

Megszólal a marimba – stúdióelemzés egy marimba hangjáról

Szives Márton Gábor

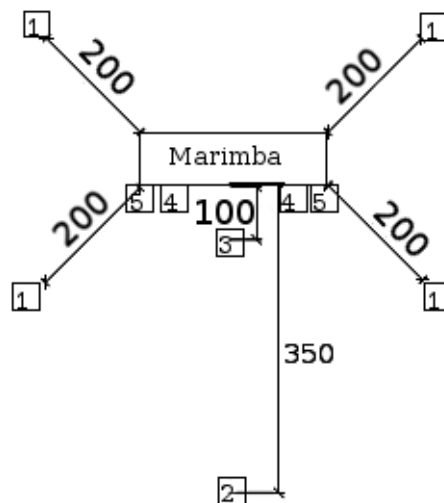
Témavezető: Siklósi Gábor, főiskolai docens
2017.06.10.

Felmerülhet a kérdés egy gyakorló ütősben, hogy miért van szükség a marimba hangjának elemzésére? Hiszen minden nap találkozunk vele, használjuk, ismerjük a viselkedését, hangját! Igen ám, de bármennyire is jó megfigyelők vagyunk, bármennyi tapasztalatunk van egy hangszeren, a miértnek pontos ismerete, s az, hogy magyarázatot tudjunk adni a szubjektív élményeinket, nem csak nagyobb biztonságot ad a hangszerhasználatban, hanem túllépve az addigi bizonytalanságokon, új megoldásokat is kereshetünk. Mint például, hogy a hanglapok zúgását felhasználva hogy lehet kitartott, egységesen hosszú hangot létrehozni – mert ugye úgy tudjuk, nem lehet -, átugorva a kísérletezést! Épp ezért a következőkben szeretnék stúdiófelvételekkel olyan jelenségeket megmagyarázni, melyet mi ütősök mind tudunk, alkalmazunk, ám nem mindig tudjuk miért, így nem is tudatos, talán néha rossz is, amit csinálunk.

Figyelem, a cikk termékmegjelenítést tartalmaz! A cikkben saját készítésű hanganyagok találhatóak, melyeket a soundcloud.com-ról lettek beágyazva, minden jog fenntartva. A honlapon a *#Megszolalamarimba* metadátával fellelhetőek a hanganyagok később is. Amennyiben a hangzó anyag a magasabb és a mélyebb regiszterekben nem szólal meg, illetve zajossá válik, esetleg nem hallhatóak a magas és mély frekvenciák – ez a hiba különösen a nagy A hanglap megszólaltatásánál léphet fel -, esetleg furcsán fojtottá vagy torzzá válik a hang, úgy próbálják meg meghallgatni egy nagyobb felbontású hangszórón vagy fülhallgatón.

A stúdió

A felvételeimet a Tom-tom Stúdióban készítettem, Pesten, egy Adams Marimba Solist, MSPV43 marimbával. A felvételeket a stúdió termében, s a folyosón is megismételtük, hogy egy fojtott és egy visszhangos környezetben is megfigyelhessük a hanganyagokat. A mikrofonozás a következőképpen nézett ki:



1. Ábra: Mikrofonozás. A távolság centiméterben van megadva.

Ezeket kívül még egy dupla mikrofonos állványt helyeztünk el nagyjából 30 méternyire, melyeket utolsóként sorolok fel. A külterjes felvételeken a 3-as számmal jelöltek és a távoliakat nem használtuk.

Mikrofonok:

- ◆ 1: DPA 4011 elöl és DPA 4006 hátul
- ◆ 2: Deccatree, 4 db DPA 4006
- ◆ 3: Neumann SM69
- ◆ 4: TLM 107
- ◆ 5: TLM 103
- ◆ Távoliak: Shoeps MK2

A nagyterem egy nagyzenekari stúdiófelvételhez kialakított koncertterem volt, a [Tom-tom Stúdió D Stúdiója](#), a technikai felszerelést a linken tekinthetik meg.

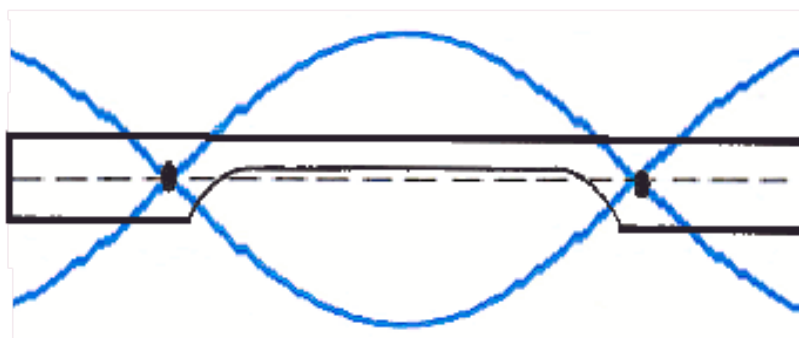
Az alapok – hogy szólal meg a marimba?

Tudvalevő, hogy a marimba idiofon hangszer, a hangot a megütött – vagy bárhogyan rezgésbe hozott – hanglapok képezik, melyek a levegőn keresztül átadják a kívánt frekvenciát az alaprezgést erősítő rezonátortestnek, illetve rezonátorcsöveknek, melyek a hangerősséget felerősítve szerteszágározzák azt. Haladjunk a megszólaltatástól a kicsengésig, nézzük meg, először a hanglapokat.

A hanglapok

Mikor megütünk egy hanglapot, a verő mozgási energiájának és rugalmas potenciális energiájának egy része áttevődik a hanglapba, s vertikálisan, horizontálisan, s torziósan kimozdítja azt, rezgésbe hozza. Nekünk most csak egy dimenzió, a vertikális rezgése a fontos.

[Hanglap rezgéséről slow-motion video.](#)



2. Ábra: Állóhullám hanglapon

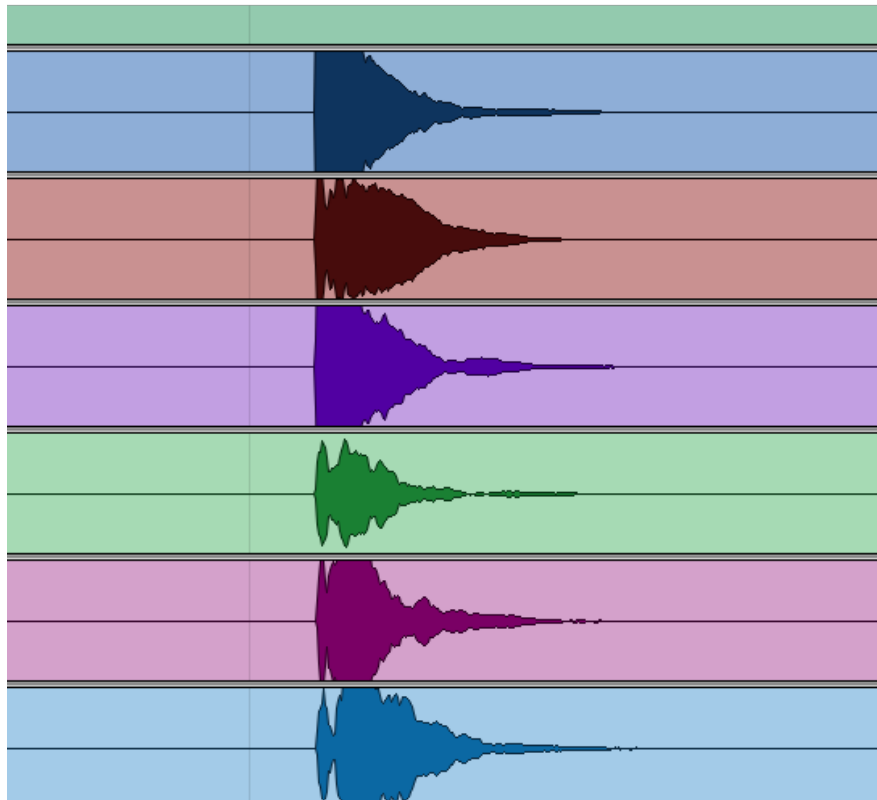
Minden hanglap a csiszolással beállított rezonanciafrekvenciáján, és érdekes módon, sok diszharmonikus felhangján fog rezegni. Ez a tulajdonság a hanglapokra, lemezekre, membránokra jellemző, s ez adja az ütőhangszerek különleges hangját.¹ Ezek a felhangok, mint azt hallhatjuk is, minél magasabban járunk a regiszterekben, annál kevésbé hallhatóak, viszont lejjebb zavaróak lehetnek. Ezért a hanglapok hangolásánál arra törekednek, hogy az alaphang, oktávjai és tercei hullámhosszaira csiszolják a hanglapot, mivel a lapon kialakuló állóhullámokban azok jelennek először, s így elkerülhető a hanglapok már említett zűrzavaros rezgése által létrejövő disszonancia.

Hogy-hogy azok jelennek meg először?² Egy „bar”³ testében transzverzális hullámok alakulnak ki, és két ponton függesztett, harmonikusan rezgő húrként modellezhető (2. ábra). Fordítsuk meg a Fourier-elvet, s tudjuk, hogy egy rezgés tartalmazza a felharmonikusait is, melyek kisebb hullámhosszal rendelkeznek. S mivel így a felhangok anyagi kitéréséhez kisebb energia is elég, mint az alaphangéhoz. Egyrészt.

