

Akuszтика 2

Dr. Wersényi György

Távoktatási Tanszék
C 609
wersenyi@sze.hu

A tantárgyról...

- Heti 2 óra
 - előadások hétfőnként 5.-6. óra, B2
- Számonkérés: írásbeli vizsga
- Elégséges határa 50%
- Előadások látogatása nem kötelező
- Letöltések (pdf):
<http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/index.html>

Tematika

Hangszerek tárgyalása, zenei akusztika

Hangszerek csoportosítása, felosztása, típusai, működésük

Hangerősítés, hangrögzítés (stúdiótechnika)

Hangszerek csoportosítása

- Egyszerű hangszerek
- Húrral működő hangszerek
- Levegővel működő hangszerek

Egyszerű hangszerek

- Önmagukban hangot adó zörej 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, melyek nem harmonikusak egymással
 - Nincs határozott hangmagasság érzet
 - „Hangfekvése” van: 1600-4000 Hz sávban sűrűk a spektrumvonalak
 - A triangulum hangja áthat a nagyzenekar hangján? Nem, mert kb. 30 dB-el halkabb, mint a zenekari *forte*. De egyenletes felhangeloszlása kb. 8-16 kHz környékére esik, ahol más hangszerek kevésbé hangosak és fedik el, ezért meghallható.
- Példa: zongora
 - Van határozott hangmagasság és a spektrum is folytonosabb

– 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, pld. kasztyenyett: száraz, gyorsan elhaló, impulzuszerű hang



■ Önmagukban hangot adó hangolható hangszerek

- Hosszabb, bonyolultabb dallam kiadására alkalmatlanok, mert a nekik tulajdonított hangmagasság néha bizonytalan és összetéveszthető
- Példa: harangzúgást utánzó lógó csövek, rudak hajlító rezgései. Egy cső légszlopa 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* 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.



■ Gong és harang (kolomp, csengő)

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



– Példa: harang

- *Szabad peremű* rezgés, itt maximális az amplitúdó, a közepén nem mozog
- Az akusztikája (fizikája) ismert, jó példa
- Három része: függesztés, köpeny, ütőnyelv (kívül vagy belül)
- Ütés után egyetlen, gyors lecsengésű fémcs alaphang szólal meg, majd a köpeny rezgései adják a zúgást. A zúgás általában terc, kvint, oktáv távolságra van.
- 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.

■ Hártás dobok

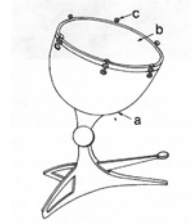
- A hártya mellett a rezonátor nagyon fontos eleme
- Fizika (kör alakú feszített hártára):

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

ahol f_0 az alaprezgés (legelső rezgési módus), d az átmérő [m], F a felületi feszítettség [N/m²], ρ a felületi sűrűség [kg/m²].

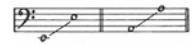
- A húr (egydimenziós rezgés) kétdimenziós megfelelője, mert a hajlítási merevség elhanyagolható
- A felhangok nem harmonikusak, ezért nem lehet konkrét hangmagasságot rendelni a módusokhoz
- A rezonátor(test) több, egyszerre sűrűn jelenlévő, nem harmonikus felhang(csoport)ot erősít

- A mindkét oldalon hártával zárt dobtest is rezonál, ha a két hártya egyforma feszítési és vastagságú. Ha csak egyik oldalon van hártya, és a test (mereven) zárt, akkor a hangmagasság határozottabb.



- Példa: üstdob, részben hangolható (egy oktávnyit max.), nagy hatásfokú, nagy méretű
- Cél: ritmust ad, a dobos az ismétlési időket egy ezrelék pontossággal kénytelen tartani.

