SZAKDOLGOZAT

A SZE D1-es előadójának akusztikai vizsgálata a CARA programmal

Kalmár László 2007

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
1 Bevezetés	4
 2 Teremakusztika elméleti alapjai 2.1 Teremakusztika 2.2 Utózengési idő 2.3 Utózengési idő számítása 2.4 Utózengési idő számítása 	5 6 7
2.4 Otozengesi ido merese	9
 3 Térhallás és térhangzás. 3.1 A hang. 3.2 Hangforrások, hang tulajdonságai. 3.3 Hangok térérzékelése. 3.3.1 Mono. 3.3.2 Sztereó. 3.3.3 Surround. 3.3.4.1 Surround hang lejátszása monoban. 3.3.4.2 Surround hang lejátszása sztereóban. 3.3.4.3 Surround hang lejátszása surroundban. 3.3.4.4 Surround hang lejátszása AC3 (5.1) –ban. 	11 12 13 13 13 15 16 17 18 19 19
4 A terem adottságai	20
 5 CARA program rövid bemutatása. 5.1 Room Design. 5.2 Room Acoustics Calculation. 5.3 Presentation of results. 5.4 Loudspeakers. 	21 21 22 23 23
 A D1-es terem tervezése A terem megépítése a lemért adatokból A terem akusztikai vizsgálata a CARA programmal A terem további vizsgálata a CARA programmal A terem további vizsgálata a CARA programmal	23 24 32 40 41 42 44 44
 7 A terem utózengési idő mérése műszerrel. 7.1 A mért értékek kiértékelése. 7.2 Összefoglalás. 7.3 D1 terem összehasonlítása egy valós akusztikai teremmel. 	47 51 52 52
8 Sztereó megvalósítás több hangszóróval a jobb hangzás érdekében	54
9 Összefoglalás	58

	Irodalomjegyzék	.60
	Függelék	
10	Az utózengési idő mérése Brüel&Kjar 2260 Observer típusú	
	precíziós zaj analizátorral	.61

1 Bevezetés

Egy terem akusztikai kialakításának legfontosabb célja, hogy mi célból hozzák létre a termet, és e célnak megfelelően alakítsák ki. Fontos, hogy ne minden visszaverődést szüntessünk meg. A természetes komfortérzet miatt szükség van kis visszaverődésekre főként éneknél és élőzenénél. Általában a terem szomszédos két fala hangelnyelő, másik két fala pedig nagyrészt hang visszaverő tulajdonságú, ezzel kialakítva az emberi hallásnak megfelelő lecsengést és visszhangot. Mindenhol törekedni kell az utózengési idő alacsony (0, 5 s) szinten tartását, hogy növeljük az otthonosság érzetét.

A D1-es terem akusztikai kialakítása során az a cél, hogy az utózengési időt alacsony szinten tartsuk, és mivel oktatási terem, ezért a kihangosított tanítás a lehető legjobb minőségben, érthetően történhessen.

2 Teremakusztika elméleti alapjai

2.1 Teremakusztika

A teremakusztika külön a termek akusztikájával, hangzásával foglalkozik. A tervezés során a cél egyrészt a jobb hangzás, másrészt a hangszigetelés: zajmentesség ki- és befelé (be se jöjjön, de ki se menjen zaj).

A reflexió tárgyalásánál már láttuk, hogy egy akadályba (fal) ütköző hanghullám egy része visszaverődik, kisebb része áthatol azon, a legkisebb része pedig hő formájában melegíti azt.



(1. ábra) Falba ütköző hanghullám [1]

A falban elnyelt hangenergiát általában állandónak tekinthetjük és hő formájában szabadul fel. Mivel tökéletes visszaverődés csak elméletben van, a betáplált hangenergia egy teremben fokozatos elvész, ezért ha ott állandó energiaszintet akarunk tartani, akkor a veszteségeknek megfelelően azt állandóan pótolni kell. Ha ez a betápláló forrás leáll, az energia exponenciálisan esni kezd. Ennek mértéke függ az anyagtól, a frekvenciától és a beesési szögtől is.

Ha a hullámhossz jóval kisebb a fal felületénél, a beesési- és visszaverődési szögekre, a hangutak kiszámításához alkalmazhatók a fénytörési törvények (pld. beesési szög = visszavert szög).

Emlékezzünk rá, hogy 50 ms-nál található a visszhang-küszöb (ez kb. 17 méteres távolságnak felel meg), e felett visszhangot fogunk érzékelni. A

visszhang káros jelenség, rontja a beszédérthetőséget és a hangzást is. Ugyanakkor a jó hangzáshoz visszaverődésekre szükség van, a süketszobának zeneileg nem jó az akusztikája (nem is ez a célja).

Több utas hangterjedéskor a visszaverődések hozzátartoznak a zenei élményhez.

A hangenergia egy pontban a direkt és a visszavert hullámok energiájának az összege. Ez lehet erősítés és kioltás is (interferencia). A terem komplex rezonátor, természetes rezgő módosukkal. A kialakuló hullámtér elsősorban a hullámhossz és a terem geometriájától függ – a módusai ugyanúgy tárgyalhatók, ahogy egy húr rezgései. A terem természetes módusai (rezonanciái) helyi maximumokat és minimumokat hoznak létre, amelyek a geometriai alaktól és mérettől, és a hullámhossztól függ. Érdekessége, hogy nyomás duplázódása lép fel a reflektív felületeknél és nyomásmaximum a sarkokban. Gyakorlatilag a konkurensen, időben eltolódva megjelenő módusok azok, amelyek létrehozzák a diffúz teret.

2.2 Utózengési idő

A legfontosabb paramétere egy teremnek az utózengési idő (reverberation time). Az az időtartam, ami alatt adott, kezdeti hangnyomásszint szint 60 dB-t esik (1000-ed részére csökken a nyomás).

A reflexiók hatása a mért jelben. Az utózengési időt logaritmikus skáláról olvassuk le. Az utózengési időről elmondhatjuk, hogy

- időállandó nagy, ha sok a reflexió (pl. fürdőszobában)

- időállandó kicsi, ha kevés a reflexió (pl. bútorok, könyvek között)

időállandó frekvenciafüggő: kis frekvenciáknál hosszabb (nehezebb elnyelni)

- időállandó határozza meg a terem felhasználhatóságát

- a nagy időállandó rontja a beszédérthetőséget, és a zene élvezhetősége is csökken

- zenéhez kb. időállandó maximum = 1...3 s szükséges



(2. ábra) Utózengési idő diagram [1]

Az utózengési idő megadja a terem felhasználhatóságát. Egy TV stúdió, rádió stúdió 1 sec alatti utózengési idővel rendelkezik, koncerttermek 1-2 sec közöttivel, nagyobb templom belsőtere 3 s-nál hosszabb idővel is rendelkezhet.

2.3 Utózengési idő számítása

Az utózengési időt mérhetjük és számíthatjuk is. Két empirikus (nem egzakt matematikai levezetéseken alapuló) formula található. Az időállandó függ a terem térfogatától és az elnyeléstől.

Nem túl kicsi időállandó esetén alkalmazzuk a Sabine-formulát:

$$\tau = \frac{0,161V}{A}$$

Ahol

- Az utózengés időt sec-ban kapjuk meg
- V-t köbméterben
- A-t négyzetméterben helyettesítjük
- A 0,161 konstansnak pedig [s/m] a dimenziója.

Az A itt az abszorpciót jelenti:

$$A = \sum_{i} \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_i S_i$$

Ebben a képletben az S változó már ténylegesen egy adott felületet jelent négyzetméterben, a hozzá tartozó elnyelési tényezővel (alfa). Az elnyelési tényező általában adott, táblázatból kikereshető. Gyakorlatilag arról van szó, hogy a különböző anyagú felületeket súlyozzuk. Így ha van egy betonszoba adott felülettel és alfával, akkor az azon nyitott faajtó felületét is a fa alfájával kell súlyozni. Alfa mérhető is, és számolható is:

α = elnyelt energia/beeső energia.

Ez a képlet nagy utózengési időknél használatos, és egyenletes terjedést feltételez minden irányban (izotróp), a terem módusait elhanyagoljuk. Nagyobb A esetén az eredmény egyre pontatlanabb lesz, és egyre kisebb időállandó esetén is.

Kisebb időállandó esetén a másik használatos képlet az Eyringformula:

$$\tau = \frac{0.161V}{S\ln(1-\overline{\alpha})}$$

Ahol egy átlagos alfával dolgozunk:

$$\overline{\alpha} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_i S_i}{S_1 + S_2 + \dots + S_i}$$

és

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_i$$

Akkor a legpontosabb ez a formula, ha az időállandók körülbelül egyelők (hátrány), ugyanakkor matematikailag korrektebb, mert süketszobára, ahol alfa értéke egy, időállandóra zérus jön ki.

2.4 Utózengési idő mérése

Alapjában két módszer létezik a mérésre. A legjobb az impulzusválaszos mérés, amikor impulzussal gerjesztjük a termet (létezik kimondottan erre készült pisztoly-hangforrás, de egyszerű papírzacskó durrantás is megfelel). Majd mérjük azt az időt, amikor a kezdeti "bumm" szintje hatvan dB-t esik. Hátránya a módszernek, hogy kevés energiát közöl kis frekvenciákon, nem reprodukálható és nem biztos, hogy elég sokáig tart az impulzus.

