

**NYÍREGYHÁZI FŐISKOLA  
MŰSZAKI ÉS MEZŐGAZDASÁGI KAR  
NYÍREGYHÁZA**

# **AKUSZTIKAI DEMONSTRÁCIÓS ESZKÖZÖK ÉS KÍSÉRLETEK**

**Tudományos Diákköri Dolgozat**

**Készítette: Gálik Tamás**

**Konzulens: Dr. Beszeda Imre**

**2012.**

# TARTALOMJEGYZÉK

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Tartalomjegyzék .....                                   | 1  |
| Bevezetés .....                                         | 2  |
| Hangsebesség mérése .....                               | 6  |
| Út/idő képlettel .....                                  | 6  |
| Hullámhossz és frekvencia alapján .....                 | 9  |
| Távolságmérés hanggal .....                             | 12 |
| Keverjünk össze hanghullámokat .....                    | 14 |
| Fourier transzformáció gyerekeknek .....                | 17 |
| Alacsony sebesség mérése hanggal, a Doppler hatás ..... | 21 |
| Állóhullámok bemutatása .....                           | 25 |
| Gumikötéllal .....                                      | 25 |
| Chladni-féle porábrák házilag .....                     | 30 |
| Rubens-cső házilag .....                                | 35 |
| Termoakusztika .....                                    | 39 |
| Rezonancia .....                                        | 43 |
| Infrahang előállítása .....                             | 43 |
| Pohártörési kísérlet .....                              | 44 |
| Hangszerek készítése .....                              | 46 |
| Pohársor .....                                          | 46 |
| Vascsóvekkal .....                                      | 47 |
| Tömör fémrudakkal .....                                 | 48 |
| Xilofon laposacélból .....                              | 50 |
| Elektronika és akusztika .....                          | 51 |
| Villogó kapcsolat .....                                 | 51 |
| Zenélő szikra, a plazmahangszóró .....                  | 55 |
| Plazmagömb .....                                        | 58 |
| Összegzés .....                                         | 59 |
| Irodalom .....                                          | 60 |
| Mellékletek .....                                       | 61 |

## BEVEZETÉS



**Elektro-akusztikai előadásom a Kutatók Éjszakáján**

Gálik Tamás vagyok, a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Karán, a Fizika Tanszéken tanulok. A fizikát választottam főszakomnak, majd a kémiát vettem fel második szaknak. Amióta az eszemet tudom, igen nagy érdeklődést mutatok a természettudományok iránt, ezért is esett a választásom e két leginkább gyakorlatiasnak mondható tárgyra. Egyértelműen kijelenthetem, hogy tanár szeretnék lenni, és kicsi gyerekekkel szeretnék foglalkozni, ezért általános iskolában szeretnék elhelyezkedni, fizikát és kémiát tanítani. A gyerekek velem kezdenék tiszta lappal e két természettudományos tárgynak a megismerését, ami nagyon fontos, mert már később a rossz tapasztalatokkal rendelkező gyerekek érdeklődését nagyon nehéz felkelteni a tudományos tárgyak felé. Sajnos nem túl jó tapasztalataim vannak az általános iskolai oktatással kapcsolatban. Túlságosan sok a nyers és nem túl érdekes, gyakorlathoz nehezen köthető elmélet és aránytalanul sok a matematikai oldal, amiről tudjuk, hogy a gyerekek igen nagy részének nem kedvence. A gyakorlati rész pedig szinte elfogadhatatlanul kevés, ezt az arányt szeretném az ellenkezőjére fordítani. Meglepő, hogy a legérdekesebb és legizgalmasabb természettudományos tárgyakat szeretik a gyerekek a legkevésbé, pedig a fizikától és a kémiától nincsen nagyon szórakoztatóbb és játékosabb tantárgy az oktatásban. Gyakran hallom kifogásként, hogy nincs idő a kísérletezésre, pedig erre kellene fordítani a legtöbb időt. Inkább úgy kellene fogalmazni, hogy nincs idő az elméletre, amire szerintem külön időt nem is szükséges fordítani, mert egy tudományos kísérlet közben, annak szerves részeként az elméleti részt is meg lehet beszélni egyszerűen a „miért-ek” megválaszolásával. Másik probléma, hogy a szertárak nem egy iskolában gyakorlatilag üresen állnak, nincs pénz a drága demonstrációs eszközök

megvásárlására, amit nem is csodálok, hiszen sokkal „fontosabb” dolgokra sincs elég pénze az oktatási intézményeknek. Szerintem viszont ez a probléma sem kellene, hogy különösebb nehézséget okozzon. Nagyon kevés pénzből is lehet nagyon érdekes dolgokat mutatni a gyerekeknek és én szívesen vállalom saját erőből a munkahelyemen az iskolai szertár feltöltését igen különleges demonstrációs eszközökkel. Házilag, minimális összegből is el lehet készíteni olyan eszközöket, amelyeket készen csak igen drágán lehet megvásárolni. Nekem nem csupán munka, hanem sokkal fontosabb ettől a gyerekek tanítása, kísérletek tervezése, demonstrációs eszközök készítése. Ez mondható a hobbinak, és az ember szívesen költ pénzt és tölt el sok örömteli órát nap mint nap a hobbijával. Ráadásul látni fogjuk, hogy házilag olyan eszközöket is olcsón létrehozhatunk, amelyeket a gyerekek csak különlegesen helyeken, vagy még ott sem láthatnak, mint pl. a Csodák Palotájában. A legfőbb célom, a hogy gyerekekkel megszerettessem a tudományt és arra neveljem őket, hogy a kísérletek útján játékosan tanulják meg azokat a dolgokat, amelyek nagyon hasznosak lesznek majd a mindennapjaik során. Legfőbb célom talán az, hogy a gyerekek hobbi szinten, nagy örömmel foglalkozzanak természettudománnyal. Sokkal emberközelibb lesz egy gép vagy folyamat, ha a bemutatására szolgáló eszközt magunk állítjuk elő végtelenül leegyszerűsítve. Viszont elég nagy butaságnak tartom csak azért túlságosan is leegyszerűsíteni valamit, hogy a gyerekek könnyen megértsék, bár ilyen formán gyakorlatilag már működésképtelen lesz az adott dolog. Még a tudományos érdeklődéssel rendelkező gyerekek számára is nagyon elszomorító az, ha a tankönyvben lévő ábra vagy leírás alapját próbálja kivitelezni a kísérletét, esetleg építeni egy gépet és az nem működik. Ekkor szokták mondani a felnőttek, hogy „nem olyan egyszerű az, ahogy azt elképzeled”. Olyan gépeket építünk, amelyen pontosan olyan egyszerűek, mint amilyeneknek látszanak, de teljesen működőképesek. Néha csak jelentéktelen apróságokon múlik a siker, de sajnos pont ezeket hajlamosak a tankönyvek és tanárok „elhallgatni” a gyerekek elől. Pedig sokszor ezeken a sikerélményeket múlik, hogy a gyerek tovább folytatja a munkáját és bővíti ismereteit és szereti meg a tudományos játékokat.

Miért az akusztikát választottam a dolgozatom témájának, merülhet fel a kérdés az olvasóban. Erre nem könnyű válaszolni. Választhattam volna a hőtant, az elektromosságtant, optikát és ugyanez a kérdés merülhetne fel. Szinte mindennel igen sokat foglalkoztam, ami a fizikához köthető, és talán az akusztikához tartozó segédtudományos kísérletek köre a legtágabb. Nyugodtan a hangtanhoz köthetjük az elektromosságtant a plazmahangszóró tárgyalásánál, vagy az optikát a lézeres hangtovábbításnál, esetleg a hőtant a hangkeltés számtalan módjánál, de még a kémiát is, nem is beszélve a hullámoknál a mechanikáról, és

egyes különleges zajoknál akár a kvantummechanikáról vagy az atomfizikai értelmezésével kapcsolatban.

Az akusztikán keresztül szeretném bemutatni, hogyan szeretném a gyerekek számára érdekes és izgalmas tantárggyá varázsolni a tudományt. Életem során számtalan eszközt és kísérletet terveztem meg és mutattam be a körülöttem lévő gyerekek számára, és örömmel tapasztalom meg folyamatosan, mennyire le tudja őket nyugózni a hétköznapi tudomány. Jó érzés tervezőnek, kivitelezőnek, szerelőnek, tanárnak és előadónak lenni egyszerre, és nagyon praktikus is, hiszen így nincs mindig a másakra utalva az ember. Kicsi koromban csak terv szintjén maradtak az elképzeléseim és arról álmodoztam, hogy egyszer majd bármit kigondolok, meg is tudom valósítani. Ez mára, szinte észre se vettem, de valóra vált. Ami ma még csak egy terv, az holnapra akár kézben fogható masina, ami a gyerekeket elkápráztatja, annyira, hogy ők is tudósok, feltalálók szeretnének lenni és kérés nélkül utánozva és segítve a munkámat úgy jutnak igen fontos, könyvből esetleg el sem sajátítható ismeretekhez, hogy észre sem veszik, csak játszanak. Hogy kizárólag gyerekes játékkal nem lehet fizikát tanulni, az a saját példámmal szeretném megcáfolni, ugyanis elmondhatom, hogy egy percet sem töltöttem a fizika klasszikus tanulásával, szabályok bemagolásával, leckeírással, stb. Bár többször is nyertem fizika versenyeket, egyet szeretnék kiemelni, mert egy nagyon érdekes könyvet kaptam díjként, ami nem volt más, mint Öveges professzor egyik könyve, tele házilag egyszerűen kivitelezhető játékos fizika kísérleteivel. Többek között ezeket a kísérleteket alakítom át a mai modern formára, ezáltal még érdekesebbé téve a mai gyerekek számára kísérletezést, akik így a modern elektronika és informatika rejtett világával is közelebbi kapcsolatba kerülnek.

Mint már említettem, főleg gyerekekkel szeretnék foglalkozni, még hozzá olyan módon, amely akár jelentősen is eltér a mai gyakorlattól. Olyan módszereket szeretnék bevetni, amelyekkel magam is elégedett lettem volna, amikor még általános iskolás voltam. Mai napig nem szeretem, amikor a fizikából matematikát csinálnak a tanárok. A fizika maradjon meg fizikának, a matematikát a lehetőségekhez képest szeretném háttérbe szorítani. Ha a látványos kísérletekkel teli fizika órát szinte matematika-mentessé sikerül tenni, eljutunk egy olyan érdekes fizika show műsorig, amelyet a legtöbb gyerek, sőt felnőtt is kedvel, még akkor is, ha a tudomány nem is áll közel hozzájuk. A matematika hétköznapi szinten, mindennapjaink részeként fontos, és ilyen szinten még érdekes is lehet, magát a fizikát még kifejezetten izgalmassá tehetik a számok, de csak kiegészítésként, és nem főszereplőként. Megmérhetjük a szokásos módon is a hangsebességet, azaz mérjük utat és időt és osszunk el egymással a két mennyiséget és ezzel legyen vége is a matematikának. Szakmódszertanilag is fontos, hogy ne

bonyolítsuk el a mérést, amit nem értenek meg könnyen a gyerekek, nem is lesz számukra érdekes és nem is fogják megtanulni a lényegét, de ha meg is tanulják, semmire se mennek vele, sőt rövid időn belül el is felejtik. Bebizonyosodott, hogy még az eminensek is a tanult anyag mintegy 80%-át teljesen elfelejtik. A „magolás” egy mechanikus bevésés, és nem csak kellemetlen ilyen módon elsajátítani az anyagot, hanem haszontalan is, és ráadásul önfegyelmet, türelmet, kitartást stb. is megkövetel az embertől, mely tulajdonságokkal magam se rendelkezem, mégis úgy érzem, remekül helyt tudtam és tudok állni a tanulásban és az ismereteim gyakorlatba történő áthelyezésben is. Tanulni nem könyvből lehet az íróasztal mögött ülve, hanem kísérletezéssel, játékkal, teljesen észrevétlen módon szerezhethetünk meg olyan ismereteket, amelyek segítségével könnyebben boldogulhatunk a mindennapi életünk során. A hangsebesség mérési módszerem nagysebességű lövedékek sebességének méréséhez is jól használható. Ilyen feladat volt az emelt szintű fizika érettségi vizsgán is és az oktató ki is fejezte aggodalmát, az egész megyében alig néhány tanuló merte vállalni az emelt szintet. A célom: az egyszerű „laikus” emberekkel is szeretném a fizikát megszerettetni. A legtöbb mérésem elemi fizikai ismereteket igényel és elemi fizikai mennyiségeket kíván csak meg, tehát ideális gyerekek számára, de gépek építésénél és fejlesztésénél is nagy segítséget jelentenek.

A következő fejezetekben azon eszközök és kísérletek bemutatása található, melyeket az elmúlt időszakban terveztem és állítottam össze, illetve mutattam be különböző szemináriumokon, tudománynépszerűsítő előadásokon (akusztika c. kurzus, Kémia-fizika nyári szaktábor gyerekeknek, Őszi Fizikusnapok).

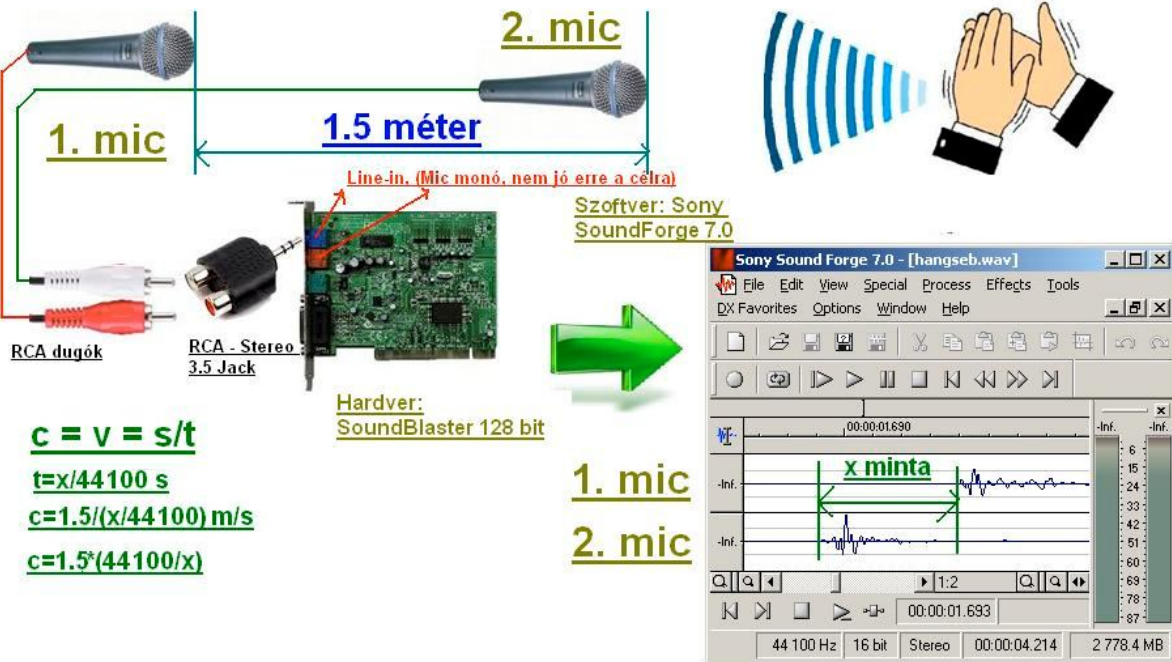


**”Oscilloszkópot” akár egy régi selejt monitorból is gyárthatunk ingyen!**

# HANGSEBESSÉG MÉRÉSE

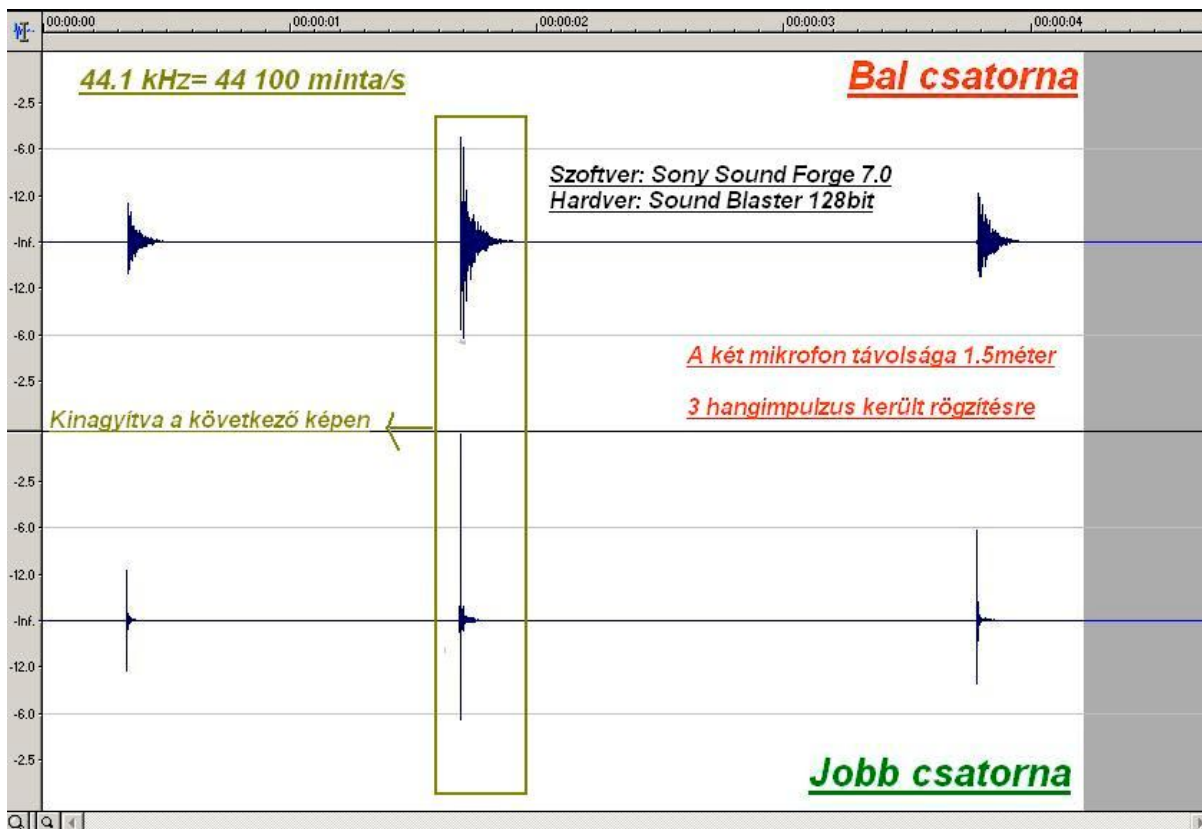
## Mérjük meg a hang terjedési sebességét:

### Hangsebesség mérése házilag



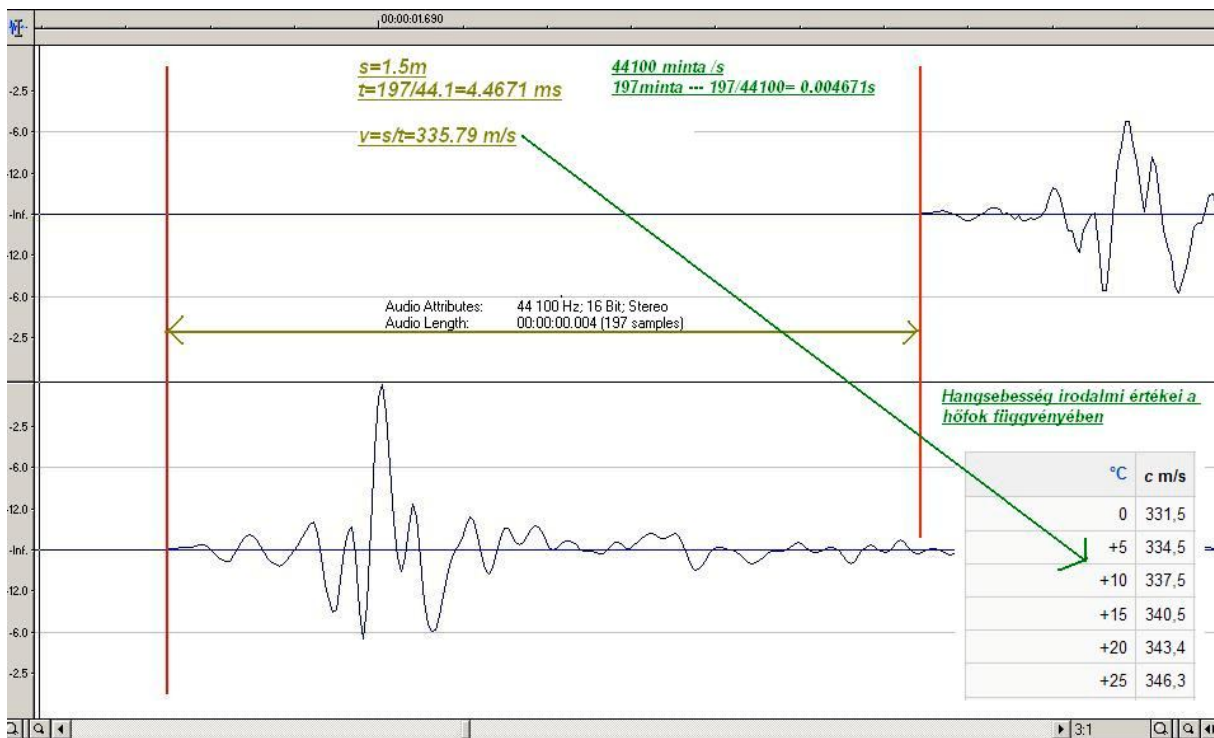
1.ábra A mérés menete

A méréshez szükséges egy számítógép hangkártyával. A hangkártya Line-in bemenetére két mikrofont csatlakoztattam. A mikrofon bemenet sajnos csak egyetlen csatornával rendelkezik és a laptopokon nagyrészt csak MIC bemenet található. Erre megoldásként szereztem egy USB-s, tehát laptopra könnyen csatlakoztatható külső hangkártyát Line-in bemenettel, így hordozhatóbbá vált a berendezés és a főiskolai hallgatóknak is be tudtam segítségével mutatni a mérés kivitelezését. Otthon asztali számítógépet használtam, benne egy egyszerű és olcsó, ma már réginek mondható Sound Blaster 128-as hangkártyával. A két mikrofont egymástól néhány méteres távolságba helyeztem el és megpróbáltam rövid, éles hangimpulzusokat kelteni tapsolással. A hangot közben egy hangrögzítő alkalmazással, a Sony SoundForge 7.0-val rögzítettem. A mérés elve a következő: A hang véges terjedési sebessége miatt először a közelebbi, majd kis idő múlva, késéssel a másik, távolabbi mikrofonhoz érkezik. Az időkülönbség a program segítségével könnyen meghatározható. Bár a program közvetlenül is kiírja nekünk az időtartamot akár másodpercben nagyon pontosan, (manuálisan magam jelöltem ki az impulzusok kezdetei között lévő időtartamot), ezt magunk is kiszámolhatjuk. A digitális hangfeltétel másodpercenként 48000 db mintavétellel kezdődik, majd ezeket digitalizáljuk.



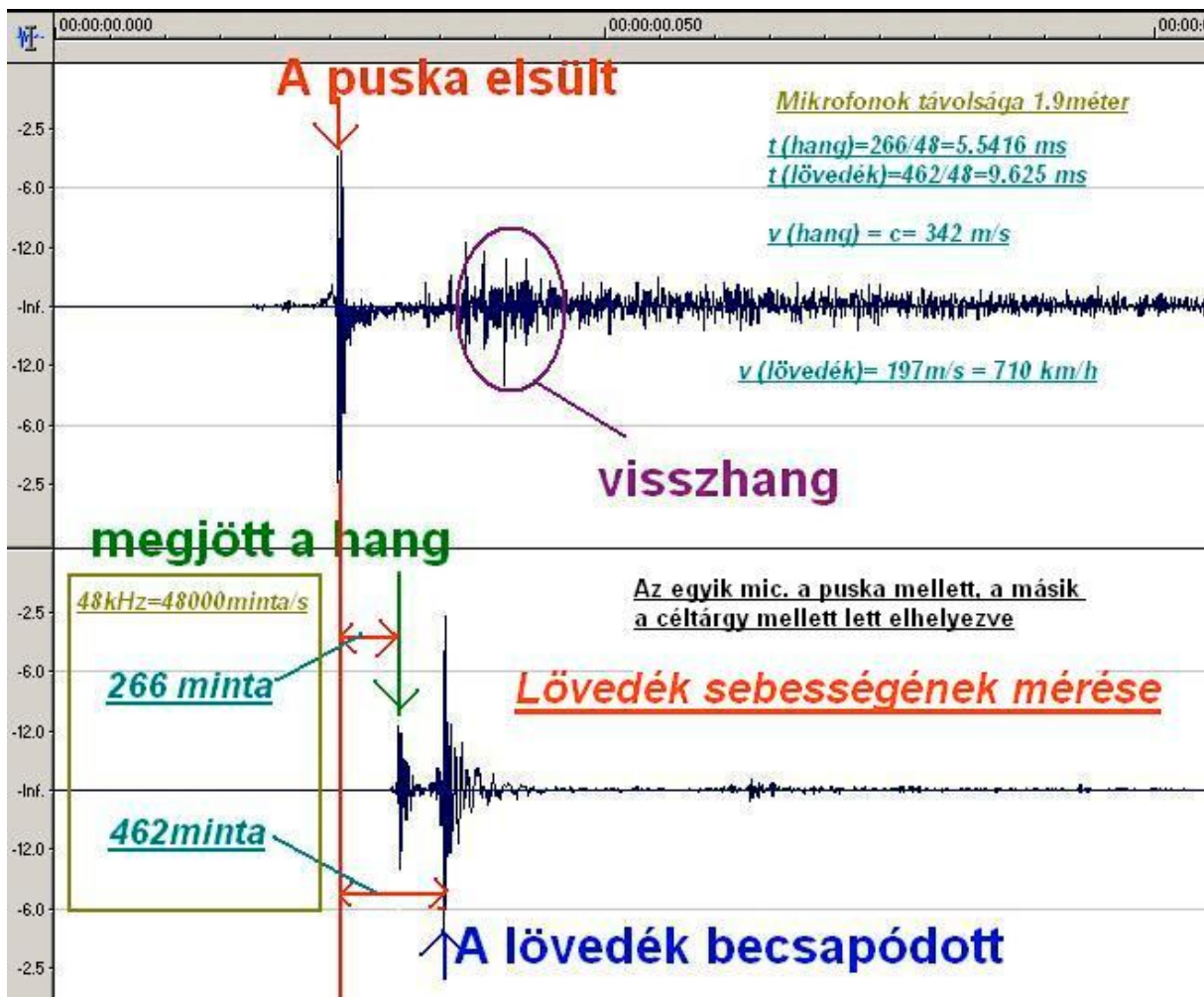
**2.ábra A hangimpulzusok távolról**

A két csúcs közötti mintaszámot elosztva a mintavételi frekvenciával megkapjuk az időt. A mikrofonok közötti távolságot mérőszalaggal mm-es pontossággal megmérhetjük. Az utat és az időt kell csak elosztani egymással és készen is lennénk a méréssel. A hang elég gyorsan terjed, így a mikrofonok közötti futási ideje msec nagyságrendű, de már egy legegyszerűbb hangkártya is képes a 48 kHz mintavételezésre, sőt már vannak 192 ill. 384 kHz-es hangkártyák is, amelyekkel még pontosabb időmérést végezhetünk közel  $\mu$ s-os felbontásban. A mérés nagyon jónak számító eredményt szolgáltatott, nagyon elégedett vagyok vele. A tapsolással gyorsan és egyszerűen lehet hangimpulzusokat kelteni, de ezek az impulzusok nem túlságosan rövid időtartamúak és a távolabbi mikrofon számára már eléggé gyengék. A programmal természetesen normalizálhatjuk a hangot, és egészen pontos hangsebességeket lehet mérni segítségükkel, de én nem álltam meg, hanem tovább fejlesztettem a módszert. A két mikrofonom nem egyforma érzékenységű, természetesen a kevésbé érzékenyebbet helyzetem közelebb a hangforráshoz és a keltett hangok erősségét is sikerült megfelelő erejűre növelni. Elég éles hangforrásnak bizonyult a vízbontásból származó durranógáz elégetésekor keletkező pukkanás. Hogy az impulzusok közötti időt pontosabban tudjuk meghatározni, az impulzusnak meredek felfutásúnak és gyors lefutású élűnek, és rövid időtartalmúnak kell lennie.



