvósok esetében a hangmagasság szabályozására szolgálnak,
- hangok képzését az ajak végzi egymagában (minél feszesebb, annál magasabb a hang),
- a különböző fúvókához más-más színerezetű hang tartozik, cserélhető,
- a trombiták és a kürtök hiányos hangkészlettel rendelkeztek, ennek kiterjesztése szelepekkel, nyitható-zárható toldalékokkal lehetséges.

### ○ Harsona

- A harsona a rézfúvós hangszerek között kivételnek számít, mivel kezdetől fogva képes teljes skálákat játszani, mert mozgatható, csúsztható tolcsoval szerelték fel: az alaphangját meghatározó csőhossz játék közben megváltoztatható.
- A nagy zenekarokban három harsona szokott szerepelni.
- A drámai csúcspontok kiemelésére alkalmas.

### ○ Kürt

- A kürt kóralakban hajlított cső, széles - körülbelül harminc centiméter átmérőjű - tolcserrel. A teljes csőhossz megközelítőleg három és fél méter.
- A szelepek bevezetése hozta el a változást.
- Eleinte kettőt, később négy kürtöt írtak elő a zeneszerzők, igen sokoldalú, széles hangterjedelmű, lágyan is szólhat.
- Különleges irányítottaság: jobbra és hátra sugároz, nem irányítjuk a közönség felé
- Hangfok alkalmazása gyakori (parafadugók), amik nem hangolnak, csak csillapítanak

### ○ Tuba

- A legmélyebb hangú rézfúvó hangszer.
- Hatalmas, egyenletesen szélesedő tolcserre felfelé néz. A hangszercső teljes hossza öt méter.
- Általában laza ajaktartással kell megszólaltatni, ami a tubának lágy, gömbölyded hangot kölcsönöz.

### ○ Az orgona sípjai

- Minden hanghoz egy vagy több síp tartozik, de egy sípon nem állítható többféle hang
- A befújás erőssége minden sípra állandó
- Lehet ajaksípszerű, nyelvcsípszerű gerjesztés, fém vagy fasíp
- Légbefúvással szólal meg, szelepek kinyitásával érjük el (a billentyűzet segítségével)
- Általában 5 kézi és egy lábbal (pedálos) kezelhető billentyűsor
- Nagyon bonyolult szerkezetek
- Nagy a teljesítmény igény, akár 4 - 4,5 kW mechanikai teljesítmény is szükséges lehet, a hatásfok azonban kb. 0,7%
- A teljesítmény a sípok számától is függ, léteznek 16000-33000 sípos is, ami tízszeres teljesítményt igényel

### ○ Az énekhang

- A hangszalagok keltik, működése szelepszzerű.
- A „hangszer” csöve a garat-, száj- és orrüreg együttese
- „Nádsíp” elvű a hangkeltés
- A hangmagasságot a hangszalag rezgő hossza, feszítettsége határozza meg
- A hangerősséget a felhasznált levegőmennyiség és a hangszalag vastagsága határozza meg
- Az énekhang erősen irányított
- Közele akusztikus (pszichoakusztikus) visszacsatolás van a saját fülhöz, hiba formájában (saját hangunkat nem ismerjük fel a felvételeken).

### ELEKTRONIKUS HANGSZEREK

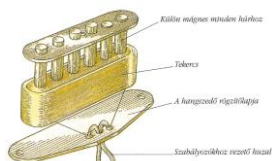
- Nem akusztikus elvű, matematikai szabályok nincsenek.
- A mechanikai rezgések (általában húrok) elektromos jellé alakíthatók, de erősítés szükséges.
- Leggyakoribb:
  - Gitárok
  - Billentyűsök
  - Hegedű
  - Effekt berendezések: torzítók, nyávogók, stb.
- Van félelektronikus-félakusztikus
- Digitális hangkeltés, szintetizálás
  - Computer zene, programozás: dobok, ritmus
  - MIDI, szemplerezés

### ELEKTRONIKUS GITÁR

- Hangszedő (pick-up) = a hanghullámokat elektromos jellé alakítja, több is van belőle. A húr rezgése változtatja a mágneses teret, amely feszültséget indukál.
- Tremolókar = nyávogó: a kar mozgása megdönti a húrlábat, ami a húr feszességét változtatja meg, amit csúszkálva követ a hangmagasság is.
- Erősítőbe „jack dugóval” dugjuk be. Hat fém húr, amelyek nincsenek túlságosan megfeszítve, így könnyebben nyomhatók az érintkezőkhöz.
- A nyak keskenyebb az akusztikus gitárnál, így hüvelykujjal könnyebb fogást találni.
- A test tömör, nincs akusztikus szerepe (csak tartja a húrokat).
- Általában van szóló, ritmus és basszusgitár. Van félakusztikus is, ahol van üreges test is.
- Hangerő és hangszínszabályzó gombok vannak rajta.

