

# Surround hangrendszerek és keverés

A mérési leírást kidolgozta: Mócsai Tamás és Firtha Gergely  
kiegészítette: Rucz Péter és Ulveczki Mihály

Mérési leírás  
Akusztika és hangtechnika laboratórium

## 1. Bevezetés

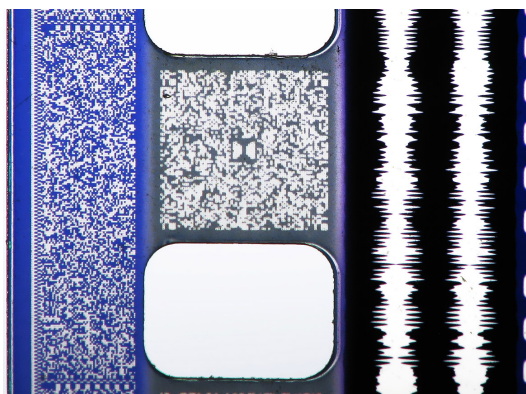
Jelen mérési útmutató célja a többcsatornás hangrendszerek bemutatása, illetve annak ismertetése, milyen felvételi technikákat alkalmazhatunk a sokcsatornás reprodukció céljára. A mérési feladatok elvégzésével a hallgatók a sokcsatornás keverési módokat ismerhetik meg különféle stílusú és felhasználású hanganyagok előállításához.

## 2. A filmhang kijátszása

A filmhang rögzítésének hagyományos eszköze a filmszalag szélén, a perforáció mellett kialakított analóg modulált optikai hangsáv, ahogy az az 1. ábrán is látható. Az analóg optikai filmhang jellemzően kétcsatornás sztereó, vagy a Dolby Surround/Pro Logic mátrix kódolási eljárásával (lásd a 3.1. szakaszt) a kétcsatornás sztereó hangsávba kódolt többcsatornás surround hangsáv. Az optikai hangsáv mellé bizonyos filmformátumok (pl. 16 és 70 mm-es filmszalag) esetén rögzítettek analóg mágneses hangsávokat is. A Dolby Digital többsávós digitális kódolási technikák elterjedésével a filmszalagra digitális optikai hangsáv is került, mely a QR kódoláshoz hasonló optikai kódolással rögzíti a Dolby AC-3 eljárással tömörített soksávós hanginformációt (lásd az 1(b). ábrát). A digitális mozitechnika (digitális mikrotükrös projektorok), és a hagyományos filmszalagot nélkülöző digitális filmdisztribúció elterjedésével ma már a mozik nagy részében merevlemez-alapú szerverekről játsszák ki a film kép- és hanganyagát is. Utóbbi rendszerekben a többsávós hang veszteségmentes, lineáris PCM formátumú.



(a) Filmszalag képkockákkal



Sony SDDs    Dolby Digital    Analóg optikai fillmhang

(b) Nagyítás

## 3. Többcsatornás hangrendszerek

A többcsatornás hangátviteli rendszerek esetében alapvetően megkülönböztetjük a diszkrét többcsatornás, csatornánként független audiotartalmat tároló/továbbító rendszereket és a mátrix-elvű kódolást megvalósító rendszereket. Utóbbiak esetében a többcsatornás információt egy alkalmas mátrixolással leképezik egy alacsonyabb csatornaszámú (pl. sztereó) formátumra, úgy, hogy megfelelő dekódolási eljárással ebből az alacsonyabb csatornaszámú formátumból – információvesztéssel – a többcsatornás információ visszaállítható.

### 3.1. A Dolby formátumok rövid áttekintése

A Dolby Stereo, Surround és Pro Logic márkanévű kódolási eljárások alapvetően mátrix elvű többcsatornás hang-

1. ábra. Hangsávok (digitális és analóg) egy anamorf (szélesvásznú) 35 mm-es filmszalagon

reprodukciót tesznek lehetővé azon az elven, hogy négy csatorna (Left, Right, Center, Surround) jelét egy keverési mátrix segítségével kódolják egy sztereó jelpárba.