A másik módszer zajgerjesztéssel dolgozik. A zajgenerátor fehérzajt ad ki magából (esetleg rózsaszín zajt, ami a fehérzajnak -3dB/oktávval csökkenő verziója). A rózsaszín zajt akkor használjuk, ha az átvitel olyan szűrőn keresztül történik, melynek sávszélessége a frekvenciával arányosan nő, dupla sávszélességű lesz oktávonként. Ilyen szűrőbe egyre kevesebb energia kell ahhoz, hogy a közölt energia konstans maradjon, méghozzá pontosan -3 dB/oktáv. Az ilyen szűrők sávszélessége a logaritmikus tengelyen egyforma csak (lásd ábra). Ezek tipikus oktáv- vagy tercsávszűrők, melyek értelemszerűn változó szélességűek, ahogy egyre nagyobb frekvenciákon állítjuk elő. A hangforrás legyen hangos, mely általában hangszóró vagy ún. referencia zajgenerátor. Miután ezt bekapcsoltuk és feltöltöttük a hangteret energiával beáll egy állandó szint, kikapcsoljuk, és nézzük, mennyi idő alatt esik az a szint hatvan dB-t. A fehérzaj és a rózsaszín zaj spektruma, illetve azok oktávsávra szűrt változata és az energiatartalom.[1]



(3. ábra) utózengési idő

Lehetőség van arra is, hogy a zajforrással impulzust adunk ki, de ekkor a grafikus eredmény nem elég, számításokra is szükség van. Ezen (ún. Schroeder) módszer előnye, hogy pontos és reprodukálható eredményeket ad, ráadásul gyorsabban, mint a fenti "kikapcsolós" módszer.

Az ilyen méréshez tehát nem csak mikrofon, hanem pontos óra is kell. A mikrofon és a hangforrás helyzete is befolyásolja a mérést a módusok miatt, ezért érdemes a forrást a sarok felé tenni, ahol a módusoknak nyomás maximuma van, illetve több helyen is mérni, majd átlagolni. Gyakran a mérés az utózengési idő változására irányul. Ilyenkor a hangelnyelő anyagok mennyiségét kell kiszámítani, ami adott csillapítást okoz egy teremben. Először ki kell számolni alfa segítségével, hogy mekkora felületre van szükség, azt be kell vinni a terembe, majd folyamatos mérés mellett annak méretét lehet változtatni (in situ mérés).

3 Térhallás és térhangzás [2]

3.1 A hang

A hangok nem mások, mint a levegő rezgései. Ezeket a rezgéseket fogjuk a fülünkkel. A hangok a levegőben longitudinálisan, tehát a terjedés irányával megegyezően terjednek. Ezt nem olyan nehéz elképzelni: mindenki látott már hangszórót, mindenki könnyen megértheti, hogy a hangszóró előre-hátra mozgásával hozza létre a hangokat. A hangszóróból a hang a fülünkbe érkezik. Tehát a rezgések iránya és a terjedés iránya megegyezik

Ha jobban belegondolunk a hang, tehát nem más, mint a levegő nyomásának nagyon gyors változása az adott térben. A levegő nem közvetíti a hangokat "ingyen". A levegő anyagának (nitrogén, oxigén, stb.) nyomás-változtatgatása súrlódással jár. Ez a súrlódás csökkenti a rezgések nagyságát (amplitúdóját). Ahogy a hangforrástól egyre messzebb megyünk úgy egyre halkabban halljuk azt. Ha belegondolunk ez nem is rossz tulajdonság, ha ez nem így lenne, akkor a világ összes zaját bárhol hallanánk, sehol nem lenne teljes csend.

3.2 Hangforrások, hang tulajdonságai

A legfontosabb hangforrás maga az ember. A mindennapi kommunikációban (információk közlése és fogadása) az emberi beszéd a legjelentősebb. Itt a hangképzés biológiájáról megint nem beszélünk, mindenki tudja, hogy hangszálaink vannak, szájüregünk van, nyelvünk van stb. Elég itt annyi, hogy rezgéseket bocsátunk ki magunkból, amit mások hallanak. Hangrezgéseket hoznak létre azok a tárgyak is, amiknek halljuk a hangját. Ilyenek a hangszerek, hangfalak, de a számítógép billentyűje is, amin most ezt a szöveget írom. Tehát a mechanikai rezgéseket a levegő közvetítésével halljuk. A levegő által közvetített rezgések terjedéséhez időre van szükség. A hang egy másodperc alatt kb. 340 métert tesz meg. Az ember 20-tól 20 ezer Hertzig hall" már mindenki hallotta. A Hertz itt a hanghullámok másodpercenkénti számát jelenti. A valóságban ez csak nagyon kevés emberre igaz. A hanghullámok másodpercenkénti ismétlődése (frekvencia) határozza meg az adott hang magasságát. Ennek megfelelően a 20 Hz (Hz a Hertz rövidítése) nagyon mély hang, a 20 ezer Hz (20kHz) nagyon magas hang. A gyakorlatban az átlagember ezeket a szélső értékeket nem hallja. A nagyon mély hangokat ugyanakkor nem csak a fülünkkel halljuk, hanem az egész testünkkel. (Erről később még beszélünk.) A mély hangokat - igazából - kb. 35-38 Hz-től halljuk, ugyanakkor a legtöbb ember a 16 kHz feletti magasokat nem, vagy nem nagyon, hallja. Egy bizonyos hang hangereje az amplitúdójától függ. Minél nagyobb a levegő nyomás változása annál hangosabbnak halljuk az adott hangot. Ugyanakkor az emberi fül a különböző hangmagasságú, de azonos amplitúdójú hangokat különböző hangosságúnak érzékeli. Minél magasabb egy hang (azonos amplitúdó mellett) annál hangosabbnak halljuk. A gyakorlatban pont fordítva mondjuk; azonos hangerő eléréséhez a magas hangoknál kisebb amplitúdó is elég. Ehhez még az is járul, hogy a hangmagasság érzete sem lineáris. Most már tudjuk mi a hang, mi a frekvencia, mi a hangterjedési sebessége, mi a hangerő érzet, mi a hangmagasság érzet.

3.3 Hangok térérzékelése

Az embernek két füle van a fején. Ha a hang teljesen középről, az orrunk irányából jön, akkor a két fülünk teljesen azonos hangot hall. Azonos hangerővel és azonos időben is. Ez a legritkább eset. Ha az a hang, amit éppen hallgatunk nem pont középről jön, akkor a két fülünk nem teljesen azonos hangot hall. A felénk érkező hangot az egyik fülünk hamarabb halja és hangosabban is, a másik később és halkabban. Ezek a különbségek persze minimálisak, de elegendőek ahhoz, hogy az ember meghatározza (természetesen ösztönösen) az adott hang irányát. Ezzel nincs is semmi különös, addig, amíg valamilyen hangrendszerrel nem próbálunk meg egy térbeli hangot rögzíteni, majd visszajátszani. Ez egy nagyon komplikált feladat és az esetek túlnyomó részében nem is sikerül.

3.3.1. Mono

Egy szál mikrofonnal készített hangfelvételek nem hordoznak a hangok irányáról információkat. Ezt nevezzük monófoniának. Ilyen készülék a telefon, a nagymama SOKOL rádió stb.

3.3.2. Sztereo

A legjobban elterjedt, már térinformációt is tartalmazó rendszer a sztereó. Egy klasszikus akusztikus hangszerekből álló zenekar koncertjének a felvétele sztereóban már olyan jó is lehet, hogy otthoni sztereó készülékünkön (jó esetben) felfedezhetjük egy-egy hangszer helyét a

térben. Ennek persze szigorú feltételei vannak. A sztereó rendszer arra épít, hogy megpróbálja a hangokat úgy rögzíteni, mintha a hallgató személy jelen lenne az eseményen. Tehát: két teljesen különálló hangcsatorna, egyik a jobb fülre, a másik a bal fülre. Vannak olyan felvételek, ahol műfejet használnak a füleibe épített mikrofonokkal a térbeli hangok minél pontosabb rögzítésére.

A sztereo jel mono kompatibilis. S (Sztereo) = B - J, azaz az úgynevezett különbségi jel, amit a rádiózásban modulációra használunk. M (Mono) = b + J azaz az összegjel. A kettő matematikailag egyenértékű és egymásba átszámítható, egymással kiváltható.



(4. ábra) Optimális sztereo hangzás beállítása

A két hangszóró közötti részt Bázisnak hívjuk. Helyes polarizáció esetén a hang mindig a Bázisban marad.

Több problémával is szembetalálhatjuk magunkat, ezek a következők:

Első probléma: Ha a hangszóróink a hangtér két szélén állnak, akkor is a kicsi az esélyünk arra, hogy a hangtérhez képest pontosan ott ülünk (zenehallgatáskor), mint ahol a felvételkor a műfej a mikrofonokkal volt. Ezért a hangszerek hangjának időkésése (fáziskülönbsége) biztosan nem lesz azonos, tehát a hangokat nem onnét halljuk ahonnét szóltak eredetileg. Ha a felvétel nem műfejjel készült, akkor - gyakorlatilag - semmi esélyünk nincs az eredeti tér érzékelésére.

Második probléma: Amikor az ember koncerten ül, akkor a zenei térben tartózkodik. Persze nem mereven, mint a mikrofonok, hanem kicsit mozogva. Forgatjuk a fejünket, mocorgunk jobbra-balra stb. Magától értetődik, hogy a mikrofonok nem mozoghatnak felvétel közben. Elvileg, zenehallgatáskor otthon (még ha meg is találnánk a felvevő mikrofonok helyét az otthoni térben) nem mozoghatnánk, hanem mereven kellene ülni ahhoz, hogy a teret úgy halljuk, ahogy a mikrofon hallotta.