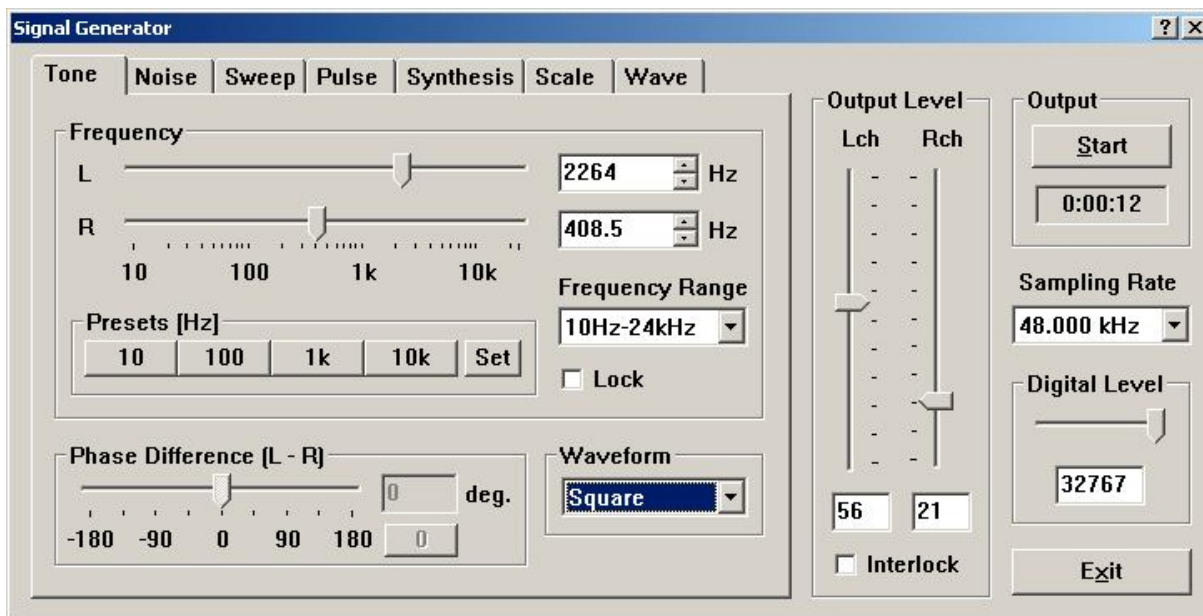
**3.ábra Hangimpulzusok közelebbről**

Légpuskával is próbálkoztam, beragasztottam szigetelőszalaggal a csövénél a bemenetét és golyó nélkül elsütöttem a felhúzott szerkezetet. Ezzel a módszerrel nagy hangerejű, bár nem túl rövid idejű hangot lehetett generálni. Annál jelentősebb a felfedezés, hogy a lövedék sebességét is megmérhetjük nagyon hasonlóan a hang terjedési sebességének méréséhez. Ekkor a fegyvert már golyóval töltve közvetlenül az első mikrofont mellett sütöttem el. A lövedék egy konzervdobozba csapódott, ami a másik mikrofon mellett volt elhelyezve. Az egyik hangimpulzust maga a légpuska elsütése hozta létre, a másikat pedig a konzervdobozba csapódó lövedék. Megmértem a távolságot, amelyet a lövedék befutott, majd az idő kiszámolása után egyszerű osztással a lövedék sebességét meg is határoztam. A mérési eredmények igen szépen megfeleltek a valóságnak. A lövedék természetesen lassul a mérési pontok között, de ez nem túl jelentős ilyen rövid távon, így a kapott átlagsebesség jó közelítéssel a kezdősebességnek is megfelel. Ékszermérleggel a golyó tömegét megmérve a mozgási energiája is kiszámolható.



4.ábra lövedék sebességének a mérése

A hangsebesség mérhető **hullámhossz és frekvencia alapján** is. Ez a módszer ismerősebb, mint a számítógépes mód, mert nem igényel korszerű eszközöket. Ismert frekvenciájú hangforrás, pl. egy hangvilla elég hozzá illetve egy egyik végén zárt cső, aminek az aktív hossza is változtatható. Rezonancia segítségével állítjuk be a hosszát és a hullámhossz ennek a négyszeresen lesz nagyjából, mert ha pontosak akarunk lenni még a cső átmérőjének az 1/3át is hozzáadjuk a csőhosszhoz. A változtatható hosszúságú cső lehet egy PVC cső, amit lefolyókhoz használnak, vízbe állítva elérhetővé válik a hosszának kényelmes állítgatása. Ennek a mérésnek is van egy modernebb kivitele is, amit kidolgoztam számítógéphez. Hangforrásként maga a számítógép hangkártyája és a rákapcsolt hangszórók szolgálnak. Hanggenerátor programmal 1000Hzes hangot szólaltatok meg és két mikrofonnal érzékelem a



**5.ábra Hanggenerátor**

jeleket. A hanggenerátor programmal párhuzamosan ugyanazon a számítógépen egy oszcilloszkóp alkalmazást is futtatok. A két alkalmazás egy programcsomag része, ami az alábbi link segítségével ingyen is elérhető:

<http://www.download3k.com/DownloadLink1-DSSF3-Full-system-Version.html>

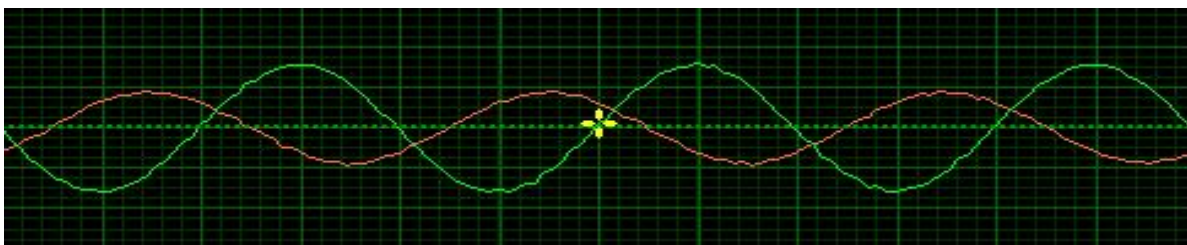
[http://www.zeitnitz.de/Christian/scope\\_en](http://www.zeitnitz.de/Christian/scope_en) (hangkártya, mint oszcilloszkóp)

A program számtalan segédeszközének köszönhető nagyon sokrétű és nagy segítséget jelent az akusztikai kísérletezés során. Tartalmaz a jelgenerátoron és az oszcilloszkópon kívül még felvevő programot, spektrum analízist, frekvenciamérőt is. A méréshez egyetlen



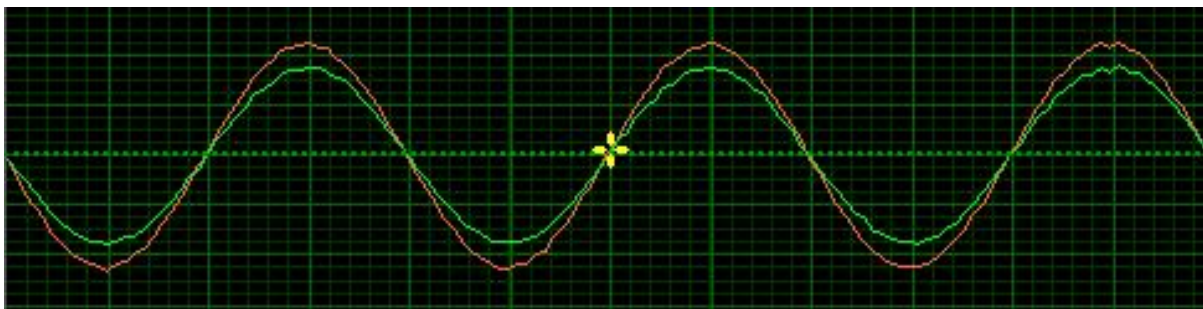
**6.ábra A mérés**

hangszóróból sugározom ki az 1kHz-es hangot, és két mikrofonnal veszem fel azokat. A két mikrofon nincs azonos távolságban a hangforrástól, tehát a vett hanghullámok között fáziseltérést tapasztalunk. (7.ábra)



7. ábra

A falról és a mérés közelében lévő tárgyakról visszaverődő hanghullámok fázisa is természetesen erősen változó, ezek megzavarják a mérést, igaz szerencsére a reflektált hullámok amplitúdója viszonylag kicsi. Tapasztalat viszont azt mutatja, hogy nagyon is érdemes elkerülni a visszaverődést, ezért a mérés helyét gondosan választottam meg. Az egyik mikrofon helyét nem változtatom és a hangszóró közvetlen közelében helyezem el, hogy minél erősebb legyen a jele. Az oszcilloszkóp triggerelését ez a mikrofon fogja vezérelni. A másik mikrofon helyének változtatásával a fáziseltérés is szépen változni fog és egy kis játékkal könnyen elérhetjük, hogy megint azonos fázisba kerüljön a két jel, méghozzá akkor következik be, ha a fáziseltérés 360 fokok lesz. (8. ábra) A mikrofonok közötti távolság a szimmetria miatt pont hullámhosszynyi lesz, tehát a mérőszalaggal ilyenformán mérhető válik. Én kb. 33.5cm-t mértem az 1kHz-es hangnál, összeszorozva SI egységekben számolva azonnal látszik, hogy 335 m/s adódik a hang terjedési sebességére, ami elfogadható érték, ha figyelembe vesszük, hogy gyerekeknek szánjuk demonstrációs kísérlet gyanánt, az elmélet gyakorlatban való hasznosítására. A mostani második képletünk is rendkívül egyszerű:  $sebesség = hullámhossz * frekvencia$ . Ugyanezt a mérést akár számítógép nélkül is elvégezhetjük, ha van kétcsatornás analóg oszcilloszkópunk.



8. ábra

## TÁVOLSÁGMÉRÉS HANGGAL

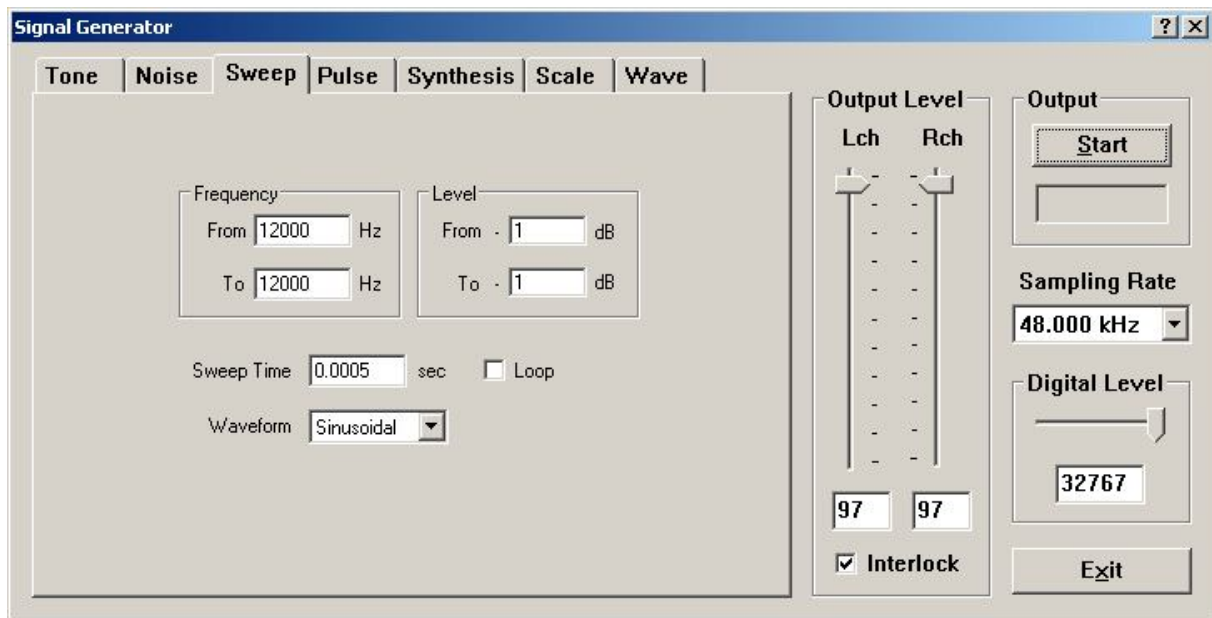


**9. ábra ultrahangos távolságmérő**

Ha már ismerjük a hangsebességet, vagy mert megmértük, vagy pedig kikerestük a szakirodalomban, esetleg tudjuk fejből, így az idő pontos mérésével lehetőség van távolságmérésre is. Vannak kereskedelmi forgalomban is ultrahangos távolságmérők, magam is vásároltam épületek belső méreteinek mérésére, de kiváló demonstrációs eszköznek is. A kijelző feletti vízmérték segíti a műszer vízszintes helyzetbe állítását és a beépített piros fényű lézer a célzást. A tetején két kónuszba épített adó-vevő sugározza és veszi a 40kHz-es hangimpulzusokat. A mérést elve rendkívül egyszerű, a hang megteszi a mérendő távolságot és a falról visszaverődve újra a műszerbe jut, így tehát megteszi a mért távolság kétszeresét.

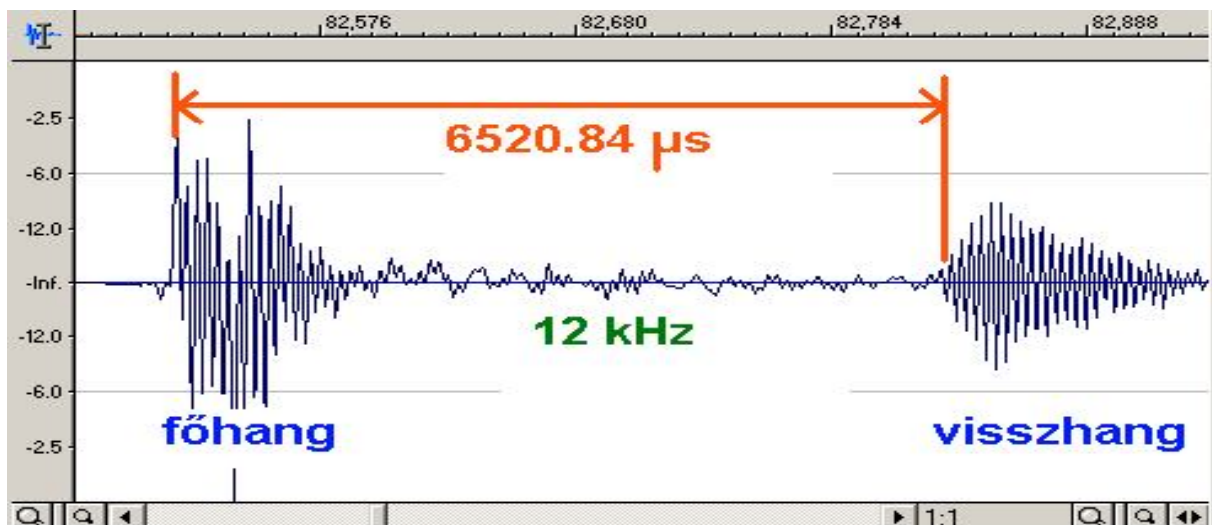


**10. ábra A távolságmérő modellje**



11.ábra Rövididejű nagyfrekvenciás hang keltése

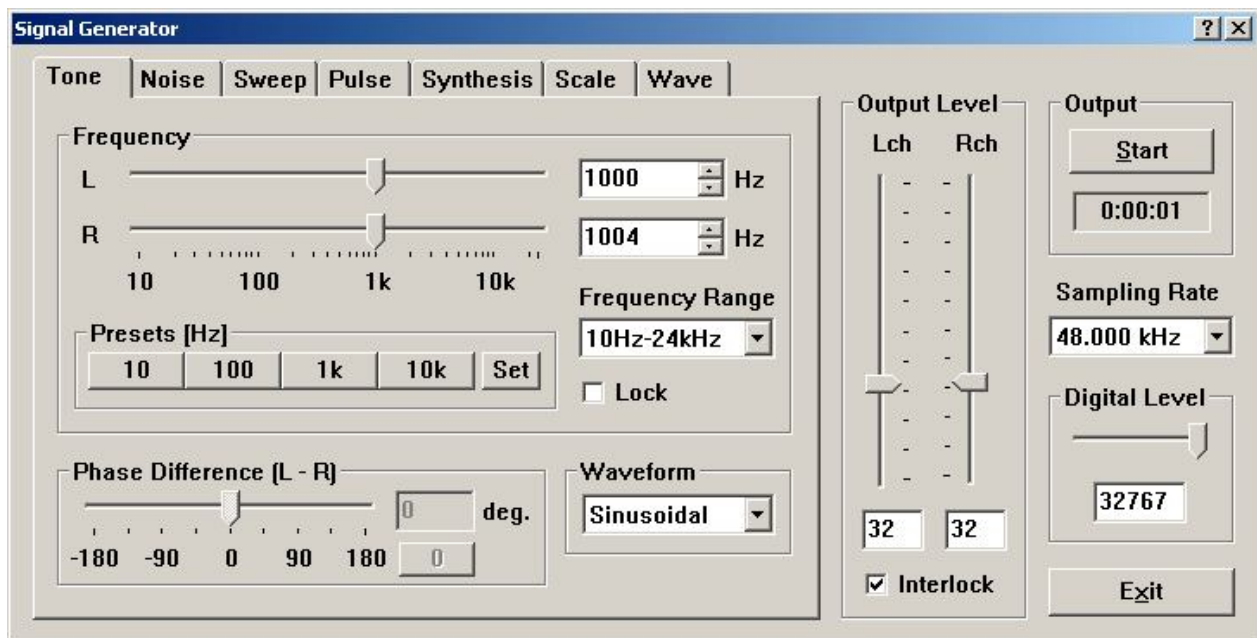
A műszer tulajdonképpen időt mér, és a hangsebesség ismeretében meghatározza a távolságot. Ugyanezt csináltam én is, számítógéppel, hangszóróval és mikrofon segítségével. A hanggenerátorral 12 kHz-es 1.6 msec széles hangimpulzusokat lőttem a hangszóróból maximális hangerőn a szemben lévő ajtója. A hangot vette a mikrofon, aztán az ajtónak ütközve egy része a hangnak elnyelődött, de a maradék visszaverődve újra a mikrofonba jutott. A Sony SoundForge nevű alkalmazás segítségével a távolság meghatározása már gyerekjáték. A szobában lévő levegő hőmérséklete a méréskor viszonylag magas volt, kb. 26C. A hangsebességet 345 m/s-nak véve az eltelt idővel megszorozva az oda-vissza út fele 112.48cm-nek adódott. Mérőszalaggal megmérve 113cm-t lett, tehát az eredmény bámulatos! Visszafele gondolkozva a hangsebesség is mérhető ilyen módon akár egyetlen mikrofonnal is.



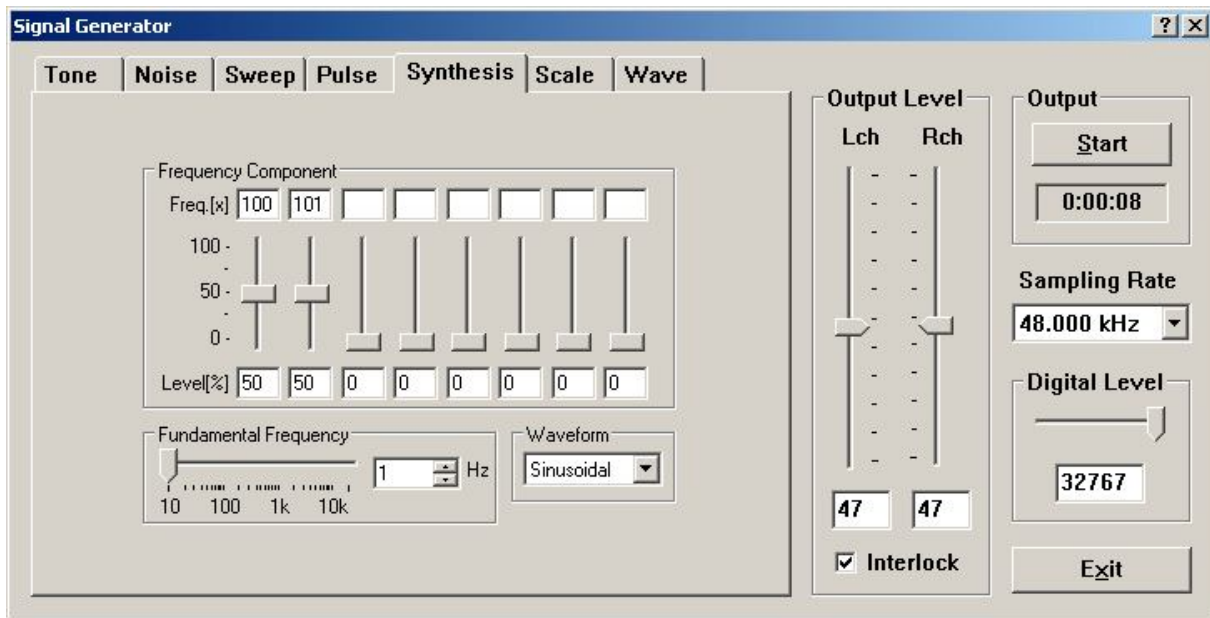
12. ábra Az idő pontos mérése

## KEVERJÜNK ÖSSZE HANGHULLÁMOKAT

A legegyszerűbb esetben két azonos amplitúdójú és frekvenciájú és fázisú hullámot adunk össze és akkor csupán a hangerő fog kétszeresére növekedni. Ha az amplitúdók különböznek az eredő amplitúdó egyszerűen a rész amplitúdók összege lesz. Ha a fázist változtatjuk csupán, akkor sem bonyolódik a helyzet különösebben, azonos fázisban erősítik, ellentétes fázisban akár ki is olthatják egymást a hullámok, de a frekvencia változatlan marad. Akkor lesz érdekesebb a helyzet, ha különböző frekvenciájú rezgéseket adunk össze. Ekkor a fázis elveszti értelmét, legalábbis nem lesz állandó, hanem folyamatosan vándorolni fog. Ha két közel azonos frekvenciájú hangokat adunk össze, akkor a frekvenciában nem különösebben veszünk észre változást, de a fázis változása miatt hol azonosak, hol éppen különbözők vagy éppen ellentétesek fázisban lesznek, ezért a hangerő állandóan változni fog. Amikor a fázis azonos, akkor lesz a hangerő maximális, amikor pedig ellentétes, minimális lesz. A jelenség az akusztikában is jól ismert lebegés. A lebegés frekvenciája, a két bemeneti frekvencia különbsége jól hallható. A kísérlet nagyon egyszerűen kivitelezhető és a gyerekek számára is érdekes. Amikor megpróbál két embert egyszer közel azonos magasságú hangot kiadni füttyüléssel vagy egyszerű énekhang hallatásával, a hang elkezd trillázni, ami a lebegésnek köszönhető. Vegyük elő újra a számítógépet sztereó hangszórókkal és a hanggenerátor programmal. (13.ábra). A hangszórók által kiadott hang főbb paramétereit, azaz frekvenciáját, amplitúdóját és fázisát tetszés szerint változtathatjuk igen széles tartományban. Állítsuk azonosra a paramétereket és csupán a fázist változtatva, a hangerő erős változását mutathatjuk be. Ahogy Öveges professzor mondaná: „hanghoz hangot adunk és csend lesz”, igen érdekes!