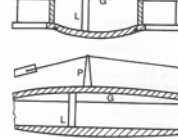
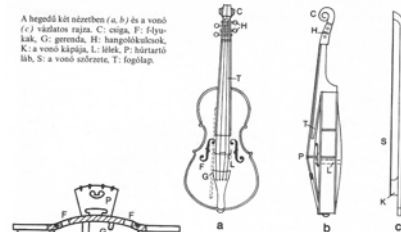
- Az üstdob és kétféle hangterjedelme. Részei: (a) test, (b) hártya, (c) feszítő csavarok.



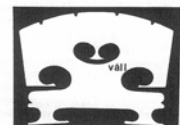
Húrral működő hangszerek

■ 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 (hangszint) erősíti, és a sugárzás irányát is meghatározza
- Fizikai törvényeknek (látványosan) engedelmessékedik
- A húr és a test általában mereven (szilárdan) csatlakozik, de légcsatolás is lehet (a gitár nyílása)
- A *lélek*, nincs rögzítve a hegedű testéhez, de hangszinben 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 húról és adjon át a testnek, hogy a le sugárzás egyenletes maradjon. De annyi energia maradjon a húrban, hogy állandó yonással az állandósult rezgés fennmaradjon rajta. Jó esetben, kis hegedűvel, kis erőfeszítéssel is egész zenekari hangerevével egyenértékű hangot lehet megszólaltatni! („kis” energia befektetés azt jelenti, hogy 1% hatásfok mellett, 99% hővé alakul; de ugyanekkora hangereő eléréséhez az operatőres 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 hurok gyakrabban berezegnek, amiket le kell fogni (hárfá), vagy felengedni a pedált (zongora). Ahol nincs lefogás (pedálmentes cimbalom, citera) nem lehet túl gyors dallammenetet játszani, inkább akkordos kíséretre jók.



A hegedű kútlóléleket mutatja a láb helyén. Ezeken leggyorsabban viadit.



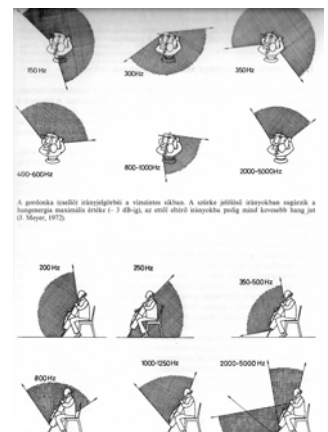
A láb alakja. A hurok az egyes beugrásokban fókuszál, a két talp pontonon követi a felülművelemből való.

■ Rezonanciák

- A rezonanciák helye, erőssége, sűrűsége és egyenletessége fontos
- Akusztikai jelleget meghatározza: anyag, méret, formai kiképzés
- Mindezeket együttesen kell összehangolni
- A *tető* behangolása kopogtatással lehet, vékonyítással nő a frekvencia. Ez a *fa réz rezonanciája*. (Századmilliméter pontosság kell hozzá). A többi az összeszerelés után a hurok 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 lakkozás azonban nem túl jelentős, csak konzervál, ha nem túl vastag.

■ A test sugárzása, irányhatása

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



■ Vonósok megszólaltatása

- Használhatóság feltétele: a hangképzés tisztasága és pontossága, hangszínbeli és dinamikai árnyalhatóság
- Vonónál 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.
 - A lábhoz közel végzett vonóhúzáshoz egyben nagyobb vonóerő is kell
 - Van egy legkisebb vonóerő, ami alatt nem képződik zenei hang
 - Vastagabb húr megvonásához nagyobb erő (nyomás) kell
 - Vastagabb húrú hangszerekhez rövidebb vonó tartozik
 - A vonóerő megváltoztatja a felhangok intenzitás-eloszlását: nagyobb erő magasabb felhangokat kiemeli, alsókat elnyomja – az összenergia megváltozása nélkül.
 - Ezért – tévesen – úgy érezhető a zenész, hogy a vonóerővel intenzitást (is) növelt, de ezt csak ő érzékeli, a közönség már nem