Harmadik probléma: A sztereó rendszerek két, egymástól független hangcsatornával rendelkeznek, azért hogy a fázis- és amplitúdó különbséget (amivel a hangok irányát érzékeljük) közvetítsék a fülünknek. A gyakorlatban evvel az a baj, hogy lejátszáskor nem tilthatjuk meg például a bal fülünknek, hogy a jobboldali hangszórót hallja. Vagyis, mind a két fülünkkel mind a két hangszórót halljuk. Pedig felvételkor a műfejben lévő bal mikrofon - elvileg - nem hallja, hogy a jobb mikrofon mit hall és viszont.

Igazi megoldás nincs. A legjobb eredményt a fejhallgatós módszer adja. A fenti hibákat gyakorlatilag kiküszöbölhetjük fejhallgató alkalmazásával. A fejhallgatóval hallgatott hangok iránya ugyan pontos, de a fejünk forgatásával együtt forog a zenei tér is, ami a gyakorlatban elég furcsa érzés. Aztán, ahogy már beszéltünk róla, a nagy erejű mélyhangokat az egész testünkkel érzékeljük nem csak a fülükkel. Ezt természetesen fejhallgatóval nem lehet reprodukálni. És még egy. Amíg az ember elhallgat különböző hanganyagokat órákon keresztül hangszórókból, ugyan ez fejhallgatóval nem túl kényelmes dolog. Mindezek ellenére a helyzet mégsem olyan súlyos. A 2000-2500 Hz feletti hangok térérzékelése már nem a fáziskülönbségen alapul, hanem a hang megszólalásának a füleinkben érzett időkülönbségén alapul. Evvel már lehet kezdeni valamit.

3.3.3. Surround

A surround rendszernek már nem az eredeti hangzás minél hűségesebb visszaadása a célja, hanem a térélmény illúziójának a létrehozása. Különös tekintettel a filmszínházak terére. Tehát a surround a mozi tipikus találmánya, de egyre inkább kezd otthonunkba is bekerülni. Az első

surround hangokat, négycsatornás rendszerrel vették fel, sztereó rendszeren továbbították, és három hangszórón hallgatták. A felvett négy hangot analóg (tehát nem digitális) módszerrel összegyúrják a két csatorna számára úgy, hogy a végén, lehallgatáskor szétválasztható legyen az eredeti négy csatorna. A továbbítás alapja a sztereó hang két csatornája. Erre azért volt szükség, hogy a már elterjedt sztereó rendszereken továbbítható legyen ez az új, már négy hangos rendszer, és akinek nincs a surround hang szétválasztására eszköze (surround dekóder) az is élvezhesse a filmet, jelentős hanginformáció vesztés nélkül. Akár a moziban akár a televízió előtt otthon. Vagyis legyen valamennyire lefelé kompatibilis. A mono beszédhangot (más néven center hangot) azonos fázisban hozzákeverik a két (bal és jobb) effekt csatornához (egy kicsit lehalkítva [-3dB]), a hátsó különleges effektus hangszóró hangját szintén a két effektet csatornához keverik, de az egyik oldalhoz +90°-kal a másikhoz -90°-kal elforgatva. Ez azt jelenti, hogy a surround információ a két csatornában, ellentétes fázisban van jelen.

3.3.4.1 Surround hang lejátszás monoban

A mono lejátszás manapság már nem nagyon fordul elő, de a sztereó tévé adások beindulása miatt mégis beszélnünk kell róla. A sztereó tévéadást úgy kellett kialakítani, hogy az egy hangszórós tévé készülékeken is fogható legyen, lényeges adatvesztés nélkül. A megoldás elég egyszerű, a bal és jobb csatornára szánt hanganyagot a mono televíziók egyszerűen összeadják. A surround hang tehát a monotévében úgy jelenik meg, hogy az eredeti bal és jobb hangot simán középről halljuk, a lehalkított center hangot dupla amplitúdóval (de nem dupla hangerővel), és a hátsó effekt hangot pedig egyáltalán nem.[2]



(4. ábra) mono lejátszás

3.3.4.2 Surround hang lejátszás sztereóban

A surround hang lejátszása sztereóban már gyakoribb eset. A bal hangot balról, a jobb hangot jobbról halljuk. A center hang megjelenik mind a két hangszóróban ezért (elvileg) középről halljuk, a hátsó hang az ellentétes fázis miatt a hangtérben kioltódik. A sztereó hangkép visszaadásánál ismertetett összes probléma itt is megjelenik. Ezeken kívül még az, hogy az effektek és a beszéd (center) arányát nem tudjuk változtatni. Magyarul, ha halknak érezzük a dialógust és felhangosítjuk a készüléket, akkor az effekthangok is felhangosodnak. Plusz, mivel a legnagyobb térérzet miatt a tévéhez kapcsolt két hangszórónkat megpróbáljuk minél messzebb tenni, ezért a center pozíciója a hangtérben elbizonytalanodik, valamint a távoli hangszórók miatt nem valósul meg teljesen a hátsó hang kioltódása. Mindezek ellenére nagyságrenddel izgalmasabb egy sztereó tévén egy surround hangú filmet megnézni, mint egy monó készüléken.[2]



(5. ábra) sztereo lejátszás

3.3.4.3 Surround hang lejátszás surround-ban

A sztereóhoz képest annyi a különbség, hogy itt már dekódert használunk a hátsó hang kiválasztására. A térélmény illúziója nagyot javul. Tehát kell egy egyszerű dekóder egy újabb végfok és egy újabb hangszóró a hátunk mögé. Ugyanakkor a center és az első effektek arányának valamint a center irányérzetének problémáját még nem oldottuk meg.[2]



(6. ábra) Surround lejátszás

3.3.4.4 Surronud hang lejátszás pro logic-ban

Ehhez már komolyabb dekóderre van szükségünk. A center hangot nem lehet egyszerű analóg eszközökkel kiválasztani a két csatornából. Ehhez már digitális Sound Processor-ra van szükségünk. Ez a dekóder már szétválasztja a négy hangot, most már csak egy újabb erősítőt és egy újabb hangszórót kell szereznünk és a kép közelébe (tipikusan a tévé alá) helyeznünk. A javulás az eddigiekhez képest nagyságrendi lesz.

A mozikban is megvalósítható ez az élmény természetesen, sőt a mozira lett feltalálva, de a mai modern mozik már nem négy, hanem hat (esetleg ennél is több) csatornán adják a filmek hangját.[2]



(7. ábra) Pro Logic lejátszás

3.3.4.5 Surround hang lejátszás AC3 (5.1) –ben

Az eddigiek megvalósíthatók voltak hagyományos mágneses hangrögzítéssel két csatornás hanghordozóval. Ezen kívül a régi rendszereken is lehallgathatók voltak. Az AC3 csak digitális hanghordozón létezik és csak speciális digitális hang dekóderrel játszható le. Itt már 6 darab hangszóróra van szükségünk. Center, jobb első, bal első, jobb hátsó, bal hátsó és az elöl elhelyezett extra mély (subbass). A két első és a center nem különbözik az előzőkben említettektől, ám itt hátul két hangszóró van, a térillúzió növelése érdekében. A nagyon mély hangoknak a másodpercenkénti ismétlődése alacsony, a két fülünk közötti távolság állandó, ezért minél mélyebb hangot hallunk annál kisebb lesz az a fáziskülönbség a két fülünk által érzékelt hang között, amivel a hangforrás irányát meg tudnánk határozni. Egyszerűen fogalmazva: a nagyon mély hangok irányát nem halljuk, tehát elég a térben egyetlen subbass hangszóró. Megvalósul az egész testtel hallás is. Nos ezt a térillúziót már hazavihetjük, ha rendelkezünk egy DVD lejátszóval, egy televízióval, egy AC3 dekóderrel, végfokerősítőkkel és hat megfelelő hangszóróval.[2]



(8. ábra) 5.1-ben lejátszás

4 Terem adottságai

A Széchenyi István Egyetem D1-es termének adottságai a következők.

A terem falai vasbeton szerkezetűek. A terem teljes falterülete be van vonva gipszkarton lemezzel, ami hang és hőszigetelő anyagból van és légrések találhatóak rajta. A mennyezet is a lámpák között ilyen szigetelő lapokkal van kitöltve a jó akusztika érdekében. Terem alján található 2 darab fa ajtó a tábla két oldalán. A bejárati dupla ajtótól jobbra is van egy fa ajtó. A padló borítása 8 mm padlószőnyeg.

Berendezési tárgyak: padsorok, radiátorok, tábla, kivetítő tábla, kivetítő, tanári asztal, TV-k, írásvetítő, szekrény

5 CARA program rövid bemutatása [4]

A CARA (Computer Aided Room Acoustics) név nagyjából "számítógépes segítség a terem akusztikában" címet jelenti.

Funkciói:

- Terem kialakítás (Room Design)
- Terem akusztikai számítások (Room Acoustics Calculations)
- Prezentáció eredménye 2D és 3D diagramokkal (Presentation of Results)
- Hangsugárzó tervező (Loudspeakers)

5.1 Room Design

Itt tudjuk megtervezni maga a terem kialakítását, elrendezését, hogy milyen padló, fal, berendezési tárgyak (ágy, asztal, szekrény, stb), ajtók, ablakok, 3D objektumok hol vannak, vagy hol legyenek. További itt tudjuk kialakítani a teremben vagy szobában, hogy milyen térhangzást szeretnénk (sztereótól 8.1-es hangzásig), milyen hangszórókból mind formára (négyzet,trapéz,döntött,stb), mind márkára (Magnat, JBL, vagy akár saját tervezésű hangszórók, stb).