1 Thomas Rossing: The Physics of Musical Instruments, 1. és 19. fejezet

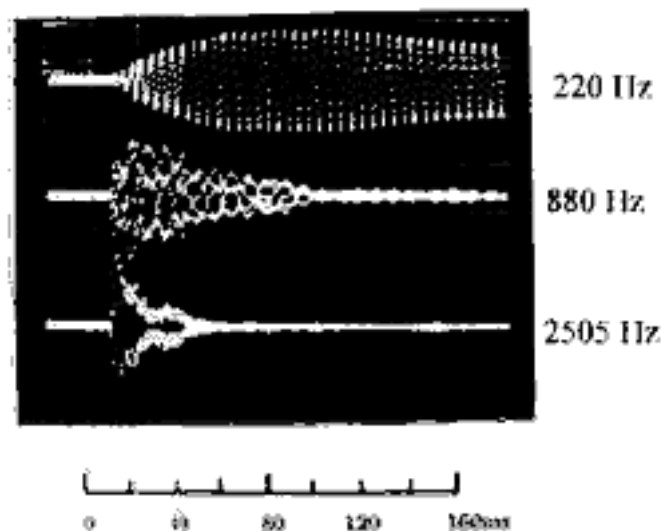
2 Egy üstdobnál például pont az ellenkezője történik; Megszólal a beállított hang, és a felharmonikusait – főleg ha a mellette lévő timpani(k) pontosan vannak behangolva – később halljuk felfutni (amik megjelenhetnek a többi hangszereken is).

3 Hanglap



3. Ábra: A hang felépülése

Másrészt; Az általam készített⁴ felvételen (3. ábra) több mikrofon is vette az $A=110$ Hz hang megszólaltatását, s jól látható, hogy a kezdeti attack⁵ után látunk egy lassabb elhalású hangot felépülni, az alaphangot. Alatta az $A=220$ Hz – tehát egy oktávval magasabb kis a hang – egy szemléletesebb ábráját láthatjuk (4. ábra), ahol megfigyelhető, hogy az attack a felhangok felfutása, melyek éppen elhalnak, mikor a főhang még el sem érte maximális amplitúdóját. Ezt a jelenséget berezgési időnek hívják;



4. Ábra: A felhangok megjelenése az alaphang előtt
(percussionclinic.com)

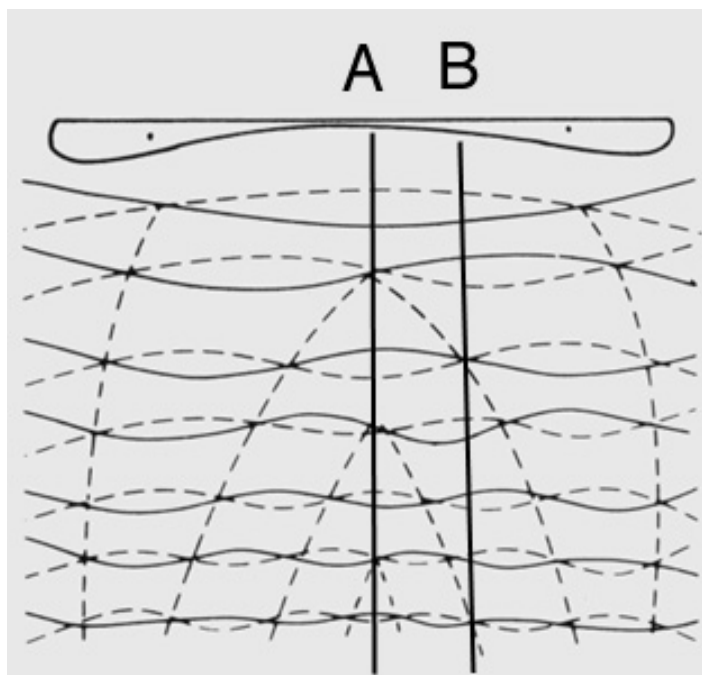
ilyenkor felépül a kényszerítő-frekvencia forrása és a rezonanciafrekvencia teste (a rezonátor) közötti kölcsönhatás a rezonátorfrekvencián, tehát a rezonátor is gerjeszti a forrást. Ez a rezonanciafrekvencia pedig természetesen az alaphangunk.

4 Az egyes hangképek közti különbséget nem csak a mikrofonok különböző karakterisztikái, hanem a hanglaptól való távolságaik is adják.

5 Egy hang megszólaltatása 0 amplitúdóról a maximumra, a megütött hang kezdete.

A 2. ábra stilizált képen láttuk, hogy alakul ki az állóhullám. Ezt két ok miatt hasznos tudnunk: a hangszer felépítésnek megértése, s az ütéstechnikánk miatt. Látható, hogy nyitott rezonátorként viselkedik a hanglap, mivel a végei szabadon rezeghetnek, míg a csomópontok – tehát azok a helyek, ahol ideális esetben nincs kitérés – a test hosszán belül esnek. Ezek azok a helyek, ahol a felfüggesztést átfúrják a fán, így az ott keletkező fojtás és anyagihiány nem okoz törést az állóhullámban. Egyértelmű, hogy a hanglapot ott stimulálva – ütve – csak egy nagy mértékben homályos, kattogó, a verő és a hanglap találkozásából adódóan pufogó, halk hangot kapunk. Érdemesebb inkább olyan helyen eltalálni, ahol a rezgésnek duzzadópontja lesz majd, így a maximális gerjesztést tudjuk okozni.

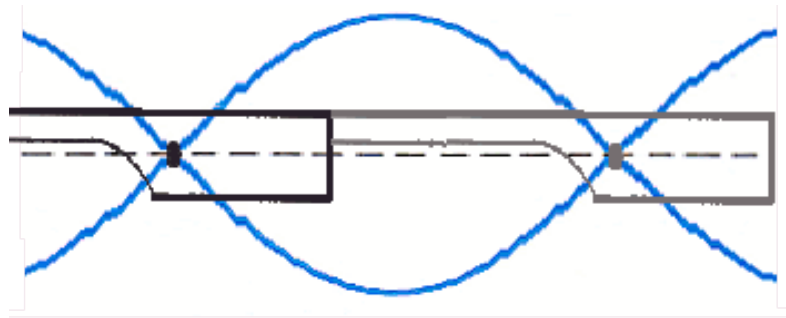
Megszólaltatjuk a hanglapot



5. Ábra: Egy hanglap megszólaltatása
(http://faculty.smu.edu/ttunks/projects/merrill/Mar_15.html)

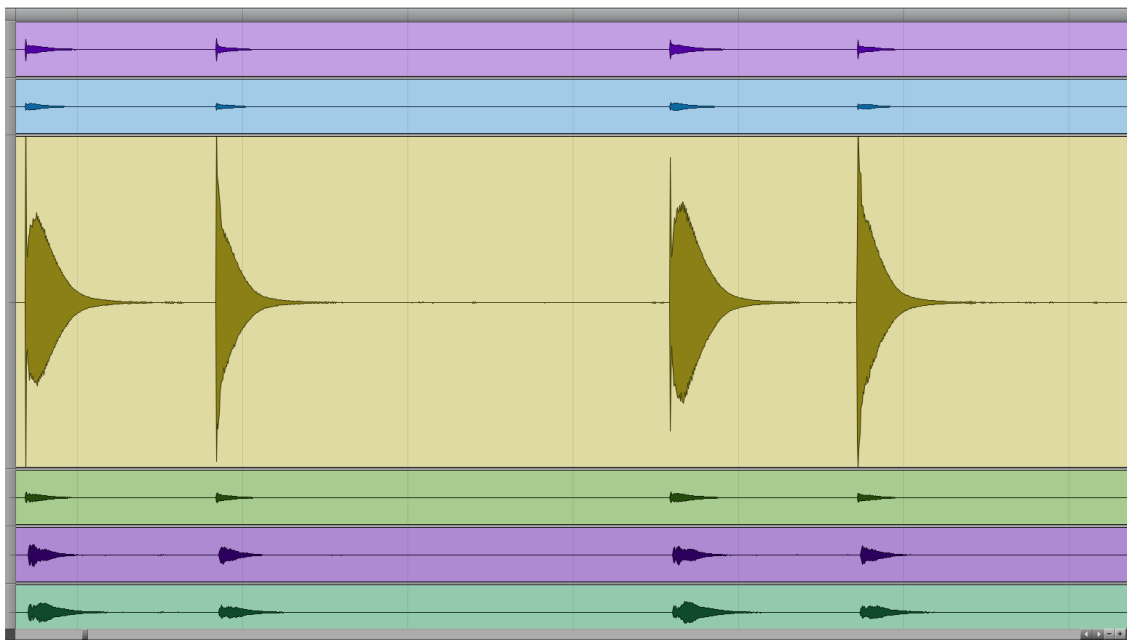
Mint azt a 5. ábrán is megfigyelhetjük, a közepre mért ütéssel az alaphangnál teljes kitérést érünk el, egy erős, bő alap mellett a páros felhangok fognak dominálni, ugyanis a hullámhelyeik egybeesnek az alaphangéval, míg a többi halkabban szól. Ezek közvetve jelennek meg a rezgésben, mivel az ütésnél olyan helyen találjuk el a hanglapot, amelyek az ő hullámképüknél épp csomópontokat találnak el. Ezért tanítják, hogy középen szólaltassuk meg a lapokat. Ez igaz a hangszer egész terjedelmére, s hagyjuk most figyelmen kívül, hogy a felső regiszterekben amúgy sem érzékeljük a legtöbb felhangot. Hallottam viszont olyan véleményt ezzel kapcsolatban, hogy épp a gyorsabb és kiugró felharmonikusok miatt inkább a lap közepe és a felfüggesztés között játszunk a hangszer basszus regisztereiben. Lássuk az igazságtartalmát ennek a felfogásnak;

Az ábrán láthatjuk, hogy a »B« pontnál való megszólaltatásnál az alaphangnál kisebb kitérést fogunk elérni, viszont a páratlan számú felhangok (első, második oktáv) maximális erőt kapnak, mivel azoknak a duzzadópontjait találjuk el. Így alaphang bár erős marad, kevesebb felhangot fog produkálni, viszont azok szelektáltan erősödnek, így egy konkrétabb hangot kapunk. Emellé járul az is, hogy az ütő hangja, a koppanás vagy puffanás erősebb lesz, mivel kevesebb energiát tud átvenni a hanglap. A 7. ábrán két különböző verővel a hanglapot középen, majd a felfüggesztéshez közelebb is megszólaltattam; Látszik, hogy a hang attackja sokkal nagyobb, a hang kezdete „érthetőbb”, mikor a felfüggesztéshez közelebb szólaltatom meg, ám az alaphang hangereje nem éri el a középen megszólaltatottét (ez a 8. ábrán jobban megfigyelhető). Ehhez hasonló jelenséget kapunk, mikor a hanglap felfüggesztésen túli részét vagyunk kénytelenek ütni; itt is érdekesebb minél kijjebb megszólaltatni, hisz képzeletben folytatva a hanglapot és a rajta kialakuló hullámot, úgy kerülünk minél közelebb a duzzadóponthoz (6. ábra).