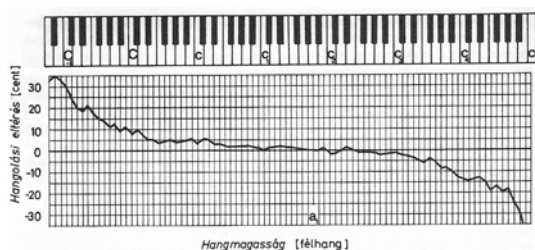
■ Vonóscsalád

- 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 kvartisorban hangolt a bőgő
- A hegedű az „egységnyi” alaphangszer, a többi ehhez hasonlíthatnánk (a méret pld. nem lineárisan változik a hangfekvéssel)

■ Zongora

- Ütött húrú hangszer
- A csembaló nem őse, hanem mellékága a zongorának, a hűrt 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 húrnak 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 visszsaengedett helyzetéből újraindítható (mechanikai ismételő-emelő 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 ütés 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 továbbvittele hangról hangra az elért ütemi sebesség mellett.
- A hangolás nagyon nehéz, és a „szép” zongora hanghoz „kicsit” el is kell hangolni a 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.



Tizenhat jól hangolt zongora húrjainak valóságos frekvenciája, helyesebben az egyenletesen temperált hangoktól való eltérése centekben, középtértekben (O. L. Railsback, 1938). A szabványos hangérték a vízszintes tengelyen egyenletesen temperált félhangokban és zenei hangokban is leolvasható.

■ Egyéb húros hangszerek

- Hárfa
 - A zongorával ellentétben, ahol a test rezonanciája nagyon fontos, a hárfaé a húrrendszere is sugároz jelentősen
 - 31-2960 Hz (6 és fél oktáv átfogás)
 - Pedálok használata: 7 pedállal vagy egyéb más módon (pöccök „zsebhárfa” -:) hangmagasságot változtat (♯♭)
- Címbalom
 - 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). Legárgyaltabb szabályozás.
- Közvetett: tartály feltöltése, de abból folyamatosan adunk ki energiát (dudák, népi hangszerek). Levegővétel közben is lehet játszani.
- Mechanikai: túl nagyhangszernél, pld. harmónium, orgona.

– Részai

- Hangkeltő szerkezet (becsatól tag)
- Rezonátor test (cső)
- Sugárzó tag (kicsatól 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 ajaksípok, 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

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

- Egyenyelvű nádsíp (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 nádsíp (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 fúvó 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-val kezdődik, c4-ig vagy d4-ig tart.
- A fuvola akusztikailag mindkét végén nyitottnak tekinthető csőve esetén mindig nagyjából a megszólaló hang hullámhosszána fele. Átfúvással, tehát a megfúvás módjának megváltoztatásával a rezgő levegőoszlopot másféle, egy vagy két oktavval magasabb hangnak megfelelő rezgési módok felvételére lehet készíteni.
- A legfűgőbb fafúvós. Mélyebb változata az altfuvola, de van egészen mély hangú fuvola is (hajlított csővel). Kistestvére a pikoló. Egészen éles, magas hangja van. A zenekarban általában 1-3 fuvolista foglal helyet.



- A játékos 3-3 ujját használhatja a hat lyukra, az alaphanggal együtt ez egy oktáv. Megfelelő helyzetű és méretű lyukak esetén kromatikus hangsort is „le lehet fogni”. Korszerű fuvolán több a lyuk (billentyűs lefedés).



■ A klarinét

- Leggyakrabban fából készül.
- Szemben az oboával, a fúvóka egy nádlemezből 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 fuvalét. 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

■ 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 átréselni a játékosnak a levegőt. Fizikai értelemben ez az oboajáték legnehezebb és legfárasztóbb része.
- Az oboa nagyobb testű rokona az angolokürt. Ennek hangja mélyebb, tölcseré korteszerűen kitágult.
- A zenekarokban általában két oboa és egy angolokürt található

■ 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

■ Tölcséres fúvókájú hangszerek működése

- A tölcser 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 tölcseré 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 csúszthatóak. A harsona esetén U-alakú csőtoldalékokat mozgatunk, vegyes hangolású: részben a fafúvósok hangolását idézi, de tölcseres lesugárzása is van.