Miután megterveztük és kialakítottuk a termet, vagy szobát végeznünk kell egy akusztikai ellenőrzést (Acoustic Ambiance) ami idő és frekvencia alapján kiszámítja, és kirajzolja, hogy az előirt ideális toleranciában belefére az általunk kialakított terem akusztikai görbéje, azaz figyeli az utózengési időt és a visszhangokat, hangelnyelődéseket ezek alapján kirajzol egy görbét a frekvencia és idő függvényében, mad ráilleszti a toleranciasémára. Akkor jó a terem kialakítás, ha a kirajzolt görbénk beleesik a megadott ideális toleranciasémába.



(9. ábra) toleranciasémája a CARA-nak

A kész teremben vagy szobában lehetőség van egy 3D-s megjelenítésnek köszönhetően "körbejárni", betekinteni.



(10. ábra) példa: egy kész szoba 3D-ben

5.2 Room Acoustics Calculations

Automatikus pozíció beállítást végez a hangszóróknak és a hallgatási helyeknek. Ez végzi a szoba hangzásmezőjének kalkulációját 1000-3000 egységnyi rácspont segítségével. Kalkulációt végez a valós és komplex refleksziós tényezőknek. További funkciók:

- Visszhang idő spektrum
- Hallgatási teszt egy virtuális szobában (Auralization)

5.3 Presentation of Results

Ez az utolsó lépcsője a programnak, amikor bemutathatjuk a kész terem vagy szoba optimalizált kialakítását a hangszórók helyezkedéséről és a hallgatási helyről, valamint különböző 2D-s és 3D-s színes prezentációkat tudunk rajzoltatni a programmal az idő és frekvencia függvényében a kész terem vagy szoba akusztikai tulajdonságairól (utózengési idő, hangnyomás teszt)

5.4 Loudspeakers

Itt található a CARA hangszóró adatbázisa, és itt tudunk saját magunk megtervezni hangszórókat a centersugárzótól elkezdve a subbass hangsugárzókig.

6 A D1-es terem tervezése

Ebben a fejezetben tervezzük meg magát a D1 termet, amit előtte lézeres műszerrel tizedmilliméter pontosan megmértünk. A program csak centiméter pontossággal tud dolgozni, ezért kerekíteni kellett!

6.1 A terem megépítése a lemért adatokból

Kezdődjék a terem adatainak bevitele és maga a terem kialakítása és elrendezése a programmal.

Miután elindítottuk a programot (ez a program CARACAD része ahol a programmal a termet vagy szobát tudjuk megtervezni) és új dokumentum kiválasztására kattintottunk, legelőször megad a program lehetséges vagy kiinduló épület alakzatokat a hagyományos négyszögtől kiindulva. Mivel a D1 terem téglalapforma, ezért a négyzetalakot választom ki. A következő lépésként kell megadni a terem (vagyis a négyszög oldalainak) hosszát (a és b), és magasságát centiméterben, valamint itt megadhatjuk a padló és mennyezet búrkóló anyagát, a fal állapotát (festet vagy tapétázott,esetleg akusztika fal).



(11. ábra) Kiinduló terem felülnézetből

Megjelenik a kiinduló négyzetünk, azaz a terem felülnézetből. Megkezdhetjük a terem kialakítását, berendezését az általam megrajzolt és beméretezett tervrajz alapján.

A padlóval célszerű kezdeni, mert gyorsan elkészíthető. A "floor" fülre kell kattintani, de alaphelyzetben is úgy kell lenije. Majd a későbbiekben is ezt a felületet fogjuk használni, mikor a berendezési tárgyakat, 3D-s objektumokat elhelyezzük a teremben. Aztán rákattintunk a "material surface" ikon gombra, kijelöljük a terem egész területét és kattintunk az egérrel. Ezután kell választani listából a padlónak burkolatát. A D1 terem PVC padló, ezért kiválasztom a "plastic" megnevezés és egy kattintás után kiválasztom hogy "PVC-Covering". Ezzel el is intéztük a padlót.

Ezen legördülő menüben kell majd mindenféle anyagot (fa, üveg, kő, stb) kiválasztani az ajtók, ablakok, különbféle objektumok, 3D-s tárgyak tervezése után, mint alapanyag, vagy épp búrkóló anyag. Itt különbféle csoportokban vannak az anyagok rendezve a könnyebb áttekinthetőség és gyorsabb keresés érdekében, és egy külön kis diagrammban az összes anyag "elnyelési tényezőjét" százalékban kirajzolja.



(12. ábra) padló burkolása

A mennyezet következik. A "floor" melletti fülre kattintunk, azaz a "ceiling"-re. A további lépések megegyeznek a padlónál leírtakkal,csak itt a mennyezett akusztikai falapokkal van bevonva, ezért egy jobbgomb kattintás után újra megjelenik a lista ahol a "Wood (panels)"-re kattintva kiválasztjuk az "insulation board"-ot. Így hamar ez is megvan.

Jöhetnek a falak! Itt a sorban következő fülre kattintok, a "Wall"-ra. Itt minden egyes falat külön kell kialakítani, mindegyiknek meg kell adni a burkolatát, azaz hogy festett (az előzőekben használt módszer alapján), valamint itt kell az ajtókat, ablakokat, táblákat, stb. behelyezni abba a falba ahol található eredetileg. A teremben nem található ablak ezért csak ajtókat és egy táblát kell elhelyeznem centiméter pontosan méghozzá ezt a "material surface" gomb benyomása után tudjuk megtenni. Így megtudjuk tervezni az ajtót, a táblát, valamit az anyagát. Az összes fal be van vonva akusztikai deszkával, valamint egy vastagabb másfél méter magas fa deszkával. Ezeket szintén a "material surface" gomb segítségével tudjuk kialakítani. Célszerű először az egész falat bevonni az "Acoustic board"dal, és utána kimérve rá a vastagabb fa deszkákat ("planking (2)"). Három falnál is kell ajtókat betenni. Ez legyen a falaknál a legutolsó lépés, mert így a legcélszerűbb. Az ajtókat is a "materila surface" segítségével megrajzolom és a legördülő menüben a "Wood (Solid)"-ban kiválasztom a "wooden door"-t. Készen vannak az ajtók. A táblát is ennek a módszernek a segítségével kell elkészíteni, de a legördülő menüből a "Textile (other)"ben a "linen video screen"-t kell választani.



(13. ábra) falak, ajtók, táblák kialakítása

Következzen a tanári asztal,a padok és radiátorok elhelyezése, amit én "**3D object**" gomb lenyomásával lehet megtenni, ugyanis ezzel lehet 3D-s tárgyakat tervezni, mert sajnos a programban ezen tárgyak nem találhatóak meg, mint alap berendezési tárgyak. A tanári asztal és a radiátor megtervezése nagyon egyszerűen megy. Megrajzolom méretre pontosan a négyzet formát, magasságot adok neki, és itt meg kell adnom, hogy fa az oldalanyaga és a teteje is. A padok kialakítása már sokkal nehezebb és időigényesebb feladat, ezért úgy döntöttem, hogy egy olyan 3D-s objektumot fogok használni, ami a padokat és székeket fogja modellezni. Ez már nem egy sima négyszöglete modell, hanem egy oldalról nézve ék alakú négyszög, amit szintén fa oldallal és tetővel terveztem.



(14. ábra) kész terem felülnézetből

Ezzel végeztem a terem modellezésével! A kész termet itt már meg tudjuk nézni és tudunk benne vándorolni 3D-ben, de ehhez előbb el kell helyeznünk egy hallgatót, amit egy fej ábrázol. Célszerű a két padsor közé a terem vége felé helyezni. Ezt a "**Speaker & Listener**" fülre kattintás után a megjelenő fül ábrás gombra kattintva lehetséges. Mikor majd elhelyezzük a hangszórókat akkor is erre a fülre kell belépni, és a hangfalat ábrázoló gombra kell kattintani. Most már szabadon mozoghatunk a kialakított termünkben, ha rákattintunk a sorban a legutolsó fülre, azaz a "**Room**"-ra. Itt először csak a tárgyak, és maga a terem látszik, amit egy gombnyomással "texturázhatunk".



(15. ábra) 3D-s ábrázolás



(16. ábra) 3D-s ábrázolás texturázva

Miután szemügyre vettük belülről is a magunk által elkészített termet, elhelyezhetjük a hangfalakat! Annyi hangfalat és úgy tudjuk elrendezni, ahogy még a program legelején teremalak kiválasztás, méretek, és utána hogyan szeretnénk berendezni termünket, szobánkat hangszórókkal. Ez lehet a sztereótól az 5.1-n át akár a 8-10 hangszórós megvalósításig.



(17. ábra) Hangszóró elrendezések

Mi a sztereót választottuk, mert az eredeti teremben is sztereo kialakítás van. A hangfalakat a "**Speakers & Listener**" fülre kattintva és az ott megjelenő hangfalat ábrázoló gombra kattintás után lehetséges. Megjelenik egy új ablak, amiben rengeteg hangfalmárkából választhatjuk ki a sok-sok hangfaltípus közül a nekünk megfelelőt, vagy akár saját hangfalainkat is használhatjuk, amit a program egy plusz funkciója segítségével magunk tervezhetünk meg és készíthetünk el. Itt megjelenik típusra, kinézetre, méreti paraméterek a hangfalról. Elhelyezése is különbféle lehet, lehet 360 fokban forgatni, lehet magasba tenni vagy ép földre.

Utána néztem a teremben, hogy milyen típusúak a teremben használt hangszórók, de semmi márkajelzést nem találtam, ezért magam választottam hangszórókat! A választásom egy pár 4 utas JBL Ti-600 típusra esett.



(18. ábra) JBL hangszóró



(19. ábra) Kész terem felülnézetből hangszórókkal és hallgatóval

Elkészült a terem a tervrajz alapján. Megkezdhetjük a terem akusztikai vizsgálatait.

