

# DCR teremhangzást javító rendszer

## DCR room acoustics enhancement system

DR. BALOGH GÉZA, IFJ. BALOGH GÉZA

Interton Kft.

[balogh@interton.hu](mailto:balogh@interton.hu)

Beérkezett: 2008.08.25., elfogadva: 2005.09.21.

**Kivonat** – A dolgozatban a DCR nevű (Digital Control of Reverberation) rendszert mutatjuk be, amely képes elektroakusztikai eszközökkel megváltoztatni egy terem akusztikáját. A DCR rendszerrel mintegy változtatjuk a falak burkolatát, azaz létrehozunk a határoló falakon és a mennyezeten egy elektroakusztikai burkolatot, amelynek paramétereit több lépcsőben változtatni tudjuk.

Elektroakusztikai elven működő, teremutózungési időt változtató rendszer Magyarországon elsőként a debreceni Kölcsey Kongresszusi Központban valósult meg. A DCR működési elvét, a felmerülő problémákat és azok megoldását célszerűen ezen a konkrét rendszeren keresztül mutatjuk be. Megvizsgáljuk a mikrofonok és hangszugárzók egymástól való távolságának hatását és ezen hatást befolyásoló tényezőket. Kitérünk a terem különböző állapotában a teremakusztikai paraméterek vizsgálatára a frekvencia függvényében.

A terem utózungést szabályozó DCR rendszerünk non-inline elven alapul, így az 1100 főt befogadó többcélú terem (Kölcsey Központ Auditórium) hangzása természetes maradt. A DCR rendszerben több önálló, döntően digitális hangcsatornát alkalmazunk, csatornánként egy mikrofont, egy vagy két hangszugárzót, teljesítményerősítőt, és DSP-t.

Az utózungési időt érintőképernyős távvezérlővel, nagyon egyszerű módon,  $2 \times 5$  fokozatban lehet szabályozni. A központi digitális vezérlő egységen belül azonban további beállításokkal ennél több, különböző teremhangzás is megvalósítható.

**Abstract** – We present our system called DCR (Digital Control of Reverberation), which is capable of changing the reverberation of a room by means of electroacoustical devices. Using the DCR system, we are able to change the enclosures, i.e. we create an electroacoustical enclosure on the walls and on the ceiling. The parameters of the electroacoustical enclosure can be changed in several steps.

The system was installed in Hungary for the first time in the city of Debrecen, in the Kölcsey Congress Centre. The principle of the DCR and the problems and their solutions will be presented via this specific installation. We study the effect of the distance between the microphones and the loudspeakers, and the factors that influence this effect. We also analyse the room acoustics parameters in respect to the frequency, in the different status of the auditorium.

Our room acoustics enhancement DCR system is based on the non-inline principle, thus the room acoustics of the main auditorium (1100 seats) of the Kölcsey Centre remained absolutely natural. We use several numbers of independent digital channels in the system, and each channel consists of one microphone, one or two loudspeakers, a power amplifier and a DSP.

Reverberation time can be controlled in  $2 \times 5$  steps, in a very simple way using a touch panel control system. Furthermore there is a possibility to set more than 10 presets, by programming the digital central unit.

## 1. Bevezetés

A többcélú termék építése világszerte gyakori. Mint ismert, különféle műfajok, különféle utózungési idő mellett hangzanak optimálisan.

A különféle zenei műfajokhoz ajánlott közepes utózungési időket az alábbi táblázat tartalmazza:

Konferencia, könnyűzene, dráma	$\approx 1,0$ s
Opera	$\approx 1,3$ s
Kamarazene	$\approx 1,4$ s
Klasszikus szimfónia, concerto	$\approx 1,6$ s
Romantikus szimfónia	$\approx 2,0$ s
Kórus (zenekarral)	$\approx 2,3$ s

Egy termet akusztikailag módosító módszerekkel és

megoldásokkal igen sok szakember foglalkozott, illetve foglalkozik. Különböző mechanikai, illetve elektroakusztikai megoldást dolgoztak ki az elmúlt 30-40 évben.

A mechanikai változtatás már régóta alkalmazott, de igen költséges eljárás. A teremhez nagy méretű nyílásokat, üregeket rendelnek, amelyeket ajtóval nyitnak vagy zárnak, s így a teremhez külső zengőkamrákat szabályozott módon csatolnak. Az elektroakusztikai módszerrel a terem utózungési idejét aktív elektroakusztikai elemekkel változtatják meg.