■ A test sugárzása, iránythatás és határfok

- A fúvósok határfok is rossz, a levegő testen való súrlódási vesztesége jelentős, hőtermelés is van, ami az energia 70%-át felemészti
- Legnagyobb veszteséget a cső jelenti, ráadásul magasabb frekvenciákon a veszteségek nagyobbak
- A kicsatoló tölcser 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 tölcser a végén van a sugárzás, magas frekvencián különösen irányítottak.

– 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 színezetű hang tartozik, cserélhetők.
- a trombiták és a kürtök hiányos hangkészlettel rendelkeztek, ennek kiterjesztése szelepekkel, nyitható-zárható toldaléksövényekkel 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 köralakban 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, erősen is szólhat.
- Különleges irányítottág: jobbra és hátra sugároz, nem irányítjuk a közönség felé
- Hangfogó alkalmazása gyakori (parafadugók), amik nem hangolnak, csak csillapítanak

■ Tuba

- A legmélyebb hangú rézfúvó hangszer.
- Hatalmas, egyenletesen szélesedő tolcserre felfelé néz. A hangszer cső 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 ajakpiszerű, nyelvspiszerű gerjesztés, fém vagy fásíp
- 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, létezik 16000-33000 sípos is, ami tízszeres teljesítményt igényel

■ Az énekhang

- A hangszalagok keltik, működése szelepszzerű.
- A „hangszer” csőve a garat-, száj- és orrüreg együttese
- „Nádsíp” elvű a hangkeltés
- A hangmagasságot a hangszálak rezgő hossza, feszítettsége határozza meg
- A hangerősséget a felhasznált levegőmennyiség és a hangszálak vastagsága
- Az énekhang erősen irányított
- Közeli 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: torzírók, 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 mozgatása 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 túl 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 elektromos gitárokon általában két vagy több hangszedő van, amelyeknek közelítésével különböző hangzásokkal lehet létrehozni. A húr rezgése állandóan változtatja a hangszedőben lévő mágnesek mágneses terét. A változó mágneses teret változóirányú elektromos jeleket generálnak a hangszedő tekercsében. Így a hangszedő az egyes húrok rezgését követve alakítja át a rezgés erősségétől függő elektromos jellé. Ezek felerősítésén után rezgésbe hozzák a hangszórót, amely megszólaltatja a gitárt.



Hogyan készül?

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 felvételé) fog dominálni. Minél nagyobb a lehallgató szoba utóhangsík ideje a felvételihez képest, annál igazabb ez.

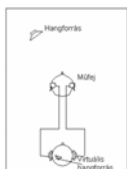
■ Természetes elhelyezkedés alapján történő egyensúly beállítása:

- A zenekari ültetésrend hasonló mindenhol, de ténylegesen a terem kialakítás (magassága, pulpitusok, dobogók, nézők száma stb.) befolyásolja.
- Vonóskar, 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: négyszeres 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 legjobban 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 térben 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 (elhajlási 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 üléssorok a legjobbak akusztikailag (ebből a szempontból) és a rálátás miatt is.

■ Hangrögzítés

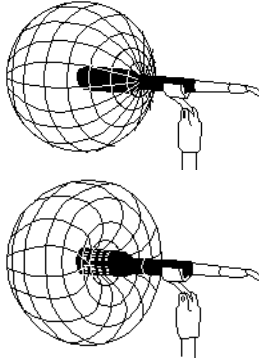
- Legfontosabb tagok: mikrofonok, kábelek, erősítők (ezek hangosításnál is fontosak), valamint a rögzítő berendezés. Továbbá: a lehallgató helység és annak hangsugárzó.
- Felvételek *hangszórós* visszaadásra és nem fejhallgatásra készítünk (CD, kazetták)!
- Fejhallgatós felvételekhez speciális műfaj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