A Dolby Pro Logic négycsatornás Surround-sztereó kódolási mátrixa például a következő:

$$\begin{bmatrix} L_t \\ R_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & j\frac{\sqrt{2}}{2} \\ 0 & 1 & \frac{\sqrt{2}}{2} & -j\frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ R \\ C \\ S \end{bmatrix}, \quad (1)$$

ahol  $j$  90 fokos fázistolást jelent. A hozzá tartozó dekódolási mátrix pedig a következő:

$$\begin{bmatrix} L \\ R \\ C \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_t \\ R_t \end{bmatrix}. \quad (2)$$

A különböző nevek alatt futó változatok alapvetően a professzionális (pl. mozi, Dolby Surround) és konzumer (Pro Logic) kódolási és dekódolási eljárásokat, és azok különböző továbbfejlesztett (Pro Logic II, Pro Logic IIx, Pro Logic IIz) változatait különböztetik meg. A Pro Logic II, Pro Logic IIx már 5.1, 6.1 illetve 7.1 csatornás információt kódol mátrixolással egy sztereó jelpárba.

A Dolby Digital (5.1) és a hozzá tartozó Dolby AC-3 tömörítés az első Dolby rendszer, mely diszkrét többcsatornás formátum: a csatornákat egyenként, függetlenül kódolja, és nem mátrixolást alkalmaz a többcsatornás információ rögzítésére. A konzumer alkalmazások esetén (TV műsorszórás, DVB, Blue-ray, stb.) a független 5.1 csatornás információt szinte kizárólagosan AC-3 tömörítéssel továbbítják és tárolják. A professzionális (mozi) alkalmazásokban a független sokcsatornás jelet veszteségmentesen tárolják, lineáris PCM formátumban. A Dolby Digital EX formátum esetében az 5.1 csatornakiosztás Surround Left és Surround Right csatornáiba a Dolby Pro Logichoz hasonló mátrixolással kódolják a 6.1, illetve 7.1-es formátumokhoz tartozó további Surround csatornák (Back Center Surround, illetve Left Back Surround és Right Back Surround csatornák) tartalmát. Egy további professzionális formátum a Dolby E rendszer, mely az AES/EBU professzionális veszteségmentes interfészformátumban digitálisan átvitt sztereó jelpárban digitálisan tárolja a 6.1 és 7.1 csatornás információt, azonban ez a jel megfelelő dekódoló nélkül nem hallgatható formátumú. A Dolby Digital mellett további meghatározó többcsatornás formátumok a Digital Theater Systems (DTS) és Sony Dynamic Digital Sound (SDDS). A következőkben a Dolby Digital 5.1 részleteivel foglalkozunk.

## 4. Dolby Digital 5.1

A Dolby Digital 5.1 diszkrét többcsatornás hangrendszert és a hozzá tartozó AC-3 érzeti (pszichoakusztikai) alapú, veszteséges kódolást 1992-ben vezették be, elsőként kifejezetten mozi (filmhang) alkalmazás céljára. Azóta az AC-3 kódolás elterjedt más médiumokon is (HDTV, DVD, Blue-ray, Internet stb.).

A Dolby Digital 5.1 csatornás tartalom-előállítás követelménye és gyakorlata némileg eltérő attól függően, hogy professzionális mozi filmhang, vagy konzumer fogyasztásra szánt (filmhang, zenetartalom) tartalom előállítása cél. A konzumer audiotartalmakkal ellentétben a professzionális mozi filmhang keverése alapvetően abban a környezetben történik, amely a végtermék lehallgatási környezete is lesz, tehát ideális esetben az előállítási környezet és a lehallgatási környezet azonos. Ennek érdekében a mozi lehallgatási lánc minden eleme kalibrált és szabványok által specifikált.