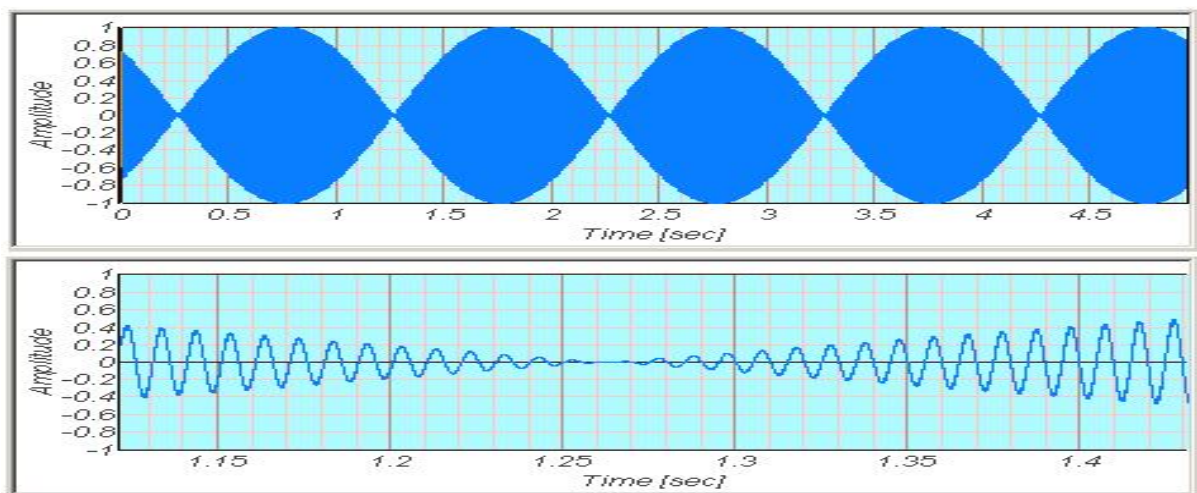


13. ábra Lebegés előállítás

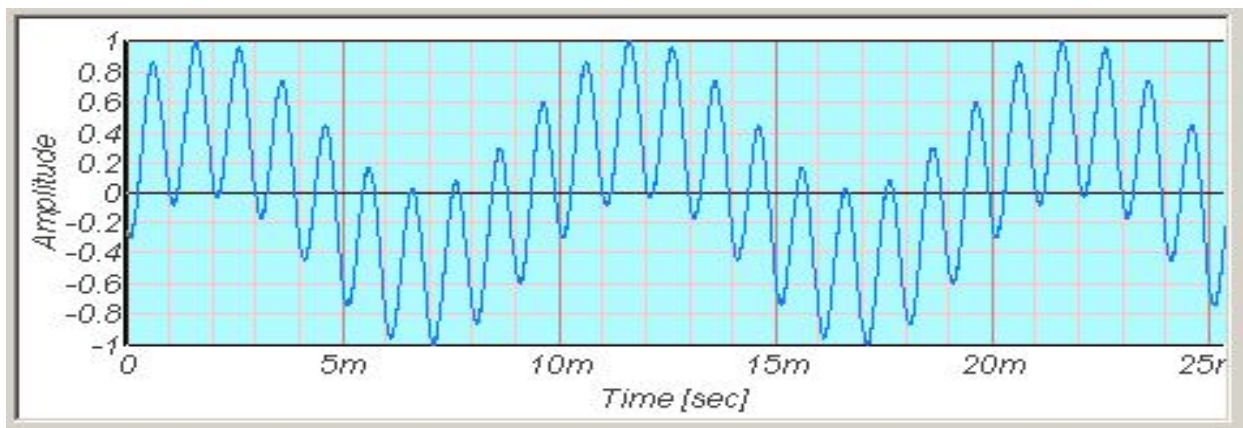


**14. ábra Lebegés szintézissel**

A lebegéshez 1000Hz-es és 1004Hz-es szinuszos jelalakú hangot sugároztam ki a hangszórókból egyszerre. A bal oldali hangszóró adta ki a 1000Hz-es hangot, a jobb oldali pedig a másik frekvenciát és a távolságuk egymástól kb. 15cm volt. A másodpercenkénti 4 lebegés remekül észlelhető volt. A lebegés, mintegy különbségi hang tulajdonképpen nagyobb frekvenciakülönbség esetén is tapasztalható. Ha pl. 1000Hz-es és 1100Hz-es hangokat keverünk össze, jól kihallható a különbségi 100Hz-es berregés. Még érdekesebb a 10 kHz-es hang és 100Hz-cel magasabb hang keveréke, ami az éjszakai tücsökciripelést juttatja az eszünkbe. A lebegés felhasználható frekvenciakeresésre is. Egy ismeretlen frekvenciájú hang mellé előállítunk a hanggenerátorral egy másik hangot és addig változtatjuk a ismert frekvenciát, amíg lebegést nem tapasztalunk, ekkor az ismeretlen hang frekvenciája közel azonos az ismert frekvenciával. Egy kis játékkal pontosan beállítható a lebegés frekvenciája.



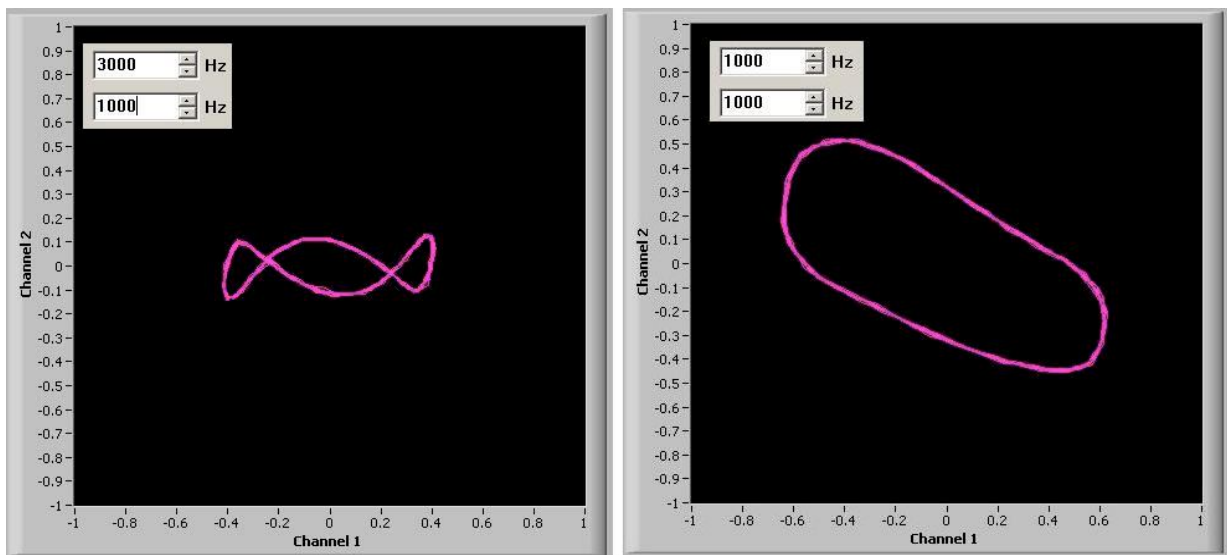
**15. ábra A lebegés jelalakja**



**16. ábra Nagy frekvenciakülönbség**

Az 16. ábrán látható, amikor két hangot keverünk össze nagy frekvenciakülönbséggel. A kisebb frekvencia 100Hz, nagyobb 1000Hz volt. Látszik, hogy a kisebb 100Hz-re szépen ráépül, rászuperponálódik a nagyfrekvenciás hang. Természetesen mindkét hangot halljuk, de előfordulhat, hogy a nagyobb vagy éppen a kisebb frekvencia kívül esik azon a tartományon, amit hallunk, így csak a hallható tartományban lévő hangot halljuk. Néha szükség van a nagyfrekvenciás jelre, de nem akarjuk hogy zavarjon, ezért azt ultrahang tartományába választjuk meg.

Összeadhatunk rezgéseket X-Y üzemmódban is, amire még analóg oszcilloszkópok is képesek, nemhogy a digitálisak. Ennek a módszernek a lényege, hogy a derékszögű koordinátarendszerben összegzünk két pl. szinuszos rezgést. Pontokat ábrázolunk időben egymás után, melyek X koordinátáját az egyik rezgés aktuális helyzete határozza meg, az Y koordinátáját pedig a másik rezgésé. Nagyon érdekes alakzatokat lehet így kapni, ezek a Lissajous-görbék. Amikor a két rezgés azonos egy 45 fokos ferde egyenes kapunk.

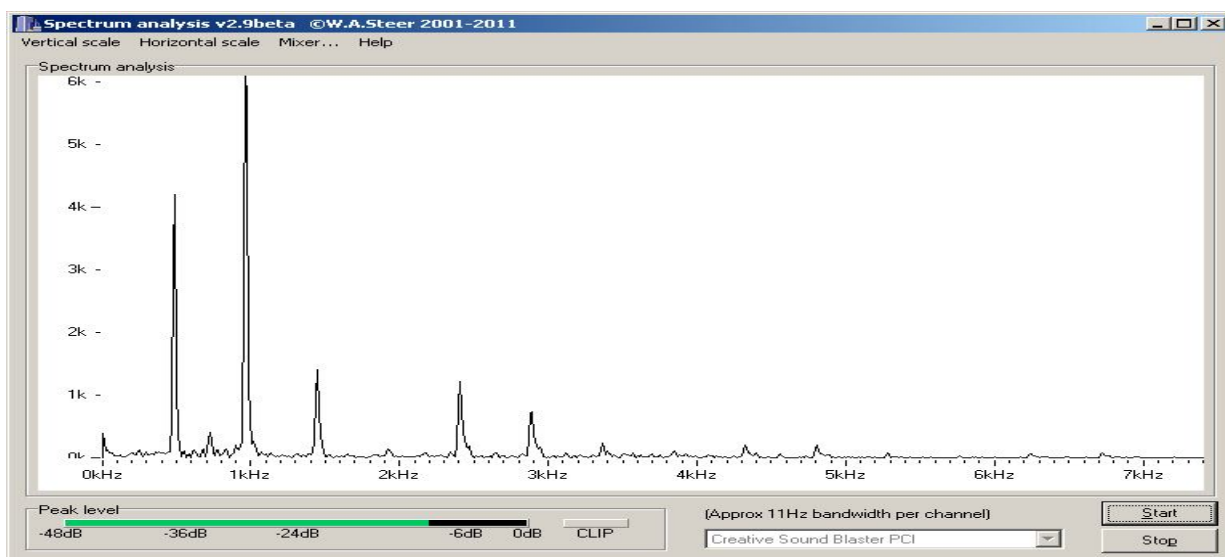


**17. ábra Lissajous görbék**

Ha a fázisuk különbözik, egyre inkább ferde ellipszis lesz a vonalból, 90fokos fáziseltérés esetén kört kapunk (azonos az amplitúdó is), ami tehát egy szinuszos és egy koszinuszos rezgés összege. Amennyiben a rezgések frekvenciájának hányadosa racionális szám, a görbe idővel önmagába záródik, egyébként nem. A mikrofonok hangszóróktól való távolságának változtatásával a hang véges terjedési sebességének köszönhetően a fázis változik, ezért a görbe is. Frekvenciamérést az X-Y összegzésnek köszönhetően is tudunk csinálni, ha az ismeretlent összekeverjük egy ismert hanggal és a kapott görbét kiértékeljük.

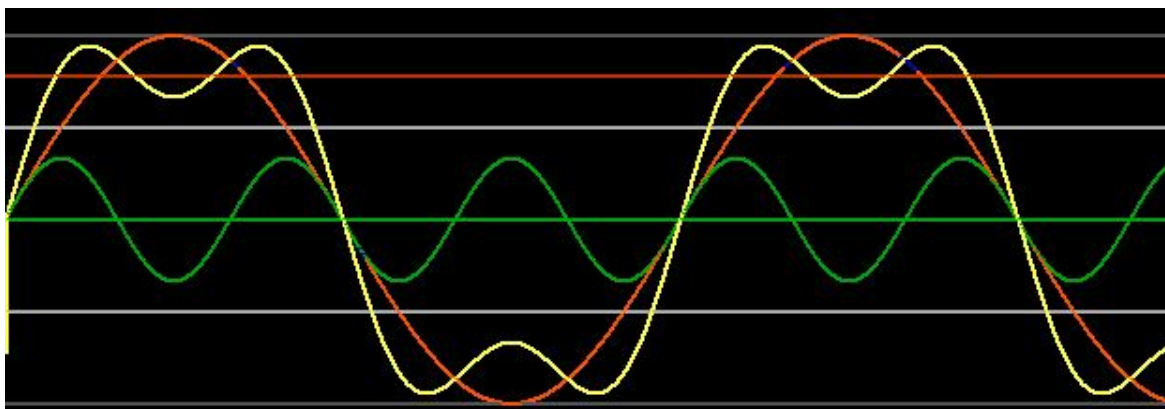
**Fourier transzformáció gyerekeknek:** A cím érdekesnek tűnhet, mert nemigen esik szó a Fourier transzformációról általános iskolában. Gyereknyelven szeretnék beszélni a kicsiknek is a témáról, mert érdekes és hasznos lesz a későbbiekben. Eddig tiszta szinuszos jelalakkal dolgoztunk, egy-két hangot kevertünk csak össze. Valójában ilyen hanghullámok ritkán fordulnak elő a gyakorlatban, csak az egyszerűség kedvéért tárgyaltuk, főleg elméleti síkon találkozhatunk velük. A valóságos hangok nagyon összetettek, rendkívül sokféle frekvenciájú és amplitúdójú, de szinuszos hullámok keverékeinek foghatók fel. A Fourier transzformációhoz köthető a hang felbontása szinuszos összetevőkre, de megtehetjük az ellenkezőjét és szintetizálhatjuk a hangot, ha összeadjuk a komponenseket. A reális hang olyan összetett, hogy gyakorlatilag majdnem mindenféle frekvenciájú komponenst tartalmaz különféle amplitúdóval. Ha ábrázoljuk a különböző összetevők amplitúdóját a frekvenciájuk függvényében, megkapjuk a hang spektrumát. A spektrum analíziséval betekintést nyerünk a hang színezetébe. Az eddig használt hanggenerátoros programcsomag része egy kiváló analízátor, amit én is előszeretettel alkalmazok. Letölthetünk még egy egyszerű, ingyenes alkalmazást, aminek a segítségével részletesebben belenézhetünk a hangba:

[http://www.techmind.org/audio/SpecAn\\_2v9b.exe](http://www.techmind.org/audio/SpecAn_2v9b.exe)



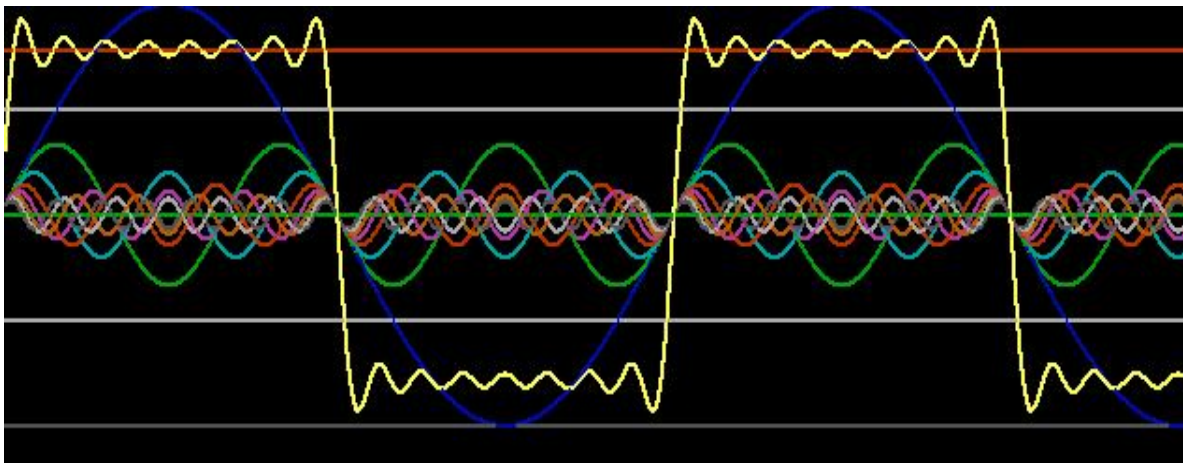
18. ábra A hang frekvenciaspektruma

Nemcsak szinuszos jelalak létezik, van néhány jellegzetes hullámforma is, amelyek igen elterjedtek az impulzustechnikában. A hanggenerátorunk képes teljesen egyedi hullámforma előállítására is és tartalmaz néhány előreprogramozottat is. Elérhető a háromszög, négyszög, fűrészfog alakú jelalak is. Érdekes, hogy végtelen sok görbe szinuszjel összegzésével teljesen szögletes jelformák is előállíthatók. Elvileg bármilyen periodikus jel felbontható szinuszgörbék összegére. A zenélésben főleg periodikus jelek fordulnak elő és főleg ezzel szeretnék foglalkozni, de pl. a beszédfelismerésben nem periodikus jelek analízise is fontos.



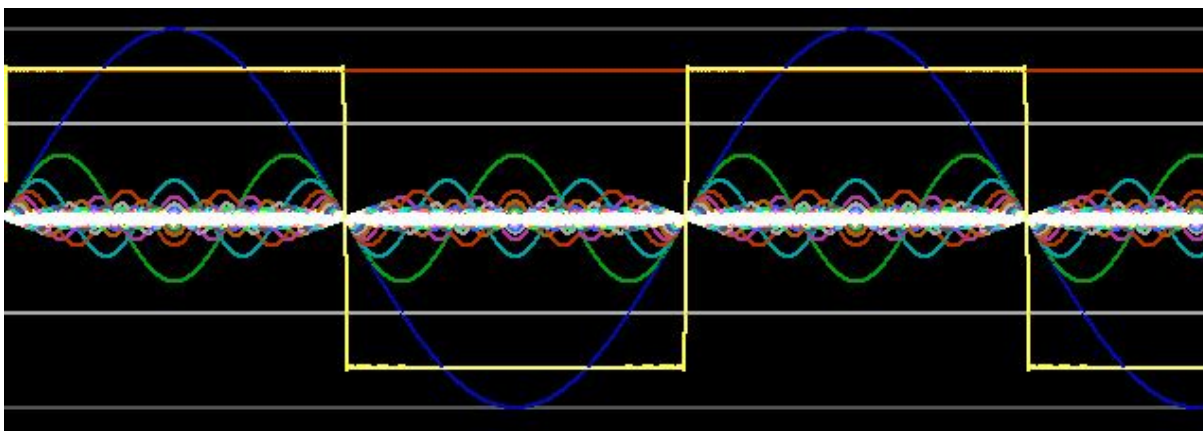
**19. Ábra Négyszögjel formálódik**

Érdekességképpen jó tudni, hogy itt nem a frekvenciacsúcsok, hanem azoknak a burkológörbéje a jelentős. De térjünk vissza néhány periodikus alapjelformákhoz, nézzük meg, hogy állnak elő harmonikus komponensek összegeként. A 19.ábrán látható pirossal jelölt szinuszgörbéhez hozzáadunk egy nála háromszor nagyobb frekvenciájú, de háromszor kisebb amplitúdójú zöld szinuszgörbét, akkor megkapjuk a sárga hullámformát, ami máris kezd hasonlítani a négyszöghöz. De folytathatjuk a sort 5.ször, 7szer, 9-szer nagyon frekvenciákkal és megfelelően kisebb amplitúdókkal. Minél több összetevőt adunk hozzá, annál jobban megközelítjük az ideális jelalakot. Elméletben végtelen sok szinuszgörbe összege előállítja a tökéletesen az eredeti függvényt. Nyilván az amplitúdóknak tartani kell a nullához, hiszen



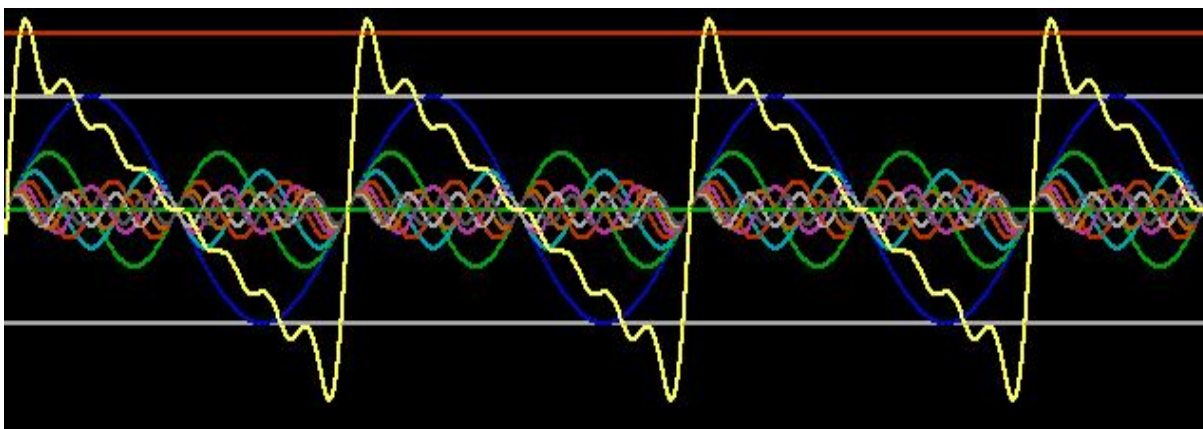
**20. ábra A négyszög tovább formálódik**

akkor a végtelen tagból álló összeg, az eredő amplitúdó csak így lesz véges. A frekvenciák ugyan a végtelenhez tartanak, de ez nem okoz zavart, sőt pontosan ez kell pl. a négyszög jel tetejének a tökéletes „simaságához”. Már két komponens is jól láthatóan kezdi négyszögge formálni az eredő hullámot, de nyolc szinuszgörbe összege már láthatóan jelzi, hogy egyre inkább tartunk a tökéletes négyszöghöz. Nagyon szeretek Basicben programozni, a legegyszerűbb, legközvetlenebb programozási nyelvnek tartom és jól használható demonstrációs programok készítésére. Nagyon fiatal voltam, amikor először találkoztam a Basic nyelvvel, de már akkor nagyon megtetszett és szinte teljesen autodidakta módon sajátítottam el amatőr szinten a használatát. Lehetőség van a számítógép használatával akár

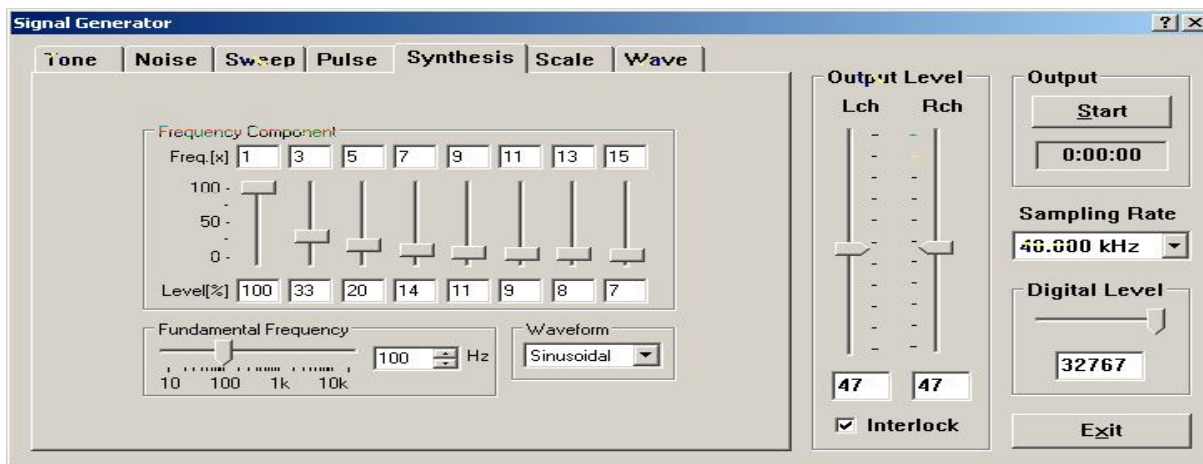


**21. ábra Ezer szinuszgörbe összege**

1000 szinuszgörbét összeadni. Látszik a 21. ábrán, hogy ekkorra már a négyszög szinte tökéletes lesz, alig látható már a tetején a nagyfrekvenciás összetevő. Azt is észrevehetjük, hogy a négyszögjel frekvenciáját a legkisebb frekvenciájú összetevő határozza meg. Érdekességképpen az amplitúdó pedig 83%-a lesz az első összetevőnek. De nemcsak az alaphfrekvencia páratlan számú többszöröseit lehet összeadni, ezen az elven létrehozható számtalan jelforma is. 22. ábrán látható a pl. fűrészfog Fourier sora és az eredő hullámforma.