Mikrofonok

- A mikrofonok jellemzésére az érzékenységet, az érzékenységi frekvenciamenetét és az iránykarakterisztikát szokás megadni.
- Az *érzékenység* az egységnyi hangnyomás hatására leadott feszültséget jelenti. (mV/Pa)
 - „Alacsony szintű kimenet”-e van: erősítés kell (mikrofonerősítő)!
 - Minél nagyobb, 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.
- A *frekvenciamenet* (átviteli függvény, sáv szélesség) az érzékenységi frekvenciafüggését jelenti.
- Az *iránykarakterisztika* a beérkező hanghullámok irányától való érzékenységi függést fejezi ki.
 - különböző irányokból milyen a vétel erőssége (mint egy antennánál). Általában szintfelületekkel ábrázoljuk, ahol az azonos vételi pontokat kötik össze, hasonlóan a térképeken, ahol az azonos magasságú pontokat kötik össze.
 - Pld: gömb, vase

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

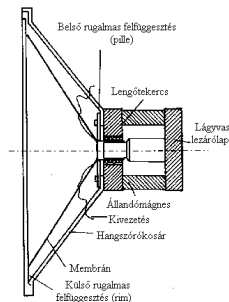


Mikrofonok

- Dinamikus mikrofon (alaptípus)
 - A hangszóró ellentéte, de ugyanaz a működés
 - Hangosításhoz, felvételhez, általános célú beszéd- és ének mikrofon
 - Viszonylag olcsó, közepes minőségű
 - Tápfeszültséget nem igényel
- Kondenzátor mikrofon
 - Egy „rossz minőségű” fémkondenzátor
 - Nagyon jó minőségű, így mérési célokra is alkalmas
 - Drága
 - Általában tápfeszültséget igényel (előerősítő, fantomtáp)

Hangszórók

- A *dinamikus* hangszóró
- Az állandó mágneses mágneskör légréseben található a lengőcséve, ami a membránhoz csatlakozik. Ez tengelyirányban 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 lesgározni (többutas).



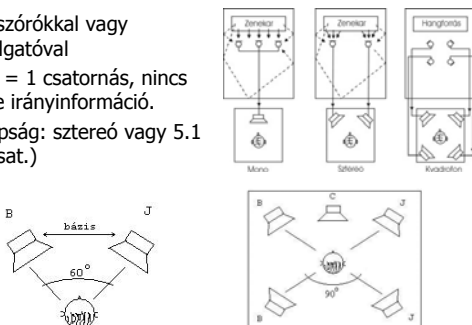
Hangszórók beépítése

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.

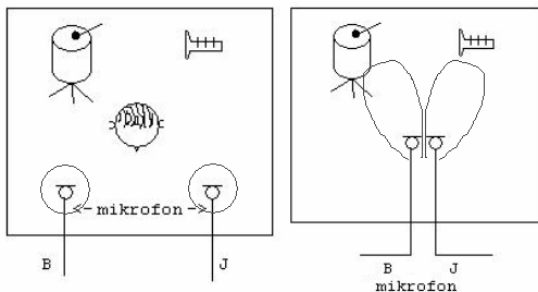
A hangtér előállítása

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



Intenzitációs és időkülönbséges sztereofónia

- Régen két lehetőség állt rendelkezésre (elvi szintű tárgyalás):
- Az ún. **időkülönbséges sztereofónia** alapja, hogy a két fülbe a jel **nem azonos időben** érzékel be (de azonos hanghosszúval). A forráshoz (most feltételezzünk 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).
- Két hangszóró esetén 2 dB különbség már érzékelhető, 20 dB pedig teljes eltérést okoz a hangosabbik irányába.
- A valóságban a két jelenség a fülünkben egyszerre lép fel: a közelebbi hangforrás hangosabb is lesz és egyben hamarabb is érzékel be a fülbe a hangja.
- Manapság sokcsatornás felvételtől keverik ki a sztereót.