### Hangszedők

Az elektronikus gitáron általában két vagy több hangszedő van, amelyeknek kombinálásával különféle hangzásokat lehet létrehozni. A hurok rezgése állandóan változtatja a hangszedőkben lévő mágnesek mágneses terét. A változó mágneses terek változóképes elektronos jeleket gerjesztenek a hangszedő tekercsében. Így a hangszedő az egyes hurok rezgését követően alakítja át a rezgés erősségétől függő elektromos jellekké. Ezek felerősítésük után rezgésbe hozzák a hangszert, amely megszólaltatja a gitárt.



## MŰSZAKI BERENDEZÉSEK, STÚDIÓTECHNIKA

- Analóg-digitális technika
- Mikrofonok
- Hangszórók
- Stúdiótechnika
  - Felvételek
  - Hangerősítés
  - Lejátszás
  - Rájátszás
  - Sokcsatornás technika



## ANALÓG TECHNIKA

- Analóg technika, ahol az észlelt jelet időben és amplitúdóban egyaránt „folytonosan” kezeljük, rögzítjük.
- „Nincs benne elvi hiba”.
- Érzékeny nagyon a zajokra, zavarokra. Ún. „alakhú” átvitelre van szükség.
- Nincs benne semmiféle hibajavítás.
- Másoláskor a minőség romlik, nem létezik két egyforma másolat.
- Számítógépen és optikai rögzítőkön (CD, DVD) nem tárolható és használható.
- Át kell-e térni a digitális technikára?

## A DIGITÁLIS TECHNIKA

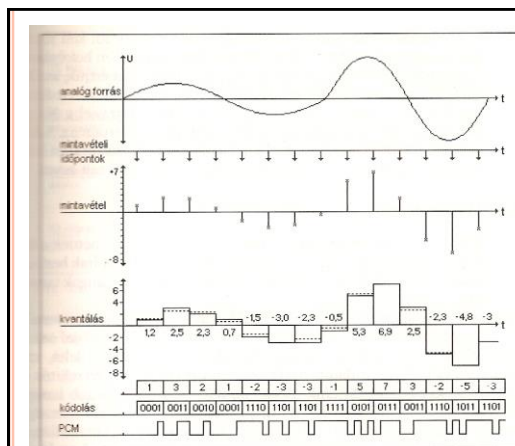
- Digitális technika célja:
  - Nem a minőség javulása (lehet rosszabb az analógnál)
  - Elvi hiba is van benne (kerekítés miatt)
  - Reprodukálhatóság! Minőségkonzerválás!
  - Analóg-Digitális átalakítás után rögzítés és/vagy átvitel, majd a végén Digitális-Analóg átalakítás.
  - Nem cél az alakhú átvitel, csak döntéskor kell jól dönteni. **Hibajavítás mindig része!!!**
  - Copy? Master? Clone?

## ANALÓG-DIGITÁLIS ÁTALAKÍTÁS (1)

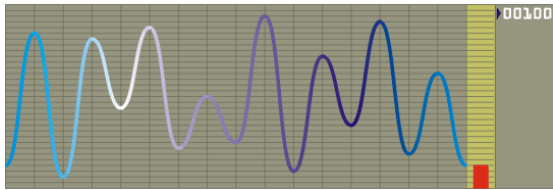
- Mintavétel (sampling): az analóg jelből mintát veszünk adott időközönként. Így **időben diszkrét** mintasorozatot kapunk, amely számsorozat (még) végtelen sok tizedestörtből áll.
- Mintavételi törvény: az analóg jel legnagyobb frekvenciájú tagjánál legalább kétszer gyorsabban kell mintát venni, ekkor a jel a számsorozatból visszaalakítható.
- Ahhoz, hogy rögzíthessünk, ezeket az értékeket kerekíteni kell.