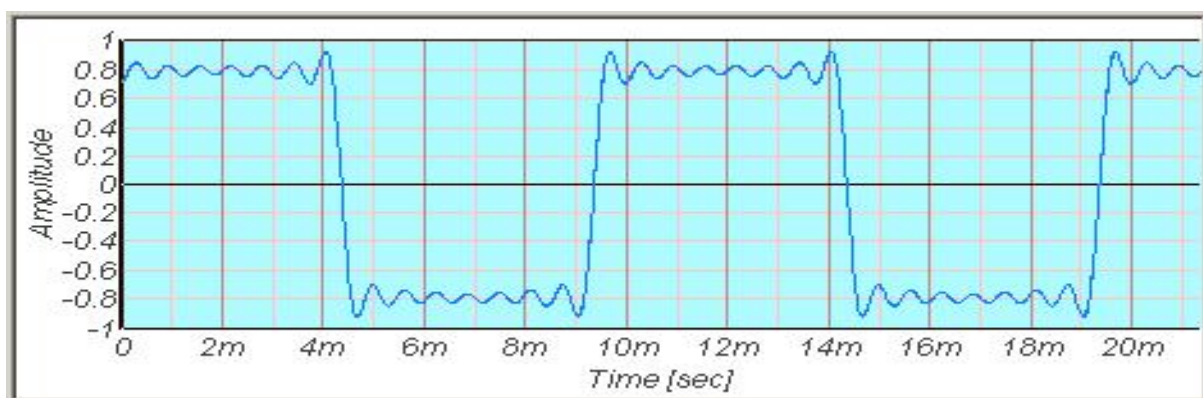


**22. ábra A fűrészfog jelalak**



**23. ábra Négyszögjel szintézise (RTA-val)**

Ha nem akarunk programozni, térjünk vissza a Real-Time Analyzer programcsomagunkhoz. Lehetőségünk van 8 különféle frekvenciájú és amplitúdójú szinuszos hangot összekeverni és fel is vehetjük az előállított hangot, de azonnal meg is hallgathatjuk az eredményt. Csak szemléltetésképpen állítottam elő a négyszögjelet, egyébként nincs sok értelme, ugyanis a szoftver képest közvetlenül négyszögjelet előállítani. Kedvünkre játszhatunk különböző hangok keverésével, akár vaktában is lehet próbálkozni mindenféle matematikai megfontolások nélkül. Ilyen módon véletlenül sikerült előállítani egy templomi orgonához nagyon hasonló hangot. A négyszögjelnél beállított amplitúdókat nem változtattam, de a frekvenciáknál nem az alapfrekvencia páratlan számú többszöröseit, hanem a kettő egész számú többszöröseit adogattam össze. A Fourier transzformáció nagyon régre nyúlik vissza. Amikor Teremtő megalkotta a fülünket, már beépítette az első Fourier-analizátort. Ennek köszönhetően már egy kisgyerek is képes megmondani, hogy ugyanaz a zenei hang milyen hangszertől származik, már csak ezért is a Fourier transzformáció mindennapjaink része. Továbbá láthattuk, hogy a magasabb frekvenciájú összetevők elhagyásával is jó közelítéssel elő lehet állítani a függvényt. Többek között ezen alapszik a jól ismert JPEG és MP3 és még jónéhány veszteséges videotömörítési eljárás is.



**24. ábra Négyszög R.T.A programmal**

## ALACSONY SEBESSÉG MÉRÉSE HANGGAL, A DOPPLER HATÁS

Sikerült megmérnünk a hang és egy gyorsan mozgó puszkagolyó sebességét távolság és a megtételéhez szükséges idő mérésére visszavezetve. Már említettük, hogy ezzel a módszerrel átlagsebességet mértünk, de, hogy közben a testnek hogyan változott a sebessége, milyen gyorsulásokat szenvedett, nem kaptunk információt. Mérhetünk ennél folytonosabban is és felrajzolhatjuk akár a mozgó test sebességét az idő függvényében.

Amikor elhalad mellettünk egy gyorsan mozgó vonat, a sípjának hangját megváltozni véljük. A közeledő vonat dudája magasabb hangon szól, a távolodóé pedig mélyebben és a hang magasságának váltása akkor történik, amikor a vonat elhalad mellettünk. Amennyiben rögzítjük is hangját, lehetőség van a visszajátszásra és kiderül, hogy a jelenség nem érzékszervi érzékelés, hanem a hang magassága ténylegesen, fizikailag is megváltozik. A jelenség neve: Doppler effektus. Felhasználásával mérhető a sebesség, ilyen elven működik a rendőrségi sebességmérő berendezések egy része is, bár újabban a technika fejlődésével a mérés elve is megváltozott. A Doppler hatás a hullámjelenségek sajátossága, a hullámtermészet igazolására is felhasználható.

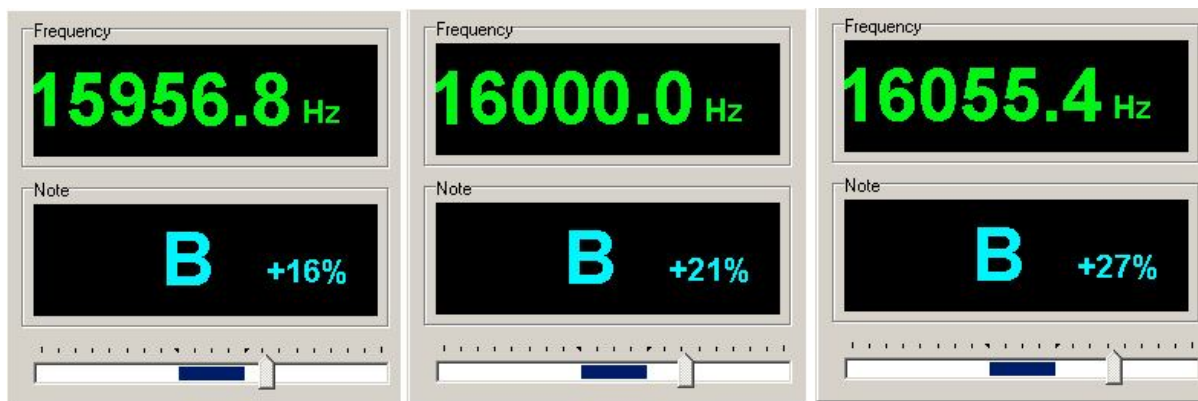
Megmutathatjuk a jelenséget egy fejünk felett megforgatott kb. 1.5m hosszú gégecső segítségével. A cső olcsón beszerezhető villanyszerelési kellékként szaküzletekben, tetszőleges hosszúságban. A gégecső füttyülő hangot bocsát ki forgás közben. Kicsit korszerűbb formája, ha kompresszorral gumicsövön keresztül levegővel táplált sípot forgatunk. A hangforrásunk ezért folyamatosan változtatja a helyzetét, a hallgatósághoz képest hol távolodik, hol pedig közeledik, és ennek megfelelően változik a hang magassága is. A hang magassága attól függ, hogy milyen gyorsan és milyen irányba mozog az észlelőhöz képest.

Nézzük a mai modern formáját a jelenség bemutatásának. Egy hangszóróból sugározzunk egy adott állandó frekvenciájú hangot a számítógép és a hanggenerátor program segítségével. Minél nagyobb frekvenciát érdemes használni, így a magas hangerő kevésbé zavaró a fülünk számára és a Doppler hatás is nagyobb mértékű lesz. Szükségünk van egy mikrofonra is, amit ugyanahhoz a számítógéphez csatlakoztatunk, célszerűen a MIC bemenethez, mert az érzékenyebb és nagyobb távolságokból meg tudjuk mérni a hang frekvenciáját. Egyszerű, ingyenes kisméretű frekvenciamérő programot használunk, amit még csak telepíteni sem kell.

A szoftver letölthető az alábbi helyről:

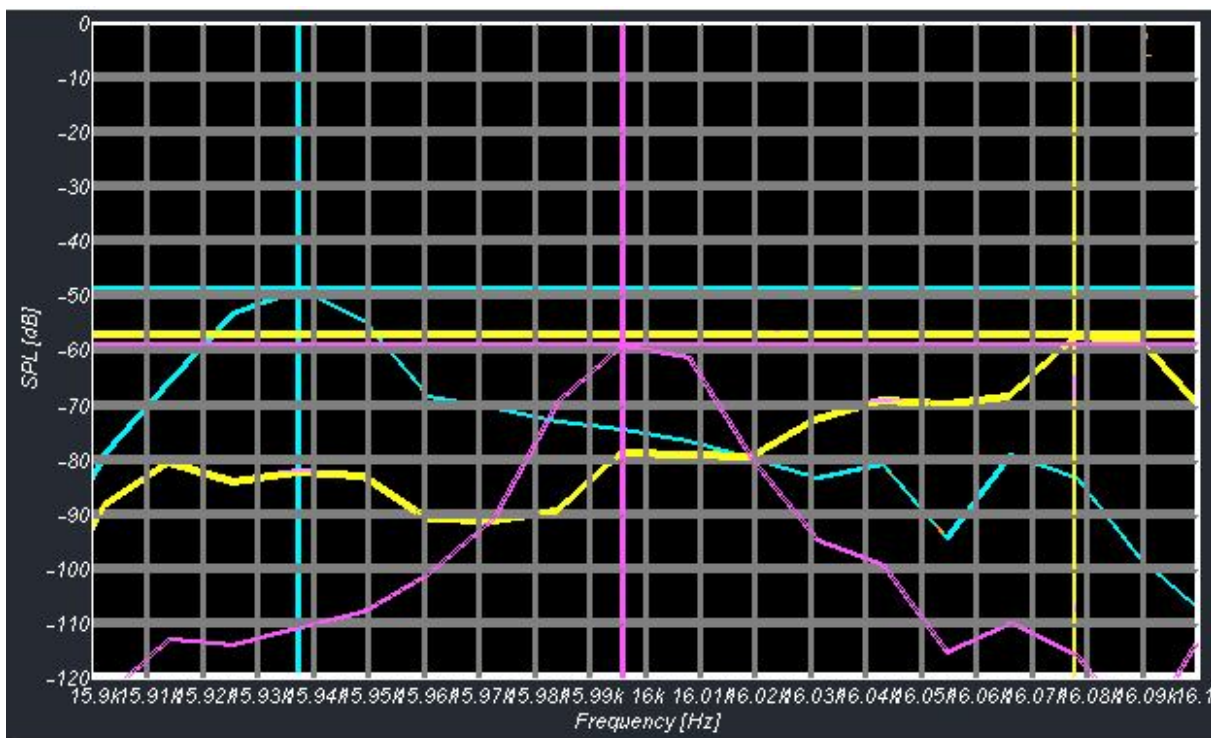
<http://www.techmind.org/audio/tuner1v3.exe>

A programot a későbbiekben is fogjuk használni egyéb más célra is. Nemcsak számszerűen képes kijelezni a hang frekvenciáját, de még a hozzátartozó zenei hangot is megmutatja nekünk és az esetleges eltérést is. Továbbá egy mini oszcilloszkópot is tartalmaz, láthatjuk a hullámformát is. Mozgassuk kedvünk szerint a mikrofont a hangszóróhoz képest, jól

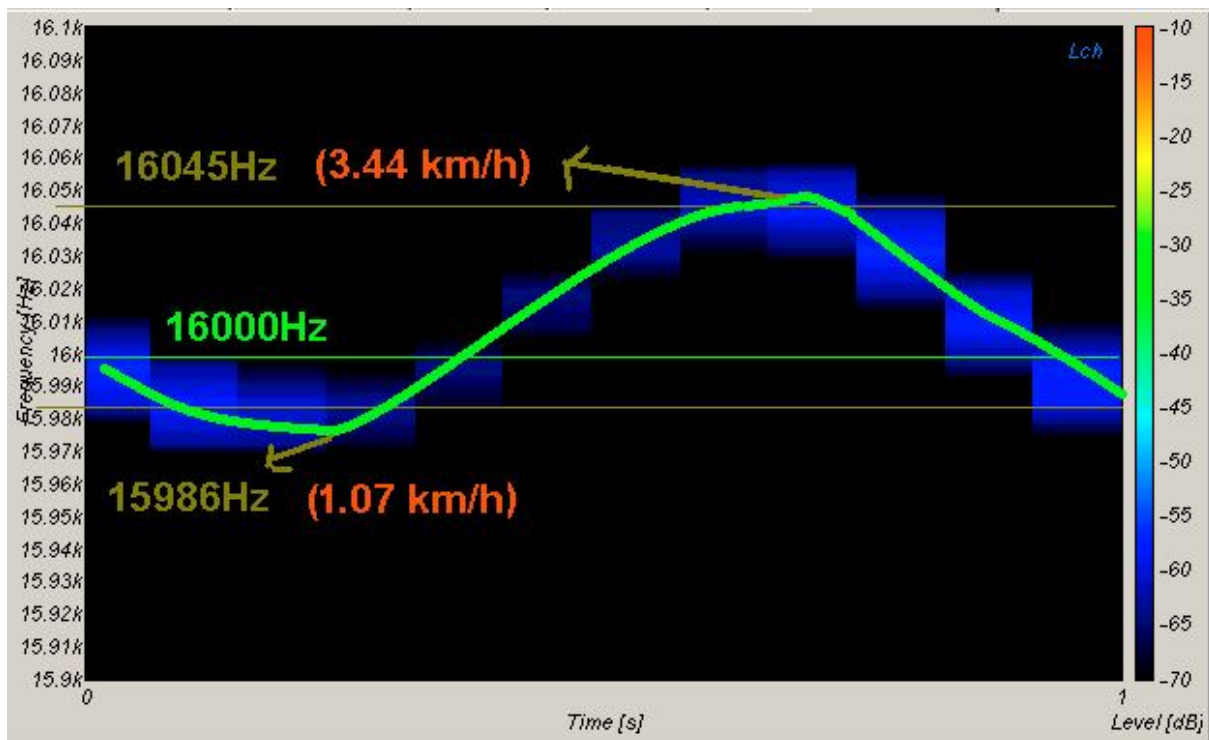


**25.ábra Mikrofon távolodik, nyugalomban van, közeledik a hangszóróhoz képest**

láthatóan a frekvencia is meg fog változni. A nagyobb távolságban a jel gyengül és a program már nem képes megmérni a frekvenciát, de még így is pár méterig jól használható. A gyorsan változó számjegyek nem túlságosan informatívak, nehéz megmondani milyen gyorsan mennyit változik a frekvencia. Az jelenség alapjának bemutatására jól használható, de részletesebb vizsgálatokhoz már nem. A hanggenerátor program része a spektrum-analizer is, ezzel már látványosabb módon lehet frekvenciacsúszásokat bemutatni Hasonlóan az előző



**26. ábra Doppler effektus spektrum-analizerrel**



27. ábra Frekvencia-idő grafikon felvétele

programhoz a mérés valós idejű, ha utólag kell egy minimum, maximum, vagy bármilyen köztes érték, akkor bizony az emlékezetünkre vannak bízva az adatok. Még behatóbban vizsgálódhatnánk, ha fel tudnánk venni a hang frekvencia-idő grafikonját. Szerencsére a programcsomag része egy nagyszerű segédalkalmazás, a spektrogram, amivel ez is lehetővé válik. Bár a hangszóróból kiáramló hang frekvenciája állandó, a mért frekvencia nagyon változik a mikrofon (hangszóróhoz képest mérhető) sebességének függvényében a Doppler effektusnak köszönhetően. De hogyan lesz az új módosult frekvenciából sebesség? Miért változik meg a frekvencia?

A hangforrásunk periodikusan ismétlődő hullámot bocsát ki. Vegyünk egy egyszerű hasonlatot, amikor is egy autópályán egy igen hosszú kocsisor halad el mellettünk, miközben nyugalomban vagyunk. A kocsisornak is van egy állandó terjedési sebessége, mint a hanghullámoknak. A kocsik egymás után ismétlődnek, legyenek egyforma távolságban egymás mögött. Két kocsik elejének távolsága megfelel a hullámhossznak. Megszámolhatjuk másodpercenként hány kocsi halad el mellettünk, ez lesz a frekvenciával analóg mennyiség. Szépen állandó sebességgel mozog a szabályos kocsisor és mi az út szélén állva megszámláljuk másodpercenként hány kocsi megy el. Ez az érték is állandó lesz pl. 4 kocsi minden másodpercben. De csak addig, amíg kocsiba nem szállunk, és nem kezdünk el száguldani a kocsisorral szemben, mert akkor más sokkal több kocsi fog „elmenni”

mellettünk. Könnyű ezek után megérteni mi történik, akkor ha a kocsisorral azonos irányba haladunk. Megváltozik az időegység alatt elhaladó kocsik száma, amikor már nekünk is lesz valamekkora sebességünk, ehhez hasonló módon változik meg a hang frekvenciája is. De térjünk vissza az igazi hanghullámokhoz. A hangforrásunk áll, az észlelő mikrofon mozog. 16000Hz-es hangforrás 1 s alatt 16000 hullámot bocsát ki., eközben kb. 340 métert halad előre a hang, tehát 340méterben lesz 16000 hullám. Egy hullám hossza, a hullámhossz  $340/16000$  méter, azaz 2.125cm lesz. Ha mozgunk szemben a hanggal és pl 17000Hz-es frekvenciájú hangnak érzékeljük a hangszóróból kiáramló 16000Hz-es állandó frekvenciájú hangot, akkor 1000 hullámmal több halad el mellettünk, ami összesen  $2.125\text{cm} \cdot 1000 = 21.25\text{méter}$ rel több másodpercenként. Hozzánk képest ennyivel nagyobb lesz a hang sebessége, azért 16000 helyett már 17000 hullám is elhalad mellettünk másodpercenként.  $21.25 \text{ m/s} = 76.5 \text{ km/h}$ -nak felel meg. A képlet tehát  $(340/\text{kibocsátott frekvencia}) \cdot \text{frekvenciakülönbség}$ , vagy sebességünk = a kisugárzott hang hullámhossza szorozva frekvenciakülönbséggel. Megrajzolhatjuk saját készítésű frekvenciamérő programmal a nagyfelbontású frekvencia-idő görbét, és annak idő szerinti deriválásával még a gyorsulást is meghatározhatjuk, de akár integrálhatjuk is és a megtett út lesz megközelítően meghatározható. Ennek ugyan gyakorlati jelentősége kicsi, de vannak esetek, amikor jól jöhet egy ilyen mérés. Például szereljük igen apró mikrofonkapszulát egy lengő golyóra és az ingamozgás sebességét, gyorsulásait a hely és idő függvényében meghatározhatjuk a mechanikában a Doppler effektusnak köszönhetően. A program megírása Qbasicben igen érdekes és izgalmas feladat számomra, de érdeklődőbb gyerekek is elkészíthetik, mert csak egyszerű matematikát igényel.

## ÁLLÓHULLÁMOK BEMUTATÁSA

Állóhullámokat általában erre a célra készült **gumikötéllal** szokták bemutatni, amit meg is lehet vásárolni az oktatási segédanyagokat árusító helyeken. Sokkal gyorsabban és egyszerűbben is hozzá lehet jutni gumikötélhez, ha veszünk egy gumipókot, és azt használjuk fel a kísérleteinkhez. Lehet vas- és műszaki kereskedésekben kapni tetszőleges hosszúságú, kívánt méretre vágható gumipók-kötelet is jó áron. Egyik végét rögzítjük, a másik végét



**28. ábra Gumikötél szétbontása**

kézzel mozgatjuk fel-le, vagy körkörös mozdulatokkal. Megindítunk egy zavart, ami végigfut a kötélen, a végén pedig visszaverődik és gyengébben ugyan, de visszajut a kiindulási helyére, ahonnan akár újra visszaverődhet. Ha folyamatosan gerjesztjük a kötelet, a visszaverődő hullámok is folyamatosak válnak és kölcsönhatásba lépnek az eredeti hullámmal. Az állóhullámok felfoghatók tulajdonképpen mintegy eredő hullámként, az oda és vissza terjedő hullámok szuperpozíciójaként. Ahol a hullámok azonos fázisban találkoznak,



**29. ábra Gumiszál gerjesztése hangszóróval**

ott lesznek a legnagyobb kitérésű duzzadóhelyek, ahol pedig ellentétes fázisban ott alakulnak ki a csomópontok, a legkisebb kitérésű helyek. A gumikötél rögzített végéről ellentétes fázisban verődnek vissza a hullámok és természetesen csomópontként viselkedik.

Kézzel nagy amplitúdóval ugyan, de kis frekvenciával gerjeszthető a gumikötél. Egy mélynyomó membránjára rézdrótból hajlított tartókonzolt ragasztottam szigetelőszalaggal. (29. ábra). A rézdrót tehát együtt mozog a hangszóró membránjával és egy vékony 1 (mm)-es gumikötelet mozgat fel és le. A nagyon vékony gumikötélhez úgy jutottam hozzá, hogy szétbontottam a előbb említett gumikötelet, ami számtalan elemi gumiszálacskából áll. A fehér színe még előnyös is, fekete háttér segítségével jól láthatók az állóhullámok. A fekete hátteret biztosítani kell feltétlenül, mert csak így látható a vékony, gyorsan mozgó gumiszál. Méteráru boltban lehet kapni fekete ruhaanyagot, vásároltam is nagyméretű 5\*1.5m-es darabot és a falra a szokásos módon, ún. térképtűkkel rögzítettem kifeszítve. A gumikötél másik végét parafatáblához kapható térképtűvel rögzítettem a falhoz, de akár kézben is tartható, és ekkor finoman tudjuk szabályozni a megfelelő feszítettséget menet közben is. Kapcsoljunk a hangszóróra hangfrekvenciás jelet (lehet szinuszos, de akár négyszögjel is), a gumikötél egyik vége rezgésbe jön és kialakulnak az állóhullámok. A frekvencia kb. 10-100Hz-es nagyságrendű, amivel még jól működik a demonstráció. A nagyobb frekvencia miatt, amit már kézzel elő se tudunk állítani, sokkal látványosabb a kísérlet.

Még látványosabb a jelenség, ha az amplitúdót is növeljük. A hangszóró nagy frekvenciája



**30. ábra Gumiszál gerjesztése sarokcsiszolóval**



**31.ábra A kísérleti elrendezés**

előny, viszont az amplitúdó egyrészt kicsi, de ráadásul még ingadozik is erősen a frekvencia változtatásával. Tudjuk, hogy az egyenletes körmozgás vízszintes vetülete is szinuszos. Egy sarokcsiszolóval meghajtott, körpályán mozgó csavarhoz rögzítettem a gumikötelet. A géphez 15x15-ös zárszelvény tartókonzolt hegesztettem össze és az asztalhoz rögzítettem erősen egy csavarral. A vágókorongot rögzítő csavaranya alapesetben is négy darab furattal van ellátva, ezek közül egyen át kell dugni egy 4-es csavart és anyákkal rögzíteni. Betettem még



**32. ábra Indításra kész állapotban**

szimmetrikusan egy másik rövidebb csavart, szemben az előző furattal. Ez a csavar tarja meg a viszonylag nagy tömegű alátétet (30. ábrán látható módon), ami az ellensúly szerepét tölti be és nagy fordulatszámokon sem fog beremegni a szerkezet. Akár 13300 1/min maximális fordulatszám is elérhető átalakítás nélkül. A hosszabb csavarra görgőt is készítettem, hogy a gumiszál ne tekeredjen meg. Ezzel a megoldással a gumikötél nem csak fel-le mozog, hanem hosszirányban is, így a gumikötél feszessége állandóan változik, de ennek ellenére igen látványos nagyméretű állóhullámokat sikerült kelteni. A gumikötél a gép tengelyére merőlegesen állt, de próbálkoztam tengelyirányú elrendezéssel is. Ez vált be igazán, mert így nem tekerte magára a gép a gumikötelet időnként, ami bizony előfordult az előző elrendezésben, különösen nagy fordulatszámokon, mert a görgő nem volt képes elég gyorsan forogni. A forgócsap forgástengelytől mért távolsága kb. 1,5 cm. A tengelyirányú elrendezésnél a gumikötél fixen lehet rögzítve a forgó csavarhoz, ugyanis a görgő úgy sem tudna elfordulni a nagy súrlódás miatt. A hátránya hogy, így a gumikötél megcsavarodik, de rövid távon (akár 1000 fordulatig) nem okoz problémát. Az állóhullámok most forgástestet



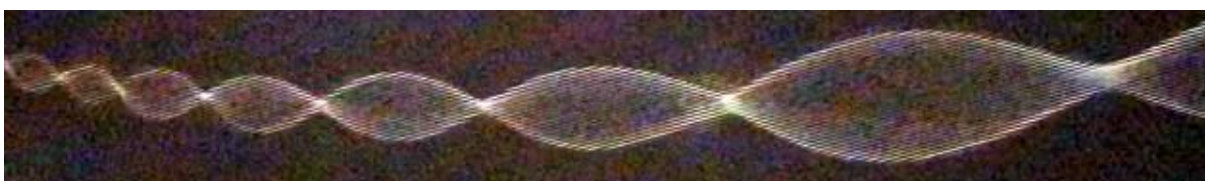
**33. ábra Látványos nagyfrekvenciás állóhullámok**

formáznak még látványosabb alakzatokat jelentve. Egészen nagy frekvenciákat is előállíthatunk, 3, 5, 7 vagy akár még több csomópontot is láthatunk egyszerre. A fehér gumikötelet érdemes jól megvilágítani és fekete háttér mellett vizsgálni a jelenséget. A fekete anyagból megfelelő szélességű és hosszúságú csíkokat a falra tűzhetünk az már ismert térképtűk segítségével. A gyors mozgás miatt a szálát a szemünk teljesen



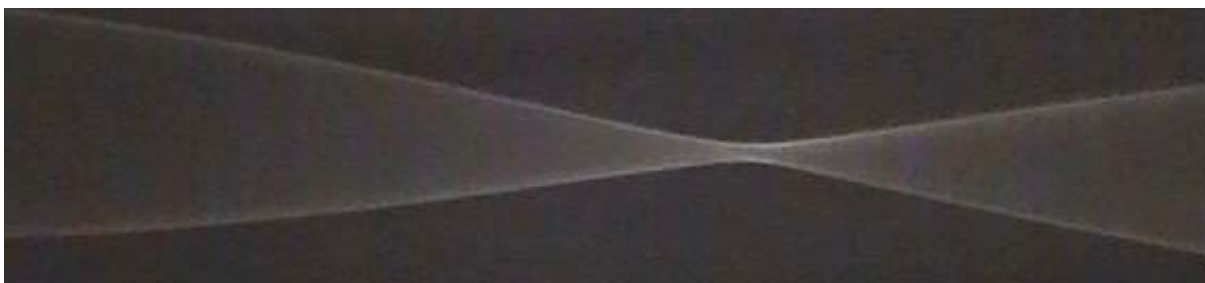
**34. ábra A gumiszál toldása és az állóhullámok**

elmosódottnak látja, nem képest követni a gumiszál mozgását a szélsőhelyzetek között, de a határ nagyon élesen látható. Mivel flexet zártszelvények összehegesztésével készült tartókonzzal rögzítettem az asztalhoz, a szerkezet elforgatható, sőt még billenthető is, így könnyen kívánt pozícióba állíthatjuk kedvünk szerint. A gumikötél rezgésének frekvenciája a fordulatszámtól függ. A flexet hajtó motor univerzális soros gerjesztésű villanymotor, egyenárammal is működtethető. A fordulatszámának szabályozása egyszerűen a tápfeszültség