A konzumer felhasználásra szánt tartalom-előállítás során a Dolby Digital kódoló/dekódoló az audio csatornák tömörítése mellett egyéb szolgáltatásokat is biztosít:

- Biztosítja a többcsatornás (5.1) hanganyag sztereó kompatibilitását egy szabványos downmix eljárás implementálásával. Ha a felhasználó hangrendszere csak sztereó hangszórópárral rendelkezik, és a többcsatornás anyagból nem készült külön sztereó keverés, akkor az 5.1 csatornás anyag sztereó változata minden dekódolón azonos módon kerül sztereó-lekeverésre. A szabványos lekeverési eljárás miatt ez a sztereó változat már a hanganyag keverésekor ellenőrizhető.
- Biztosítja a rögzített hanganyag dinamikatarományának szabályozását (DRC) azzal a céllal, hogy konzumer eszközökön, illetve nemideális lehallgatási körülmények között (pl. autóban, alapteremben, éjszaka a szomszédok zavarása nélkül) a dinamikataromány megfelelő, a kódoló oldalon meghatározott módosításával élvezhetőbbé tegye a hanganyag reprodukcióját, és kevésbé legyen szükség felhasználói beavatkozásra (halk részek felhangosítása, majd váratlan hangos részek lehalkítása).
- A dekódoló bass management funkciója lehetővé teszi, hogy a dekódoló automatikusan átirányítsa az öt csatorna kisfrekvenciás tartalmát a subwooferre. Hasonló módon, ha a hangszóróelrendezés nem tartalmaz subwoofert, akkor az LFE csatorna tartalma átirányítható az L-R csatornákra. Konzumer alkalmazási szempontból elsősorban az első eset fontos, hiszen az egyszerűbb házimozsi rendszerek esetében a hangszórók gyakorlati alsó határfrekvenciája 80–100 Hz környékén van.

### 4.1. Dolby Digital kódoló/dekódoló rendszer-funkciók

#### 4.1.1. Downmixing

A többsávós hangfelvétel sztereó kompatibilitásának biztosítása, illetve opcionális sztereó változat terjesztése érdekében szükséges lehet a többcsatornás anyag sztereó lekeverése, mely háromféle módon történhet. Az első lehetőség a külön sztereó mix létrehozása az eredeti többsávós felvételtől. Másik lehetőség a dekóder által automatikusan létrehozott downmix mátrix együtthatóinak egyedi megadása, és beágyazása az AC-3 bitfolyamba. Utolsó (worst case) lehetőség pedig a Dolby szabvány által specifikált alapértelmezett dekóder downmix meghagyása. Utóbbi két esetben a felhasználó oldali dekóder hozza létre a sztereó lekeverést a többsávós anyagból. Az alapértelmezett sztereó downmix mátrix a következő:

$$\begin{bmatrix} L_{st} \\ R_{st} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ R \\ C \\ SL \\ SR \end{bmatrix} \quad (3)$$

A tisztán kétsávós, hagyományos sztereó downmix mellett bizonyos dekóderek képesek létrehozni Dolby Pro Logic kompatibilis sztereó downmixet is az (1) egyenlet mátrixának felhasználásával.

#### 4.1.2. DRC

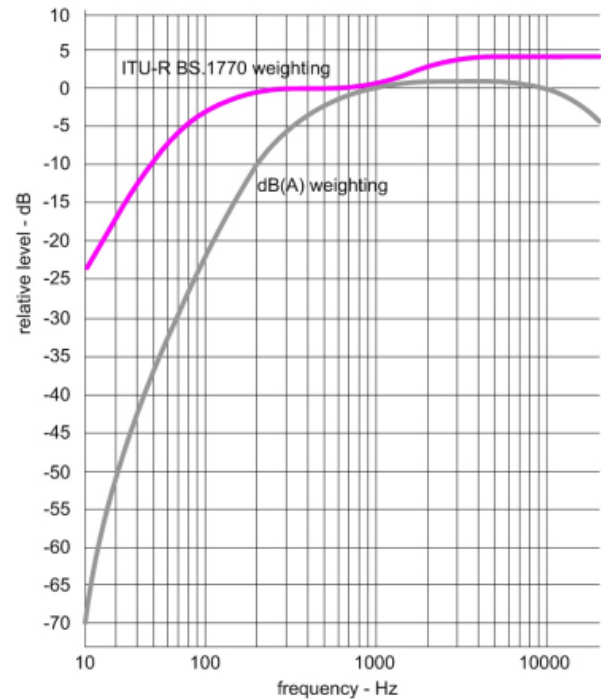
A Dolby Encoder/Decoder DRC (Dynamic Range Control) rendszere egy kettéosztott kompresszor funkciónak tekinthető. A kompresszor erősítésszabályozó vezérlőjelet a kódoló állítja elő és ágyazza be az AC-3 adatfolyamba. Felhasználói igény esetén a dekóder felhasználja ezt az információt, és elvégzi az előírt kompresszállást. Ez az architektúra biztosítja azt, hogy az audio adat dinamikatartomány szempontjából eredeti, változatlan formájában jut el a dekóderbe, vagyis a dinamikasabályzás reverzibilis, és csak szükség esetén alkalmazzuk. A DRC szabályzáshoz tartozó információk az AC-3 által előírt szabványos metaadatként kerülnek az AC-3 bitfolyamba.