2005-ben a debreceni Kölcsey Kongresszusi Központ audiovizuális rendszereinek, közöttük egy teremhangzást javító non-inline rendszer telepítésére kaptunk megbízást. Magyarországon ez volt az első ilyen elektroakusztikai rendszer, amelyet a DCR elnevezésű, az Interton által kifejlesztett non-inline rendszerű, terem-



(a)



(b)

1. ábra: (a) Kőlcsey Kongresszusi Központ (Debrecen), (b) a központ nagyterme

utóhangzást módosító elektroakusztikai rendszerrel való-sítottuk meg.

Az új létesítmény több előadóteremmel, kiállító csarnokkal, bálteremmel és szállodával rendelkezik (1. ábra)

## 2. Működési (elvi) alapok

A non-inline rendszerek alapvetően egyazon multi-channel (többcsatornás) rendszerre vezethetők vissza. [1, 2, 3]. Vizsgálataink szerint ezen rendszerek felépítése (2. ábra) a mikrofonok és hangsugárzók közötti  $r_{ii}$  távolságot illetően többnyire megegyezik abban, hogy ez a távolság nagyobb, mint a teremben a kritikus távolság. (Hallradius) [1, 2, 4], és csak ritkán kisebb ennél [2]. A terem akusztikai tervezője, Kotschy András, non-inline és kicsi  $r_{ii}$  mikrofon-hangsugárzó távolságú rendszert írt elő. [5, 6]

A sokcsatornás rendszerek elvi elrendezése tulajdonképpen igen egyszerű (2. ábra) [1, 7]. Ragadjunk ki ebből a sokcsatornás elrendezésből egyetlen csatornát, az  $i$  csatornát és vizsgáljuk meg a terem akusztikai viszonyait, egyetlen hangosító csatorna be-, ill. kikapcsolása

esetén. A teremben  $W_S$  akusztikai teljesítményű hangforrás helyezkedik el, amely  $S(\omega, \theta_S, \phi_S)$ , a mikrofon  $M_i(\omega, \theta_i, \phi_i)$ , míg a hangsugárzó  $L_i(\omega, \theta_i, \phi_i)$  átviteli tényezővel jellemezhető. Az erősítő  $a_i$  feszültségerősítésű. Az  $A(\omega, \theta_A, \phi_A)$  a hallgatóságot jellemzi. A koordináta-rendszerek a hangadókhoz, ill. a hangvevőkhöz vannak rendelve.

A szakirodalomban többnyire csak a diffúz hangtérrel jellemzik az akusztikai viszonyokat [1, 2]. Ahhoz, hogy megvizsgáljuk a korai reflexiókat, az egy csatornához tartozó mikrofon hangsugárzó távolságának hatását, fel kell írunk a teremben lévő hangforrás (beszélő, hangszer), illetve a hangsugárzó által a teremben keltett hangnyomás diffúz és direkt komponensét együttesen.

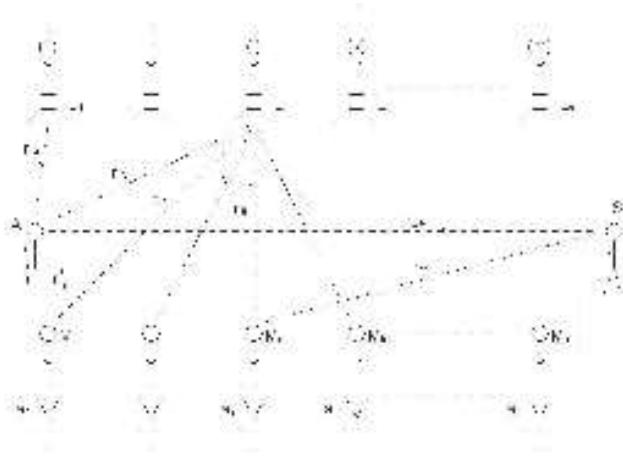
Az  $S$  hangforrás (pl. szónok, hangszer, stb.) által keltett  $p_S$  hangnyomás:

$$p_S^2 = p_{S,\text{diff}}^2 + p_{S,\text{dir}}^2 \quad (1)$$

Részletezve

$$p_S^2 = \frac{4W_S\rho_0c}{R} + \frac{S^2(\omega, \theta_S, \phi_S)Q_S W_S\rho_0c}{4\pi r_S^2} \quad (2)$$

ahol  $\omega$  a körfrekvencia,  $r_S, \theta_S, \phi_S$  az  $S$  forráshoz rendelt