**35. ábra Állóhullámok laza gumiszállal**

állításával is érhető. Egy hálózatról működő 24Vos névleges feszültségű transzformátor váltakozó áramát egyenirányítottam 4 db akkutöltő dióda Graetz-hídba kapcsolásával. Az így kapott lüktető egyenáramot egy 10 000uFos kondenzátorteleppel simítottam ki. A flex motorja kb. 1A körüli áramot vett fel maximum, és a tápfeszültség alig ingadozott 34-35V között. (A sarokcsiszoló 230V mellett 13300 1/s névleges fordulatszámon pörög). A sorba kapcsolt 100Ohmos 2.5A.es tolóellenállás segítségével a fordulatszámot álló helyzettől



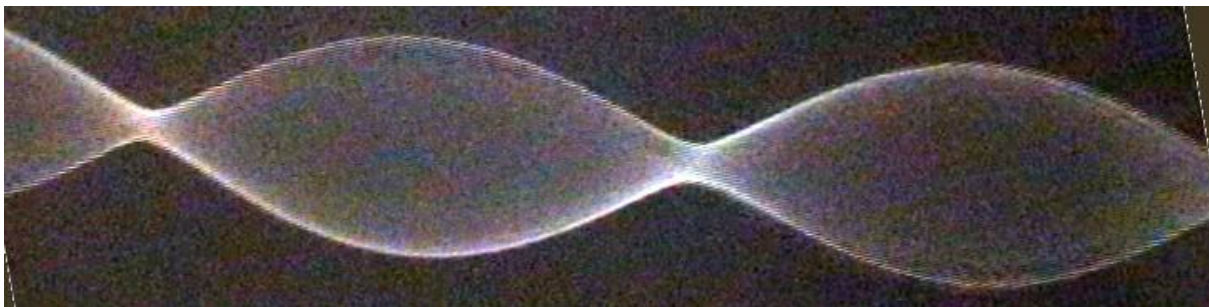
**36. ábra Csomópont**

kezdvé pár ezres fordulatszámig fokozatmentesen tudtam szabályozni. Szintén tarthatjuk most is kézben a gumikötél másik végét és lehet állítgatni menet közben a hullámformát. A feszítettséget és frekvenciát, de még az amplitúdót is állíthatjuk, lehet szabadon játszadozni az állóhullámok keltésével. A kísérlet befejeztével egy egyszerű mozdulattal leválaszthatjuk a forgó csapot a gép tengelyéről, és ha a megcsavarodott gumikötél függőlegesen áll, magától vissza fog tekeredni automatikusan. A legpraktikusabb tehát a flex tengelyét függőlegesen állítani, továbbá a hozzákötött gumikötél is függőlegesen álljon és túloldali végét a plafonhoz



**37. ábra Nagyméretű forgási ellipszoid forma**

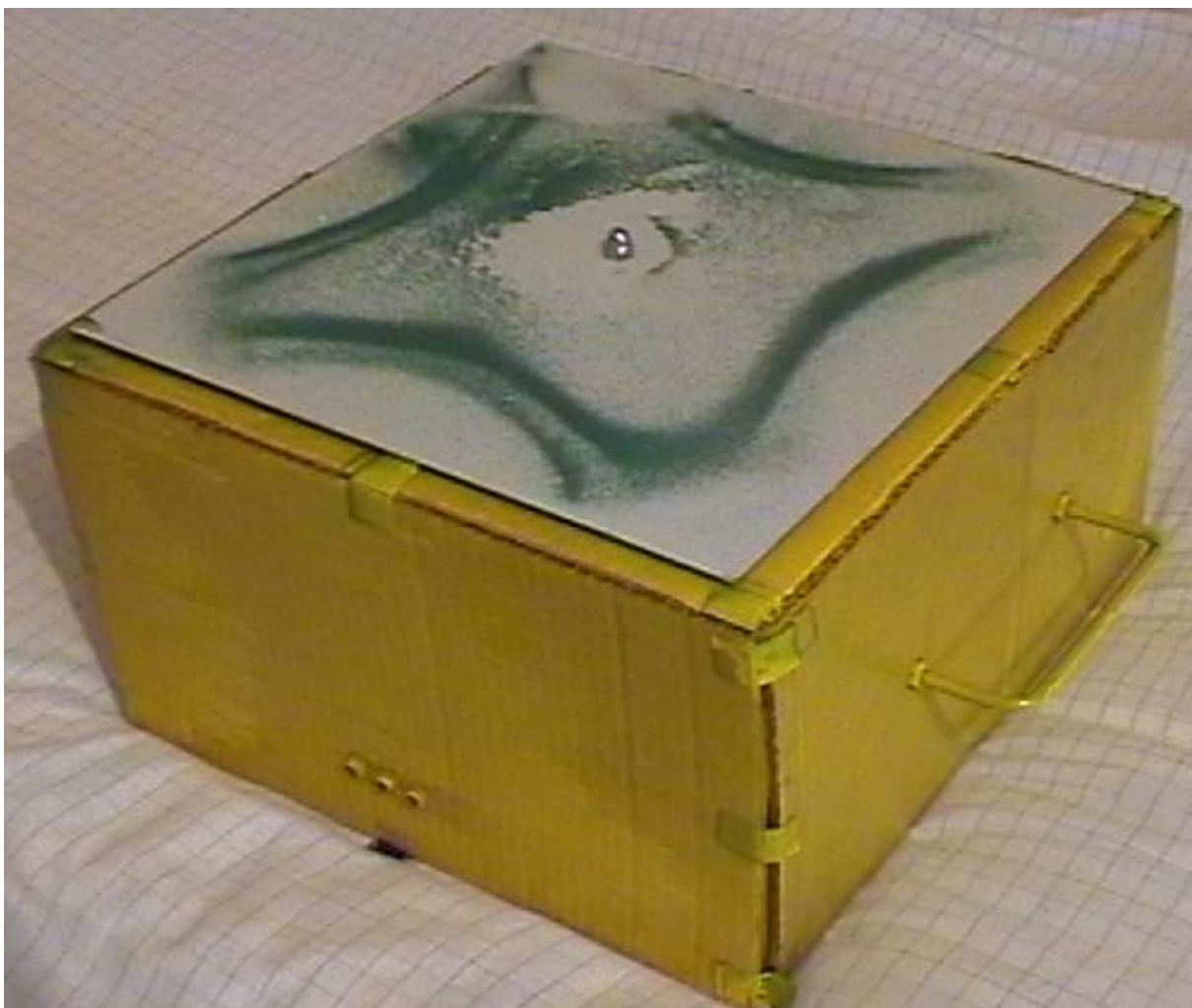
érdekes rögzíteni térképtűvel, facsavarral vagy szeggel. Ha a flex a plafonra van rögzítve, a lelógó gumikötél vége szabadon maradhat és így szabad végről visszaverődő hullámok is tanulmányozhatók. Minél lazább a gumiszál, annál kisebb frekvenciával tudunk előállítani egyre több csomópontot. A szabad vég esetén már igen kis fordulatszámmal is számtalan látványos csomópontot sikerült előállítanom.



**38. ábra Három duzzadóhely kisebb frekvencián**

### **CHLADNI-FÉLE PORÁBRÁK HÁZILAG**

Eddig vonalmenti állóhullámok előállításáról volt szó, de előállíthatóak hasonlóan akár síklemezben is állóhullámok. Ez esetben is duzzadóhelyekről beszélhetünk, de a csomópontok helyét a csomóvonalak veszik át. Egy olyan rezgékeltő gépet építettem, amit meg is lehet vásárolni ugyan, de ezek a gyári gépek méregdrágák. Magunk is előállíthatunk igen látványos porábrákat megjelenítő gépet egyszerű vasanyagok felhasználásával és mélynyomó segítségével alig néhány száz forintos költségvetéssel. A gép egy vékony, 1mm-es vastagságú vaslemezt hoz rezgésbe, és benne alakulnak ki állóhullámok. Az amplitúdó igen kicsi, szemmel nem is látható módon rezeg csupán a vaslemez, de pontosan ez fogja érdekessé tenni a porábrák kialakulását. A rezgő vaslemezre finom homokot szórva, a homokszemcsék a duzzadóhelyeken pattogva lefolynak a csomóvonalakhoz és ott gyűlnek össze, ahol a rezgés



**39.ábra Porábra-gép kívülről**

alig észlelhető. Ezáltal a homokszemcsék láthatóvá teszik a láthatatlan csomóvonal mintázatokat, ami igencsak képes lenyűgözni a gyerekeket és felkelteni az érdeklődésüket. A gép rendkívül egyszerű felépítésű, könnyen megépíthető és üzembe helyezhető. A váza 15x15-mm-es zártszelvényből lett összehegesztve. A fő méretei 300x300x200 mm. A rezgéskeltő lelke egy mélynyomó hangszóró és ennek a membránjához van hozzáerősítve egy vasgyűrű, amit 6-ös köracélból hajlítottam. A gyűrű átmérője mentén egy 12x3 laposacél található és ehhez kapcsolódik egy tolórúd, szintén 6-os köranyagból. A tolórúd ki lett a gép tetején vezetve és erre csavarozható rá a vaslemez. Tehát a hangszóró membránja egy tolórúd közvetítésével rezgésbe hozza a vaslemezt, amiben az állóhullámok kialakulnak. A tolórúd természetesen meg van vezetve, oldalirányú mozgások ellen meg van támasztva. A lemez viszonylag nagy súlya a membránt a nyugalmi középső helyzetéből lejjebb tolja, ezért egy rugót is beiktattam, ami leveszi a súlyt a hangszóró membránjáról és az, újra megközelítőleg középső helyzetbe kerül vissza. Rugó nélkül is működött a gép, de a porábrák kialakulásához több perc is szükségeltetett, míg rugóval, sőt előtte (kézzel megemelve a vaslemezt tartó tolórudat) ez az idő néhány másodpercre leredukálódott. A lemezt a számítógép



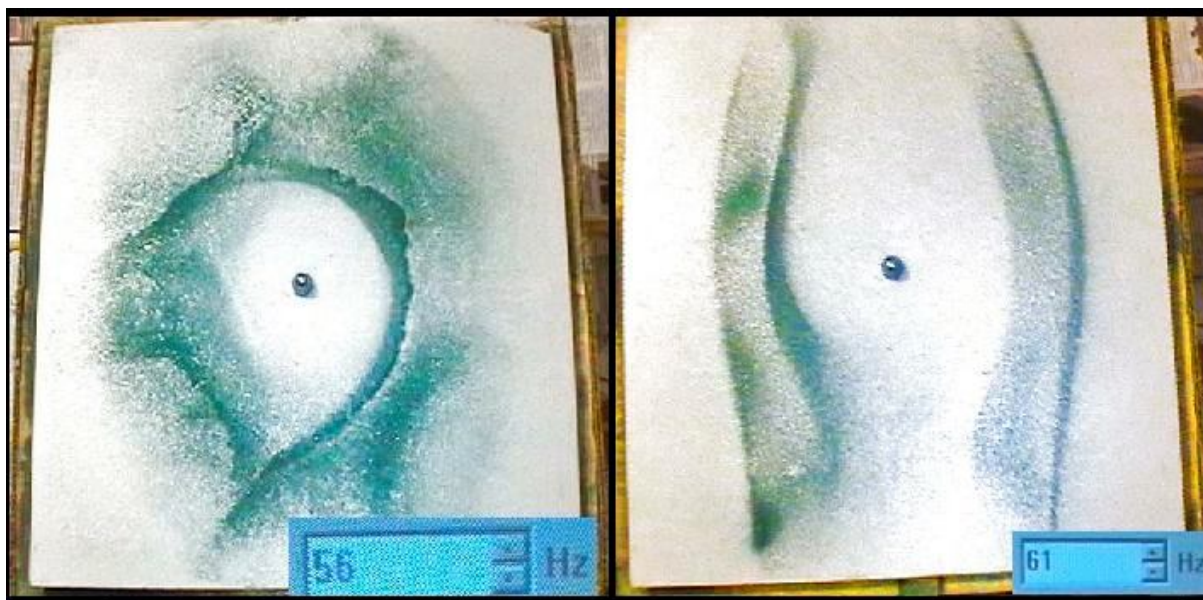
**40. ábra Porábra-gép belseje**

hangkártyájának segítségével tetszőleges frekvenciával, amplitúdóval és jelalakkal (szinusz, négyszög, háromszög, fűrészb. stb.) rezgésbe hozhatjuk. A középről elinduló hullámok a szabad végekről (a vaslemez széléről) azonos fázisban verődnek vissza és interferencia alakul ki az oda-vissza mozgó hullámok között. A gép burkolására hullámpapírt használtam, mert olcsó, könnyű és nem rezonál be, ellentétben a vaslemez kasznival. A vaslemezt megszórtam zöld színű homokkal, majd rezgésbe hoztam és kialakultak a szebbnél szebb homokábrák a lemez felületén. Homok helyett használhatunk és kísérletezhetünk más anyagokkal is: liszttel,



**41. Ábra Rezonancia frekvenciák**

mákszemekkel stb. Félbehajtott A4-es nyomtatópapírt használtam a homokszemcsék egyenletes elterítéséhez. Változtassuk a frekvenciát és nézzük, mikor rezonál a lemez és ugrálnak a homokszemcsék miközben kezdenek rendeződni a csomóvonalak mentén. Néhány rezonanciafrekvenciát meghatároztam, amelyek 27\*27cm-es vaslemezhez tartoznak, ezek a 41. ábrán láthatóak. Nézzük meg milyen szép szimmetriával rendelkező érdekes mintázatok alakulnak ki a vaslemezen. Alulemezt is próbáltam, amit jóval könnyebb rezgésbe hozni, mert a kis sűrűsége miatt a tömege is kisebb és az ábrák ezáltal nagyon gyorsan megjelennek rajta.



**42. ábra Porábrák alacsony frekvencián**



**43. ábra Porábrák nagyobb frekvencián**



**44. ábra Homokfestés kellékei**

A kísérleteinkhez szükséges igen mutatós zöld színű homokot magunk is előállíthatjuk. Egy rossz alkoholos filctoll is jó lehet erre a célra. Szétbontottam egy kifogyott zöld filctollat és filce még mindig egész sok festékanyagot tartalmazott, amit már nem lehetett kinyerni a filctoll normál használata során. Beáztattam denaturált szeszbe, ami szépen kioldotta az alkoholtartalmú festékanyagot, ami ezáltal színtelenből nagyon sötét feketészöldre változtatta a szesz színét. Ezt öntöttem az előkészített homokra és jól összekevertem. A nagyszemcsés tiszta sárgahomokot kb. 5m mélyről nyertem egy szintén házilag készített talajfúró segítségével a kertemből. Vízrel többször átmostam, ülepítéssel és dekantálással eltávolítottam a kisebb szemcséket. Ülepítőoldatnak higított vízüveget használtam, ami még a relatív nagy szemcséket is lebegésben tartja, így csak az igazán nagy szemcsék maradtak vissza a leöntések után. Ezután következett a tiszta vízzel való többszöri átöblítés, majd szárítás és alkoholos festékanyaggal történő összekeverés. Az alkohol viszonylag gyorsan párolog, de még így órákban telik a homok teljesen száradása. A száradás után készen is van a vízzel le nem mosható festékekkel bevont homok a kísérleteinkhez. Természetesen zöld helyett már szín is megfelel, és a változatosság kedvéért csináljuk minél többféle színű homokot, amely önmagában is remek játékot jelent a gyerekek számára még porábrák nélkül is.



**45. ábra A homokszemcsék mikroszkóp alatt**

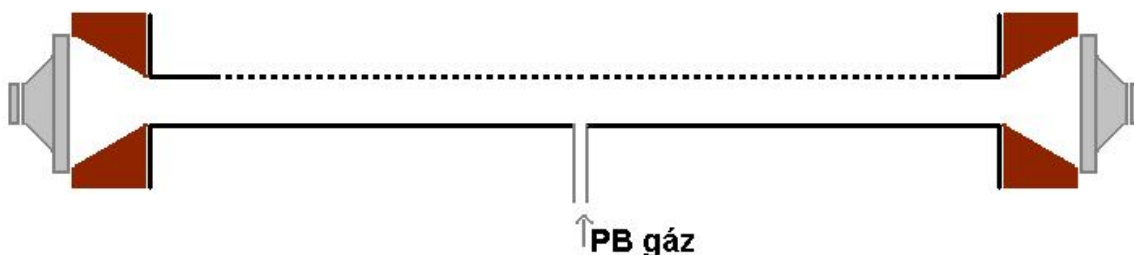
## RUBENS CSŐ HÁZILAG

A transzverzális állóhullámok után következhetnek a longitudiális hullámok. A rezgési irány ekkor egybeesik a terjedés irányával és nem merőleges arra, mint az előző esetekben volt. Nem csak gumi, vagy rugó használható rugalmas közegként, hanem akár a gázok is. Egy csőben lévő gázoszlop is rezgésbe hozható (lásd később a termoakusztikus hangkeltésnél). és a hullámok visszaverődnek, állóhullámokat hozhatnak létre. A rezgő gázoszlopban sűrűsödések és ritkulások jönnek létre, tehát a csomópontok, duzzadóhelyek itt különböző nyomású helyeknek felelnek meg.



**46. ábra A Rubens cső**

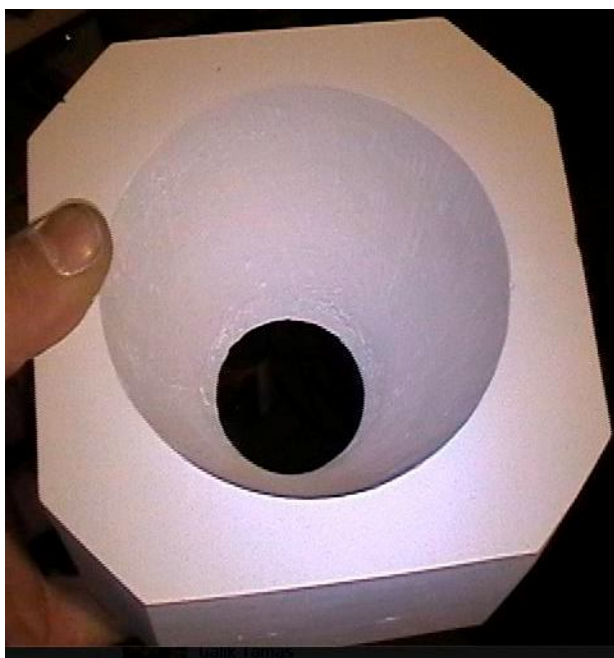
A Rubens cső nagyon egyszerű szerkezet, amely könnyen, olcsón kivitelezhető. Felnőttek, és gyerekek számára egyaránt nagyon izgalmas és érdekes bemutatók kelléke lehet. Vegyünk egy csövet a tetején sorakozó kis lyukakkal. Vezessünk be a cső egyik végén Propán-bután gázkeveréket és gyújtsuk meg a furatokon kiömlő gázt. A gázoszlopban lengéseket keltünk a cső másik végére szerelt hangszóróval. A zavar végigmegy a csövön, majd visszaverődik és találkozik a szembe jövő sorozatosan keltett hullámokkal és interferencia eredményeként létrejönnek a longitudiális állóhullámok. A duzzadóhelyeken a nagy nyomású gáz magasabb lángot eredményez, míg a csomópontok alacsony nyomású pontjai helyén a lángmagasság kicsi lesz. Ezzel a módszerrel tehát a nyomásváltozásokat átkonvertálhatjuk lángmagasság változásokká és látványos lángképet hozhatunk létre. A tapasztalatok után kisebb-nagyobb átalakításokat láttam szükségesnek, hogy minél látványosabb legyen a fényjelenség. A visszaverődött hullámok nagyon gyengék, a hullám energiát veszít az oda úton a csőfalsúrlódás és egyéb okok miatt, majd visszaverődéskor és visszaúton is tovább csökken az amplitúdója. Arra gondoltam, hogy magam állítom elő a visszhangot egy másik hangszóróval, aminek a késését szabadon megválaszthatom és így a hangerő is megfelelően nagy lesz. A másik ötletem a következő: a hangszóró és a cső közé tegyünk tölcserő, ami a nagy felületű membrán és a kis átmérőjű cső között teremtsen kapcsolatot, ami szépen bevezeti a hangot folytonosan csökkenő átmérőjével. Mivel a cső mindkét vége foglalt most már, a gázbevezető csövet is át kellett helyezni, a szimmetria miatt középtájrát került át. Hogy még látványosabb



**47. ábra A cső, módosítások után**

legyen a demonstráció, a szokásosnál is hosszabb csövet használtan különösen nagy furatszámmal a jó felbontású lángkép miatt. A Rubens csövet először a 2011-es Kutatók Éjszakáját láttam a Nyíregyházi Főiskolán. Az még egy hangszóróval, a végén bevezetett gázzal táplált, viszonylag rövid cső volt kevés furattal melyet, házilag készítettek. A lángkép hullámformája gyengén, de látható volt, és már ebben a formában is nagyon megtetszett és természetesen nem volt nehéz elhatározni magam, hogy a saját csövem megépítsem. A saját módosításaim sorra beváltak és igen látványos lángképet produkáltam. Akusztika előadásaim igen látványos kellékvé vált főiskolai hallgatók és gyerekek számára egyaránt.

Lássuk hogyan készül a Rubens cső olcsón, egyszerű anyagok felhasználásával egészen egyszerűen. házilag. A hangszórók egy selejt TV készülékből valók, teljesen egyformák, 8



**48. Ábra Gipsztölcsér**

Ohmosak és 3W-osak. A cső vastelepről származó 42\*2mm (belső átmérő \* falvastagság) hegesztett acélcső. 1.5 mm átmérőjű lyukakat fűrtam asztali fűrógéppel egyenes sorban összesen 222db-ot. A fűrószárat alig engedtem ki a tokmányból és folyamatosan olajjal kentem, így óvatosan haladva fűrószártörés nélkül sikerült alig 2 óra alatt végezni a nagyszámú furattal. A fűrás előtt egy kifeszített vékony, de erős madzaggal és alkoholos filctollal jelöltem ki az egyenes irányt, majd vonalzóval és pontozóval a furatok

pontos helyét is bejelöltem. A furatok elkészülte után a tetejüket egy nagyobb 5mmes fűrófejjel lesorjaztam és törcsérszerűre képeztem ki. A hangot bevezető tölcsért gipszből készítettem öntéssel. Az öntőforma magja egy kúp, amit nikelből csináltam. Egyre



**49. ábra Rubens cső begyújtva alaphelyzetben**

nagyobb átmérőjű korongokat vágtam ki 2cm vastag hungarocell táblából, a közepükön átnyomtam egy csavart és ennek segítségével nemcsak össze tudtam tartani a különálló elemeket, de az asztali fűróba befogva, 3000 rpm körüli fordulatszámmal meg is tudtam pörgetni. A forgó lépcsős kúpszerű formát szabályos kúppá alakítottam hozzányomott reszelő, majd csiszolópapír segítségével esztergálással. A cső végére egy-egy alaplemezt hegesztettem és a kész kúpot a csőbe toltam pár mm-nyit, ahol viszonylag stabilan meg is állt. Egy kartondoboz oldalfalával körbekerítettem az alaplemezt és tűzőgéppel rögzítettem az így elkészült öntőformát. A gipszet előre kikísérletezett vízmennyiséggel fűrógépbe fogott turmix keverőfejjel gyorsan sikerült homogenizálni és gyorsan a híg anyagot a formába tölteni. A gipsz megszilárdulása után a papírt lefejtettem róla és a nikecelt apró darabokra törve eltávolítottam. A belső kúpformát még nedvesen ujjaimmal és dörzspapírral sikerült teljesen sima felületűvé varázsolni. A külső oldalát csak pár nap száradás után formáltam sík felületekkel határoltra szalagcsiszoló segítségével. Az alaplemezre szilikonkaucsukkal ragasztottam fel a kész gipsztölcseket és a hangszórókat. A gáz betáplálást 16-os átlátszó lágy PVC csövön keresztül oldottam meg. Az először használt 5 kg-os turista gázpalack éppen hogy csak biztosítani tudta a tekintélyes gázáramot, ezért hamar lecseréltem a 11.5 kg-os háztartási gázpalackra. A cső működése során rendkívül sok hőt termel, egy nagyobb szobában gyorsan elhasználódik a levegő és a hőfok is 40fok felé mehet. Ezért és további pl. szállítási problémák miatt az extrém hosszú Rubens csővemből két kisebbet, de még így is hosszúnak mondható csöveket gyártottam. A hangszóró meghajtása erősítővel és a



**50. Ábra Rubens cső alacsony frekvenciás szinuszhullámmal gerjesztve**



**51.ábra Nagyfrekvenciával gerjesztve távolról**

hanggenerátor programmal történt, amivel a két hangszóró által kibocsátott hanghullámok közötti fáziskülönbséget is egyszerűen lehet változtatni. Még tovább lehet fokozni az élményt, ha zenét kapcsolunk a Rubens csőre, így a zene ütemének megfelelően változik a láng alakja. A számítások végzésénél figyelembe kell venni a PB gázkeverék nagy molekulaszúlyát és ezért a hang terjedési sebességének eltérését a levegőétől, továbbá a viszonylag magas hőmérsékletét. A cső külső hőfoka hamar egyensúlyi helyzetbe került, nem kell tartani a túlhevüléstől. Infrahőmérővel mért legnagyobb hőmérséklet 80C körül mozogott, ezért az utómunkálatként nyugodtan lefesthető fekete zománcfestékkel. A hangszóróktól érdemes távol tartani a lángot, ezért a furatok csak 15cm-es távolságra kezdődnek a végektől számítva. A vascső rossz hővezető így a csővégek már alig 40C max. üzemi hőmérsékletűek, ezért külön hűtést a szerkezet nem igényel.