## A/D ÁTALAKÍTÁS (2)

- A kerekítés során a fenti értékeket a legközelebbi lépcsőre kerekítjük. Ezzel véglegesen elvesznek, tehát veszteséget, vissza nem állítható hibát okozunk.
- A kettő együtt működik, és a cél az, hogy ezeket a hibákat már ne vegyük észre, ne lássuk meg a képen, ne halljuk meg a hangban.
- A túl finom felbontásra nincs szükség.



## AZ ANALÓG JEL DIGITÁLIS LEÍRÁSA



## D/A ÁTALAKÍTÁS

- A folyamat végén a digitális jelet analóggá kell visszaalakítani (az erősítő és a hangszóró számára).
- Ehhez egy egyszerű szűrő szükséges.
- A folyamat bonyolultabbá is válhat a minőség javításának érdekében.

## BITSEBESSÉGEK

- CD hang:  $44100 \times 16 \times 2 = 1,4$  Mbps. (stúdióban 48 kHz is van)
  - 20 Hz – 20000 Hz, nagy dinamika (kb. 16x6 dB)
  - PCM (és még 2x ennyi egyéb adat!)
- Beszédátvitel (telefon):
  - Redundancia, hibajavítás, beszédérthetőség paraméter
  - 8 bit x 8 kHz = 64 kbps
  - 300-3400 Hz

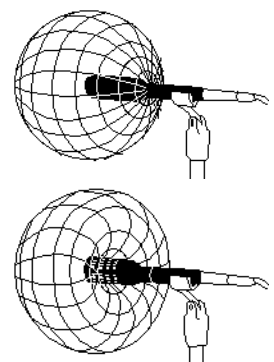
## MIKROFONOK

- A mikrofonok jellemzésére az érzékenységet, az érzékenység frekvenciamenetét és az iránykarakterisztikát szokás megadni.
- Az *érzékenység* az egységnyi hangnyomás hatására leadott feszültséget jelenti. (mV/Pa)
- A *frekvenciamenet* az érzékenység frekvenciafüggését jelenti.
- Az *iránykarakterisztika* a beérkező hanghullámok irányától való érzékenységfüggést fejezi ki.

## ÁTVITEL ÉS IRÁNYFÜGGÉS

- Az *átviteli függvény* az érzékenység frekvenciamenete. Az érzékenység adja meg, hogy egy mikrofon adott hangnyomásra (a membránján) mekkora kimenő feszültséggel válaszol.
- Minél nagyobb ez az érték, annál jobb a mikrofon
- Minél nagyobb a membrán felülete, annál nagyobb az érzékenység, hiszen több hanghullámot tud „befogni”, de egyben jobban zavarja is a hangteret.
- Az iránykarakterisztika a legfontosabb paraméter, az átviteli függvény térbeli változást írja le: különböző irányokból milyen a vétel erőssége (mint egy antennánál). Általában szintfelületekkel ábrázoljuk, ahol az azonos vételi pontokat kötjük össze, hasonlóan a térképeken, ahol az azonos magasságú pontokat kötjük össze.

- Kisfrekvencián kevésbé irányítottak a mikrofonok, míg nagyobb frekvencián egyre jobban.
- A gömbkarakterisztika mérés célú általában
- A legjobban kedvelt kis mértékű irányítottágú karakterisztika a vese (kardioid). Ezek szemből maximális, oldalról és hátulról csökkentett érzékenységűek.
- Létezik még a nyolcas karakterisztika, de ezt manapság ritkán alkalmazzák.



## DINAMIKUS MIKROFON

- A *dinamikus* mikrofonok kevésbé jó minőségűek, mint a kondenzátor mikrofonok.
- A dinamikus hangszóró inverze: a hangnyomás által megmozgatott membránhoz csatlakozott lengőcsévé az állandómágneskör részeként mozgásba jön a légrésben. Ennek hatására feszültség indukálódik benne, a membránmozgással arányosan.
- Olcsók és tápfeszültséget sem igényelnek.
- Hangosítási célra még megfelelő, de stúdiófelvételre már kevésbé, mérési célokra pedig egyáltalán nem.

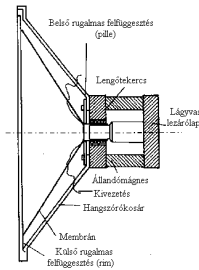
## KONDEZÁTOR MIKROFON

- Elve, hogy a membrán (fémfólia) és az ún. alsó fegyverzet mögöttes egy lötyögő fegyverzetű kondenzátort alkot, melynek légrése változik a membrán mozgásának hatására.
- Ezáltal a kondenzátor kapacitása is (a távolsággal fordítottan) arányosan módosul.
- DC feszültséget igényelnek (ún. előfeszítést vagy prepolarizációt)
- Erősítőt is igényel (pre-amp, előerősítő).
- Hangstúdióban inkább ilyeneket használunk, mérésre pedig mindig.