6. Ábra: A képzeletben meghosszabbított hanglap

Tehát amennyiben sűrű hangértékeink vannak a darabban, konkrét hangra van szükségünk, s szeretnénk elkerülni a díszes, lassan felépülő hangot, úgy egyetértek e véleménynyel. Cserébe el kell viselnünk, hogy kicsit zajosabb, s tompább lesz a hangunk, mintha középen szólaltatnánk meg.



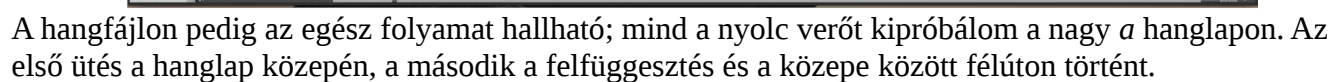
7. Ábra: Hanglap a közepén és a felfüggesztés felé megszólaltatva

Hallgassuk is meg a példát: [Nagy a hanglap megszólaltatása](#).

Még valamit megfigyelhetünk a 7. ábrán. A két különböző verő láthatóan, hallhatóan más hangszínt eredményezett. Mikor a verő találkozik a hanglappal, az anyagától függően visszapattan. Minél keményebb egy verő magja, annál gyorsabban képes visszapattanni, mivel annál kevésbé nyomódik össze a találkozáskor. Ezért képes minden felhangot, éles koppanást megszólaltatni. Ezt elkerülendő vonják be a fejet cérnával, fonállal, mely tompítja a koppanást. Ám kevesebb felhangot is enged megszólaltatni, mivel önkéntelenül is az ütéseknel enyhén dämpfeli⁶ azokat. Épp ezért nem mindegy, milyen verővel, sőt, milyen verő összeállítással játszunk egy darabot. A kísérletben a hanglapokat 8 -féle verővel szólaltattam meg. A verők a következők voltak (a legkeményebbtől a legpuhábbig):

- Adams R16
- Ashkatan R93
- Ashkatan R89
- Krx t280
- Adams VR5
- Adams R14
- Ashkatan P72
- Adams R13

A képsorozaton (8. ábra) az első kettő, a Krx, Adams VR5 és az utolsó kettő próbáját láthatjuk, amint a hanglap közepén és a »B« pontnál szólaltatom meg az A=110 Hz-es lapot (nagy A).



Különböző hanglapok különböző verőkkel megszólaltatva.

Amint közeledünk a regiszternek megfelelő verőkhöz, halljuk, mennyivel szebb lesz a hangja a hanglapnak. A verőknek a regiszterhez viszonyított túlzott keménysége miatt az első pár verőnél még jelen van mindkét ütéspontonál az attack, és megfigyelhetjük, hogy ez a felfüggesztéshez közel mindvégig jobban észlelhető marad. Ám szinte teljesen megszűnik a megfelelő puhasággal megszólaltatott hanglap-középnél, és ekkor a felhangok is ritkulnak. Feljebb viszont a kattánás már nem lesz zavaró, helyette a túl puha ütő lefogja a hanglapot, főleg puffanást hallunk, mivel nem elég kemény a gyors reflexióhoz. Egy keményebb verővel tisztább és hangosabb hangot érünk el itt. Épp emiatt tartom fontosnak a különböző verők használatát egy darabon belül. Egy Keiko-polifóniánál, Muramatsu darabban, s az őket utánozóknak akár 4 különböző verő is használható, míg Koppel vagy Musser pergő dallamainál meg kell alkudnunk, hisz nem tudunk váltani.⁷ Ez koránt sem ad teljes képet a marimba irodalmáról s a példákról, de véleményem szerint az igényesség és a megvalósíthatóság határain belül maradva törekednünk kell a hangszer hangjához és a darab elvárásaihoz illeszkedő verő-összeállítást létrehozni.

A következő hangfájlban a hangokat a hozzájuk tartozó megfelelő keménységű verővel szólaltattam meg. Sajnos nem tudtuk megoldani, hogy a hangszeren keresztül az ütés ereje ne érje a közeli mikrofonokat, ezért hallható a felső regiszterek felé haladva a mély dübbenés.

A regiszterekhez kiválogatott verők.

Keiko Abe: Mi-chi melléktémáját lassan játszom itt, hogy hallhatóak lehessenek a különböző, szólamok szerepeihez és regiszterek hangzásához kiválasztott verők.

Mi-chi a szólamokhoz válogatott verőkkel.

Üstökös-effektus:

Hallgassuk csak meg ezt a kromatikus hangsort!

Nemcsak azt halljuk, hogy a hangok egymásba zúgnak, hanem olyan, mintha az egész folyamat egy hangcsóvát húzna maga mögött: a hangszer zúgása és a hangok elhalása jóval az aktuálisan megszólaltatott hangtól lemaradva történik. Erre számíthattunk az előzőekben leírtak alapján; egy-egy hanglapnak a hangja lassabban épül fel, mint amilyen gyorsan itt megszólal a következő, s ezen még egy kemény verő sem tud változtatni. Ráadásul tehetetlenek vagyunk; ha leütöttünk egy hanglapot, nem tudunk változtatni annak a hangján és kicsengésén – ennek a tehetetlenségnek az ellenszere Keiko Abe módszere, melynek kifejtésére itt most nincs keret. Amennyiben nem akarunk minden egyes hangot lefogni vagy dämpfelní, megerőszakolva ezzel a marimba hangzásvilágát, el kell fogadnunk, hogy hangjaink egymásba fognak szólni.

Ezt fokozottan figyelembe kell vennünk, ha skálát, gyors dallamvonalat, vagy barokk darabokat játszunk, s nem kívánja meg a zene az összezúgást. Míg az első kettőnél egy keményebb verő és a száraz teremakusztika segíthet, tapasztalatom szerint, addig egy gyorsuló trilla, egy gyors mordent csak hozzájárul a lomha felzúgáshoz – főleg, ha csellószvithez illő puha verővel játszunk -, hisz folyamatosan rezgeti a hanglapokat, így az egymás mellett lévő hangok inkább cluster-hatást, mint érthető hangokat fognak adni.

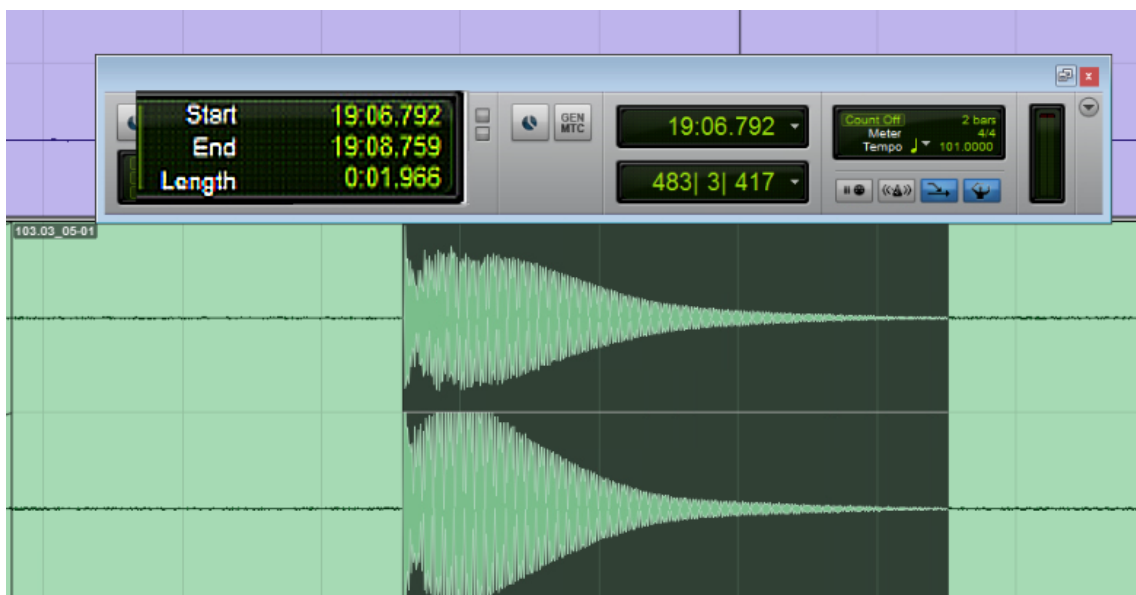
A nem létező kitartott hang:

Én is hangoztattam azt a kijelentést ezelőtt, mástól is hallottam, hogy a marimba képtelen kitartott hangot játszani, mert gyors hangszer. Ez azt jelenti, hogyha leütök egy hangot, az a regisztertől és környezettől függően (rezonátortól a legkevésbé!) szól egy ideig, ~0,5-1,5 másodpercig. A lenti 8. és 9. ábrán a nagy *a* és a háromvonalas *b* hanghosszak különbözőségét szemléltetem, megfelelő verőkkel, azonos környezetben. Tényleg nem olyan hosszúak, mint egy körlégzéssel fújt fuvolahang.