2. ábra: Többcsatornás rendszer elvi vázlata

polár-koordináták,  $W_S$  a forrás hangteljesítménye,  $Q_S$  az irányítási tényezője,  $\rho_0$  a levegő sűrűsége,  $c$  a hang terjedési sebessége levegőben,  $R$  a teremállandó. Rendezve:

$$p_S^2 = \frac{4W_S\rho_0c}{R} \left( 1 + \frac{S^2(\omega, \theta_S, \phi_S)Q_S R}{16\pi r_S^2} \right) \quad (3)$$

Bevezetjük az  $S$  forráshoz rendelhető kritikus távolságot ( $r_{Sc}$ ). Ez a kritikus távolság értéke természetesen irányfüggő. A pontos értékét a forrás irány jelleggörbéjének ismeretében határozhatjuk meg. Kritikus távolság bevezetésével felírható:

$$p_S^2 = \frac{4W_S\rho_0c}{R} \left( 1 + \frac{r_{Sc}^2}{r_S^2} \right) \quad (4)$$

(4) összefüggéshez hasonlóan felírhatjuk az  $i$  csatorna  $L_i(\omega, \theta_i, \phi_i)$  átviteli függvényű hangszugárzójának a hangnyomását is:

$$p_i^2 = \frac{4W_i\rho_0c}{R} \left( 1 + \frac{r_{ic}^2}{r_i^2} \right) \quad (5)$$

ahol  $r_{ic}$  a hangszugárzóhoz rendelt kritikus távolság.

Bevezetjük a szokásosan használt [1]  $g_i^2 = p_{i,diff}^2/p_{S,diff}^2$  jelölést, amivel felírhatjuk az  $S$  forrás által az  $A$  hallgatóság helyén közvetlenül és az  $i$  csatorna közvetítésével keltett hangnyomások összegét:

$$p_{SA}^2 = p_{S,diff}^2 \left( 1 + \frac{r_{Sc}^2}{r_{SA}^2} \frac{A_{AS,dir}^2}{A_{diff}^2} \right) + g_i^2 p_{S,diff}^2 \left( 1 + \frac{r_{Sc}^2}{r_{Si}^2} \frac{M_{iS,dir}^2}{M_{i,diff}^2} \right) \left( 1 + \frac{r_{ic}^2}{r_{iA}^2} \frac{A_{Ai,dir}^2}{A_{diff}^2} \right) \quad (6)$$

Megjegyezzük, hogy az  $i$  csatorna  $M_i(\omega, \theta_i, \phi_i)$  átviteli tényezőjű mikrofonja súlyozza a direkt és a diffúz hangnyomás viszonyát, látszólagosan  $M_{i,diff}/M_{i,dir}$  arányban megváltoztatja a kritikus távolságot, ahol a diffúz hangtérre  $M_{i,diff}$  a direkt hangra  $M_{i,dir}$  az érvényes átviteli függvény. Hasonló helyzet adódik, ha az  $A$  hallgató is rendelkezik irányítottással.

Az átviteli függvényben – az elvárásainknak megfelelően – két ízben is diffúz/direkt váltás történhet. Első ízben az  $S$  forrás és  $M_i$  mikrofon, másod ízben az  $L_i$  hangszugárzó és  $A$  hallgató között. Nagy mikrofonhangszugárzó távolság ( $r_{ii}$ ) esetén a közönség a színpadhoz látszólagosan jóval közelebb, vagy távolabb kerülhet. A hallgatóság számára a forrás  $S(\omega, \theta_S, \phi_S)$  irányjelleggörbéje helyett az  $i$  csatorna hangszugárzó  $L_i(\omega, \theta_i, \phi_i)$  irányjelleggörbéje érvényesül! Az aktív elektroakusztikai és a passzív hagyományos „burkolatok” között a fentiekben van jelentős különbség.