A DRC elsődleges célja az, hogy csökkentse a dekódolt audio tartalom dinamikatartományát úgy, hogy a nagyon hangos szakaszok jelszintjét csökkenti, míg a halk szakaszok jelszintjét növeli. Ezáltal nemideális lehallgatási körülmények között is biztosítja pl. a szövegérthetőséget. A keverési munka során a hangmérnök előre definiált kompressziós profilok közül választhat – a Dolby többféle tartalomhoz adaptált DRC szabályzási profilt kínál fel, mint pl. Film, Speech, Music. A felhasználó igény szerint ki-be kapcsolhatja a DRC-t, így a DRC biztosítja a konsumer lehallgatási környezethez és a tartalomhoz történő adaptációt: abban az esetben, hogy ha az otthoni lehallgatási körülmények lehetővé teszik az audiotartalom teljes dinamikatartományának reprodukálását (pl. a hangszórók alkalmasak erre, illetve nincs környezeti alappaj), akkor az audiotartalom az eredeti dinamikatartományával hallgatható.

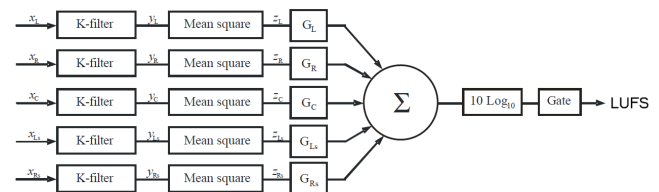
A kódoláskor beállított profil alapján a DRC dinamikasabályzás beavatkozási jelet egy úgynevezett *dialnorm* (normalizált dialógus szint) paraméterhez képest számítjuk ki és adjuk meg. A dialógus-normalizálás fogalma a filmhangkeverés hagyományos munkafolyamatából ered. A filmhang keverése során a párbeszéd átlagos hangerejét hagyományosan egy meghatározott referenciaszint közelébe hozták (nyilvánvalóan ezen belül tekintettel a filmen belüli dramaturgiai vonatkozásokra, pl. kiabálás vagy suttogás). Az egyéb audiotartalom (pl. kísérőzene, kísérő zajok, zörejek, atmoszferikus zaj stb.) keverésénél ez az átlagos dialógus-hangerő volt a viszonyítási alap, annak érdekében, hogy a szövegérthetőség mindig biztosított legyen, és a párbeszédet ne nyomja el a kísérőzene és a hangeffektusok. A *dialnorm* paraméter a DRC esetében a dinamikasabályzás nulla sávját határozza meg, vagyis azt a tartományt, ahol a kompresszor nem avatkozik be. A *dialnorm* paraméter által meghatározott szint alatt a DRC erősíti a csatornák jelét, míg afölött csillapítja a csatornák jelét.

A *dialnorm* paraméter megadását az ITU 1770-es ajánlása szabályozza. Ez az ajánlás azt tartalmazza, hogy a *dialnorm* paraméter értékét a hanganyag átlagos eredő hangossága alapján kell beállítani. Ez a szabvány arra is ad ajánlást, hogy hogyan kell(ene) kiszámítani a többcsatornás hanganyag eredő hangosságát.