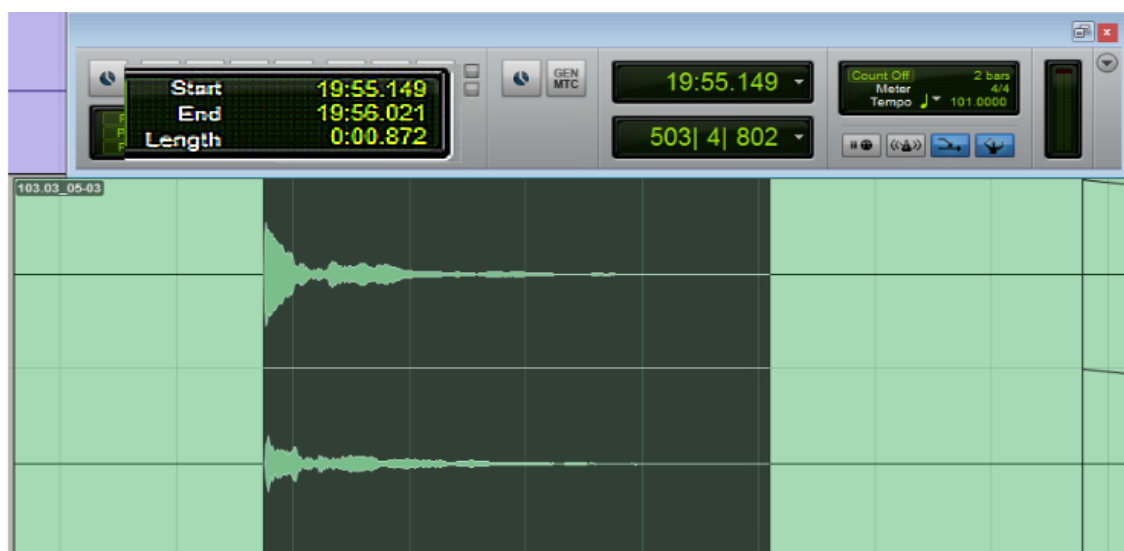
Így mikor átiratokban, helytelen kottákban átkötött hangokkal, nagy hangértékekkel, kitartott basszussal találkozunk, van, ki megüti, s a többit a hallgatóság képzeletére bízva, van, ki, ha teheti, tremolóval⁸ meghosszabbítja a hangját. A zeneszerzők többsége – Musser, Koppel, Ewazen, Marján, stb. - úgy kerüli ki ezt a problémát, hogy vagy tremolót ír elő, vagy kerüli a negyednél nagyobb értéket tartalmazó dallamokat, csak pergő dallamú, ritmushangszerként gondolnak rá.

⁷ Érdekes megfigyelni a kulturális és földrajzi határokból eredő stílusirányzatokat a marimba darabok szerkesztési és dallamvezetési szokásaiban!

⁸ Tremoló alatt most mind a Musser-roll, mind a tradicionális tremoló érthető



8. Ábra: Nagy a hang hossza visszhangos környezetben: 1,966 mp



9. Ábra: b''' hang hossza visszhangos környezetben: 0,872 mp. A kijelölés hosszát a visszhang lecsengése toldotta meg.

Nagy A és a b''' hossza visszhangos környezetben, megfelelő keménységű verővel

Ám mi lenne, ha ezeket a technikákat, az eddigi tudásunkat és tapasztalatainkat felhasználnák, hogy megdöntsük az állításomat? Hisz van 61 hanglapunk, amik elég gyors ütésnél úgyis egymásba illetve repetált ütésnél önmagukba csengnek. Nem lehetne-e kihozni belőlük a kitartott hanghoz hasonló hangot? Hallgassuk meg ezt a kis viccet, melyet ujjaimmal követtem el a hangszeren:

Marimba megszólaltatása ujjakkal

(Itt újra fel szeretném hívni a kedves olvasó figyelmét, hogy amennyiben nem hallja az átható zúgást, torz, halk hangot hall, esetleg csak a hanglapok megütését, úgy használjon nagy felbontású hangszórót vagy fülhallgatót.)

A vájt fülűek hallhatják, hogy kedvencem, Keiko Abe ambiens⁹ szólamainak szerkesztési módját használom. Egy mikrostruktúra permutációiban a hanglapokat folyamatosan gerjesztem repetáló ütésekkel, így megfigyelhető egy, az üstökös-effektushoz hasonló, de egy helyben álló zúgás, mely az adott hangokból tevődik össze. Bár halljuk a folyamatos kopácsolást, a zúgás mindent aláágyazva folyamatosan jelen van, sőt hangosabbnak halljuk, mint az egyes hangok hangerejének összege. A lebegést az egyes hangok frekvenciabeli különbsége s a dobhártyánk felbontóképességének elégtelensége

miatt halljuk.¹⁰ Ez a zúgás, változva a hangokkal, folyamatosan fennmarad, fittyet hányva a kijelentésünkre; megszületik egy kitartott hanghoz hasonló érzet.

Ez a Keiko-stílus egyik nagy találmánya, hogy kihasználva a marimba hangját hallásérzetben képes kitartott hangot létrehozni, tremoló nélkül.¹¹ Egy sűrűn ismételt hang, hangköz, ha dallamívben is van, tud az egységes, kitartott hanghoz közeli hallásérzetet biztosítani. Ezt használja a *Mi-chi* témáiban, a *Prism*-ben, szinte összes darabjában, hogy a környezeti szólamoknak egységes zúgást, hangfüggőnyt biztosítson, hogy a dallamban hosszú értékeket tudjon létrehozni, vagy egy kísérő szólamban orgonapontot. A hangfájlban annak ellenére, hogy a terem igen gyorsan leejtette a visszhangot, mégis létre tudtam hozni a zúgást, csak a felső szólamban érezhető az ebből fakadó rövidség a többihez képest.

Mi-chi kezdő ambiens szólamai

Közelítünk a kitartott hang felé. Látjuk, hogy a tremolónál egyszerűbb, s a zene mozgását nem akadályozó módja is van a hanghosszabbításnak.¹² Ekkor nem kell gyorsabban ütni, csak épp olyan gyorsan, amit a hanglap megkíván! Amennyiben képesek lennénk erre - de szerencsére nem vagyunk gépek - az egyes hanglapoknál külön-külön ütési sebességet állíthatnánk be egy tremolóhoz, vagy a kitartott hang eléréséhez. Egy-egy eredeti Keiko Abe felvételen az orgonapont-szólamokban ez tisztán megfigyelhető

Egy adott hanglapnak az alaphangját véve – legyen az a nagy $a=110$ HZ – látjuk, hogy másodpercenként 110 teljes hullám rezeg rajta, tehát 55-ször éri el a duzzadópontja (középen) a nyugalmi állapothoz képest pozitív és ugyanennyiszor a negatív maximális kitérést. Így elég lenne ennek az egész számú hányadosa értékben eltalálni a pozitív kitérésnél, s máris megkapnánk a folyamatos zúgást a legkisebb erőfeszítéssel. Természetesen ezzel elméletben érdemes csak eljátszogatni, viszont gyakorlati játékokat is ajánlok:

Vegyünk egy pár kéttónusú, vagy puha verőt, s annak hegyével, illetve puhábbig részével c'-től lefele kezdjük el olyan lassan és halkán megszólaltatni a hanglapokat, amennyire az még egymásba érő hangokat hoz létre. S a verő puffanása elhanyagolható. Minél lejjebb jutunk, ez annál lassabb mozgást fog eredményezni. Próbáljuk meg a hanglap közepén, oldalsó szélein, két verővel két különböző helyen, stb. folyamatosan, egyenletesen izgatni a hanglapot, amíg azt nem érezzük, hogy elindul benne egy zúgás. A célt mindenki felismerni majd: olyan átható hang, amely egyenletesen zúg az alaphanggal és a megjelenő felharmonikusokkal. Szinte az agyunkban. Mellette az ütés, a verő hangja semennyire vagy alig észrevehető csak.¹³ Ekkor képesek voltunk úgy stimulálni a hangszert, hogy minden egyes ütéssel rásegítettünk a rezgésre, s a létrejövő rezgés elhalás nélkül áll fenn. Tremoló nélkül létrehoztunk egy kitartott hangot! mégpedig felhasználva azt, hogy a hanglap önmagát és a környezetét is gerjeszti. Természetesen mindig lesznek visszaesések, elhalások, hisz nem vagyunk elsőre képesek teljesen egyenletesen ütni, egy-egy ütés a kitérés ellen dolgozik, vagy ott marad, s a verő lefogja a rezgést. Ezt a kitartott hangot hallhatjuk a 24. másodperc után a ujjakkal való játékomban is, most kiemelem azt a részt (3.-8. másodpercnél):

A marimba átható zúgása.