Megvizsgáltuk az (aktív)  $i$  csatorna hurokerősítését is. Ha  $r_{ii}$  a távolság a mikrofon és hangszugárzó között, akkor a  $g_{ii}$  hurokerősítésre a (6) összefüggést értelemszerűen használva az alábbiakat kapjuk:

$$g_{ii}^2 = g_i^2 \left( 1 + \frac{r_{ic}^2}{r_{ii}^2} \frac{M_{ii,dir}^2}{M_{i,diff}^2} \right) \quad (7)$$

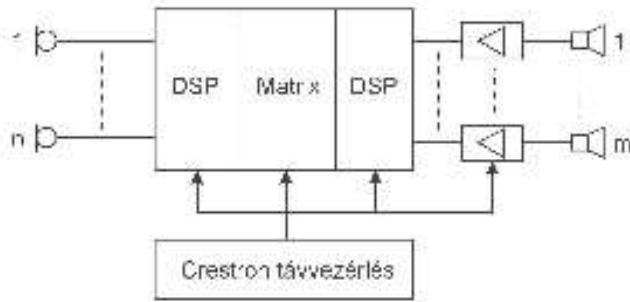
Megjegyezzük, hogy mind  $p_{diff}$  mind  $g_{ii}$  értéke csak középérték. A tényleges akár 10 dB értékű kiugrásokkal ill. beszakadásokkal is eltérhet ettől [8]. Ha közel helyezük a mikrofont a hangszugárzóhoz, (7) alapján megnő a hurokerősítés. A gerjedésmertesség érdekében az irányított mikrofont és/vagy hangszugárzót kell választani, a csökkent érzékenységgel egymás felé fordítva. Szóba jöhet a kardioid, hiperkardioid, szuperkardioid és „nyolcas” irányjelleggörbéjű mikrofon.

Az utözengési idő megváltozását felírhatjuk a diffúz hangtérrel [1]. Ehhez először felírjuk az  $R$  teremállandót Sabine-képletéből:

$$R = 0,161 \frac{V}{T(1-\bar{\alpha})} \quad (8)$$

ahol  $V$  a terem térfogata,  $T$  az utözengési idő,  $\bar{\alpha}$  az átlagos elnyelési tényező. A teremben a diffúz hangnyomást felírjuk az  $i$  csatorna bekapcsolása nélkül. Ehhez a (2) összefüggésbe behelyettesítjük (8) összefüggést, azt kapjuk, hogy

$$p_{S,diff}^2 = 25\rho_0cW_S(1-\bar{\alpha})\frac{T}{V} \quad (9)$$



3. ábra: A DCR blokk-sémája



4. ábra: A DCR periféria képe

$i$  csatorna bekapcsolása utána a diffúz hangnyomás megnő  $p_{\text{diff}}$  értékkel

$$p_{S,\text{diff}}^2 + p_{i,\text{diff}}^2 = 25\rho_0 c W_S \frac{T_i}{V} (1 - \bar{\alpha}_i) \quad (10)$$

(10) összefüggést osztva (9) összefüggéssel:

$$1 + g_i^2 = \frac{T_i(1 - \bar{\alpha}_i)}{T(1 - \bar{\alpha})} \approx \frac{T_i - \tau_{\text{room}}}{T - \tau_{\text{room}}} \quad (11)$$

ahol

$$\tau_{\text{room}} = \frac{0,161V}{\sum A_{\text{room}}} \quad (12)$$

### 3. A DCR felépítése

A 3. ábrán a megvalósított terem-utózengetést változtató rendszer elvi blokk-sémáját adjuk meg. A mátrix segítségével a távolabbi mikrofonok jelét is be lehet keverni anélkül, hogy a mikrofonok helyét megváltoztatnánk. Ezzel a módszerrel alkalmunk volt a különböző hangszugárzóhoz közelebb, távolabb eső mikrofonok bekapcsolásának hatását vizsgálni. Azt tapasztaltuk, hogy az utózengetés, a diffúzió tekintetében a nagy mikrofon hangszugárzó távolság is megfelelő, de a közönséghez ill. a színpadhoz közel telepített mikrofon és hangszugárzó esetében más a helyzet. Mindenképpen jobbnak tűnt az, amikor a mikrofon és a hangszugárzó egymáshoz közelebb fekszenek, azaz kicsi a köztük lévő  $r_{ii}$  távolság. A terem hangzását így találtuk természetesebbnek. Ezt az első (korai) reflexióknál, ill. a kritikus távolságon belül lévő hangforrás, vagy hallgatóság esetén ítéltük meg fontosnak. Ennek megfelelően igyekeztünk a mikrofon-hangszugárzó távolságokat 1 m körüli értéken tartani.