6.2 A terem akusztikai vizsgálata a CARA programmal

A terem akusztikai vizsgálatát először a program segítségével végezzük. Ezt úgy tesszük meg, hogy a kész termünkön végzünk egy akusztikai vizsgálatot, hogy egyáltalán az alapvető akusztikának megfelelően van kialakítva és berendezve a termünk. Ezt a vizsgálatot a terem kialakítása közben is végezhetjük, de a végén mindenképp kell. Ezt a vizsgálatot az "Acoustic Ambiance" gombra kattintással lehetséges. Figyeli az utózengési időt, visszaverődéseket, hangelnyeléseket, ezek alapján kirajzol egy görbét, amit egy előre meghatározott tolerancia sémába illeszt bele. Akkor jó a tervezésünk, ha minden része beleesik ebbe a tolerancia sémába.

🚆 ETS 2DVIEW	/ - [Untitle	d]					_ 0
=ile Edit View	Settings F	unctions O	perations I	Help			
🗅 😅 🗐	🏅 🗙 🖻	82	ar	? 🙌 🤣			
Frequency D	ependenci	e of the Av	/erage Sc	ound Abso	rption Co	efficient	
%]							
30							
20		·····				····i	
0		····-					
)					····		
80	160	320	640	1280	2560	5120	[Hz]
alpha							
requency D	ependence	e of Rever	beration	Times // N	et Room \	/olume: 1	947.1
	`	<u> </u>					- 1
./5							
.,5 							
),25							
80	160	320	640	1280	2560	5120	[Hz]
deal Sabine Eyr	ing Kuttruff						
ress F1 for Help							

(20. ábra) Terem utózengési idő - frekvencia görbéje

Az ábra felső görbéje az átlagos hangelnyelési tényező frekvencia függésében százalékban kifejezve az alatta lévő pedig a visszhangzás a frekvencia függésében görbéje.



(21. ábra) Teremakusztikai görbe a tolerancia sémában

Az ábrán jól látható, hogy a megtervezett termünk akusztikailag jó, de mivel a későbbiekben majd látható, hogy a kézi műszerrel mért mérési adatokból kirajzolt utózengési idő görbe, és a hozzá tartozó adatok láthatóan kicsit magasabbak, mint a program által számolt értékek és kirajzolt görbe, ezért néhány változtatást próbálok ezen eltérés kicsit minimalizálása érdekében, mert a kézi műszerrel mért érték a hitelesebb.

Először megnéztem, hogy mennyire fog változni az utózengési idő, ha a két sor padot a másik típusú fa anyaggal, a "**Plywood Panel (2)"-**vel borítom be.



(22. ábra) utózengési idő diagram Playwood panel-nél

A kapott görbén jól látható, hogy ez a "hirtelen ötletszerű megoldástól" nem lett magasabb értéken az utózengési idő, sőt még akusztikailag sem jó, ezért más megoldást kell kitalálni.

Következő lehetőségként, hogy az utózengési időt megemeljem kicsit, azt találtam ki, hogy megfigyelem, hogy mi történik, ha a két sor padot ábrázoló objektumot kiveszem teljesen, és úgy vettem alá az utózengési idő, és akusztika vizsgálatnak.



(23. ábra) Terem kivett padsorokkal 3D-ben



(24. ábra) Fenti terem utózengési idő görbéje

Mint az ábrán látható, hogy ezzel az alakítással az utózengési idő már egy reálisabb magasabb értéket mutat, és a terem akusztikája is változatlanul jó. Ezek szerint így lehet a teremből kihozni a legjobb utózengési időt. De mivel ez így nem éppen hasonlít a valós D1-es teremre, ezért ebből kiindulva el lehet kezdeni a padsorok beállítását, de most már nem egy objektum lesz az összes padsor, hanem több részre osztva bizonyos üres részekkel, mintha fel lennének hajtva a padokban a székek, és nem ülne rajtuk senki, hogy ezt a már említet jó utózengési időt megpróbáljuk megtartani, nem rontva a terem akusztikáját.

Elsőként mindegyik padsort felosztottam három részre, és bizonyos közt hagytam ki közöttük, és bevontam PVC-vel, mintha padló lenne, ezzel illusztrálva a felhajtott székeke összességét.



(25. ábra) Első terem átalakítás



(26. ábra) Fenti terem utózengési idő görbéje

Az ábrán jól látható, hogy az utózengési idő ismét alacsonyabb értéken van, ezért tovább kell alakítani a padsorokat, még több részre osztva, hogy több üres rész legyen, és ezzel megtartani a jó utózengési időt.

Másodszor öt részre osztva vizsgálom meg az utózengési időt és teremakusztikát.



(27. ábra) padsorok 5 részre osztva 3D-ben



(28. ábra) utózengési idő az 5 részre osztott padsoroknál

Az utózengési idő görbénél leolvasható (zöld színű görbe), hogy az utózengési idő csak minimálisan emelkedet, szinte észrevehetetlen kicsit az előzőhöz képest. A terem akusztikája továbbra is jó, de a jobb utózengési idő érdekében további felosztásokra van szükség.

Harmadjára kilenc részre fogom felosztani a padsorokat.



(29. ábra) Padsorok 9 részre osztva 3D-ben texturával



(30. ábra) fenti terem utózengési idő görbéje

Az ábrán jól látható, hogy szinte ugyan akkora az utózengési idő most is, mint az előbbi felosztásnál.

Ezeknek a felosztásoknak a segítségével, a padsorok nélküli terem utózengési idejével összehasonlítva arra következtettek, hogy a jó utózengési idő csak úgy érhető el, ha kiveszünk még több padsort, hogy több üres rész maradjon. Így viszont már majdnem visszajutunk az üres

teremhez, ez pedig már nem hasonlít az eredeti D1-es teremre, ezért ilyen módon az utózengési időt csak kis mértékben lehet megnövelni a terem jó akusztikáját megtartva.

Végül még egy próbálkozásként az utózengési idő növelésére azt vizsgáltam, hogy ha a padsorokat "emberekkel borítom be".



(31. ábra) emberel bevont padsorok utózengési idő görbéje

A görbén jól látható, hogy az utózengési idő csökkent (zöld), és a teremakusztika sem teljesen jó már, mert a "piros" görbe kicsit kilóg a toleranciasémából.

Ezzel befejeztük a program ennek a részének, azaz a CaraCAD-nak a használatát.

6.3 A terem további vizsgálata a programmal

A CARA program számos nagyon fontos vizsgálat elvégzésére képes. A következőkben ezekről említenék meg pár szót. Ezeket a program úgynevezett CARACALC részében valósíthatjuk meg.

6.3.1 Visszaverődések, hangfal pozícióoptimalizálás

Itt a reflexiókat vizsgáljuk először. Be kell állítani az "**Option**s" menűben a "**Parameter...**" funkcionál a maximális reflexió sorrendet ("**Maximum Reflection Order**") 2-es értékre. Miután beállítottuk ezt az értéket, elindíthatjuk a pozícióoptimalizálást, melyet a "**Calculations**" menüben a "**Positional Optimization**" kiválasztásával lehetséges. Ez végez egy automatikus hallgató és hangfal elrendezést a lehető legjobb hanghatások visszaadása érdekében. 1000 körüli beállítási lehetőség után célszerű már megállítani a vizsgálatot a "**Calculations**" menüben a "**Brake**" gombra egyszeri kattintással, és megnézni hány optimális elrendezést talált. Ez általában 16 körüli érték lesz.



(32. ábra) Pozícióoptimalizálás



(33. ábra) kinagyítva a pozícióoptimalizálás egy hangszórónál

Az ábrán a hangfalak új pozíció beállítását a kék hangfalak jelzik, a hallgató új pozíciója pedig a hangfalakhoz közelebbi fej. Ezt a lehetőséget meg is nézhetjük, ha a "**Results**" menüben a "**Positioning...**" gombra kattintunk. Itt átugrunk ismét a CARACAD-ba, és ott láthatjuk felülnézetből és 3D-ben az új pozíció beállításunkat.

6.3.2 Auralization Calculations

Hallgatási tesztet lehet vele végeztetni a különböző hangfal elrendezéseknél a szobában. Lehet az összes hangfallal egyszerre vagy külön-külön. Én az összes hangfalas lehetőséget választottam. Ez egy gyors mérés, pár másodperc az egész. Kattintsunk a "**Calculations**"-ra és ott választjuk ki az "**Auralization...**"-t. Eredményként 21 tökéletes visszaverődési sávot talált. Ezek után a "results" menüben választjuk ki először az "**Auralization: Room response**"- t, és készítünk egy hang (*.wav) fájlt, amiben ugyanit a "**results**" menüben a "**Auralization: Room music**"-ra kattintva belépünk, és ott kiválasztunk egy hangfájt és betöltjük a terembe. Itt nem csak hangfájlt készíthetünk, hanem az összes hangfalunk által a teremben létrejött visszhangokról, visszaverődésekről az idő függvényében diagramokat tudunk megtekinteni, ha a "**Graphics**" gombra kattintunk.



(34. ábra) Visszaverődések idő függvényben

Ezután készítsünk egy második ilyen hangfájlt, de azt korábbi terem állapotban, azaz még ne végezünk rajta automatikus pozíció beállításokat. Ezt ugyanúgy végezzük, mint az előzőekben. Miután készen vagyunk a két hangfájlunkkal, következzék a "listening test" Választjuk ki a "results" menüből ismét a "auralization: Room music"-t, és ott jelöljek be a "listening test: compare two sound sample"-t, és kattintsunk a "play" gombra. Ezzel megkezdődik a két terem állapot hallgatói tesztje.