## HANGSZÓRÓK

- A *dinamikus* hangszóró
- Az állandó mágneses mágneskör légréseiben található a lengőcsévé, ami a membránhoz csatlakozik. Ez tengelyirányúan mozog. A mágneskörhöz rögzített kosár tartja a rimet. A kivezetéseken a tekercsbe áramot bocsátunk. Tengelyirányú erő keletkezik. Az erő mozgásba hozza a membránt és ezáltal hanghullámokat kelt.
- Kiseb minőségi igényekre (AM rádió) elegendő egy hangszóró. A teljes hangfrekvenciás sávot több - két vagy három - különböző frekvenciasávra tervezett hangszóróval lehet lecsúsztatni.



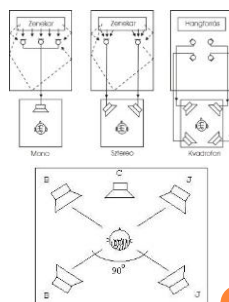
## HANGSZÓRÓK BEÉPÍTÉSE

A dinamikus hangszórót dobozba építjük, amivel erősen befolyásoljuk annak átviteli függvényét. A doboz feladata kettős: egyrészt mechanikai tartószerkezet, másrészt elszigeteli a membrán két oldalát egymástól.

- Szokás még a mélyfrekvenciás átvitel növelésének érdekében reflexnyílást nyitni a dobozra.
- A fejhallgatók speciális, csak a fülre korlátozódó hangteret állítanak elő.

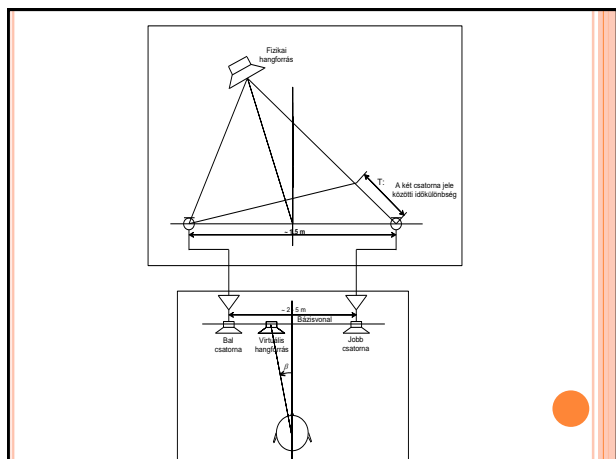
## A HANGTÉR ELŐÁLLÍTÁSA

- Hangszórókkal vagy fejhallgatóval
- Felvétel: mikrofonokkal.  
Mono = 1 csatornás, nincs benne irányinformáció.
- Manapság: sztereó vagy 5.1 (sokcsat.)

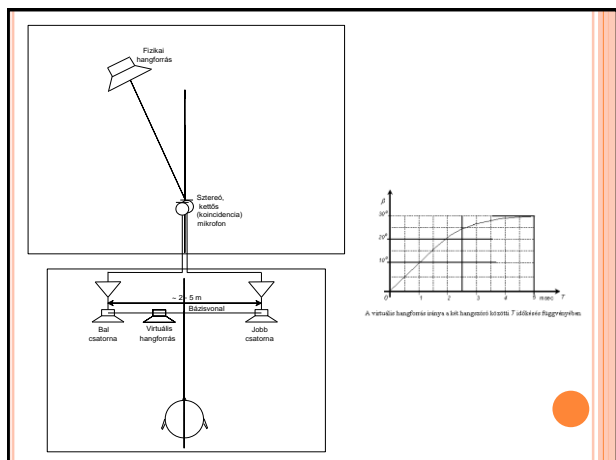


## INTENZITÁSOS ÉS IDŐKÜLÖNBÉSÉES SZTEREOFÓNIA

- Régen két lehetőség állt rendelkezésre (elvi szintű tárgyalás):
- Az ún. *időkülönbéséges sztereofónia* alapja, hogy a két fülbe a jel **nem azonos időben** érkezik be (de azonos hangerősséggel). A forráshoz (most feltételezünk egy darab hangforrást) közelebbi fülbe előbb fog a hang beérkezni.
- Ha az időkülönbség túllép 1-10 ms-ot, már csak egyetlen forrást fogunk hallani akkor is, ha a másik (hangszóró) szintje akár 6-10 dB-el is hangosabb (érdemes otthon kipróbálni, hogy közelítünk az egyik hangszóróhoz, és egy idő után már csak azt fogjuk hallani, a másikat nem).
- 50 ms felett visszhangot fogunk érzékelni (echoküszöb).