Az eredő hangosság szint számítás lépései a szabvány alapján röviden összefoglalva a következők: a csatornák jelét egy ún. K-szűrővel (lásd a 2. ábrán) szűrve figyelme vesszük a hallás frekvenciafüggő hangosságérzékelését. A csatornák K-szűrővel szűrt jelének RMS átlagolását végezzük, 400 ms hosszúságú keretenként, 75 %-ban átl-



2. ábra. Az ITU-1770 szerinti K-szűrő és az A-súlyozószűrő összehasonlítása



3. ábra. ITU-1770 hangosság szint-meghatározás vázlata

polt keretképzéssel. A keretenkénti RMS átlagok összegét képezzük, melyben a surround csatornák 1,41-es, a többi csatornák 1-es súllyal szerepelnek. Az LFE csatornát nem vesszük figyelembe az összegben. A hangosság szint számításának menete vázlatosan a 3. ábrán látható. A hangerősséget kifejező érték mértékegysége a dB LUFS (LKFS is használatos). A -70 dB LKFS alatti, illetve az átlagos hangosság szintnél 10 dB LKFS-sel halkabb kereteket nem vesszük figyelembe az összegképzésnél (kapuzás funkció – *gate*).

A *dialnorm* paraméter értékét ezután a dB LUFS-ben kifejezett hangerősség abszolút értékére kell állítani. A felhasználói oldalon a dekóder a kimeneti szintet meghatározott szintre normalizálja. A normalizálási szint a dekóder üzemmódjától függ, mely az ún. Line mód vagy az ún. RF mód lehet. Az RF mód agresszívabb dinamika-kompresszállást valósít meg alapvetően TV műsorszórás alkalmazásokra, melyekben pl. a set-top box RF modulált jelét veszi át a TV készülék, és a hangcsatorna az RF moduláció miatt kisebb dinamikatartományú lehet csak (ebben az esetben a set-top box végzi a Dolby dekódolást, és állít elő csökkentett dinamikatartományú hangcsatornát, majd RF modulálja a video és audio tartalmat). A Line mód enyhébb dinamikasabályzást alkalmaz olyan esetekben, ahol a set-top box hangkimenetei analóg vonali szinten vannak összekapcsolva a TV vagy a házimozsi erősítő hangbemeneteivel. Az AC-3 kódoló párhuzamo-

san mind az RF mód, mind a Line mód erősítésszabályzó információit elhelyezi a kódolt bitfolyamban, a kódoláskor beállított profilinformáció alapján. A kimenet normalizálási szintje Line mód esetén  $-31$  dB LUFS, míg RF mód esetén  $-20$  dB LUFS, vagyis a dekóder pl. a Line mód esetén a  $-31$  dB LUFS és a *dialnorm* érték különbségének megfelelő erősítést/csillapítást alkalmaz a kimeneten (RF módban a kimenet 11 dB-lel hangosabb a Line módhoz képest).

Az EBU RP 128-as ajánlása ezt a koncepciót teszi teljesé azáltal, hogy javasolja, hogy a műsorszolgáltatók (pl. TV, rádió) a sugárzott tartalom átlagos hangosságát  $-23$  dB LUFS értékre normalizálják, vagyis úgy állítsák be a hanganyag átlagos hangerejét, hogy az  $-23$  dB LUFS legyen (ezzel együtt a *dialnorm* paraméter értéke 23). Ezt az eljárást ma már többé-kevésbé minden európai rádió és TV szolgáltató alkalmazza. Az ajánlás célja nem más, mint hogy a különböző szolgáltatók (pl. tévécsatornák) különböző audiotartalmainak (reklám, film, sorozat, híranyag, stb.) átlagos hangosságát azonos legyen, és ezáltal a nézőnek ne kelljen a készülék hangerejét állítani, ha pl. csatornát vagy tartalmat vált.

A DRC architektúra védelmet biztosít a többcsatornás tartalom automatikus sztereó lekeverése (downmix) esetén előforduló potenciális túlvezérlések, illetve a konsumer eszközök túlterhelése ellen is. A sztereó lekeverés túlvezérlés-védelméhez a kódoló beágyazza a center és a surround csatornák lekeverési együtthatóit, illetve az egyes csatornákhöz tartozó maximális (peak) szintet. Ezekből kiszámítja a sztereó lekeverés esetén előforduló legnagyobb (worst case) szinteket, és ez alapján a sztereó downmix kimenetét túlvezérlésmentes szintre csillapítja.