Rögzítők

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

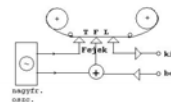
Analog	Digitalis	
Fonográf	-	Mechanikai
Hanglemez (bakelit)	-	
Sztereó magnó (38 vagy 19 cm/sec szalagseb.)	Nagyszámítógép	Mágnesszalagos
Sokcsatornás magnók	Álvideó (pseudo-video): SONY PCM UMATIC BETA	
-	Állófejes magnók (DASH)	
-	Forgófejes magnók: A-DAT R-DAT	
-	HDD (vincseszter), „nem lineáris rögzítők”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

– Mechanikai elvű (régén),
mágneses elvű, optikai elvű,
memóriaalapú

– Lehet analóg vagy digitális

– Magnetofonok
(mágnesszalagos rögzítők)

- Mindegyik soros hozzáférést
- Analóg eszközök: sztereó deck, sokcsatornás magnók a stúdióban
 - Törölhető, felvehető, lejátszható
 - A minőség romlik, a szalag lemágneseződik
 - Stúdióban létezik rájátszásos technika is



- Digitális magnók
 - Először „álvideók”
 - R-DAT a legfontosabb, forgófejes CD minőségű törölhető
 - Hibajavítás kell!

– Mágneslemez rögzítők (vincseszter)

- Párhuzamos („nem-lineáris”) hozzáférés
- Mindig digitális, a minőség a tárhatalom függvénye
- Számítógépes alkalmazások, programok, „wave editor”-ok
- Nem csak PC-alapú van, lehet a keverőasztalban is

– Optikai rögzítők (csak digitális)

- CD
 - kis kapacitás, 600-700 MB, kb. 70 perc sztereó zene
 - 1,4 Mbps nettó és 4,3 Mbps bruttó adatsebesség
 - tömörítetlen, 16 bit, 44100 Hz mintavételi jel (wave fájl)
 - létezik már törölhető, (újra)íráható lemez is
- DVD
 - Nagy kapacitás, 4,3 GB/réteg
 - Max 9-11 Mbps nettó adatsebesség
 - Vesztésgépesen tömörített 5.1 hang vagy csak sztereó
 - létezik már törölhető, (újra)íráható lemez is
- HD audio: DVD Audio, Super Audio CD
 - Ez is DVD lemez, de kép helyett csak jó minőségű hang van
 - Vesztésgépesen tömörített!
 - 5.1 csatorna, 100 kHz-es átvitel max, 96 kHz, 24 bit.
 - Ennél jobb nincs és nem is lesz
- Blu-Ray lemezek
 - Hatalmas kapacitás, 25 GB/réteg
 - Nagyon jó kép és hangminőség fér rá

Korai analóg mágnesszalagos rögzítés



Analóg és digitális sokszávos 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 jobbák, ez a szinonimája a hard-disk alapú merevlemez rögzítőknek. A PC otthon is ilyen eszköz.
- Az ilyen felvevőknek (szalagos esetben) annyi lejátszó, felvevő és törőfeje 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 felénekelni 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 merevlemezsek vannak.

– Bitsebességcsökkentő eljárások a zenében

- MP3 és társai (Dolby Digital stb.)
- Veszteséges tömörítés, ezért nem stúdiótechnikai alkalmazás!
- Működés alapelve a frekvenciában (és részben az időben) való elfedés, ahol a fülünk a megemelkedett digitális (kvantálási) zaj által okozott nem lineáris torzításokat nem hallja meg a zene elfedő hatása miatt.
- Célja nem a legjobb minőség elérése, hanem a még elfogadható minőség mellett a kis tárolókapacitás megvalósítása (tizedére lehet összenyomni az eredeti fájlokat). Általános bitsebességek: 128-348 kbps.
- Sztereó mellett 5.1 és 7.1 is szabványos
- Tárolás, lejátszás kisméretű, mozgó alkatrészeket nem tartalmazó eszközökkel.