- Az ún. *intenzitásos sztereofónia* során a fülbe azonos időben érkezik két jel, amelyek hangerőssége, **hangintenzitása különböző**, azt fogjuk közelebbinek hallani, amelyik hangosabb.
- Két mikrofont egy pontban (koincidencia mikrofon) helyezünk el, de a nem gömbi iránykarakterisztikákat adott nyílásszögűre állítjuk, akkor a mikrofonok ezen érzékenységéből adódóan létre fog jönni a térérzet (S-M jelleggel).
- Fontos, hogy ilyenkor (mivel a két mikrofon egy pontban van, tehát időkülönbség nem léphet fel), a térérzet a két csatorna közti intenzitás különbségből fog adódni, aminek fizikai oka a mikrofonok iránykarakterisztikája!
- Két hangszóró esetén 2 dB különbség már érezhető, 20 dB pedig teljes eltolódást okoz a hangosabbik irányába.
- A valóságban a két jelenség a fülünkben egyszerre lép fel: a közelebbi hangforrás hangosabb is lesz és egyben hamarabb is érkezik be a fülbe a hangja.
- Manapság sokcsatornás felvételtől keverik ki a sztereót.



## HANGERŐSÍTÉS, HANGRÖGZÍTÉS

- Hangerősítés (hangosítás): élő zene valós-idejű, helyben történő felhangosítása.
- Hangrögzítés: hordozón történő felvétel (utólagos korrekciókkal), konzerválás céljából.
- Egyik nagy hiba: a térhatás részleges vagy teljes elvesztése hangosításkor, hiszen a tényleges hangforrás a hangszóró(k)ból jön. Leggyakrabban több mikrofont, de egyszerű sztereó hangosítást alkalmaznak.
- Be kell sugározni a termet mindenhol kb. azonos hangerővel és frekvenciákkal (irányhatás???)
- Probléma a terem zengése, mert a lejátszáskor jórészt a lehallgató helység akusztikája (nem pedig a felvétel) fog dominálni. Minél nagyobb a lehallgató szoba utóhangsík ideje a felvételihez képest, annál igazabb ez.

### ○ Természetes elhelyezkedés alapján történő egyensúly beállítása:

- A zenekari ültetésrend hasonló mindenhol, de ténylegesen a terem kialakítás (magassága, pulpitusok, dobogók, nézők száma stb.) befolyásolja.
- Vonósok, fúvósok és ütősök egyensúlya legyen meg.
- Legkisebb hangerejű és legkevésbé irányított vonósok sokszorozódnak és elől helyezkednek el. Egyszeres fúvósokhoz 6-8 első- és másodhegedű, 4-6 brácsa és cselló, 2-4 bőgő kell.
- Példa: Wagner: négyes fúvósok (15 fa + 21 réz), + 8 ütős + 6 hárfa + 14 + 12 + 12 + 8 + 6 vonós = 102 hangszer!
- A vonósok egymás közti helyzete sem közömbös, az elsőhegedű mindig a karmester balján van. A csellók „félíg szemben” vannak a legjobb helyen, a másodhegedűk a második sorban. Nagybőgők a jobb oldalon (ún. német ültetés rend).
- A fúvósok előbb ülnek, mint a rezesek.

- Az énekkar (ha van), mindig leghátul helyezkedik el, általában magasabban.
- A kürtök a karmestertől balra és ott ülnek, ahol hátrafelé nincs takarás.
- A teremben nem lesz mindenhol egyforma a zenei minőség, élmény, hangerő. Túl távol és túl közel nem jó, és szimmetria sem lesz (hisz a zenészek sem szimmetrikusan ülnek).
- A legjobb hangzást azt kapja, aki látja is a teljes zenekart (különösen operában, zenekari ároknál jelentős). Aki elől ül, sok basszust (elhajlasi jelenségek) és kevés magasat fog kapni. Itt az ültetés annyira nem fontos és változatos is lehet.
- Maga a közönség is von el sok energiát (elnyelés). Az emelkedő ülősorok a legjobbak akusztikailag (ebből a szempontból) és a rálátás miatt is.