6.3.3 Special Calculations

Itt speciális számításokat végeztethetünk a programmal, amit 2D-s diagramokon grafikailag is szemléltethetünk. Lépjünk be a "**Calculations**" menübe és választjuk ki a "**Special calculations...**" lehetőséget. Ez egy nagyon gyors számítás lesz, amit a program végez el. Ezután a "**close**" gombal zárjuk be, majd a "**results**" menüben kattintsunk rá a "**Special**

calculation..."- ra. Ez után kiválaszthatjuk, hogy az eredményt milyen 2Ds diagramban szeretnénk látni. Ezek a következők:

• Frekvencia válasz és elhelyezkedés (Frequency Responses and Location Diagram) (35. ábra)



35. ábra)

• Visszhang diagram és visszhang idő (Reverberation Diagram and Reverberation Times) (36. ábra)

👹 ETS2DVIEW - [Untitled]			_ 🗆 🛛
File Edit View Settings Functions C	perations Help		
D 🚅 🖬 X 🛰 🛍 🖻 🗅	a 🕆 የ 🕅 🧇		
diploma01 - Frequency Depende	nce of the Average So	und Absorption Coeffici	ent
[%]			<u>^</u>
25			
I I 80 160	I I 320 640	I I 1280 2560	5120 [Hz]
alpha			Q°
diploma01 - Frequency Depende	nce of Reverberation 1	"imes // Net Room Volur	ne: 1961.7 [m³], Ro 🔍
[3]			<u> </u>
0,5			2
80 160	320 640	1280 2560	5120 [Hz] 🕅
Ideal Sabine Eyring Kuttruff CARA-T10			
diploma01 - Room Response: Al	Loudspeakers and Lis	tener 1 // Early Decay "	Time T10: 0.259 [s]
[d⊟]			PeP
20 a b 60		140 160 1	80200 [ms] ⁰⁵ 样
Reverberation Diagram Integral of Reverbe	ration Diagram		\$+
alpha			

(36. ábra)

6.3.4 SPL (Sound Pressure Level) diagram

A három betű a hangnyomásszint angol rövidítése, amit egy mikrofon ténylegesen érzékel, mér.

A programban az "SPL Target" ikonra kattintva vagy a Ctrl + u billentyűfunkció lenyomásával lehet elérni. Itt választhatunk, hogy a funkciókat együttesen vagy különböző cél funkciókat szeretnénk kirajzoltatni SPL diagramban.



(37. ábra) SPL diagram

6.3.5 Sound Field Calculations

Ez az úgynevezett "hangtér" kalkuláció. Itt lehet 3D-s prezentációkat készíteni a frekvencia vagy idő függésében. Ez akár animáció is lehet!

A "Calculations" menübe belépve választjuk ki a "Sound Field Calculations"- t. A bejövő ablakban kattintsunk a "Loudspeakers Group" gombra, majd indítsuk el a "start" gombbal. Ismét gyors számításokat végez különböző hallgatási pontoktól a hangszórók változtatgatásával. Miután kész a "close" gombbal zárjuk be. Lépjünk be a "Results" menübe és kattintsunk a "Sound Field Calculations" parancsra. A megjelenő ablakban tudunk 3D-s megjelenítéseket lehetővé tenni frekvencia vagy idő függvényében. Ugyancsak ki tudom választani, hogy melyik hangszóró környezetében figyelje a teret vagy mindegyiknél egyszerre. Ezek után kattintsunk a "**Graphics**" gombra.





Az ábrák 5 Hz, 117 Hz, 1,5 kHz, 25 kHz-en kirajzolt 3D diagramok. Tehát ez volt mikor a frekvencia függvényében látjuk és mozog a diagramunk.

Nézzük, hogy néz ki ez a diagram az idő függvényében! (39. ábrasor)





Ezekkel a képekkel zárom a CARA program által megtervezet D1-es terem akusztikai tervezését, valamint a program egyéb nagyon hasznos, és fontos lehetőségeit, ami egy számítógépes akusztikai tervezéshez szükséges.

7 A terem utózengési idő mérése műszerrel

A programmal való mérés hiteles, de úgy gondoltuk, hogy műszeres méréssel is lemérjük az utózengési időt, hogy legyen egy viszonyítási alapunk. Az iskola rendelkezett ilyen mérő eszközzel, ezért az elgondolás kivitelezhetővé is vált. A mérési eszköz egy Brüel&Kjar 2260 Observer típusú precíziós moduláris zaj analizátor volt. Nem is volt hátra más teendőnk, mint alkalmas időpontot keresni és néhány jó hangforrást találni. Hangforrásként néhány lufi és gázpisztoly szolgált. A mérést a legmérsékeltebb hang is befolyásolta, ezért fontos volt a lufi durrantás vagy gázpisztoly elsütés közbeni nagy csend, míg a műszer elvégzi a mérést, utána már nem kellett csendben lenni.

A mérést este végeztük tanítási órák után. A merő műszert elhelyeztük a terem fenti részében és lent a terem távoli pontján durrantottunk először lufikkal, majd utána gázpisztollyal. Természetesen közben a műszer mérési helyét is elhelyeztük a terem más pontjában is. Minden egyes mérést azonnal táblázatba írtam, hogy majd átlagot és diagramot tudjak szerkeszteni a CARA program diagramjának összehasonlítása érdekében.

Lássuk a táblázatot!

		lufi 1.		lufi 2.		lufi 3.	
	Frekvencia [Hz]	ldő [sec]	Mérési sáv státusz	ldő [sec]	Mérési sáv státusz	ldő [sec]	Mérési sáv státusz
1.	50						
2.	63	4,71	R	1,32	R		
3.	80	2,26	n	0,75	n	1,04	R
4.	100	1,73	R	0,94	R	2,8	R
5.	125	1,43	n	1,1	n	1,54	n
6.	160	1,91	n	0,88		1,58	n
7.	200	1,38	%	1,25	n	1,68	n
8.	250	1,62	%	1,43		1,23	n
9.	315	1,32		1,09		1,55	n
10.	400	1,23		1		1,3	n
11.	500	1,23		1,03		1,23	
12.	630	1,32		1,26		1,36	
13.	800	1,43		1,38		1,48	
14.	1000	1,5		1,45		1,62	
15.	1250	1,71		1,69		1,8	
16.	1600	1,36		1,85		1,82	
17.	2000	1,33		1,9		1,88	
18.	2500	1,32		1,87		1,73	
19.	3150	1,7		1,68		1,7	
20.	4000	1,51		1,45		1,48	
21.	5000	1,23		1,23		1,27	
22.	6300	0,99		0,97		1,01	
23.	8000	0,72		0,7		0,74	
24.	10000	0,54		0,49		0,5	

		lufi 4.		pisztol	pisztoly lővés		
	Frekvencia [Hz]	ldő [sec]	Mérési sáv státusz	ldő [sec]	Mérési sáv státusz	ldő átlaga	
1.	50			2,11	n	0,422	
2.	63	1,07	R	1,04	%	1,628	
3.	80	2,8	R	1,34		1,638	
4.	100	1,03	R	1,33	%	1,566	
5.	125	1,73	n	1,38	%	1,436	
6.	160	1,88	n	2,13	%	1,676	
7.	200	1,35	n	1,66	%	1,464	
8.	250	1,61	%	1,39	%	1,456	
9.	315	1,52		1,42		1,38	
10.	400	1,23	%	1,27		1,206	
11.	500	1,21		1,11		1,162	
12.	630	1,25	%	1,36		1,31	
13.	800	1,46		1,45		1,44	
14.	1000	1,49		1,49		1,51	
15.	1250	1,7		1,63		1,706	
16.	1600	1,84		1,85		1,744	
17.	2000	1,87		1,89		1,774	
18.	2500	1,83		1,81		1,712	
19.	3150	1,7		1,72		1,7	
20.	4000	1,52		1,49		1,49	
21.	5000	1,26		1,23		1,244	
22.	6300	0,99		0,96		0,984	
23.	8000	0,75		0,74		0,73	
24.	10000	0,53		0,53		0,518	

A könnyebb és gyorsabb áttekinthetőség érdekében különbféle színekkel jelöltem a méréseket! Mint látható különböző frekvenciák alapján az időfüggést mértem és egy úgynevezett mérési sáv státuszt, amit majd a későbbiekben részleteznék.

7.1 A mért értékek kiértékelése

Ezek a táblázatok és bennük szereplő értékek segítségével a Microsoft Excel program használatával készítettem el egy diagramot, ami ezt ábrázolja. Valamint végeztem egy átlagidő számítást, és ezt is egy külön diagrammal ábrázoltam.



Első diagram: az utózengési idő - frekvencia



Második diagram: átlag utózengési idő - frekvencia

Az első diagrammon jól látható, hogy az alacsony frekvenciatartományban, 50 Hz és 80 Hz szinte mérhetetlen vagy nagyon

valótlan eredmények születek. Számunkra kiértékelhető a 100 Hz és körülbelül a 3500 Hz-es frekvencia tartomány. A magas frekvencia tartományban az utózengési idő folyamatosan csökken, tehát a terem utózengése ebben a tartományban sem mondható jónak. Ezen rövid értékelést az átlag idő diagram is alátámaszt, mert ott is látszik, hogy a közepes frekvencia tartományban a legkisebb az ingadozás az utózengési időben.

7.2 Összehasonlítás

Miután készen vagyok a CARA programmal való méréssel, és ugyan csak készen vagyok a műszeres méréssel, összevethetjük a kapott eredményeket.