A megvalósítás során éppen ezért a közönséghez ill. a színpadhoz közel eső mikrofonok és hangszórók esetén nem használtuk a mátrix lehetőségeit. Ezek a csatornák a keverés nélküli direkt csatornák. A mikrofonjaik kardiod mikrofonok. A korai reflexiók természetes hangzását elsősorban ezek, az oldalfalakon elhelye-

zett kis mikrofon-hangszugárzó távolságú egységek biztosítják. A közönségtől távolabb, magasabban elhelyezett mikrofonok és hangszugárzók a kritikus távolságon kívül vannak, mind a közönségtől, mind a színpadtól számítva. Ebben a helyzetben lévő mikrofonok csak diffúz hangtérben működnek, így ezekhez gömbi mikrofonokat (omnidirectional) használtunk, ( $r_{ii} > r_{ic}$ ). A diffúzió fokozásához, ezekben a csatornában két hangszugárzót alkalmaztunk.

A természetes hangzás biztosításához gondoskodni kellett a technika észrevétlen működéséről is. Ez számos paraméterben nyilvánul meg: torzítatlanság, zajtalanság, gerjedésmertesség, elszíneződés mentesség, stabil működés.

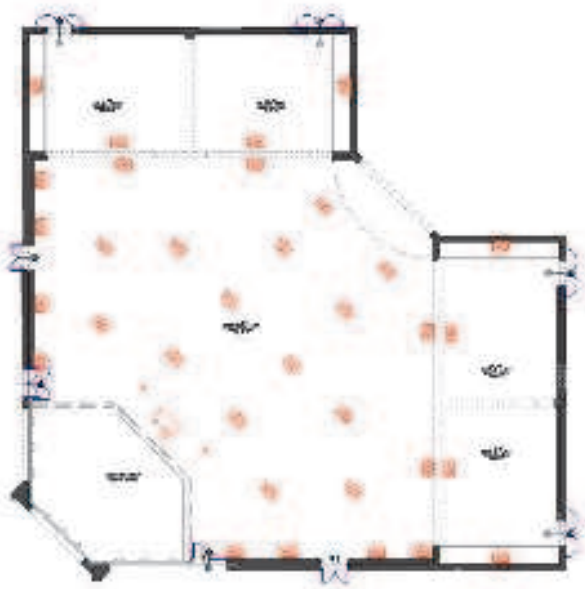
A falakban nagy keresztmetszetű levegőztető és klíma csövek miatt nem kaptunk lehetőséget a mikrofonok és a hangszugárzók elhelyezésére, ezért azokat a 4. ábrán látható módon, falon kívül helyzetük el.

A terem három részből áll. A nagyterem és a két szekció terem egybe nyitható, de szükség esetén mobil falal elválasztható. A DCR rendszernek ezt a lehetőséget is ki kellett szolgálnia. Egybenyitáskor több hangszugárzót és mikrofont alkalmaztunk. A rendszert mindkét esetben külön-külön szabályoztuk be.

A rendszer távvezérelhetőségét Crestron érintőképernyős egységgel biztosítottuk, mind leválasztott szekciótérnek, mind egybenyitott állapot esetén. A vezérlő központot a hangvezérlőben (stúdióban), a távszabályozható erősítőket külön helyiségben helyeztük el.

A hangszugárzók és mikrofonok kiosztását az egybenyitott nagyterem alaprajzán (5. ábra), és a 6. ábrán láthatóak.

A Kölcsey Központ nagytermében telepített DCR rendszerünk 26 darab kombinált aktív csatornát és 40 darab hangszugárzót tartalmaz, amely speciális hardver és szoftver segítségével, non-inline módon, természetes hatással és üzembiztosan, zajmentesen állítja be a kívánt utózengetési időt. A terem hangzása megváltozik, olyan mintha a falak kicserélődnének anélkül, hogy ténylegesen megtörténne ez. Mivel mechanikai mozgás nincs,



5. ábra: A DCR perifériák elhelyezése



6. ábra: A DCR oldalfali perifériák

a terem átállítása – különösen az érintőképernyős távvezérlő rendszernek köszönhetően – néhány másodperc alatt elvégezhető. Az utóhangidő megváltoztatása a teremérzetet, térélményt és a zenekar szubjektív hangerejét előnyösen változtatja meg. Ennek megfelelően sokan teremakusztikát javító vagy a terem hangzását javító módszereknek tekintik ezt az eljárást.