**52. ábra A lángkép közelebbről**



**53.ábra A lerövidített Rubens csővem a főiskolának ajándékoztam**

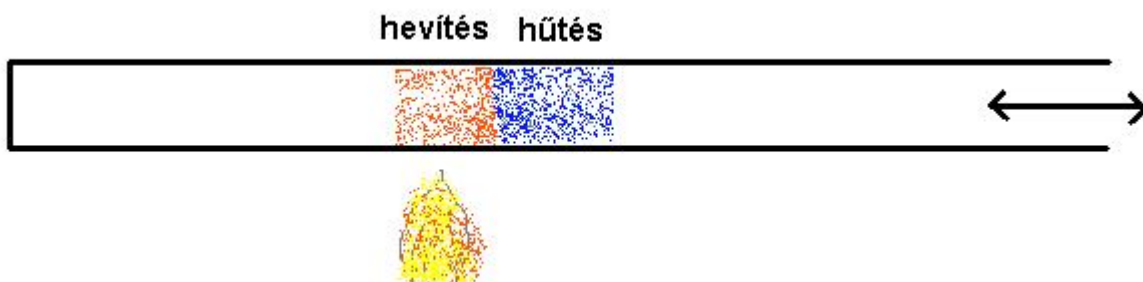
## TERMOAKUSZTIKA



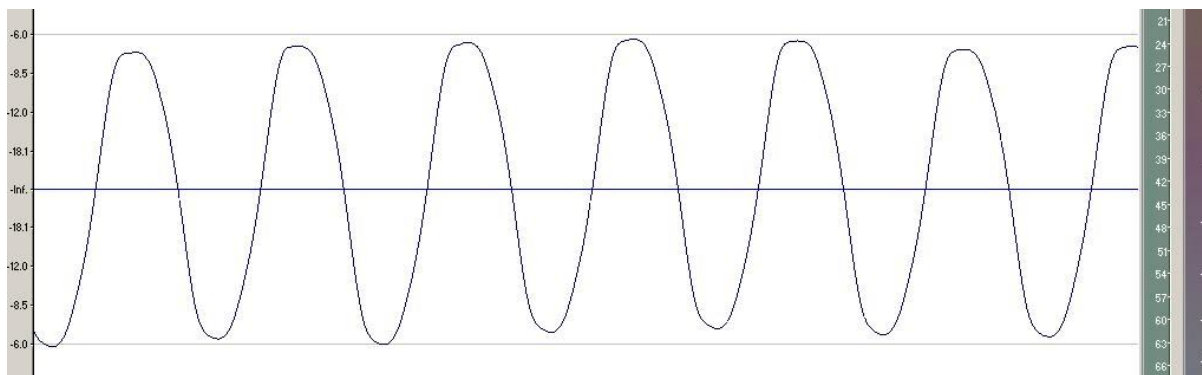
**54. ábra Zenélő üvegcsővek**

Egy csőben lévő gázoszlop rugalmas közegként viselkedik, rezgésbe hozható, ezt már tudjuk. Percek alatt készíthetünk a gyerekek számára egy érdekes hangtani demonstrációs eszközt. Ehhez szükségünk lesz egy kémcsőre és amibe lazán acélgyapotdarabkát helyezünk el középtájon. Kezdjük el óvatosan melegíteni szúrólánggal az acélgyapot egyik felét, amely közelebb van a kémcső zárt aljához. A másik felét akár szabadon is hagyhatjuk, de még jobb ha gondoskodunk a hűtéséről egy vizes papír zsebkendőt tekerve a csőre. Az acélgyapot meleg oldala elszíneződik, megjelennek a futtatási színek és a kémcső lassan elkezd sípolni egy adott frekvencián, ami meglepetést okoz akár gyerekeknek, akár felnőtteknek.

A szerkezet hőenergiát képest hanggá alakítani. A Rijke-csővel ellentétben zárt végű és vízszintes helyzetben is működik. A hőmérsékletkülönbség hajtja, a levegő lengésbe hozható a csőben és akár nagyobb tömegű tárgyat pl. pontosan illeszkedő dugattyút is képes



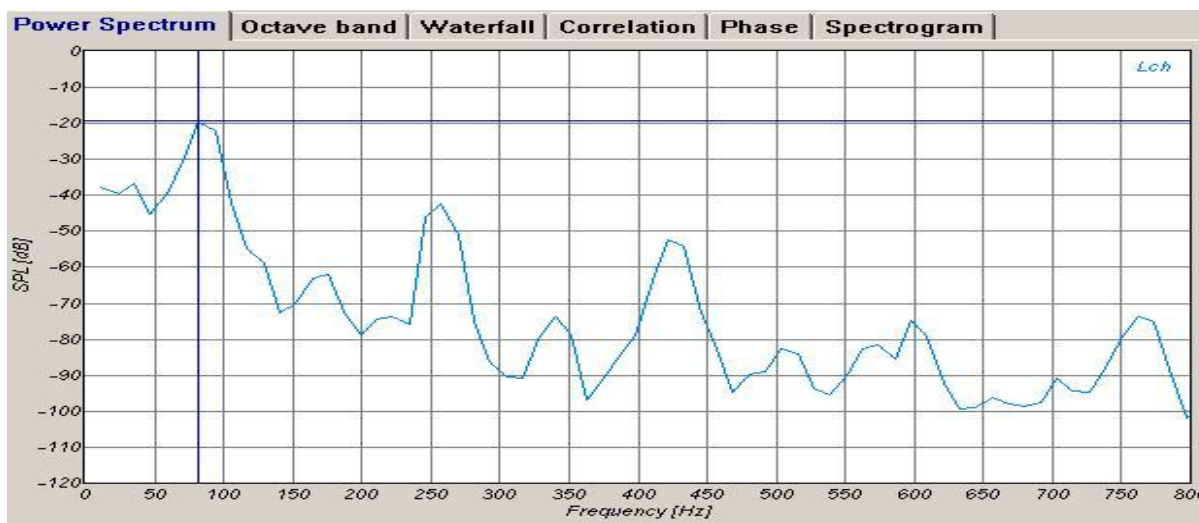
**55. Ábra Termoakusztikus cső elvi rajza**



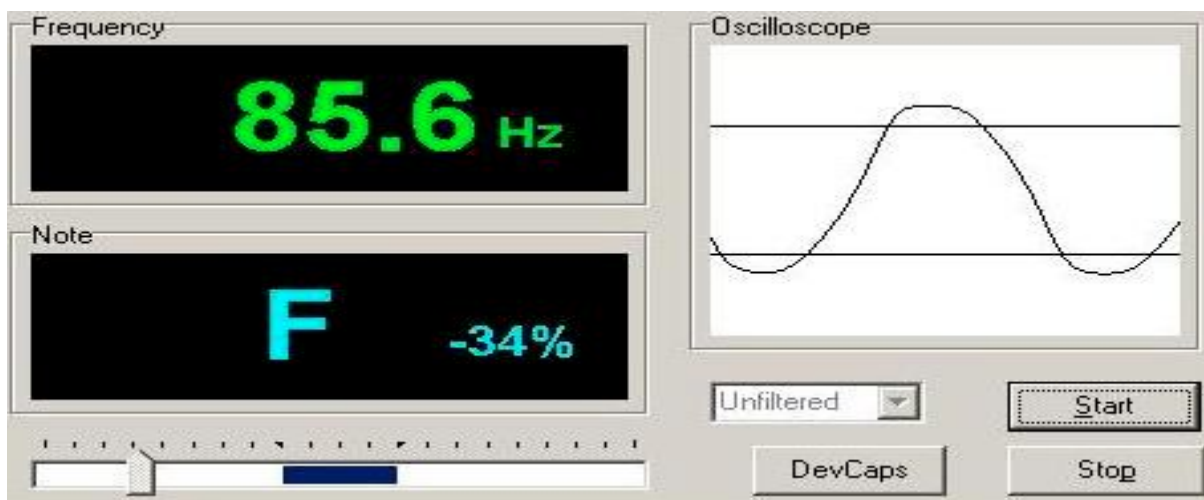
56. ábra A hullámforma

alternáló mozgásba hozni. A dugattyú alternáló mozgását keresztül egy forgattyús mechanizmussal folyamatos forgó mozgássá alakíthatjuk, így egy hőerőgépet kapunk (Termoakusztikus Stirling motor).

A dugattyú nélküli elrendezéssel fogunk foglalkozni. A sípoló hang spontán is képes megjelenni üzemi hőmérsékleten kb 500C felett, de ha mégse indulna be a cső, tenyérrel a cső végére ütve magunk hozzuk kezdetben lengésbe a levegőoszlopot. Eleinte, amikor a cső még hideg, csak visszhangszerű hangot fogunk hallani, majd később a sípolás tartósan fennmarad és egyre erősödik. A levegő befelé áramlik az acélgyapot-szálacskák között. Az acélgyapot nagy fajlagos felületű, jó a hőtároló és hőátadó képessége. Az acélgyapot hűtött vége alacsony hőfokú és a másik vége felé közeledve a levegő egyre magasabb hőmérsékletre hevül, kitágul, a nyomása megnő, azért intenzíven visszaáramlik a cső nyitott vége felé. A levegőoszlopnak tömege, lendülete van, ezért a mozgás még akkor is fennmarad, amikor a nyomás légköri alá esik, és a sebesen kiáramló levegő maga után vákuumot hoz létre. A légritka tér miatt miután a gázoszlop „elveszti” lendületét, visszaszívás történik és a folyamat ismétlődik több 100-szor másodpercenként. Az egyik végén nyitott cső, jellemző rezonanciafrekvenciával rendelkezik, ez fogja meghatározni a hangmagasságot. Mivel a csőbe csak egy negyedhullám fér



57. Ábra Csúcsok az alaphang 3, 5, 7-szorosánál



**58. ábra A 103cm-es cső mért frekvenciája**

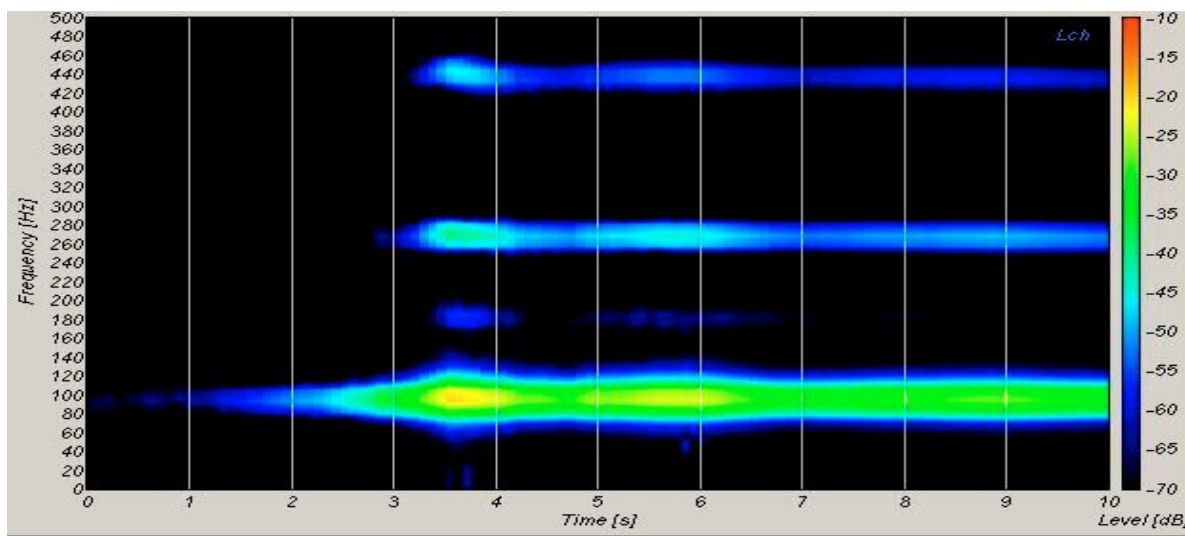
(állóhullámok jönnek létre, a duzzadóhely a nyitott végénél, csomópont a zárt végénél) a cső hosszának négyszerese lesz a hullámhossz. A frekvencia a terjedési sebességből könnyen meghatározható, vagy megmérhető és ekkor a cső hosszát tudjuk visszaszámolni.

Acélgyapotot párszáz forintért beszerezhetjük barkácsáruházakban, mint fafelületet polírozására használatos kelléket. Én 20mm-es kémcsövet használtam, amibe pontosan illeszkedik a 16-os kémcső. A kisebb kémcső alját letörtem, a nagyobb kémcsőben tologatva üzem közben kényelmesen változtathatóvá vált a rendszer aktív hossza, így a sípolás frekvenciája is. Nagyobb méretekben is elkészítettem a sípoló csöveket. Hulladék fénycsöveket használtam fel erre a célra. Az egyik végüket lezártam műanyag kupakkal szigetelőszalag segítségével, vagy ha nem volt sérült meghagytam gyárilag lezárt állapotában. A fénypor könnyen kimosható meleg vízzel csőmosó kefe használatával. Fontos megemlíteni, hogy a fénycsövekben üzemszerűen vákuum van, ezért a szétvágásuk előtt a nyomást ki kell egyenlíteni, különben berobbannak. A fénycsőüveg végénél található leforrasztást kell fogóval lepattintani, és a cső fellevegőzik miközben sértetlen marad. A végének levágásához sarokcsiszolót használtam 1mm-es vastagságú 125-ös koronggal. A mosást követő szárítás után lehet elhelyezni az acélgyapotot a cső belsejében. Nagyon sokáig nem sikerül működőképes akusztikus csövet összehoznom. A sikertelenség oka a gyapot nagy fojtóhatása volt. A lehető leglazábbra kell széthúzni az acélgyapotot, miután én is így tettem azonnali sikereket következtek. Minél hosszabb a cső, annál könnyebben indul be a sípolás, a hangerő is nagyobb, de a frekvencia alacsony lesz. Nemcsak a levegő, hanem az üveg maga is rezgésbe jön, vibrál. A levegőoszlop olyan intenzíven rezeg, hogy kézzel is jól érezhető a nyitott szájnál és képes könnyedén elfűjni egy gyertya lángját. A melegítéshez gázforrasztó lámpát használtam, amivel kezdődő vörösizzásig érdemes maximum hevíteni a fénycsövet. A vékonyfalú csövet folyamatosan forgattam a lángban, csőfal így nem olvadt meg. A

szándékosan túlhevített sárgán izzó kilagyult, képlékeny üvegcső jól formázható, ami önmagában is látványos a gyerekek számára.

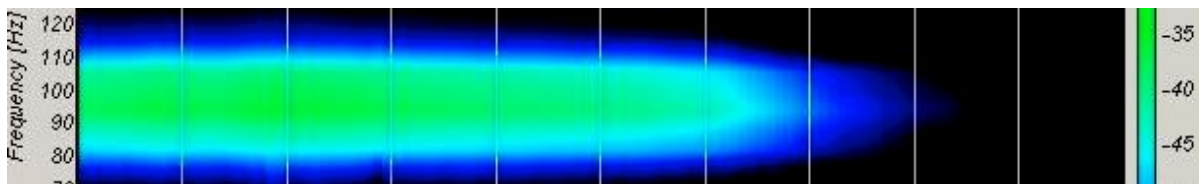
Egy kis számolás: Az általam használt üvegcső hossza 103cm. A hullámhossz ennek a négyszerese, azaz 4.12 m. A hangsebességet a hőmérsékletet is figyelembe véve 350m/snak vehetjük és akkor a frekvencia: 84.95Hz, ami jól megközelíti a mért eredményt. (58.ábra)

Érdekessége és felhasználhatósága: A kisugárzott hang frekvencia tized Hz-et is alig



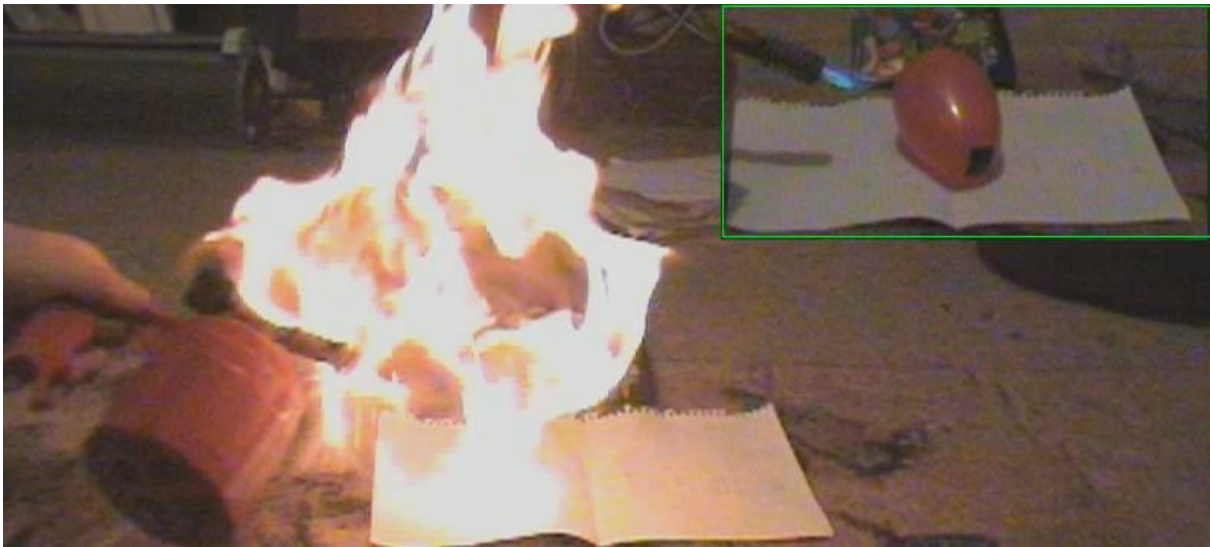
**59. Ábra A hang lökéssel indul, de a hangmagasság állandó**

ingadozik, független a hőfokkülönbségtől, ezért az állandó hangmagasságát felhasználhatjuk további kísérletekben is, ahol fontos, hogy egy adott a frekvencia ne nagyon változzon. A lebegés bemutatásához, egyes speciális rezonanciavizsgálatokhoz stb. jól használható precíz viszonylag nagy hangerejű hangforrás közel szinuszos jelalakkal a termoakusztikus cső. További érdekessége, hogy a jelenség megfordítható, hanggal (Rubens csőhöz hasonlóan hangsóróval) gerjesztve a csőben lévő légoszlopot, még házilag is jól mérhető hőfokkülönbséget sikerült létrehoznom az acélgyapot két vége között és a környezeti hőmérséklet alá lehet hűteni segítségével. Tudósoknak sikerült hanghűtőgéppel  $-178^{\circ}\text{C}$  extrém hideget is előállítani, a jövőben lehetséges akár városi zajjal épületek klimatizálását is megoldani, de ez még egyelőre csak utópia.



**60. ábra A cső kihűl, de a frekvencia nem változik**

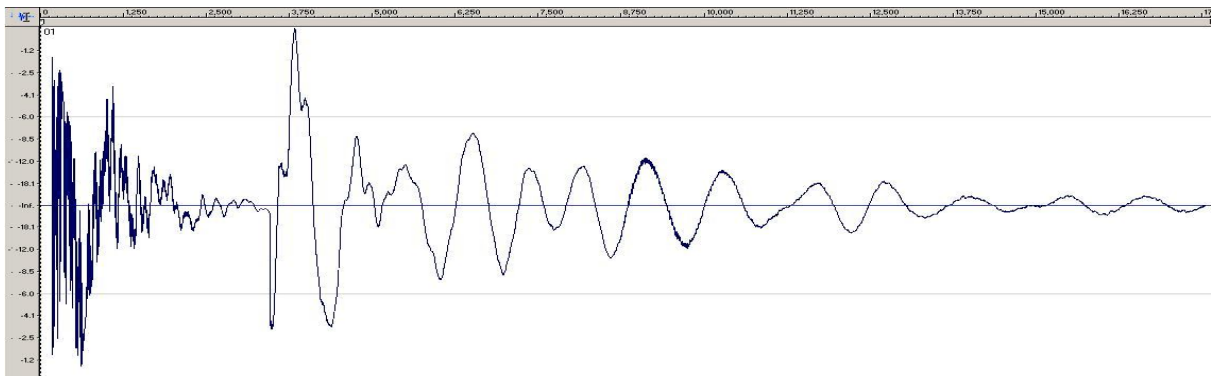
## REZONANCIA



**61. ábra Infrahang-rezonancia bemutatása**

Piros lámpánál a buszon utazunk, a motor fordulatszáma alapjáratra esik vissza és az ablakok erősen elkezdnek csörögni. A jelenség neve rezonancia, vagyis együttrezgés. Az alacsony fordulatszámú Diesel motorok infrahangot bocsátanak ki, amit nem hallunk, de nagyon zavarónak érezhetjük. Az üvegek nem állnak szilárdan a helyükön, elmozdulni, rezegni képesek. Ha rezgetni kezdünk egy ilyen testet, az olyan módon regezhet, ahogy azt mozgatjuk, de ha magára hagyjuk, akkor egy adott frekvencián fog rezgőmozgást végezni. Ezt a frekvenciát „szereti”, ez a sajátja, a sajátfrekvencia. Ha mi is ezzel a frekvenciával mozgatjuk, akkor jól együttműködünk vele és igen nagy amplitúdókat érhetünk el. A motor által kibocsátott infrahang rezgésbe hozza az üveget, méghozzá pontosan azon a frekvencián, amin egyébként is „szeretne” rezegni, ezért lesz erős a rezgés és a csörgés, az üveg rezonál. Az amplitúdó olyan erős is lehet, hogy az üveg eltörhet, vagy ha pl. híd jön rezgésbe a katonák menetelésétől, az is leomolhat stb. (*rezonanciakatasztrófa*). De a rezonancia hasznos dolog lehet, ha csak a kvarcóránkra gondolunk, abban is egy miniatűr kvarc hangvilla rezonál és látja el az ütemadó szerepét és még sorolhatnánk a rezonancia alkalmazásait...

Mi is előállíthatunk infrahangot, azaz, olyan alacsony frekvenciájú hangot (16Hz alatt), amit már nem hallunk. Nem lesz nehéz dolgunk és a kísérlet eredményeként az ablaküvegeink teljesen biztonságos módon meg fognak csörrenni a törés veszélye nélkül. A kísérletünk ráadásul nem csak hangzatos, de még igen látványos is. A gépporrasztólámpa igen hasznos kellék a démonstációs bemutatókon, tehát mindig úgyis velünk van, ezért gyorsan elvégezhető a következő kísérlet. Lehet játékboltokban 100 db-os kiserelésben olcsón kapni mini lufikat, az ún. vízbombákat. Vízzel kell tölteni, bekötni és eldobni. Vízzel helyett a gázforrasztónkból származó gázzal töltjük meg a kis lufit, majd meggyújtunk ugyancsak a forrasztólámpával.



**62. ábra A durranás és azt követő infrahang**

Egy fényes, de hangosnak nem mondható ellobbanás követően az ablaküvegek megcsörrennek, miközben berregés szerű hangérzetünk támad és erős a gyanúnk, hogy infrahang lehet a háttérben. Természetesen számítógéppel alaposan kielemeztem a felvett hangot. Jó láthatóan, valóban infrahanggal van dolgunk 7-8Hz-es frekvenciával és nagy amplitúdóval. Az égés a lufi kidurranását követően kék lánggal a levegő-gáz határfelületen indul meg és szakaszosan zajlik le. A lökészerűen kitáguló gázok keltik a hangot. Az infrahang időtartama 1.8 s volt az egyik kísérletemnél, míg az égés mindössze 350ms nagyságrendű ideig tartott csupán. A biztonság kedvéért érdemes szemüveget és védőkesztyűt viselni és tartuk magunkat távol az égő gázoktól. Egy vékony fűzetlapon végeztem a lufiba töltött gáz égetését sorozatban és nagymennyiségben, de az még csak meg se pörköldött.



**63. ábra Pohártörési kísérlet hanggal**

A következő kísérlet bizonyára sokaknak ismerős. Fogjunk egy talpas vékonyfalú borospoharat és megnedvesített ujjunkkal körkörösén óvatosan dörzsöljük meg a peremét. A pohár rezgésbe jön, hangot ad ki. A frekvenciáját megmértem, majd nagyteljesítményű hangszórók közé helyeztem a poharat és a mért frekvenciájú hanggal gerjesztettem. A frekvenciát kissé változtatva a pohár egy adott frekvencián, a rezonanciafrekvencián erős rezgésbe jött. A pohárba tett szívószálat használtam rezgésjelzőként, ami ide-oda pattogott a

rezgő pohárfaltól. A hangerőt feltekerve hosszas kísérletezés után sikerül elérni igen nagy amplitúdókat, a szívószál olyan intenzíven mozgolódott, hogy kirepült a pohárból. A hangszórókat négyszögjellel hajtottam meg a számítógép hanggenerátorával. Olcsó poharakat érdemes vásárolni a kísérlethez, mert egyrészt nem is kár értük ha tönkremennek, másrészt pedig ezek nagyobb eséllyel gyengébb minőségűek és anyaghibásak és ha szerencsénk van az erős rezonanciának köszönhetően hanggal összetörhetők. Mindenki számára igen izgalmas a pohártörési bemutató és kiválóan alkalmas a fizika és a tudomány megszeretetésére. Bár nagy hátránya, hogy szerencse is kell hozzá, és nem mindig járunk sikerrel. Egy igen nagy hangerejű hangszóró az ún. compression speaker, aminek a beszerzését már tervezem. Igaz nem túl olcsó megoldás, de azért elérhető áron hozzá lehet jutni és azonnali sikereket lehet vele elérni a kicsik és nagyok körében, ezért igencsak megéri kiadni a pénzt érte.