## ○ Hangrögzítés

- Legfontosabb tagok: mikrofonok, kábelek, erősítők (ezek hangosításnál is fontosak), valamint a rögzítő berendezés. Továbbá: a lehallgató helység és annak hangsugárzó.
- Felvételek **hangszórós** visszaadásra és nem fejhallgatásra készítettünk (CD, kazetták)!
- Fejhallgató felvételekhez speciális műfej kell, amely bábu fülében elhelyezett mikrofonok rögzítik a felvételt
  - Ez hangszórós lejátszáshoz nem megfelelő
  - Minden hallgatóhoz egyénileg kéne beszabályozni és kiegyenlíteni
  - Kereszthallás (crosstalk, crossfeed) kérdése a fontos!

## RÖGZÍTŐK

- A stúdiótechnika legfontosabb része a hang (és a kép) megfelelő minőségben történő rögzítése. Az ehhez szükséges felvevő berendezéseket rögzítőknak hívjuk.
- Léteznek mágnesszalagos analóg és digitális, merevlemez alapú vagy memóriakártyás, illetve optikai elven rögzítő lézerlemez rendszerek.

Analog	Digitalis	
Fonográf	-	Mechanikai
Hanglemez (bakelit)	-	
Sztereó magnó (38 vagy 19 cm/sec szalagseb.)	Nagyszámítógép	Mágnesszalagos
Sokcsatornás magnók	Altridó (pszeudo-video): SONY PCM UMATIC BETA	
-	Állófejes magnók (DASH)	
-	Forgófejes magnók: A-DAT R-DAT	
-	HDD (vincseszter), „nem lineáris rögzítők”	Mágneslemez
-	CD, DVD, MOD stb.	Lézerlemez (optikai)

- A mai világ a stúdióban szinte teljesen digitális és „nem lineáris”.
- A felvételkészítés és lejátszás nem soros (lineáris) hozzáférést, hanem párhuzamos.
- Nem kell a szalagot csévélni, hanem a merevlemez tetszőlegesen, gyorsan lehet ugrani, ami növeli a munka gyorsaságát.
- A mai kor lehetővé teszi a hangfeldolgozáshoz szükséges háttérkapacitás és számolási igény otthoni elérését is, így ez már nem akadály.
- A végleges tárolás azonban optikai lemezeken történik.

## ANALÓG ÉS DIGITÁLIS SOKSÁVOS RÖGZÍTÉS

- Kezdetben a sztereó felvételeket két mikrofonnal készítették.
- A többcsatornás rögzítés azt jelenti, hogy annyi csatornánk van, ahány mikrofonunk. Ez tipikusan 4, 8, 16, 24, 48 stb. csatornaszámok szoktak lenni.
- A szalagosokat lineáris editoroknak is nevezzük, hiszen a hozzáférés az adatokhoz, a csatornák egyes részeihez soros módon történik: oda kell csévélni a szalagot. Ez nagyon sok időbe telik és pontos időköz szinkronizációt igényel. Lineáris editor tehát lehet analóg és digitális is, de mindenképpen szalagos. A nem lineáris editorok ennél jobbak, ez a színvonaluk a hard-disk alapú merevlemez rögzítőknak. A PC otthon is ilyen eszköz.
- Az ilyen felvevőknek (szalagos esetben) annyi lejátszó, felvevő és törlőfeje van, ahány csatornán dolgozik. A hozzá tartozó szalag is lényegesen vastagabb a megszokottnál, mert párhuzamosan több csatorna fut.

- A sztereó hangkép nem a felvétel során áll elő, hanem a hangmérnök keveri ki a keverőasztalnál a felvett csatornákból.
- A nagy előnye a dolognak, hogy nem kell egyszerre zenélni (rjátszás).
- Különösen az énekes szokott többször próbálkozni, és akár tucatszor is feléneklí ugyanazt a számot, majd kiválogatják belőlük a legjobban sikerült részeket.
- Az utólagos korrekciós lehetőségek is szélesebbek: nem kell az egész felvételt, elég az adott sávokat változtatni, vágni, erősíteni, sebességet változtatni, effektusokkal dúsítani.
- Van undo!
- A csatornaszámmal együtt a szalag szélessége is növekedett (4 sávhoz 1 collos szalag, 24 sávhoz már 2 collos kellett).
- Manapság merevlemezeken vannak.