Az első diagrammot hasonlítom a 6. fejezetben található 20-as ábrához! A két ábrán látható, hogy a CARA program ábrájánál is körülbelül 100 Hz-től 4 kHz-ig nem túl nagy az utózengési idő ingadozása. Az viszont látásra megmondható, hogy kicsit nagyobb az eltérés a mért és a program által számolt utózengési idő között. Ezt több megoldással is próbáltam kiküszöbölni több-kevesebb sikerrel, de látható, hogy alakítgatással lehet változtatni az utózengési idő nagyságát.

7.3 D1 terem összehasonlítása egy valós akusztikai teremmel.

Lehetőségem van összehasonlítani az általam programmal kialakított D1-es termet az egyetemben lévő stúdiószobáéval, ami akusztikailag a lehető legjobbra van kialakítva, megtervezve, és létrehozva.

Ez egy sokkal-sokkal kisebb szoba méretileg és jobb a hangelnyelése, mert akusztikai hangelnyelő falak veszik körbe. Csak annyi visszhangverő tárgy van, ami a tökéletes hangzáshoz nélkülözhetetlen. A mérési eszköz egy Brüel&Kjar 2260 Observer típusú precíziós moduláris zaj analizátor volt itt is, mint amit a D1-es teremben használtunk. A mért eredmények táblázatban foglalva, valamint az általuk kirajzolt utózengési idő-frekvencia diagram a következők:

Frekvencia				
(Hz)	ldő (sec)	ldő (sec)	ídő (sec)	átlag
50		1,2	0,96	1,08
63	0,24	0,25	0,32	0,27
80	0,29	0,34	0,29	0,306667
100	0,34	0,39	0,31	0,346667
125	0,37	0,46	0,51	0,446667
160	0,57	0,51	0,59	0,556667
200	0,51	0,48	0,51	0,5
250	0,61	0,45	0,52	0,526667
315	0,42	0,46	0,42	0,433333
400	0,36	0,35	0,39	0,366667
500	0,33	0,3	0,33	0,32
630	0,28	0,29	0,32	0,296667
800	0,31	0,29	0,3	0,3
1000	0,33	0,3	0,31	0,313333
1250	0,3	0,31	0,32	0,31
1600	0,32	0,34	0,33	0,33
2000	0,34	0,33	0,33	0,333333
2500	0,32	0,32	0,31	0,316667
3150	0,28	0,27	0,26	0,27
4000	0,22	0,25	0,25	0,24
5000	0,2	0,22	0,22	0,213333
6300	0,24	0,25	0,24	0,243333
8000	0,28	0,28	0,26	0,273333
10000	0,3	0,29	0,27	0,286667
	1.mérés	2.mérés	3.mérés	
	Sennheiser	Sennheiser	headset+mikrofon	



Látható, hogy ez a terem sokkal jobb elnyelő, mert itt az utózengési idő 0.2 és 0.5 között ingadozik, ami ideális. Természetesen a D1 terem akusztikája is megfelelőnek mondható, mert igaz hogy az utózengési idő 1 és 2 között ingadozik, de a terem sokkal nagyobb, több benne a szabad tér.

8 Sztereó megvalósítás több hangszóróval a jobb hangzás érdekében

A készre alakított D1-es terem túl nagy, hogy ez a két hangszóró elegendő legyen a megfelelő sztereóhangzáshoz, ezért több hangszóró beiktatásával elkezdtem alakítgatni, hogy egy jó minőségű sztereóhangzást megvalósítsak.

Nézegetem a program által nyújtott hangszóró lehetőségeket, de úgy döntöttem, inkább magam találok ki egy jó több hangszórós elrendezést. Nyolc darab hangszórót helyeztem el a 40-es ábra alapján. A 2-2 oldali az a két hangszórós elrendezésnél használt JBL Ti-600 típusok voltak, előre és hátulra pedig 2-2 három utas boksz MS típusút. A CARA programban van lehetőség, hogy a készre kialakított termünk vagy szobánkban a már megvalósított két hangszórós sztereóhangzást át tudjuk variálni Dolby 5.1-re vagy 6.1-re, vagy több hangszórós sztereó kialakításra is. Ezt az "**Options**" menüben a "**Room Basic**"-re kattintva előugró ablakban tudom beállítani. Ebben az ablakban a "**Loudspeaker Configuration**" legördülő menüben a "**Public Addres**" 8 hangszórós beállítást választottam. Így most már lehetőségem van több hangszórós sztereóhangzást megvalósítani akár 8 hangszóróval is.

Úgy gondoltam, hogy mivel nagy a terem minél több hangszóróra lesz szükségem, ezért én a meglévő 2 hangfal mellé plusz 6 hangszórót helyeztem el a teremben, méghozzá a következő elrendezésben.



(40. ábra) 8 hangszórós sztereó kialakítás felülnézetből

Miután ezt az elrendezést megvalósítottam, ismét elkezdtem vizsgálni és összehasonlítani ezt az elrendezést a korábban vizsgált 2 hangszórós sztereóval. Átlépek a program CARACALC részében a vizsgálatok elkészítéséhez. Be kell állítani az "**Option**s" menüben a "**Parameter...**" funkcionál a maximális reflexió sorrendet ("**Maximum Reflection Order**") 2-es értékre. Következhet a hangzási teszt.

Kattintsunk a "Calculations"-ra és ott választjuk ki az "Auralization…"-t. Eredményként 23 tökéletes visszaverődési sávot talált. Ezek után a "results" menüben választjuk ki először az "Auralization: Room response"- t, és készítünk egy hang (*.wav) fájlt, amiben ugyanit a "results" menüben a "Auralization: Room music"-ra kattintva belépünk, és ott kiválasztunk egy hangfájt és betöltjük a terembe. Itt nem végzünk automatikus hangszóró pozicionálást, mert itt az általam elrendezett hangszóró elrendezés kell. Ezután létrehoztunk egy második ilyen hangfájlt, de azt korábbi terem állapotban, ahol még két hangszórós sztereó kialakítás van. Ezt ugyanúgy végezzük, mint az előzőekben. Miután készen vagyunk a két hangfájlunkkal, következzék a "listening test". Választjuk ki a "results" menüből ismét a "auralization: Room music"-t, és ott jelöljük be a "listening test: compare two sound sample"-t, és kattintsunk a "play" gombra. A kettő sztereó elrendezés közötti hangzáseltérés nagyonnagyon eltérő. Számomra a program által elrendezett 2 hangszórós sztereó beállítás jobbnak bizonyult, ezért a 8 hangszórós elrendezésnél is elindítottam az automatikus pozicionálást a "Calculations" menüben a "Positional Optimization" kiválasztásával. 1000 körüli beállítási lehetőség után célszerű már megállítani a vizsgálatot a "Calculations" menüben a "Brake" gombra egyszeri kattintással, és megnézni hány optimális

elrendezést talált.



(41. ábra) Pozícionált 8 hangszórós kialakítás

Ismételten megkezdem a már a program által bepozícionált terem hangzásának tesztelését. Ez ugyan úgy történik, mint az előzőekben, ezért csak az eredményre térnék ki. Most már úgy gondolom a két kialakítás hangzásának figyelése után, hogy a 8 hangszórós kialakítás "fülre" jobb.

👹 ETS 2DV	IEW	- [Untitled]	1								_ 0
File Edit '	View	Settings Fu	nctions Op	erations	Help						
🗅 🚅		X 🗙 🖻	62 0	5 (r	१ № «						
diploma01	1 - F	requency D	Depender	nce of t	he Avera	ge Sou	nd Abs	orption	Coeffic	ient	
[%]											
25											
	1 80	1 16	0	1 320	1 64	0	1 1280		1 2560	j 5120	[Hz]
alpha											
diploma01	1 - F	requency D	Depender	nce of F	Reverber	ation T	imes // I	Net Roo	m Volu	me: 1956.	2 [m³], Ro
[s]			_								
0,5				-							
	1 80	1 16	0	1 320	64	0	i 1280		2560	5120	[Hz]
Ideal Sabine	Eyri	ng Kuttruff CA	RA-T10								
diploma0	1 - F	oom Respo	onse: All	Loudsp	oeakers	and Lis	tener 1	// Early	Decay	Time T10	0.297 [s]
[dB]			[[]			1					
50 20					A WAN		140	160		200	220 [ms]
Reverberatio	on Dia	gram Integral	of Reverber	ation Dia	gram						
Press F1 for I	Help										

(42. ábra) Visszhang diagram



(43. ábra) Több hangszórós sztereo kialakítás 3D-ben

9 Összefoglalás

A szakdolgozat során lehetőségem nyílt az akusztikai tervezés bonyolultságát egy ehhez megfelelő program segítségével a CARA-val. Egy terem akusztikai tervezése során az első lépés minden esetben a terem felhasználási területének meghatározása. Ha az építésszel együttműködve már az építésnél foganatosíthatóak az akusztikai kialakítás kívánalmai, akkor a legkönnyebb a tervezés, hisz nem utólag kell módosítani.

A dolgozatom témájában már egy kész terem akusztikai kialakítását kellett leellenőriznem a programmal, ha hibás kijavítani ideálisra, valamint a már meglévő két hangszórós sztereó elrendezést egy több hangszórós sztereó kialakításra lecserélni a szebb sztereó hangzás érdekében. Ebben az esetben először a terem adottságait kellett megvizsgálnom. A lehető legtöbb adatot kellett összegyűjtenem, a terem méreteit, a teremtárgyak listáját, a falak és mennyezet burkolatát. Ezek alapján lehet a legalaposabban modellezni a termet. Ezzel együtt a teremben uralkodó viszonyokat mérni és dokumentálni.