## 4. Mérési eredmények

A rendszer beállításához nagy számú mérést kellett végeznünk. A mérések számát természetesen jelentősen növelte, hogy kísérleti úton is vizsgáltuk a mikrofon hangsugárzó távolság hatását, elsősorban a természetes hangzás szempontjából.

A rendszer beüzemelése során nagy segítséget kaptunk Debrecen zenész társadalmától. Különböző kórusok, előadóművészek és kisebb-nagyobb létszámú, más-más összeállítású zenekarok próbái és a zenészek véleménye nagyban segítette a DCR rendszer optimális beállításában.

Az első beállítási műveleteket többnyire éjszaka kellett végezni, mivel a munkákat erősen zavarták az átadás előtti épületben még mindig dolgozó más szakágak. A zajos környezetben ezért lehetetlennek bizonyult a beállítási munkák végzése. A teremben számos akusztikai mérést végeztünk még a beállítás után is. Néhány mérési eredményt a 7-8. ábrán adunk meg.

## 5. Következtetések

A beüzemelt rendszert az átadás óta is rendszeresen használják. A zenészek és a zeneértő hallgatók, de a prózai előadók is jó véleménnyel vannak a DCR hatásáról. A

telt terem csökkent utóhangját jól lehet kompenzálni a DCR rendszerrel. A zenészek és az énekesek kifejezetten értékelik az „előbb”, fokozottabb teremhatást. A rendszer bekapcsolása természetes módon, a nagyobb utóhangidőnek megfelelően megnöveli a hangnyomást, a terem diffúzitása nő, a térérzet erősödik.

Az összehatás természetesnek bizonyult annak ellenére, hogy nem mechanikus úton változtattuk meg a terem utóhangját. Nagyon előnyösnek bizonyult, hogy a különböző utóhangot biztosító rendszerállapotok közötti átállítás egyetlen gombnyomással megtörténik, nincs átállási idő. Az adott nézőszámhoz és zenei műfajhoz a zenészek, karmesterek akár próbálgatással is kiválaszthatják a nekik leginkább kedvező utóhangidőt.

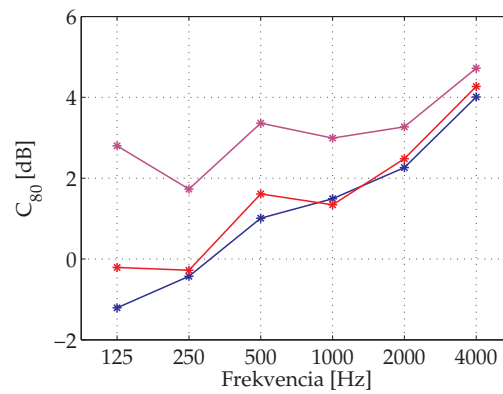
A több mint két éves üzemeltetés alatt gyakorlatilag nem volt üzemzavar a rendszer alkalmazása miatt. A működése észrevétlen, gyakorlatilag zajtalan és stabil.