**64. ábra A törött pohár**

## HANGSZEREK KÉSZÍTÉSE

Láthattuk, hogy borospohárral egészen egyszerűen lehet hangot kelteni. A hangja nem túlságosan összetett és hosszan hangoztatható, egyszerű frekvenciamérővel is meghatározható a hangmagasság. Ugyanazon frekvenciát szólal meg a pohár, ha ráütünk pl. egy késsel. Ha vizet töltünk a pohárba, akkor vízszinttől függően csökken a frekvencia, a nagyobb tömeghez már alacsonyabb rezgésszám tartozik. Az általam használt egyik pohár vízzel tele töltve kerekén 700Hz-es hangot bocsátott ki, míg üresen 1200Hz-et. Nagyon egyszerű tehát hangszert készíteni vízzel különböző mértékben töltött poharakkal. Kis próbálgatással és folyamatos frekvenciaméréssel be lehet állítani a kívánt hangmagasságot. Az 65. Ábrán látható táblázat megkönnyíti a munkánkat, benne a zenei hangok frekvenciái

|              | C     | C#    | D     | E $\flat$ | E     | F     | F#     | G     | G#    | A     | B     | H     |
|--------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| szubkontra   | 16.35 | 17.32 | 18.35 | 19.45     | 20.60 | 21.83 | 23-Dec | 24.50 | 25.96 | 27.50 | 29.14 | 30.87 |
| kontra       | 32.70 | 34.65 | 36.71 | 38.89     | 41.20 | 43.65 | 46.25  | 49.00 | 51.91 | 55.00 | 58.27 | 61.74 |
| nagy         | 65.41 | 69.30 | 73.42 | 77.78     | 82.41 | 87.31 | 92.50  | 98.00 | 103.8 | 110.0 | 116.5 | 123.5 |
| kis          | 130.8 | 138.6 | 146.8 | 155.6     | 164.8 | 174.6 | 185.0  | 196.0 | 207.7 | 220.0 | 233.1 | 246.9 |
| egyvonalas   | 261.6 | 277.2 | 293.7 | 311.1     | 329.6 | 349.2 | 370.0  | 392.0 | 415.3 | 440.0 | 466.2 | 493.9 |
| kétvonalas   | 523.3 | 554.4 | 587.3 | 622.3     | 659.3 | 698.5 | 740.0  | 784.0 | 830.6 | 880.0 | 932.3 | 987.8 |
| háromvonalas | 1047  | 1109  | 1175  | 1245      | 1319  | 1397  | 1480   | 1568  | 1661  | 1760  | 1865  | 1976  |
| négyvonalas  | 2093  | 2217  | 2349  | 2489      | 2637  | 2794  | 2960   | 3136  | 3322  | 3520  | 3729  | 3951  |
| ötvonalas    | 4186  | 4435  | 4699  | 4978      | 5274  | 5588  | 5920   | 6272  | 6645  | 7040  | 7459  | 7902  |

**65. ábra A zenei hangok frekvenciái**

találhatóak rendszerezve. Az egymás követő zenei hangok (félhangokat is nézzük) frekvenciáinak hányadosa állandó, tehát mértani sorozatról van szó. Egy oktáv 12 hangot tartalmaz és ha egy oktávnyi a távolság a két hang között, akkor frekvenciáinak hányadosa 2, ezért a mértani sorozat kvóciense 12. gyök alatt 2 lesz, ami kb. 1.06. Ha tudjuk a referencia egyvonalas „a” (kamara)hang frekvenciáját, ami 440Hz, ki is tudjuk számolni az összes hang frekvenciáját és magunk is elkészíthetjük a bármikor táblázatot, ha nem lenne kéznél egy készen. Látható tehát, hogy a borospohárral a kétvonalas F-től kezdve a háromvonalas D-ig lehet előállítani a zenei hangokat. Vegyük elő más fajta poharakat is és határozzunk meg üresen és tele vízzel milyen tartományban használhatóak, és biztosan találunk majd



**66.ábra Pohárhangolás**

átfedéseket és akár több oktávnyi tartományban is elkészíthetjük a vizespohár-hangszerünket. Ha kész a pohársor, jelöljük meg a vízszintet vízálló alkoholos filctollal és írjuk rá a melyik zenei hangról van szó, így üresen tárolhatóak és használat előtt csak fel kell jelítenünk a vízszintet. Érdemes lágyvizet használni, mert a vízkövesedés



**67.ábra A kész pohársor**

elhangolhatja a hangszerünket és a csapvízben lévő idővel felszabaduló gázok is apró buborékként kirakódnak a poharakat falára, amik a hangzást lerontják, tompává és halkká teszik. A gyerekek nagyon szívesen játszanak a pohársorral, és ügyesen szólaltatják akár nedves ujjukkal a poharakat. A frekvenciákat hangoláskor akár néhány Hz-es eltéréssel is elegendő beállítanunk a jó hangzáshoz.



**68.ábra Csőtartó szivacs**

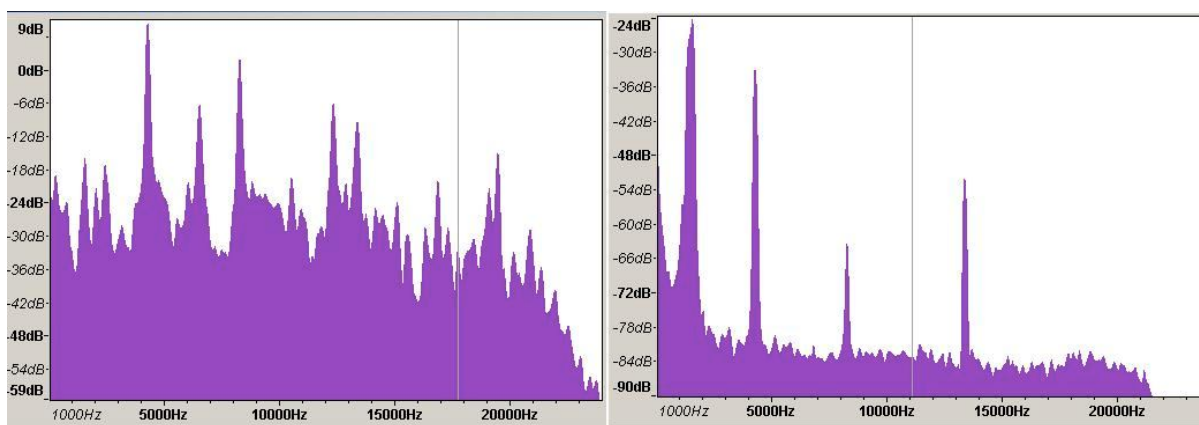
A következő hangszeremhez vékonyfalú sátorvascsöveket használtam. Az átmérőjük azonos volt, csupán a hosszuk változtatásával állítottam a hangmagasságot. A csöveket hangoláskor szivacsból vágott csíkokra helyeztem, hogy szabadon tudjanak rezegni. Rákoppintottam ceruzával és a cső csengő hangjának mértem a frekvenciáját. Mivel csak viszonylag rövid ideig adott ki hangot és a frekvenciaspektrumában sok felhang nagy amplitúdóval szerepelt ezért egyszerű frekvenciamérő programok nagyon változó frekvenciákat jeleztek ki, hol az alaphangét, hol a felhangok valamelyikét. A Valós idejű frekvenciaanalizátorral a spektrumot folyamatosan figyelve azonban könnyedén meghatározható a legalacsonyabb frekvenciájú összetevő, azaz az alaphang frekvenciája, ami kell nekünk. A csöveket sarokcsiszolóval vágtam különböző méretűre és azzal csiszoltam a csövek végéből anyagot óvatosan, lassan haladva. A rövidebb csőhosszhoz nagyobb frekvencia tartozik és vigyázni kell, mert ha túl nagy lesz a frekvencia, akkor már csökkenteni nem könnyű. De ha mégis túl rövid lenne a cső, akkor a következő utáni hanghoz még felhasználható az elrontott cső. Elkészítettem 2 oktávot a félhangokkal együtt. A csövek alapszíne fehér volt, ezért a félhangokat feketére festettem le festékszóróval. A tartószivacshoz ágyakban használt szivacsból vágtam ki éles késsel fémvonalzó mellett a két csíkot és felhevített vascsővel olvasztottam beléjük a megfelelő



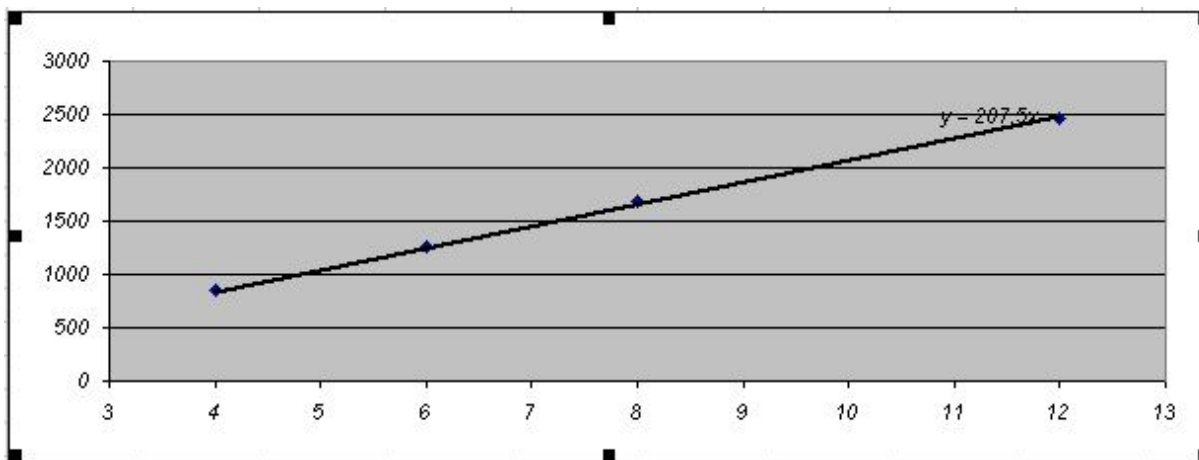
**69. ábra A kész vascső-hangszer**

formát. Az olvasztáshoz távtartónak a szivacs csíkok mellé helyezett vasrudakat használtam, így a csövek azonos magasságban állnak vízszintes asztalra helyezve a hangszert.

Ezután hasonló hangszert készítettem tömör vasrudat felhasználásával. A tartószivacsot hasonlóan csináltam meg olvasztással. A megkoppintott vasrúd csilingelő hangot ad ki és viszonylag bonyolult a frekvenciaspektruma. Gyorsan csökken az alaphang amplitúdója és zavaróan hat az ütőszerszám hangja is kezdetben, így valós időben nem könnyű kiértékelni a spektrumot, mert csak rövid idő áll rendelkezésre. Később, amikor elhalkulnak a zajok, akkor már a hasznos jel amplitúdója is gyorsan leesik, ezért hangfelvételt készítettem és nem valós időben, hanem utólag mértem meg a hangmagasságát az alaphangnak. Egy nagyon hasznos és ingyenes programot az Audacity 1.3-as verzióját használtam, érdemes vele megismerkedni. A spektrumot akkor érdemes felvenni, amikor a rúd csilingelő hangja szinte már teljesen elhalkul, ekkor már az összetett spektrum jócskán leegyszerűsödik, és könnyedén meghatározhatóvá válik a keresett alaphang frekvenciája. A hangszerhez 8-as gömbvasat

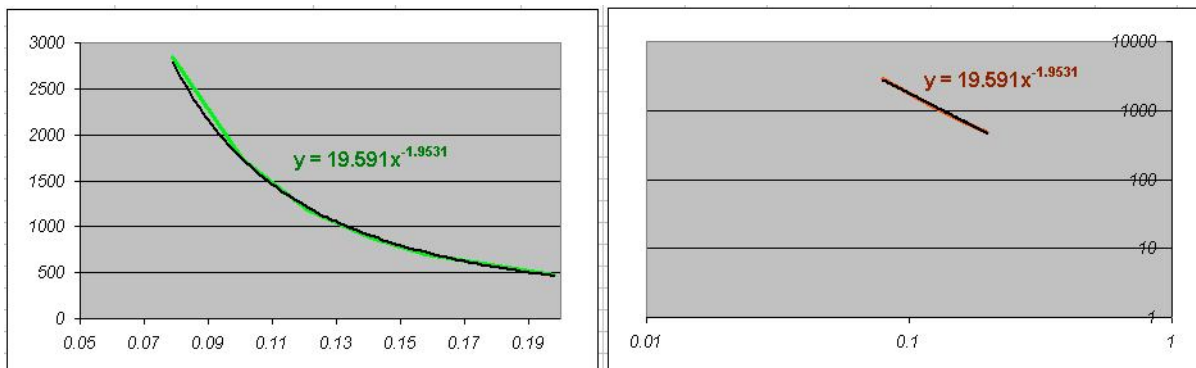


**70. ábra A csilingelés elején és végén felvett spektrum**



**71. ábra 147mm hosszú vasrudak hangmagassága az átmérő függvényében**

használtam, amit 3 méteres szálalakban lehet beszerezni vaskereskedésekben pár száz forintért, így nagyon olcsón lehet hangszert készíteni segítségével. Bár számolgatás nélkül is próbálkozással is lehet remek hangszerek készíteni, de kíváncsiságból azért felvettem pár grafikon. Először is arra voltam kíváncsi hogyan függ a legfontosabb paraméter, a frekvencia a rudak átmérőjétől. Hogy a hosszúság ne zavarjon, 147mm-re vágtam különböző átmérőjű tömör vasrudakat. Az átmérő- frekvencia függvény szemmel láthatóan nem valami bonyolult, lineáris kapcsolat van a két mennyiség között, közönséges egyenes arányosság. Ha megvan, hogy milyen frekvenciatartományban akarunk hangsort készíteni, ki lehet választani a megfelelő átmérőt a grafikon segítségével. Lehetne ugyan a hosszúsággal is beállítani a megfelelő frekvenciákat, de hogy ne legyen túlságosan hosszú vagy éppen rövid a rudak hossza előbb a megfelelő átmérőt válasszuk meg. A túl rövid rudak alig adnak ki hangot, a nagyon hosszúak pedig kezelhetetlenek lennének. Egy oktávnyi C-től Cig terjedő skálát csináltam meg kerekén 1-2 kHz tartományban, így a megfelelő választás a 8-as átmérő volt. A hangok különböző frekvenciáit most már a hossz változtatásával állítottam be egyenként. Ha felvesszük a frekvencia-hosszúság görbét, látható, hogy ez kissé nehezebb eset, nem egyenes. A meredeksége negatív, tehát fordított arányosságról van szó. Próbáljunk a görbéből egyenest

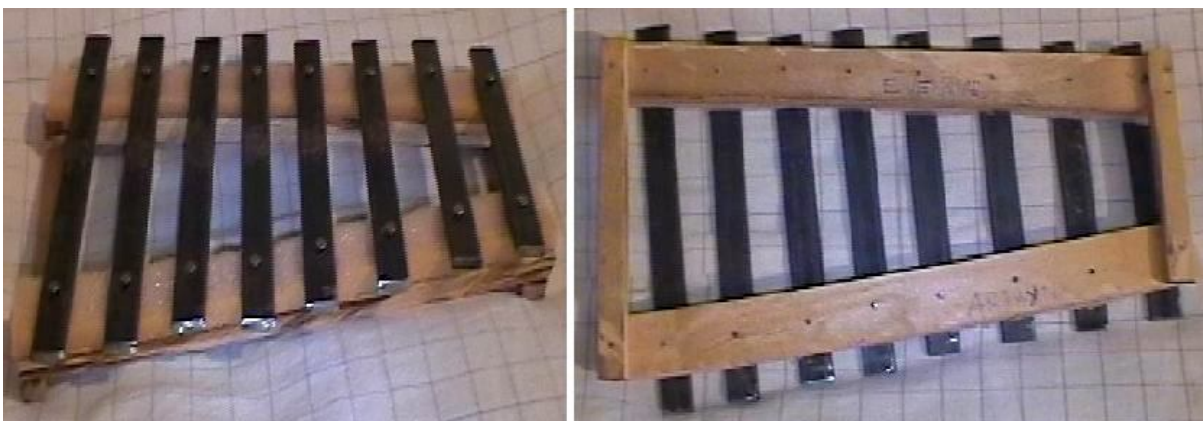


**72. ábra frekvencia a hosszúság függvényében LIN-LIN és LOG-LOG skálával**



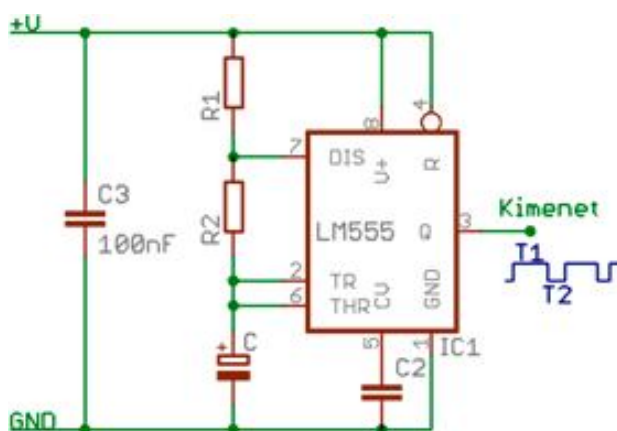
**73. ábra Hangszer tömör fémrudakkal**

csinálni. A lineáris skálákat cseréljük le logaritmikusra. Mivel log-log skálán sikerül egyenest csinálni, tudjuk, hogy hatványfüggvényről van szó. A kitevő kerekítésével azt is tudjuk már, hogy  $1/x^2$  a függés. Most már vissza felé is lehet gondolkodni és kiszámolni milyen hosszú rudakat kell vágni az adott hangokhoz. Mivel a frekvencia nagyon érzékeny a hossza, érdemes kissé túlméretes rudakat vágni majd kicsiket csiszolgatva a végükből finombeállítást végezni, miközben természetesen folyamatosan mérjük a frekvenciákat. Vasrudak helyett laposvasakat is használhatunk. Fémxilofont készítettem 12\*3mm-es laposacél-csíkokból. Ez már saját favázzal rendelkezik. A laposacélból vágott darabokat átfúrtam és szegekkel a vázhoz rögzítettem, alájuk szivacsot helyeztem. A szegek feje nem ér hozzá a laposvasakhoz, a szivacsnak is köszönhetően szabadon rezeghetnek a fémcsíkok.



**74. ábra Xilofon laposacélból**

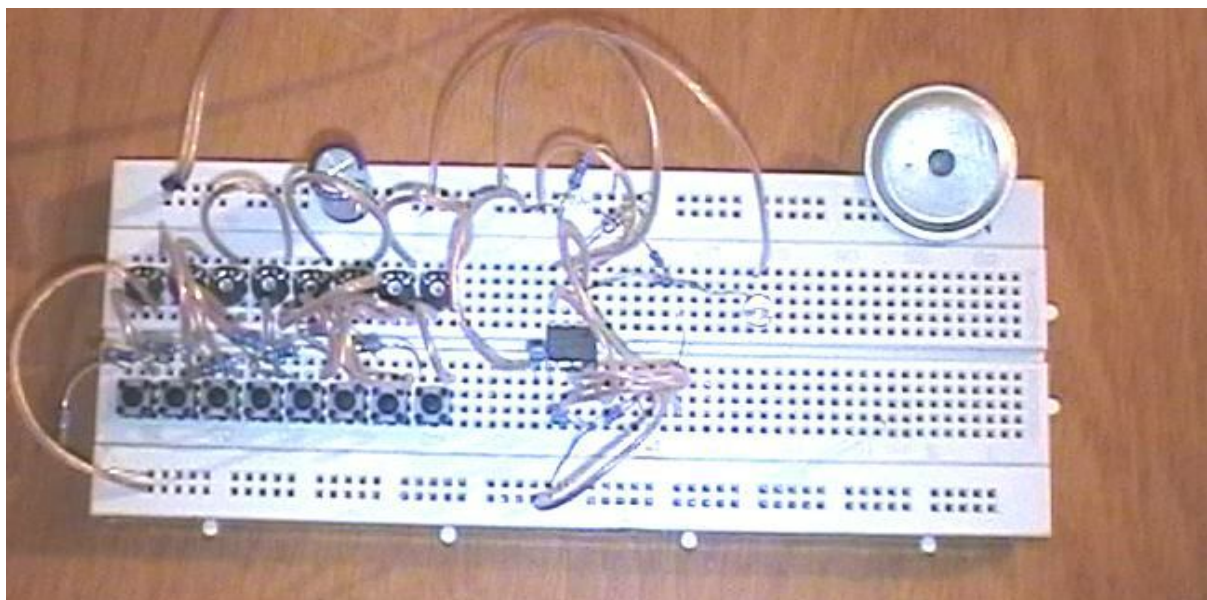
## ELEKTRONIKA ÉS AKUSZTIKA



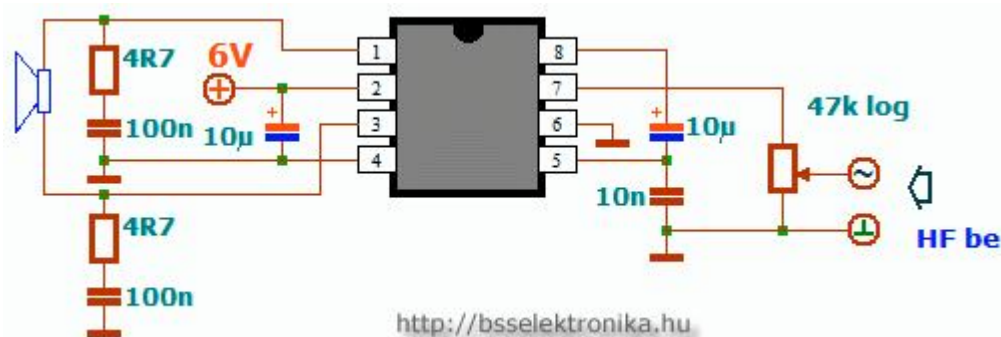
75. ábra Villogó

Készíthetünk nagyon könnyen, sőt még a mechanikus hangszerektől is egyszerűbb módon elektromos hangszereket is. Igen egyszerű elektromos áramkört kell építenünk, ezzel kezdik a lelkes amatőrök is pályafutásukat, egy egyszerű villogó készítésével. A villogó egy astabil multivibrátor és egy NE555-ös *integrált* áramkörrel fogjuk megcsinálni.

Még csak nyomtatott áramköri lemezre sem lesz szükség, hanem próbapanelt fogunk alkalmazni. Gyerekeknek játéknak ideális, de gyakorlottabb szakemberek is gyorsan, könnyen kipróbálhatják rajta a kapcsolásukat, mielőtt végleges állapotában elkészítenék. A panelba gyorsan le lehet illeszteni, és el lehet távolítani az áramköri elemeket, így lehet kísérletezni bátran. A kapcsolás tápfeszültsége 5-15V között bármilyen feszültség lehet. A kimeneten négyszögjel jelenik meg. Az ellenállások értékei határozzák meg a villogás sebességét és a ki és bekapcsolt idők közötti viszonyokat. A kitöltési tényező mutatja meg, hogy a periódusidő hány százalékát tölti ki a jel, vagyis mennyi ideig van a kimeneten és a föld között közel tápfeszültség. Ha az R1 ellenállás értéke viszonylag kicsi és az R2 nagy, akkor a kitöltési tényező 50% körüli, azaz a kimenetre kötött izzó közel ugyanannyi ideig van bekapcsolva,

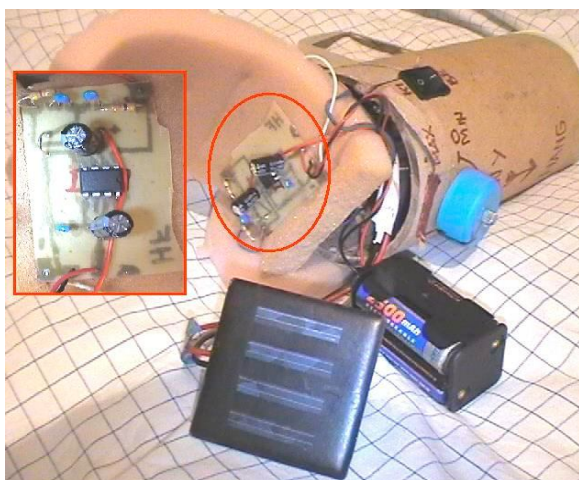


76. ábra Egyszerű szintetizátor házilag NE555-ös ICvel



**77. ábra Egyszerű hangfrekvenciás erősítő**

mint kikapcsolva. Az R1 ellenállás állandó értékű legyen, 1kOhmosat választottam és a R2 helyére potenciometert kötöttem, így a villogási frekvencia változtatható. Ha az izzó helyett egy hangszórót, vagy piezo hanglapocskát teszünk a kimenetre, akkor az a villogási frekvenciának megfelelő hangmagasságú hangot bocsát ki. A villogás frekvenciáját a potméterrel állíthatjuk be megfelelő értékre, akár a nevezetes zenei hangok frekvenciáira. Bár az Interneten vannak számoló programok, amelyek segítségével meghatározhatjuk a villogási frekvenciát az áramkörü elemet értékeinek megadásával, a finom beállításhoz mégiscsak a frekvenciamérő alkalmas igazán. A frekvencia nagyságrendjét a C kondenzátor határozza meg, 10-100nFos értékeket használtam. Tovább is lehet menni, 8db 50kOhm-os potméterrel kötöttem be szintén 8db nyomógombon keresztül az R2 ellenállás helyére. Minden egyes gomb a saját potméterét köti be a megnyomása pillanatáig az R2 helyére. A potmétereket addig tekergettem miközben mértem a frekvenciát, míg minden egyes gombhoz sorra a megfelelő zenei hang frekvenciája nem tartozott. Ezzel kész is a primitív elektromos zongora alig 100Ftos költségvetéssel. A gyerekek nagyon szívesen játszanak rajta és a hangzása is tökéletes az egyszerűségéhez képest. A tápellátása 12Vos törpefeszültséggel történik, ezért. veszélytelen. A kimenetre egy 560ohmos soros ellenálláson keresztül vörös



**78. ábra Napelem-erősítő-hangszóró lánc**

fényű lézerdíódát is köthetünk. Erre a célra egy lézeres mutatópálcát használtam, ami néhány száz forintért nagyon könnyen beszerezhetünk. A lézer fénye akár 100 méteres nagyságrendű távolságokra is elvilágít. A villogó lézerfényrel világítsunk egy napelemre, ami szaggatott egyenfeszültséget fog előállítani. Ezzel a feszültséggel hangszórót táplálhatunk akár közvetlenül is pl. egy kifogyasztású



**79. ábra Fény-hang konverter elkészült**

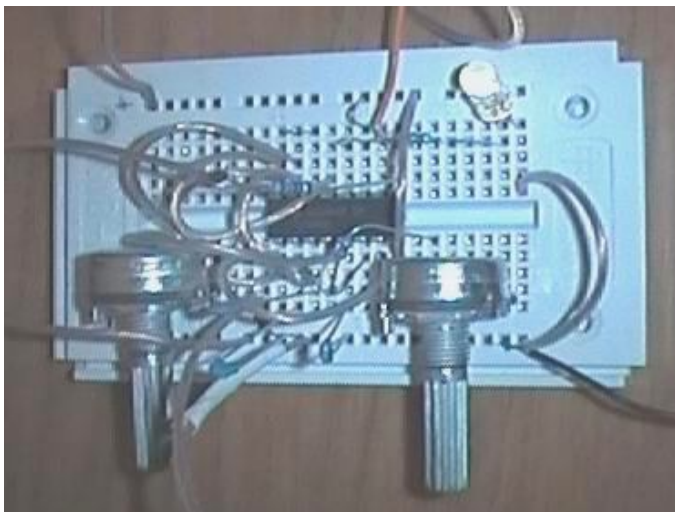
fejhallgatót és visszahalljuk a zongoránk hangját nagy távolságokban is. Igen jól hallhatjuk akár nagyobb teljesítményű hangszóróval is a villogás frekvenciájának megfelelő hangot, ha a napelem és a hangszóró közé erősítőt teszünk. Ehhez nagyon egyszerű és olcsó erősítőt építettem TDA2822-es IC-vel. Az erősítőnek nem kell csupán csak ki és bekapcsolt jelet erősíteni, köztes állapotok nincsenek. A tápja 4db 1.2Vos NiMH akkumulátor sorba kapcsolva. A napelemet egy rossz szolárlámpából szedtem ki, aminek az akkuja már nem működött. A hangszórót az erősítővel és tápjával illetve a napelemmel együtt egy papírcsőbe helyeztem így könnyen kezelhetővé, hordozhatóvá vált a rendszer. A cső belsejében a hézagokat szivaccsal töltöttem ki és egy potméter seftségével a hangerő is szabályozható, aminek a tekerőgombja nem más, mint egy átfúrt kupak. A megvilágításra szolgáló lézeres mutatót egy mini kameraállványra szereltem, így kényelmesen pozicionálható.