E szakdolgozatban röviden összefoglaltam a teremakusztika alapjait, CARA program rövid leírását, valamint a programmal történő tervezést, több hangszórós sztereóhangzás megvalósítását, terem akusztikai méréseit programmal, és az utózengési idő mérését programmal és műszerrel. A függelékben pedig helyett kapott egy segédlet, a tanszék tulajdonát képző Brüel&Kjar 2260 Observer precíziós zaj analizátor az utózengési idő mérésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Wersényi György: Műszaki akusztika jegyzet, elektronikus jegyzet 2007
- [2] <u>http://surround.macroda.hu/</u>
- [3] Brüel&Kjar 2260 Observer Manual and Technical Documentation BB1078-14
 Brüel&Kjar Narum, Denmark 1996
- [4] <u>http://www.cara.de</u>
- [5] Dr. Wersényi György: Stúdió technika jegyzet
 Elektronikus jegyzet 2007

Függelék

10 Utózengési idő mérése Brüel&Kjar 2260 Obsever típusú precíziós zaj analizátorral [3]

A mérést megszakításos mérési metódussal végezzük, a mérés reprodukálhatóságának érdekében.

A készülék bekapcsolása a

gomb megnyomásával történik.

A készülék ezek után betölti a szoftvert, miközben a gyártó logo-ja látható a

kijelzőn. Miután ez eltűnik és a kijelzőn valamely mérőszoftver kijelzései láthatóak a készülék kész a használatra.

10.1 BZ7220 Reverberation Time Software kiválasztása:

Először nyomjuk meg a gombot, a kijelző jobb oldalán megjelenik a menüsor. Lépjünk be az *Applications* menübe. A jobboldali gombsorral lehet a menükbe belépni (ezek után a kijelzőn jobb oldalon megjelenő menüit így jelzem: *<Applications>*)

Itt válasszuk a <*Change Applic.*> menüt. Ezután a képernyő alsó felében a *Start Application* rovatban inverz kijelölés

jelöli a választani kívánt alkalmazást. A nyilak használatával válasszuk ki a *Reverberation Time Software*-t és válasszuk az *<OK>* menüt. Ezután a műszer betölti az utózengési idő mérő szoftvert, miközben a B&K logo látható a kijelzőn. Miután a szoftver betöltődött megjelenik az aktuális szoftver frekvenciaspektrum kijelzője.

10.2 A méréshatár beállítása

Nyomjuk meg a gombot, majd a válasszuk ki a megfelelő méréshatárt (javasolt a 30dB-110dB mérési tartomány) és válasszuk az <OK> menüt.

10.3 A Beállítások menü

A gomb megnyomásával lépjünk be a beállítások menübe, ott válasszuk a <*Set-up Menu>-*t.

10.3.1 <Define Job> menü:

Itt állíthatjuk be a mérési feladatot.

Job: New vagy a kiválasztott visszahívni kívánt feladat száma Standard: ISO (a mérési szabvány beállítása) Task: a mérési feladat neve

Bandwith: 1/3-oct., a megjelenítés felbontása illetve a sávszűrők sávszélességenek beállítása

Frequency

Start: a mérés alsó frekvenciahatára (50Hz) *Stop*: a mérés felső frekvenciahatára (10kHz)

10.3.2 A <Meas. Options> almenü:

Ebben a menüben van lehetőségünk beállítani a megszakításos (Interrupted) utózengési idő mérés esetén a mérési időket. Az itt beállítható paraméterek a következőek:

Escape Time: azt az időt jelenti, amennyi idő alatt a mérést végző személy elhagyhatja a termet. Javasolt: 3s

Build-up Time: az idő, amíg a hangforrás be van kapcsolva, tehát míg feltölti a termet hangenergiával. Javasolt: 3s

Auto Store: a mérési eredmény automatikus mentése. Állítsuk *ON*-ra *Backgr. Corr*.: beállíthatjuk, hogy a számítások során a szoftver korrigáljae a háttérzaj értékével a mérési kalkulációkat. Állítsuk *OFF*-ra.

Partition: a mérendő terem jele. Alapállapota A.

Label: itt megadhatjuk a mért terem nevét. Ezt a nevet a Qualifier szoftver kijelzi.

10.3.3 Az utózengési idő mérés beállításai

Válasszuk ismét a *<Set-up Menu>-*t, azon belül pedig a *<Rev. Meas.>-*t. Itt állíthatjuk be, hogy impulzusgerjesztéses vagy megszakításos mérést akarunk végezni. Itt a következő beállításokat kell elvégeznünk: Állítsuk a Noise opciót Interrupted-

re. A Decay Time legyen 4s.

Generator legyen Internal.

A beépített generátor zaj-típusát a Generator: Internal sor alatti Noise opciónál

tudjuk beállítani, ez legyen Pink. A Level [re.1V] legyen -3dB.

10.3.4 A mérési adatok tárolásának helye

A <Set-up Menu> <Meas. Path> almenüjében állíthatjuk be a mérések elmentésének helyét.

A mérési eredményeket a \DATA\MEAS# könyvtárba mentsük.

Ebben a menüben a könyvtárak között a nyíl billentyűkkel mozoghatunk. Itt a

következő menüket találjuk:

<*Save>:* nyomjuk meg, ha kiválasztottuk az elmentés helyét.

<*Change Drive>:* itt választhatjuk ki a meghajtót, ahova menteni kívánjuk a mérési eredményeket, azaz választhatunk a műszer beépített memóriája és a memóriakártya között.

<*Create Dir.*>: létrehozhatunk új könyvtárat a mérési eredményeknek.

10.3.5 A mérési eredmények tárolása

Mérési eredményeket mérési üzemmódban és a mérési folyamat pillanat-állj állapotában tárolhatunk. Ezt a kijelző bal felső sarkában a *Meas.* felirat és a **II** piktogram jelzi.

. Az üzemmódok között a gombbal tudunk váltani, a

mérés

megállításához pedig a gombot használjuk.



Gombot a mérési eredmények mentéséhez. Ekkor megjelenik a kijelzőn a már beállított tárolási útvonal (ld. fent), a mérés neve és a mérés típusa (RT). A kijelző alsó két sorában pedig a *Create new job* sorban beállíthatjuk a mérés mentési számát, a *Store Current Meas. in Position* sorban a mérési adatok mentési pozícióját.

10.4 A mérés menete

Szereljük fel óvatosan a hordótáskában található tárólódobozból kivéve a 4189- es típusú polarizált mikrofont. Rögzítsük a műszer aljára az állván talpat. Helyezzük állványra a műszert. Csatlakoztassuk a mérőműszer tápegységét. Csatlakoztassuk a 3 pólusú LEMO csatlakozó – 3,5 Jack kábelt a műszer *AUX. 1* jelzésű csatlakozója és a hangfrekvenciás erősítő bemenete közé. (ez a kábel csatlakozó átalakítóval és hosszabbítóval van ellátva) Kapcsoljuk be a műszert és a hangfrekvenciás erősítőt.



billentyűvel válasszuk ki a mérési üzemmódot.

Az erősítő hangerőszabályzójával állítsuk be azt az erősítési szintet, amikor a

kijelzőn a -6dB érték olvasható.

A billentyű megnyomásával elindíthatjuk a mérési folyamatot. Ekkor a szoftver bekapcsolja a műszer beépített zajgenerátorát, feltölti a termet hangenergiával, majd kikapcsolja a generátort. Ekkor méri az utózengési időt.

A mérés során a mérést végző személy(ek) teljes csendben várakozzanak (A mérés személyek nélkül lenne a legpontosabb, ezért a mérést oktatási célból csak két-három ember végezze. Ekkor a mérési eredmények kiértékelésekor figyelembe kell venni a teremben tartózkodó személyekre érvényes elnyelési tényezővel a személyek számát.)

Tanulságos az utózengési időt kétféleképpen is mérni:

A mérőműszer a hallgatóknak való bemutatása során megmérni az utózengési

időt 10-20 fővel, majd a mérési feladatot elvégezni 2-3 fővel. Ezzel demonstrálva a hangelnyelési tényező utózengési időt befolyásoló tulajdonságát.

A műszer folyamatosan tájékoztat a kijelzőn a mérési folyamat állapotáról. A mérés végét kattanó hang jelzi a zajforrásként használt hangszóró(k)ból. Ekkor a szoftver már csak a számításokat végzi, már nem kell teljes csendben várakozni.

A kalkuláció befejeztével megjelenik a kijelzőn a RT diagram. A nyíl billentyűkkel mozoghatunk a spektrumban, a diagram felett leolvashatjuk a sáv középfrekvenciáját és az utózengési idő értékét két tizedes jegyre kerekítve.

66

A diagram alatt megjelenő szimbólumok tájékoztatnak a felettük található mérési sáv státuszáról.

mérési tartomány alatt lévő érték végig a mérés során u R T20-szal számolt mérési érték (T30 nem mérhető) Ν (magas Nincs megkülönböztethető lecsengési görbe zajszint) zajszint meghaladja a Y1 határértéket У t t1 (a lecsengés kezdeti ideje) a beállított a mérési idő felett van Υ a zajszint meghaladja Y2 határértéket т t2 (a lecsengés végének ideje) meghaladja a mérési időt Ζ pozitív görbe (utózengési idő negatív) Ρ kevesebb mint két pont a becslési tartományban

O túlvezérlés

C másolt érték

F a szűrő befolyásolta a lecsengési görbét

n a zajszint túl közeli Y2-höz

p kevesebb mint négy pont a becslési tartományban

% a kalkulált különbség T20 és T30 között nagyobb, mint 10%

k a korrelációs tényező túl kicsi

Mentsük el a mérési eredményeket, majd végezzük el a mérést a terem több pontjában.