Nem is kellett gyorsan ütnöm ahhoz, hogy a zúgás fennmaradjon, s egységessé váljon. Ezek után könnyebben is próbálkozhatunk: hangközök, hangzatok. A hangszeren a felső regiszterek végéig haladva persze az ütés a tremolóig gyorsul fel. Figyeljük meg még érdekességként, hogy az egyes hangszereknek külön kedvenc hangjai vannak: a stúdióban az Adams a *D* hangot és *D*-dúr hármashangzat hangjait kedvelte igazán, míg az SZTE ZMK-n általában használt Yamaha az *E* és *H*-dúr akkord hangjain rezonál be igazán.

Tehát bizony létre hoztunk kitartott hangot! Nem erőszakoltuk meg a hangszert, sőt, értőn kihasználtuk. Az első módszerrel még mozgásban is maradtunk, míg a második kicsit macerásabb, de már sikeresen tudtam alkalmazni kamarában (utoljára *Egy kiállítás képei* marimba-gitár átiratában) és Keiko Abe darabjaiban, valamint *Peter Garland Apple Blossom* című darabja is erre épül. Természetesen mindez nem sikerült volna támogatóink, a rezonátorcsövek nélkül!

¹⁰ Tarnóczy: Hangnyomás, hangosság, zajosság, 119-176.

¹¹ Ennek kifejtésére szíves türelmüket kérem a következő cikkemig.

¹² Természetesen ezzel nem vetem el a tremolót, mint játéktechnikai, kifejezésbeli eszközt, e kettő kétfajta, más szereppel bíró megoldás.

¹³ Lengő cinen vagy timpanin való hosszú tremolóval érünk el hasonlót.

Rezonátor

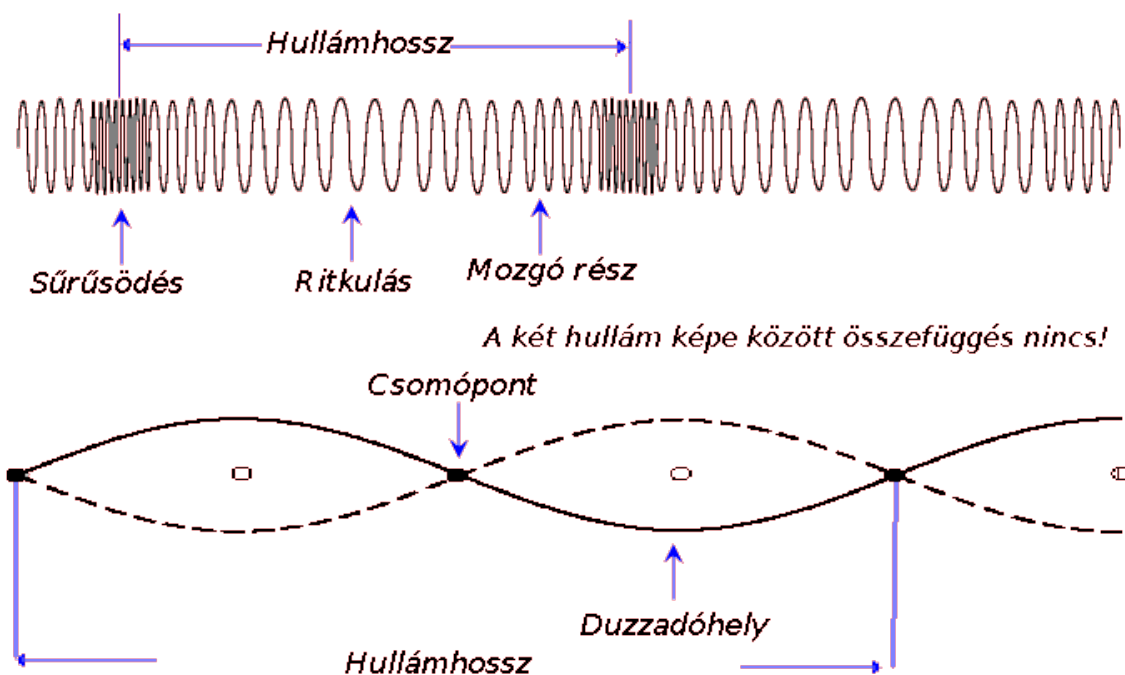
A marimba nem rezonátortesttel együtt született meg, mint a legtöbb hangszer. Egyszerű idiofon hangszerként jelentek meg ősei a világ különböző részén – Indonéziában, Dél-Kínában, Afrika-szerte, Amerikában – de Afrikában már használtak a hanglapok hangjait erősítő, a frekvenciájukhoz passzoló tökrezonátorokat.¹⁴ Az első hangolt rezonátorokat Chiapas-ban szerelik a hanglapok alá, s az USA-ban a Deagan gyár fogja tökélyre fejleszteni C. O. Musser vezetésével a fémrezonátoros megoldással az 1930-as években, később Keiko Abe közreműködésével a Yamaha gyár 1984-ban készíti el az első koncert-basszusmarimbát.¹⁵ Bizony, nélkülül nehezen emelkedhetett volna szólóhangszerré. A rezonátor ugyanis felerősítette a hangját, képessé tette, hogy megállja a helyét más hangszerek mellett is. De hogyan is csinálja ezt?

A rezonátor működése

Minden rezonátortest a kapcsolt rezgések, a rezonancia-frekvencia elvén működik. Ez azt jelenti, hogy minden testnek a térbeli kiterjedésétől, a sűrűségétől és anyagától függően található egy vagy több rezgésszám – sajátrezgés –, melynél az anyagi kitérése, amplitúdója a legnagyobb, tehát felerősíti. A mi esetünkben, hangról lévén szó, longitudinális hullámokról beszélünk és az egyszerűség kedvéért egy dimenziós rezgésekről.

Longitudinális hullám

A longitudinális hullámban a részecskék a terjedési irányban mozdulnak el, lökéshullámok terjednek tova benne, azaz sűrűsödések, ellenhatásaként ritkulások keletkeznek a közegben, pont mint egy meglökött rugóban.

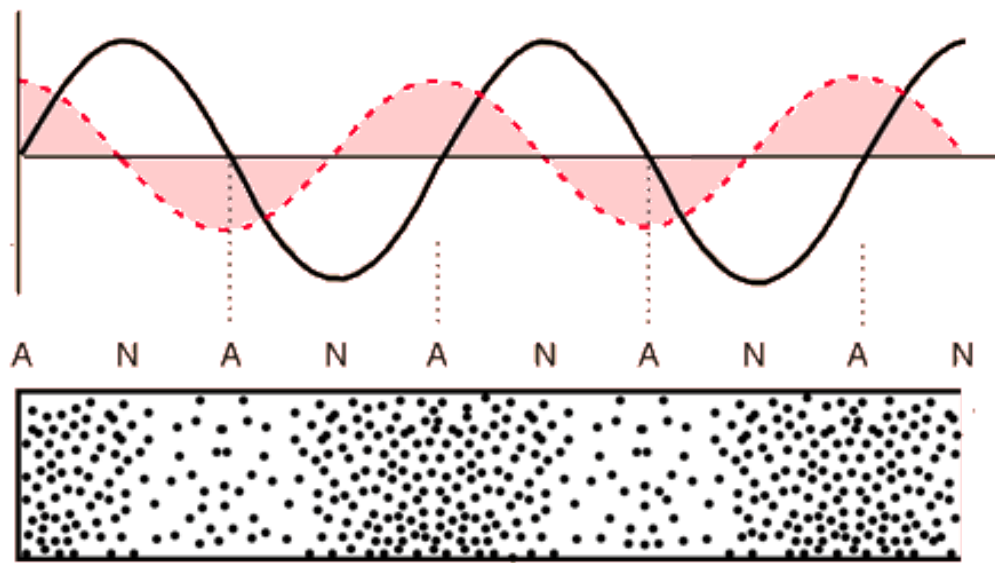


10. Ábra: Longitudinális és transzverzális hullám felépítése

Amennyiben modellezni szeretnénk a könnyebb ábrázolhatóság kedvéért, azt megtehetjük, hogy a longitudinális hullám ciklikusan változó értékeit szinuszos függvény képében transzverzális hullámmal ábrázoljuk, s adott térrészen a kiválasztott érték függvényét helyettesítjük be. De semmiképp sem úgy, hogy a longitudinális hullám sűrűsödését, a transzverzális hullám csomópontjával, ritkulását a transzverzális amplitúdó maximumával helyettesítjük be! A következő képet kaphatjuk egy nyomás- és részecskesebesség- grafikon felrajzolásával:

¹⁴ Rager, 3.

¹⁵ Kite, 52.