De nem csak egyszerű sípoló hangot lehet ilyen módon fénnel továbbítani nagyobb távolságra, hanem sokkal összetettebb hangokat, bármilyen zenét vagy beszédhangot is. Eddig



**80. ábra A lézerdióda tartója**

a zenei hangok frekvenciájával villogó fénnel dolgoztunk, és a be és kikapcsolt idők azonosak voltak, a kitöltési tényező állandóan 50% volt. A következő továbbfejlesztésben a frekvenciát állandósítottam. 20-50kHz-es nagyságrendben választottam meg a villogási frekvencia értékét, ennek megfelelő hang már ultrahang tartományba esik, ott van, de nem halljuk, így nem fog zavarni bennünket. A kitöltési tényezőt viszont most már változtattam méghozzá egy moduláló jel függvényében, ami lehet pl. egy MP3 lejátszó hangfrekvenciás jele is, ezt erősítőn keresztül kapcsoltam az új áramkörre. Amikor egy állandó frekvenciájú négyszögjel kitöltési



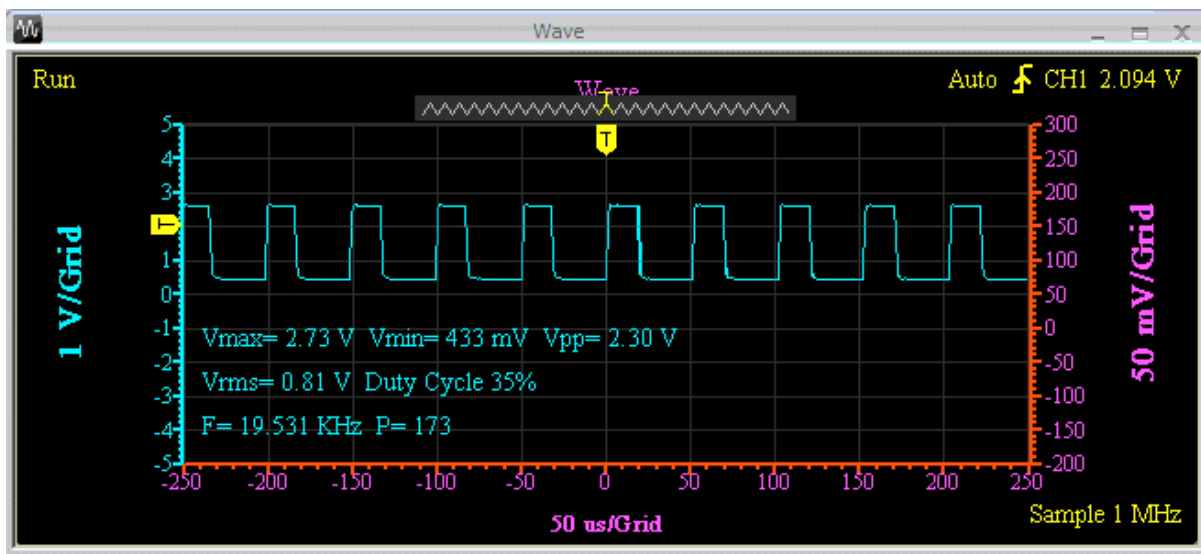
**81. ábra PWM vezérlő TL494-es IC-vel**

tényezőjét változtatjuk a moduláló jel függvényében, akkor tulajdonképpen az impulzus bekapcsolt idejét növeljük vagy csökkentjük, azaz az impulzus szélességét változtatjuk. Ez az impulzus szélesség moduláció, és ennek az angol rövidítésével szoktunk találkozni az elektronikában: PWM (Pulse Width Modulation). Mivel csak ki és bekapcsolt állapotok vannak, kicsit hasonlít a bináris jelre. Nem számít, hogy a jel milyen erős, csak az, hogy éppen van, vagy nincs, ezért nem érzékeny a jelgyengülésre és egyéb ebből származó zavarokra. Könnyű belátni, hogy minél szélesebb az impulzus, minél hosszabb ideig van feszültség a kimeneten és a szünet minél rövidebb, annál nagyobb lesz az átlagos teljesítmény. Mivel az impulzus szélessége a moduláló jel függvényében változik, ezért kimenő átlagteljesítmény is. A PWM-et előállító áramkört megvalósíthatjuk NE555-ös IC-vel, ahogy én is ezzel a kapcsolással kezdtem eleinte, de találunk kifejezetten erre a célra használatos TL494-es IC-t is. Megvásárolhatjuk az IC-t elektronikai szaküzletekben néhány tíz forintos áron, de akár számítógép tápegységekből is kibányászhatjuk. 12Vos tápfeszültséggel működik, az áramellátását PC tápról oldottam meg. Világítsunk a lézerrel akár nagyobb távolságokra, keressük meg a világító pontot és tegyük be a fény-hang konvertert, a hangcsövet a lézerfény útjába és már szól is a zene. A két potméterrel állíthatjuk be az áramkört: a vivőfrekvenciát, és az alap kitöltési tényezőt. Hagyományos analóg oszcilloszkóppal megnézhetjük a jelalakokat és egyéb paramétereket vizsgálhatunk. Manapság azonban lehet kapni USB-n keresztül a számítógépre köthető digitális

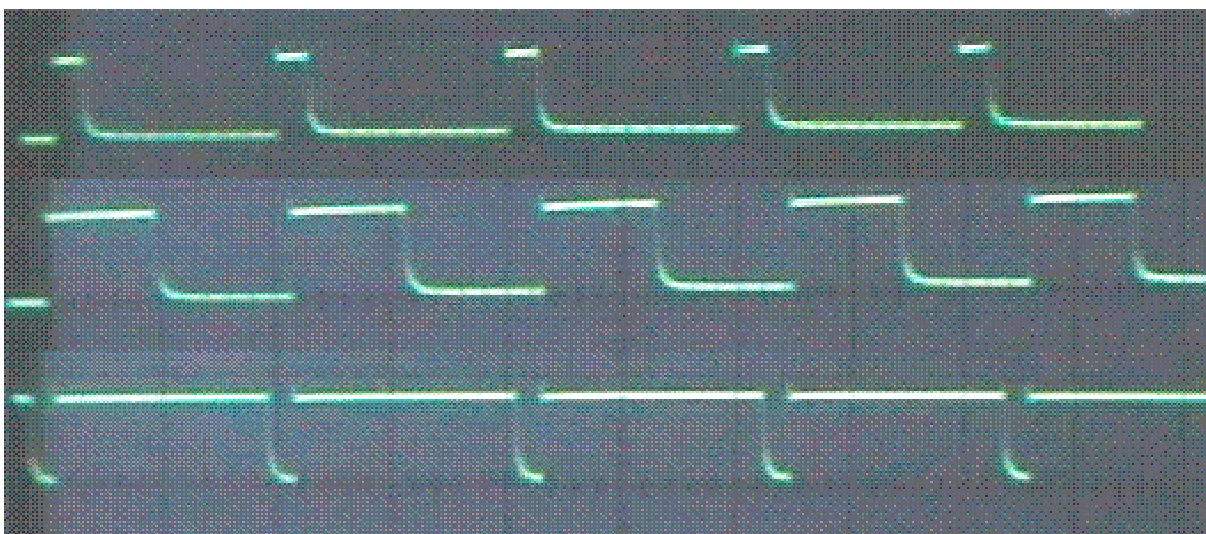


**82. ábra Mérés analóg oszcilloszkóppal**

oszcilloszkópokat elérhető áron, ezért én is vásároltam a analóg műszerem mellé. Ezzel azonnal fontos információhoz juthatunk, *feszültséget, kitöltési tényezőt, frekvenciát* időt stb. *számszerűen kijelezve* megkapjuk és akár rögzíthetjük későbbi feldolgozásra a jeleket. Nagyon hasznos segítőtársnak bizonyult a munkám során.



83.ábra Mérés digitális oszcilloszkóppal



84. ábra Négyzetjel különböző kitöltési tényezővel

### Zenélő szikra, a plazmahangszóró

Hegesztéskor alacsony feszültségű, de nagy áramú villamos ívvel dolgozunk, és közben sercegő, bűgő hangot hallunk. A váltakozó áram miatt az ív teljesítménye, hőmérséklete folyamatosan változik. Az ív másodperenként 100-szor kialszik, majd újraépül. Amikor felhevül az ív, a levegő kitágul, lehüléskor pedig összehúzódik. A levegő részecskéi ilyen módon is rezgésbe hozhatók és 100Hz-es hangot hallunk. Ugyanezt megcsinálhatjuk nagyfeszültséggel előállított kisáramú szikrával is. Ha feltranszformálunk pl. egy 440 Hz-es váltakozó feszültséget pár kV-os



85. ábra 40-50kV-os zenélő szikra

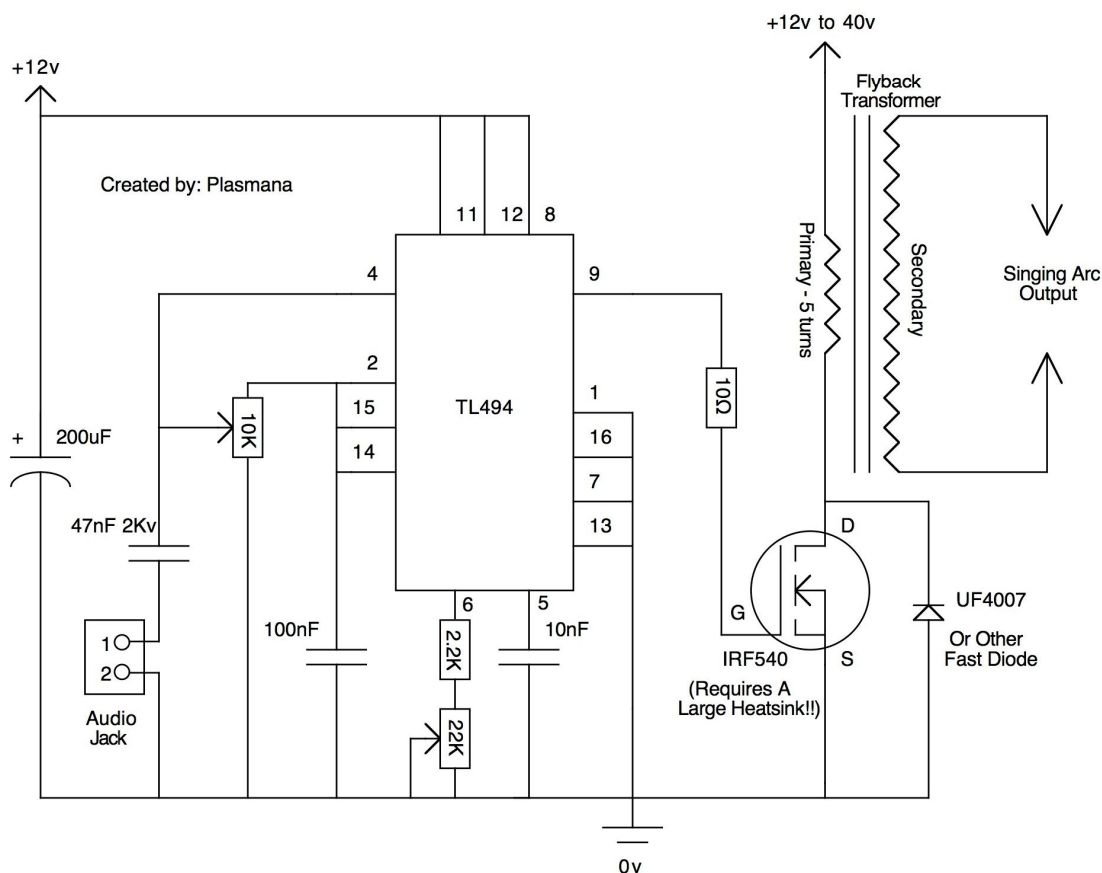


**86. ábra Kézzel áttekeresztelt TV sorkimeneti transzformátorok**

feszültségre, akkor a zenei „A” hangon sípoló szikrát hozhatunk létre. De akár hangfrekvenciás váltakozó áramot is feltranszformálhatunk elvileg. Az alacsony, változó hangfrekvencia nem transzformálható olyan jó hatásfokkal, mint a nagyfrekvencia. A 20-50kHz.-es PWM jel, amit már elő tudunk egész egyszerűen állítani, már jól transzformálható szaggatott egyenfeszültség. Az ív ilyenkor nyugodt és csendes moduláció nélkül, de valójában ultrahangon szól, csak nem halljuk. Az *impulzusszélesség* modulációval a szikra teljesítménye szabályozható. A moduláló jel függvényében változtatható a szikra hőmérséklete, így akár hangfrekvencián zenélő, vagy beszélő szikrát hozhatunk létre. A vezérlő áramkör csak tized amperekkel terhelhető, ezért térvezérelt tranzisztor, FET segítségével kapcsolgatjuk a nagy áramot, amit feltranszformálunk. Egy IRF540-es FET-et használtam, ami 500V-os és 8A-rel terhelhető. Ez a FET szaggatja meg egy autóakkumulátor áramát a PWM jelnek megfelelően. Az átlagos áramerősség 1-3A, a termelő hőt egy számítógépben használatos processzorhűtővel vezetem el. Ezt a nagyfrekvenciával megszaggatott viszonylag nagy áramot kell csak feltranszformálni és lényegében készen is áll a szikra a zenélésre. A transzformáláshoz két sorba kötött (kisebb szikrával ugyan, egy is elég) sorkimenőt használtam, amiket régi hulladék

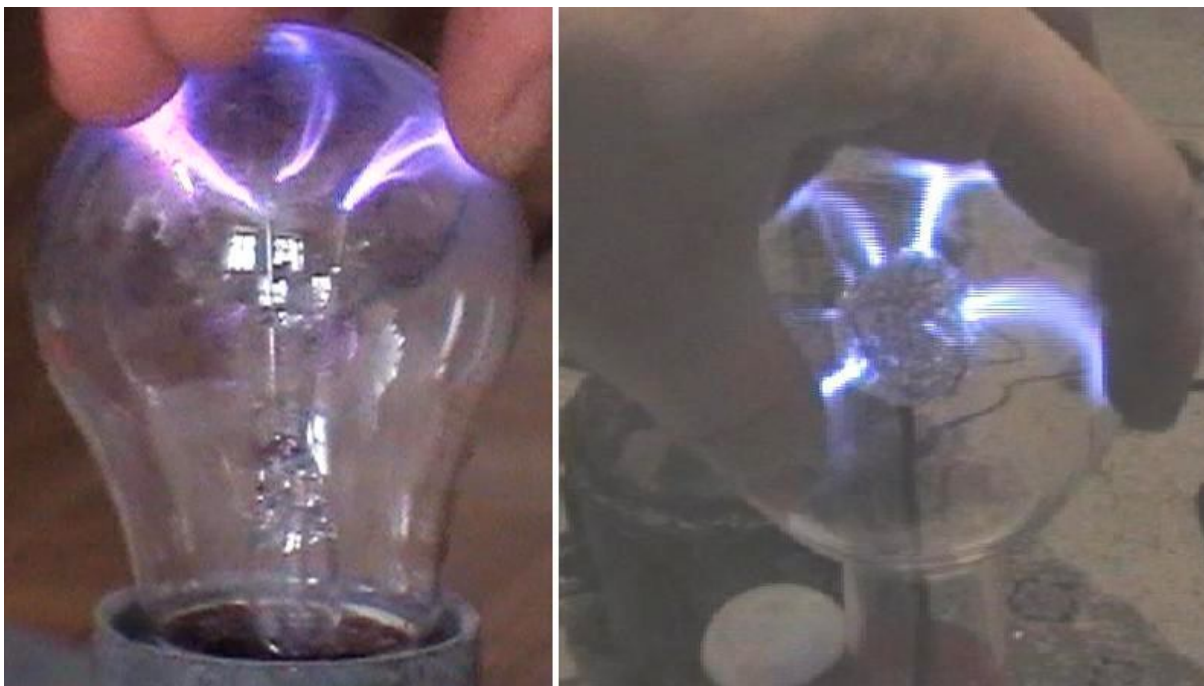


**87. ábra A FET és hűtése**



**88. ábra A Plazma-hangszóró kapcsolási rajza**

fekete-fehér Tv készülékből szedtem ki. A primer tekercset eltávolítottam és újratekercseltem. Villanszereléshez használatos 1.5 mm<sup>2</sup>-es szigetelt tömör rézdrótot használtam, 5-5 menetet tekertem fel a ferrit vasmagra, de ugyanilyen drótot használtam a szikraközhöz is. A moduláló jel erősítőn keresztül jut a TL494-es vezérlő áramkörre. A hangfrekvenciás jel forrása egy MP3 lejátszó, az erősítő pedig egy számítógéphez használatos hangfalpár beépített erősítője. A 36V-tal működő plazmahangszóró 3-4cm-es látványos ívet is produkálhat, az egyszerűségéhez képest nagy hangerővel és viszonylag jó hangminőséggel. A vezérlő 12V-os tápfeszültségét PC tápegysége szolgáltatja. Az autóakku helyett hálózati transzformátorral is próbálkoztam. Kidobott akkutöltőből származó diódákból összerakott *Graetz-híddal* egyenirányítottam a 24V-os névleges váltakozó feszültséget és egy 10db 1000uF-os kondenzátorteleppel simítottam ki az így kapott egyenáram lüktetését. Mivel a trafó kis terhelésnél a névlegestől nagyobb feszültséget szolgáltat és kondenzátor a váltakozó áram csúcserkéig töltődik a kapott egyenáram feszültsége a plazmahangszóró szokásos terhelése mellett 33-35V körül mozgott. A kész berendezés igen látványos bemutatók kelléke lehet és mindössze pár száz forintot költségvetésű, és házilag is könnyű kivitelezni. A TL494



**89. ábra plazmagömb izzólámpával és gömblombikkal**

IC helyett használhatjuk az NE555ös kapcsolást is némi módosítással, ahogy én is tettem az első plazma-hangszórómnál, csak később váltottam az új kapcsolásra át. Mindkét kapcsolás nagyon egyszerű és a hangzással is elégedett vagyok. Ha a nagyfeszültség egyik kivezetését leföldeljük, a másikat pedig egy villanykörte izzószállára vezetjük igen érdekes zenélő **plazmagömböt** készíthetünk egy pillanat alatt. Kicsit több időt rászánva gömblombikból is lehet plazmagömböt csinálni egészen egyszerűen. Egy dugóval bedugjuk a lombikot és a dugón keresztül egy rézdrótot felhasználva bevezetjük a nagyfeszültséget a vezeték végére erősített alufólia galacsinba. A működéshez szükséges vákuumot hűtőgép kompresszorral állítottam elő. Néhány perc múlva a gömb életre kel és látványos kék szikrák ívelnek az ujjainkhoz miközben a lombikot kívülről megérintjük. A vákuum miatt gyengén, de azért jól kivehető az ív zenélő hangja. A nagy térerősség miatt a közelébe helyezett fénycsővek kézben tartva is világítanak, így további érdekes bemutatókra alkalmas az eszköz. Tervezem a zenélő Tesla tekercs építését is, amellyel igen nagyméretű szikrákat lehet előállítani.



**90. ábra Játékok a plazmagömb nagy térerősségével**

## ÖSSZEGZÉS

A pályamunka végéhez érkeztünk. Bár már több mint 20 éve foglalkozom tudományos érdeklődésemnek köszönhetően a fizikával, de csak az elmúlt néhány évben kezdtem megvalósítani a terveim. Régen nagyon sok szerkezetet szerettem volna megépíteni, de szinte minden megmaradt csupán terv szintjén a gyakorlat hiánya miatt. Az elmúlt néhány évben, amikor kezdtem megvásárolni az első szerszámgépeim, lassan, de biztosan, autodidakta módomban kezdtem elsajátítani a gépépítés tudományát is hobbi szinten. Lassan tudatosult csak, de sikerült valóra váltani egy régi álmom: szinte bármit, amit kigondolok meg is tudom valósítani. Ami ma még csak egy gondolat, terv, holnap már lehet egy működő gépezet. Rengeteg gépet, kísérletet terveztem és építettem és mutattam be nagy sikerrel (néha persze sikertelenséggel), de terjedelmi korlátok miatt ezeknek sajnos csak egy kis töredékét tudtam bemutatni jelen dolgozatban. Remélem, hogy ettől függetlenül sikerült bepillantást nyújtanom a hétköznapi kutató és fejlesztő munkáimba és bemutatni, hogyan szeretném kamatoztatni ismereteimet, képességeimet a leendő munkahelyemen, gyerekek között egy általános iskolában, és nem utolsósorban azt, hogy a legelemibb képletek és összefüggések ismerete is elegendő a sikerhez.

A leghatékonyabb nevelési módszer a jó példamutatás. Egy jó fizika tanár szívesen foglalkozik a tudománnyal és lelkesen kísérletezik a gyerekekkel, erre szabadidejét sem sajnálja. A szertárban lévő oktatási segédanyagokat, demonstrációs eszközöket házilag is el lehet készíteni minimális költségvetéssel, amelyek egyszerű, házilagos kivitelükkel „emberközelibbé” varázsolhatják a tudományt a gyerekek számára. A dolgozatban szereplő méréseket én magam végeztem a saját eszközökkel, szerszámokkal, műszereimmel az otthonomban. A eszközöket szinte kivétel nélkül saját ötleteim alapján magam terveztem és a saját műhelyemben építettem meg. A fényképeket, rajzokat és a BASIC programokat is magam készítettem. Az ismereteim jelentős része saját tapasztalataimnak köszönhető.

Azon vagyok, hogy pénzt, időt nem sajnálva módszeresen fejlesszem munkakörnyezetem és képességeimet, hogy a gyerekek kedvenc tantárgyává varázsolhassam a fizikát. Szívesen mutatom be az eredményeim, tartok bemutatókat gyerekeknek a Kutatók Éjszakáján, Fizikus napokon, különféle versenyeken, nyári táborokban és a közvetlen családi környezetemben és a tapasztalataim igen nagy önbizalmat adnak, megerősítenek abban, hogy a mai oktatási rendszertől igen eltérő módszereimmel sokkal hatékonyabb módon lehet a tudományt közelebb vinni a gyerekekhez.

## IRODALOMJEGYZÉK

### **Kapcsolási rajzok:**

Villogó kapcsolás: [http://www.hobbielektronika.hu/segedprogramok/progs/555\\_astabil.png](http://www.hobbielektronika.hu/segedprogramok/progs/555_astabil.png)

Egyszerű HF erősítő: <http://www.bsselektronika.hu/index.php?w=0ROnAknisS>

Plazmahangszóró TL949-el [http://www.mh-audio.nl/gif/plasma/arc-speaker\\_TL494.png](http://www.mh-audio.nl/gif/plasma/arc-speaker_TL494.png)

### **Ajánlott irodalom:**

Dr. Tarnóczy Tamás: Akusztika, Akadémiai kiadó, Budapest, 1963.

Dr. Tarnóczy Tamás: Zenei Akusztika, Akadémiai kiadó, Budapest, 1982.

Öveges József: Kísérletezzünk és Gondolkozzunk, 1960.

Dr. Valkó Iván Péter: Az Elektroakusztika Alapjai, 1963

Angster Judit, Arató Éva: Akusztikai példatár, Akadémiai kiadó, Budapest, 1986

## MELLÉKLETEK

### **CD melléklet tartalma:**

#### **Videók:**

- Rubens cső
- Plazmagömb izzólámpával
- Első próba a plazmahangszóróval
- Plazmahangszóró 36V-os tápfeszültséggel
- Visszhangkeltés
- Fémxilofon
- Villogóból szintetizátor