## 6. Köszönetnyilvánítás

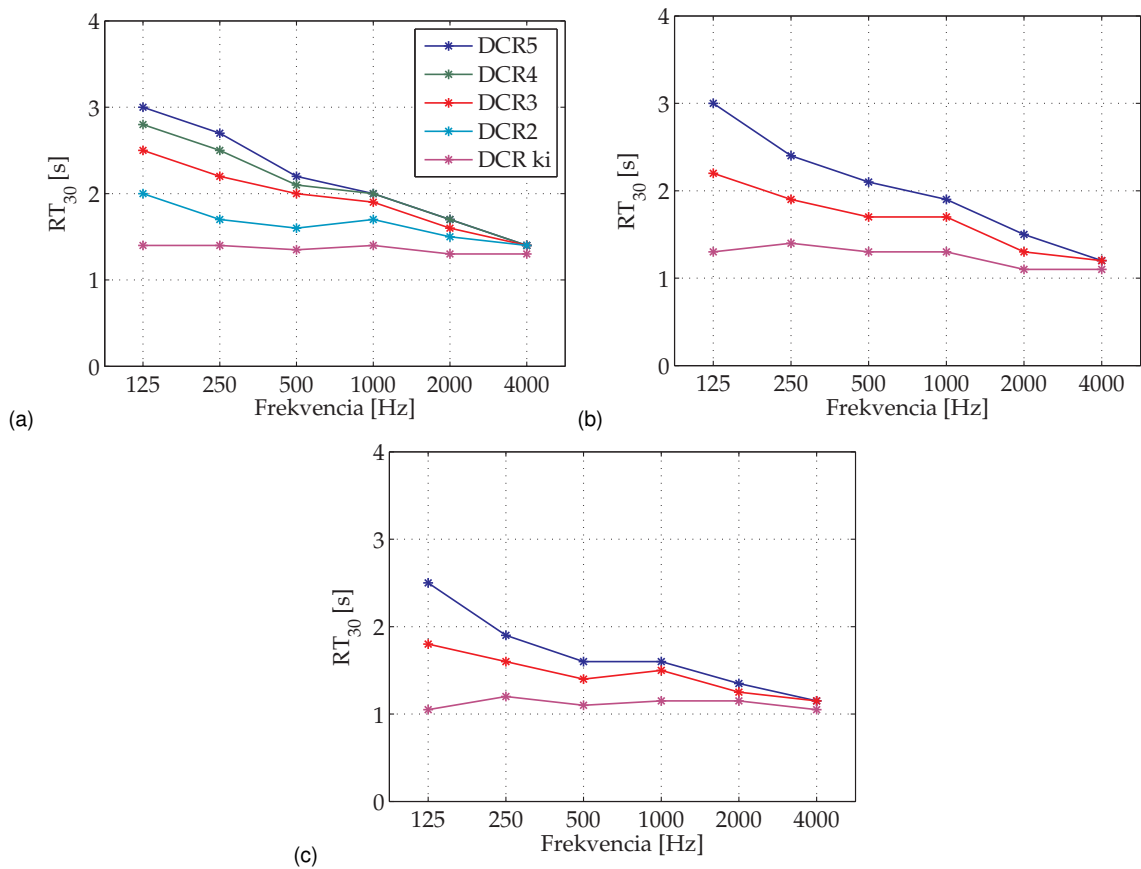
Köszönjük Kocsár Balázs művészeti vezető és karmester úrnak és zenésztársainak segítségét és véleményezését. A mérések során kifejtett együttműködésért Kotschy András és kollégáit illeti köszönet, valamint nem utolsósorban kollégáinknak is köszönjük a méréseknél és a beállításoknál végzett szakszerű munkát.

## Hivatkozások

- [1] N.V. Frassen. Sur l' amplification des champs acoustiques. *Acustica-Acta Acustica*, 20:315–323, 1968.
- [2] M.A. Poletti. The philosophy of the variable room acoustic system. In *15th Biennial Conference of the New Zealand Acoustical Society*, 2000.



7. ábra:  $C_{80}$  világossági szint (Nagyterem két szekciótérrel bővítve, nézőtérn kb. 800 fő)



8. ábra: Utözengési idők ((a) Nagyterem két szekciótérrel bővítve, nézőtér üres, (b) Nagyterem szekciótérrel nélkül, nézőtér üres, (c) Nagyterem két szekciótérrel bővítve, nézőtérn kb. 800 fő)

- [3] J.P Vian and X. Meynial. Virtual reflecting walls for improving the acoustics of defective halls. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103(5):2862, 1998.
- [4] M.A. Poletti. The stability of single and multichannel sound systems. *Acustica-Acta Acustica*, 86, 2000.
- [5] A.B. Nagy, A. Kotschy, and F. Tamás. A kölcsey Konferencia Központ (Debrecen) akusztikai megvalósítása. In *Zajvédelmi Szeminárium*, Debrecen, 2006.
- [6] A.B. Nagy, A. Kotschy, and F. Tamás. Acoustic design and evaluation of a multi-purpose hall of a new conference centre. In *Acoustics'08*, Paris, 2008.
- [7] S.H. de Konig and N.V. Frassen. Amplification of sound fields. *Journal of the Audio Engineering Society*, page 697, 1969.
- [8] M.R. Schroeder and K.H. Kuttruff. On frequency response curves in rooms. Comparison of experimental, theoretical and Monte Carlo results for the average frequency spacing between maxima. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34(1):76–80, 1962.