11. Ábra: A longitudinális hullám tulajdonságainak modellezése transzverzális hullámmal. A folytonos fekete vonal a levegő részecskék kitérésének a mértékét, a piros szaggatott vonal a nyomásváltozást mutatja. Eredeti kép forrása: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/standw.html>

Elemezzük egy kicsit a grafikont! A sűrűsödésnél, mivel egymáshoz préselődnek, a részecskék alig mozognak ide-oda, sőt, a közepén van egy pont, ami el sem mozdul, $v=0$. Ezért a nyomás itt a legnagyobb, $P=\max$, a nyugalomban lévő közeg nyomásához képest, amit most vegyünk referencia pontnak, azaz $P=0$ -nak. Mivel a részecskék ide tartanak, ki kell alakulnia egy ritkulásnak is ellenpontként. Itt is van egy pont, ami nem mozdul el ($v=0$), s a részecskék attól mindkét irányba eltartanak, tehát a nyomás a legkisebb, negatív irányba maximális lesz, $P=\min$. A kettő között a részecskék arra törekednek, hogy a zavart kiegyenlítsék, így maximális sebességgel ($v=\max$) mozogva ide-oda, a nyomást képesek a $P=0$ állapoton tartani. Összegezve:

- $\lambda=0 - v=0, P=\max$, (sűrűsödés)
- $\lambda=\pi/2 - v=\max, P=0$, (negyed hullámhossz)
- $\lambda=\pi - v=0, P=\min$, (ritkulás, fél hullámhossz)
- $\lambda=3\pi/2 - v=\max, P=0$, (háromnegyed hullámhossz)
- $\lambda=2\pi - v=0, P=\max$, (sűrűsödés)

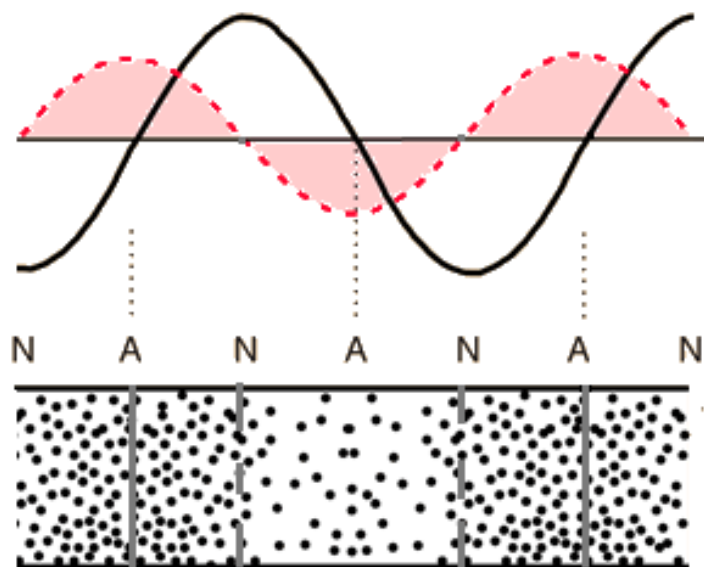
Vizuális magyarázat. Figyeljük meg a hullám részeinek kialakulását! Lássuk hát, ez hogy néz ki a rezonátorcsőben, miért fontos ez mind nekünk.

Csőbe húzzuk a hangot

Egy rezonátortest akkor látja el feladatát, ha a kívánt frekvencián a hang állóhullámot tud kialakítani benne. Egy állóhullám akkor alakul ki, mikor egy közegben úgy verődik vissza a hullám, hogy találkozási pontjával az egymásnak megfeleltethető részek gerjesztik egymást. Ezt kell elérnünk egy rezonátorcsőben is; a cső hosszának összemérhetőnek kell lennie a hang hullámhosszával, így az képes berezonáltatni a testet. Esetünkben ez kettő módon lehetséges, egy mindkét végén nyitott csővel vagy egy egyik végén zárt csővel.

A két végén nyitott csőben a végeken a hullám úgy viselkedik, mintha egy új, rugalmas közegbe lépne át, így a részecskék kitérése a visszaverődésnél a legnagyobb lehet. Látjuk is, a sebesség mindkét végén maximális (pozitív és negatív értékkel) (12. ábra). Mint az előbb láttuk, ez a longitudinális hullámnál azt a mozgó helyet jelenti, ahol a nyomást a részecskék $P=0$ érték közel tartják, ami pedig egy sűrűsödéstől vagy ritkulástól negyed hullámhossznyira esik. Mivel mindkét végén ez a jelenség lép fel állóhullámnál, s e két azonos nyomású hely között a hullámhossz fele mérhető, így a legkisebb frekvencia, amit erősíteni fog az, melynek a hullámhossza felével egyenlő a cső hossza (rezonancia frekvencia). Mi van a felharmonikusok hosszával? Amíg a nyitott végeken a $v=\max$ hely tud létrejönni, melyek között a táv fél

hullámhossz, addig a kettő között bármennyi ritkulás és sűrűsödés felléphet, így azokat a frekvenciákat fogja erősíteni, melyeknek a hullámhossza egyenlő a rezonancia frekvenciájának egész számú többszörösével. Tehát az összes felharmonikust.



12. Ábra: Két végén nyitott cső hosszarányai. A folytonos fekete vonal a levegő részecskék kitérésének a mértékét, a piros szaggatott vonal a nyomásváltozást mutatja. A szaggatott szürke vonal a tárgyalt $v=\max$ helyeket jelöli a végeken kívül. Itt a hullámhossz a rezonancia frekvenciának a kétszerese (első felharmonikus).

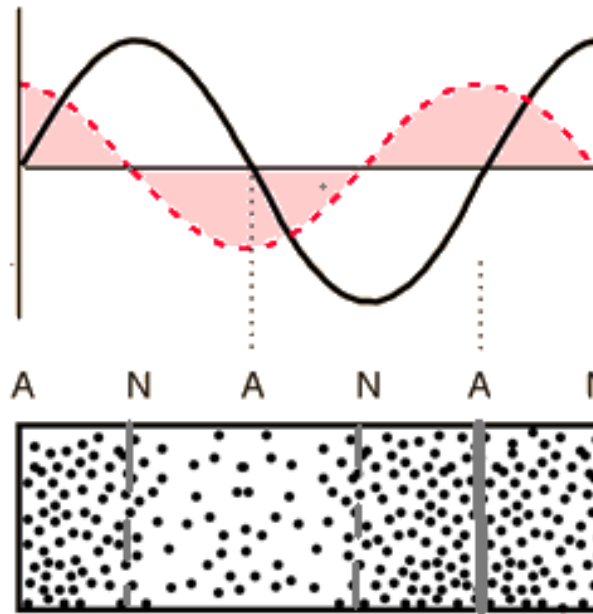
Ám a marimbánál – és a vibrafonnál - egyik végén zárt csövekkel találkozunk!(13. ábra) Az egyik végén zárt csőnél a nyitott végen ugyanaz a szabály érvényesül. A zárt végén egyértelműen sűrűsödés alakul ki, hisz ott a részecskék nekiütköznek és -nyomódnak a lezárásnak. Itt a hullám $\pi/2$ fázissal fog visszaverődni, tehát olyan, mintha félbehajtanánk a hullámot.¹⁶ Így az állóhullámban megint kialakulnak a szükséges helyek: egy csomópont, ahol $V=0$, $P=\max$ hely van, s egy (elméletben kettő) $v=\max$, $P=0$ rész, mely a csomóponttól negyed hullámhossznyira helyezkedik el. Tehát az egész csőnek a kívánt erősítendő frekvenciához tartozó hullámhossznak csak a negyedével kell bírnia.¹⁷ Ez igen nagy megkönnyebbülés számunkra, hiszen egy 110 Hz-es nagy a -hoz, melynek a hullámhossza levegőben 3,11 méter(!), két végén nyitott csőnél 1,56 m, egyik végén zárt rezonátornál viszont csak 0,779 méter szükséges.¹⁸

Mivel ebben a csőben mindenképpen adott egy sűrűsödés, és a nyitott végen sem az, sem ritkulás, így ez a cső a rezonanciafrekvenciának csak olyan felharmonikusait fogja tudni erősíteni, melynek a hullámhossza páratlan egész számú többszöröse az alap negyedének – tehát hogy mindenképpen a kívánt negyed hullámhossz kerüljön a cső végére.

¹⁶ Tarnóczy: Zenei Akusztika, 52.

¹⁷ Kérdés, hogy mi lesz a hullám többi részével? Nos, a rezonátortestnek elég a hullám negyede állóhullámként kialakuljon. A frekvenciánk állandó, hála a hanglapnak, a sebességünk állandó, hála a homogén levegőnek, így az $f=v/\lambda$ összefüggésnek köszönhetően a rezgés a csőön kívül majd kialakítja magának a hiányzó részeket.

¹⁸ Ezen kívül számolni kell még a végkorrekciós jelenséggel, mely a levegő mozgásából adódik a nyílt végeknél, de ezen dolgozat keretei között ezt figyelmen kívül hagyhatjuk.



13. Ábra: Egyik végén zárt cső hosszarányai. A folytonos fekete vonal a levegő részecskék kitérésének a mértékét, a piros szaggatott vonal a nyomásváltozást mutatja. A szaggatott szürke vonal a tárgyalt $v=\max$ helyeket mutatja a nyitott végen kívül.

Összerakjuk a hangszer

Ebből az következik, hogy bizony a hanglapunk amúgy is kaotikus, s már szelektált felhangrendszeréből a rezonátor nem is erősíti a legtöbb felhangot, csak minden páratlant (14.ábra). Így az első két felhang, amit felfedezhetünk egy hanglap megszólaltatásánál, az a kvint és a terc. Az oktávok a 4., 8. és 16. felhangjai az alaphangnak, így azokat sajnos közvetlenül nem, csak a hanglap hangolásából adódó áttételes rezgéssel fogjuk tudni létrehozni, de azok olyan gyors elhalásúak és gyengék, hogy nem hallhatóak. Így pl. a zongora felhang zúgásain, esetleg az első oktávok, üveghangok elméletén alapuló művet írni marimbára kedves dolog, ám nem találtam gyakorlatban kivitelezhetőnek.



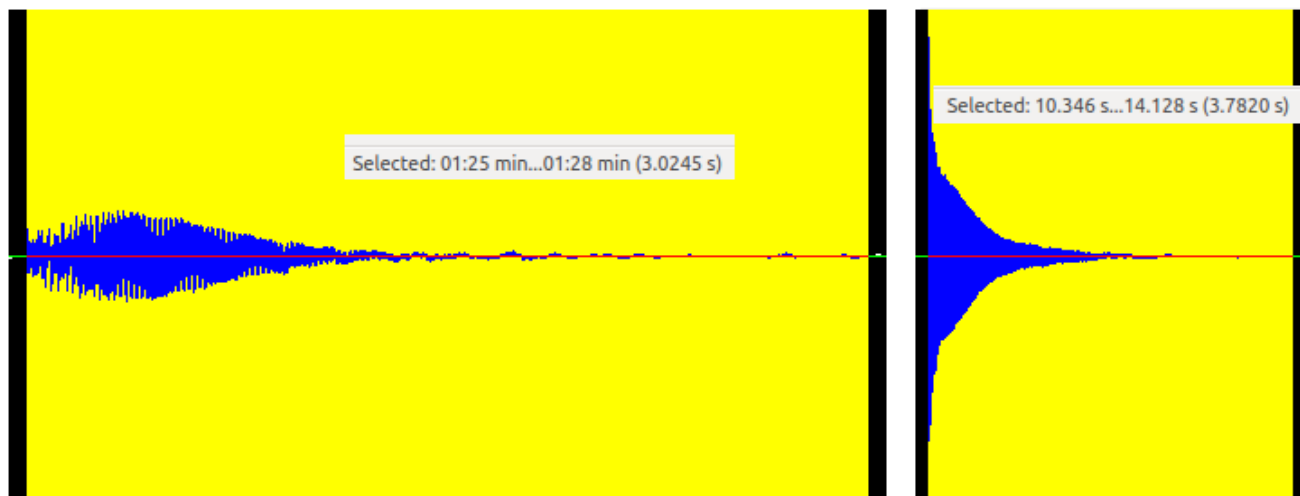
14. Ábra: Az alaphang és felhangjai egyik végén zárt csőben, nagy C alaphangnál. Eredeti kép: Tarnóczy: Zenei Akusztika 53.

S épp ezért sajnos a hangszer oktávjait sem tudjuk egymással berezegtetni közvetlenül, hisz az oktáv hangok hossza az alsó hang rezonátorába $n \cdot \lambda/2$ férne be, aminél a lezárt cső nem tud rezonálni, az alsó hangnak a felső pedig $1/8$ -a, $1/16$ -a, amiben nem tud kellő hosszúságú hullám kialakulni, sőt állóhullám sem. Ezt ki lehet próbálni, ha leszereljük a hanglapokat, s a különböző felhangok rezonátorai fölé tartva megütjük. Legtöbb esetben a hanglap hangját fogjuk hallani.

Tehát a rezonátor erősíti az alapfrekvenciát és szelektálja a felhangokat. Hozzájárul-e még valamivel a marimba hangjához? Természetesen egy kis zajjal és egyedi hangszínnel. De meghosszabbítja-e a hangzás hosszát? A következő hanganyagon a nagy A hangot szólaltatom meg kétféleképpen: rezonátorral, illetve leszerelve, a mikrofonhoz tartva.

Hanglap rezonátorral és anélkül

A felvételen hallhatjuk, hogy a hangszínbeli különbségen kívül nem sok minden változott. A második, azaz leszerelt hanglapos megszólaltatásnál a mikrofonhoz közelebb kellett tartanom a hanglapot, ugyanis ugyanakkora távolságban nem lett volna tisztán érzékelhető a hangja.



15. Ábra: A nagy A hang kizengése rezonátorral és anélkül. A környezet és a verő ugyanaz.

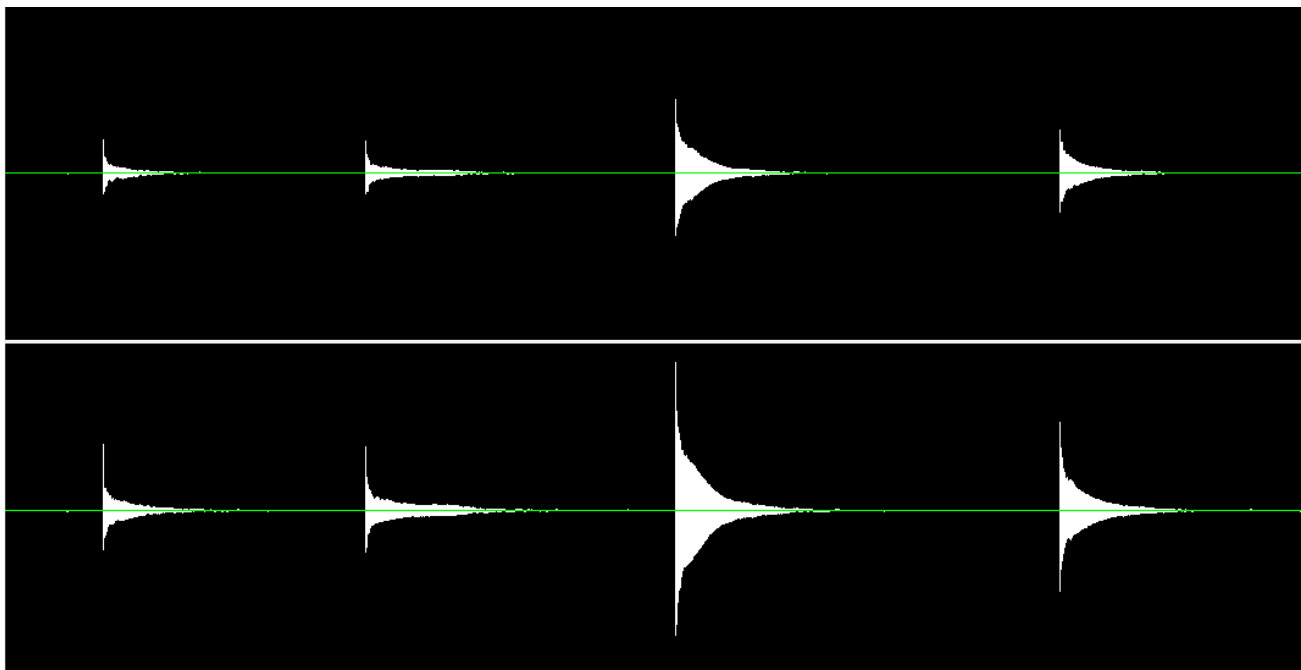
Hallunk is, látunk is különbséget a kettő között (15. Ábra). Ez nem csak azért van, mert a másodiknál a hanglap közelebb volt a mikrofonhoz; Egyik ok, hogy egy ideális rezonátornak a csillapítása kicsi, hogy a saját lecsengése minél hosszabb legyen, ám a csillapítatlan rezonátor ebből a tulajdonságából fakadóan sokkal több részhangot is erősítene.¹⁹ Ezt pedig igyekszenek a gyártók elkerülni. Ezért bár hangerőt nyerünk, a rezonátor alig észrevehetően lerövidíti a hang lecsengési idejét, cserébe zenekar előtt is megállja a helyét a marimba.²⁰ Másik oka ezzel fizikailag összefügg, az elsődleges feladatából, az erősítésből következik; Rezonátor nélkül a hanglap a körülötte lévő, elméletben végtelen kiterjedésű és ezért elhanyagolhatóan kicsi ellenállású levegőrétegnek adja át az energiáját. Tehát kicsi külső ellenállás mellett leginkább csak a „bar” belső veszteségei fogják a rezgés csillapodásának idejét meghatározni. Ám amint rezonátor kerül alá, egy zárt, véges kiterjedésű levegőoszloppal találkozik a hanglap, amelyet ráadásul egy tömör rezonátor vesz közre, megnövelve az ellenállást. Így a hanglapnak energiával nem csak a levegőoszlopot, hanem a rezonátortestet is táplálnia kell.²¹ Újra kompromisszumot kell kötnünk: hangerőt nyerünk, a hanglap rezgési idejének rovására – ám ezt nemsokára vissza fogjuk nyerni, megígérem!

Észrevehetünk valami furcsát a fenti képeken. Bár ugyanaz a verő, s igyekeztem, hogy az ütés erőssége is hasonló legyen, a rezonátor nélküli hangnak jelentős attackja van a rezonátoros megszokott hangjával szemben (16. ábra).

¹⁹ Tarnóczy: Zenei Akusztika, 28.

²⁰ Fletcher és Rossing, 542.

²¹ Jim McCarthy élt levelezésünkben egy nagyon találó példával: Ez olyan, mintha egy lufit akarnánk felfújni. Minél nagyobb, minél erősebb, annál nehezebb, annál több energiát vesz igénybe. Ezzel szemben ha csak szabadon fújdogálunk a levegőbe...



16. Ábra: Nagy A hanglap rezonátor nélkül, puha verővel. Mindegyik megszólaltatásnál az attack kifejezetten észrevehető.

Már a hanglapoknál is említettük, hogy az alaphang a többihez képest komótosabban épül fel. Feljebb csak megemlítettük, itt viszont tapasztalhatjuk is a berezgési időt, s hogy hogyan épül fel a hang rezonátorral; A csövünk egyrészt szelektálja megszólalható felhangokat, kezdeti erejüket elnyelve, így hangerejüket csökkentve, ezzel lágyítva a hang elején az attackot. Másrészt idő kell, míg a test is berezonál, s átadja a környezetének a hangját, harmadrészt, mikor a berezonálás végbe megy, a rezgés kis mértékben vissza is csatolódik a hanglapra. Tehát a rezonátornak is döntő szerepe van a hang felépülésének idejében, ami egyre lejjebb haladva egyre több időt vesz igénybe.

Rájöhetünk, hogy a rezonátorok e tulajdonságát az előbbieken már kihasználtuk: mikor több hangot hosszan, egymásba folyóan szólaltattunk meg, mikor kvint és kvart hangközt szinte kitartott hangként képesek voltunk gerjeszteni, akkor a rezonátorok segítettek, hogy ne legyen felhang-terhelt a zenei szövet, hogy az egyes hanglapok hangjai összelebegjenek, s hogy képesek legyünk a termet hangerővel is megtölteni.

A környezet

Aki volt már ütőhangszeres koncerten, vagy koncertezett már marimbával, tudja, hogy mennyire számít, hogy milyen a környezet. Természetesen ez minden hangszernél igaz; egy enyhén visszhangos terem segíti a zenét, ha túl száraz vagy túl lelkes a visszhang, akkor az csak nehezítő körülmény. Nos én azt tapasztaltam, hogy a marimbának jól áll az echo-s, nagy terű környezet. Főleg a hosszúkás, mely a hangnak a hangszer előtt bő helyet hagy.

Egy hangszer nem ér véget a fizikai határainál. Nem csak azért, mert tér kell a mozgásunknak mögötte – körülötte, felette –, s nem csak azért, mert a hangszer és a közönség közé helyezett tárgy optikailag is rontja a hatást. Hanem amiatt is, amit fentebb kifejtettünk; egy basszusmarimbánál a legmélyebb hang (nagy C) hullámhossza 5 méter 27 centiméter körüli (hangolástól függően), tehát a legszebb hangélményt akkor kapjuk, ha minimum ekkora hely állrendelkezésére a hangnak legalább egy irányban. Természetesen a legtöbb koncertteremnél ez nem lesz probléma. Nézzük, hozzájárul-e más hatással is a terem a hangszer hangjához!

Pillantsunk rá megint a fenti képekre: 8., 9., 16., ábra! A két első ábra a nagy A és a három vonalas b hang képei a visszhangos környezetben, a 16. ábra a kis a képe rezonátorral és anélkül a fojtott visszhangos, ám sokkal nagyobb kamarateremben. Mindegyik felvétel az 1. ábrán ötössel jelölt, regiszterekhez állított TLM 103-as csatornákról vannak kiemelve. Mégis lényeges különbséget látunk és hallunk a hang lecsengési idejében. Egy visszhangos tértől elvárnánk, hogy meghosszabbítsa a hangot, nem effektíve visszacsatolással, hanem közvetetten, a visszhangokkal. Ez meg is történt a felső

regiszterekben, a hangot hosszan halljuk lecsengeni. Ezzel szemben az alsó regiszterek hangjai a visszhangos, ám kicsi és osztott térben még az echóban sem érvényesülnek olyan hosszan és testesen, mint a szárazabb, de nagyobb térben, ahol viszont a felső regiszterek hangjai szólnak rövidebben.

Hangok visszhangos, de kicsi térben

Hangok a stúdió környezetben, nagy térben

Ez az akusztikai utóhang a termék elnyelési tulajdonságára vezethető vissza, amelynél megfigyelték, hogy a terem mérete befolyásolja, melyik frekvenciatartományokat fogja jobban elnyelni vagy felerősíteni. Minél nagyobb egy terem és minél több abszorpciós felülete van, annál kevésbé hagyja érvényesülni a felső frekvenciákat, így a hangszer felső regisztereinek megszólaltatásakor is ezzel találkozunk. Ezt halljuk is *Memories of the Seashore* részletein. Ezzel szemben a kis térben amellet, hogy a nagy hullámhosszú hangoknak sajnos nem jutott elég hely, csempeborítás volt mind a falon, mind a padlón, ami jobban kedvezett a nagy frekvenciájú hangoknak. Bent viszont, a padló és a nézőtéri fal borítása fa burkolat volt, ami a nagyobb frekvenciák felé haladva erősebb elnyelést mutat.²²

Memories of the Seashore részlete visszhangos, de kicsi és száraz, de tágas környezetben

Halljuk, hogy kinn a felső hangok is szép lecsengéssel bírnak, bár a basszus néha rövidebben szól, mint a belső térben, ahol viszont a magasabb hangok pontszerűen hangzanak. Bár nem játszom olyan gyorsan, mint Keiko Abe, mégis a középső szólam orgonapontja mindkét teremben létrejött, a külső felvételnél a visszhang még rá is segített. Meg kell jegyeznem, hogy a hangfájlok készítésénél nem használtunk mesterséges reverb²³-öt. Az egyik ok, hogy a rendelkezésemre álló termék természetét akartam megfigyelni. A másikat hadd mutassam meg egy példán, ahol utólag raktunk rá visszhangot: (először a mesterséges visszhangos anyag szólal meg, utána a natúr felvétel).

Mi-chi részlet reverbbel és anélkül

A kívánt zúgás, a kitartott hang érzete, a hangok megfelelő lecsengése létrejött anélkül is, hogy visszhangot tennénk rá. Így a hangzó anyag csak egy hamis térérzetet kapott, s összemosta a belebegő hangokat, ezzel a hatást és az érthetőségét degradálta. A terem természetes visszhangja viszont segítségünkre lehet; Feljebb említettem, hogy vissza fogjuk nyerni az elvesztett hanghosszunkat. A rezonátorok miatt hangosabb hangok a rezonátor által kisugárzott többletenergia miatt egyértelműen tovább fognak csengeni, hallásérzetben is tovább fennmaradnak, mint egy halkabb, de hosszabb hang.

A környezet, összegezve, nem befolyásolja a hangmagasságot, a hangszínt kis mértékben. Viszont a hang hosszát változtathatja, az érthetőségét annál inkább. Tapasztalataim alapján egy visszhangos, de kicsi környezetben jobban érzi magát a marimba, mint egy szárazabb, de több teret adó teremben, főleg a keiko-féle meghitt daraboknál. Templomi előadásaim alkalmával nem találtam zavarónak az erős visszhangot sem, sem egy gyors darabnál, sem egy lassú dallamívnél. Természetesen a kívánt hangélmény kellő odafigyeléssel bárhol előcsalható, kérdés, hogy mennyi energiával – például hogy stúdiókörnyezetben a dallamjátszó ütőhangszerek hangja képes visszaesni a hangszerbe és dupla energiát igényelnek –, és azt sem vonom kétségbe, hogy az igények és megítélések előadónként és darabonként változhatnak.

Higgyünk a fülünknek

Természetesen itt is és az egész cikk témaköreire vonatkozóan, semmi sem helyettesítheti az értő, igényes fület, amellyel nem csak a marimbát és a termet tudjuk megfelelően állítani, hanem gyakorlás és előadás közben is monitorozni tudjuk a darabokat és kiszolgálni a kívánságaikat. Ezek a példák csak egy fajta zenei igényt képviseltek, ahol a visszhang, az összezúgás és a hangszínek és hangmagasságok lebegése nemcsak megtűrt, hanem kíváncsian is volt. A Keiko-stílus azonban csak egy a néhány egyedi és ezért különböző zeneszerzői stílusok közül. Mindenesetre ne dőlünk be annak a kijelentésnek, hogy a marimba rövid hangú, gyors hangszer, s próbáljuk meg a külső tényezőket is a hangszerhez állítani (a különféle verő-összeállításhoz még: a zongora kalapácai is különböző keménységűek), meg fogja hálálni.

Az itt kifejtett és elmagyarázott okok mind a megértést segítik, nem helyettesítik a tapasztalatot és a hangszerrel való kommunikációt. További jó zenélést és kellemes kísérletezést kívánok!

²² Tarnóczy: Akusztikai tervezés, 310. - 314. és Tarnóczy: Teremakusztika, 465.

²³ Visszhang

Szeretném köszönetemet kifejezni Tóth Benedek tanár úrnak a szakmai segítségért és Barabás Péternek a stúdiómunkáért és utómunkákért!

I would like to express my gratitude to Jim McCarthy from percussionclinic.com for helping me with the issues about the structure of the marimba!

Használt programok:

- ProTools HD
- Kwave Sound Editor
- Gimp 2.8

Felhasznált irodalom, s ajánlott nyári olvasmányok:

- Rebecca Kite, "Keiko Abe's Quest Developing the Five-Octave Marimba" Percussive Notes Vol. 36 no.2 (April 1998)
- Daniel Rager: The History of the Marimba, Claveland State University, 2008
- Tarnóczy Tamás: Akusztika, Fizikai akusztika, Akadémiai Kiadó, 1963
- Tarnóczy Tamás: Akusztikai tervezés, Műszaki Kiadó, Budapest, 1966
- Tarnóczy Tamás: Hangnyomás, hangosság, zajosság, Budapest, Akadémia Kiadó, 1984
- Tarnóczy Tamás: Teremakusztika, Akadémiai Kiadó, 1986
- Tarnóczy Tamás: Zenei Akusztika, Zeneműkiadó, Budapest, 1982
- Thomoas D. Rossing: Science of Percussion Instruments, World Scientific, 1982
- Thomas D. Rossing, Neville H. Fletcher: The Physics of Musical Instruments, Springer Verlag, 1998

Internetes anyag:

- <http://www.phy.mtu.edu/~suits/notefreqs.html>
- http://www.percussionclinic.com/art_mbasa.htm
- Tóth A.: Hullámtani összefoglaló (https://www.fat.bme.hu/student/pub/Fizika%20K2A/hullbev_bk.pdf)
- Greg Merrill: The Marimba (<http://faculty.smu.edu/ttunks/projects/merrill/marimbah.html>)



AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-16-1 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

SZIVES MÁRTON GÁBOR
SZEGED, 2017.06.10.