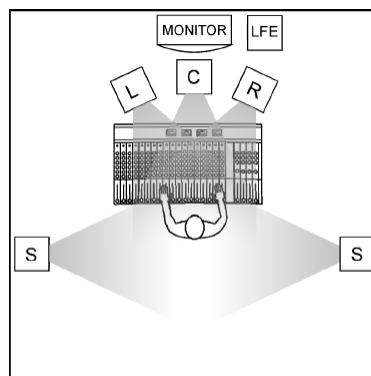
#### 4.1.3. Bass management

A Dolby szabvány szerint az 5.1-es rendszer mind az öt csatornája egyenrangúan szélessávú (tehát a teljes 20 Hz–20 kHz audio tartományt lefedő) reprodukciót tesz lehetővé. Ezt figyelembe véve a dekóder többféle módon működhet: alapesetben mind az öt csatorna teljes sávú, a subwoofer a hatodik független LFE csatorna jelét sugározza. Tipikus konsumer eset azonban az, hogy az öt csatorna kisebb méretű, magasabb alsó határfrekvenciájú hangszórón szólal meg, így a subwoofer az LFE csatorna jele mellett az öt csatorna kisfrekvenciás tartományát is megszólaltatja. Ez a bass management, vagy más néven bass redirection (basszus átirányítás). Tehát az alapvető különbség az LFE csatorna és általánosságban a subwoofer fizikai kimenete (hangja) között az, hogy az LFE egy dedikált, független csatorna, melynek tartalmát a hangmérnök a keverés során határozza meg, a subwoofer kimenete pedig emellett tartalmazhatja a további csatornák kisfrekvenciás tartalmát is, melyet a konsumer dekóder irányít át a subwooferbe.

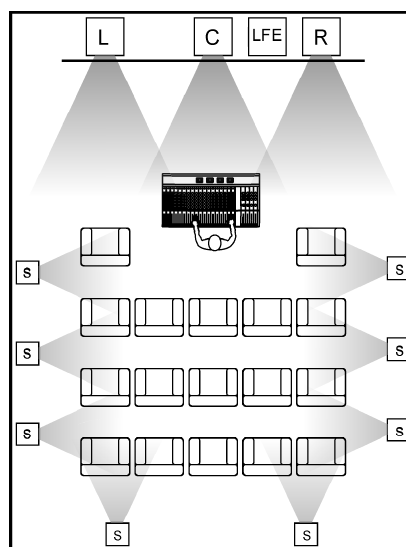
## 4.2. Fizikai elrendezés, követelmények

Alkalmazási területtől függően eltérő referenciaelrendezések ajánlottak illetve használatosak 5.1 csatornás tartalomlehallgatás céljára. A 4. és 5. ábrákon tipikus filmhang-utómunka lehallgatási elrendezések, míg a 6. ábrán egy szabványos többcsatornás hangstúdió referencia elrendezés látható. Nagy termék esetében jel-

lemző, hogy a surround csatornák nem diszkrét hangszórókból szólnak, hanem mind eredő frekvenciamenet, mind pedig iránykarakterisztika szempontjából körültekintően megtervezett és beállított hangszórótömbökből (loudspeaker array). Ezt az indokolja, hogy mozitermekben nem egy optimálisan beállított ideális lehallgatási pozíció (sweet spot) elérése a cél, hanem az egész teremben többé-kevésbé azonos, megfelelően kontrollált lehallgatási élményt kell nyújtani. Az alapvető tervezési cél ilyen esetekben a front hangszórók és a surround hangszórók hangnyomásszint-arányának állandó értéken való tartása az egész teremben. Noha a surround array nem tesz lehetővé olyan pontos iránylokalizációt, mint a 6. ábrán látható referenciaelrendezés, a filmhang gyakorlatában ez általában nem is annyira lényeges. Az ún. exit sign effektus (lásd később) elkerülése érdekében a surround csatornák tartalmában jellemzően nincs is olyan domináns, iránylokalizált tartalom, amelynek pontos irányreprodukciója lényeges lenne. A teremben elosztottan elhelyezett surround hangszórótömbök másik hátránya a többutas terjedések miatt kialakuló fésűszűrő hatások, melyek a front-surround panorámázást (előlről hátra irányú mozgás reprodukcióját) megnehezítik (lásd később). A fenti okok miatt a hangstúdiókra vonatkozó referencia lehallgatókörnyezet diszkrét hangszórók használatát specifikálja.

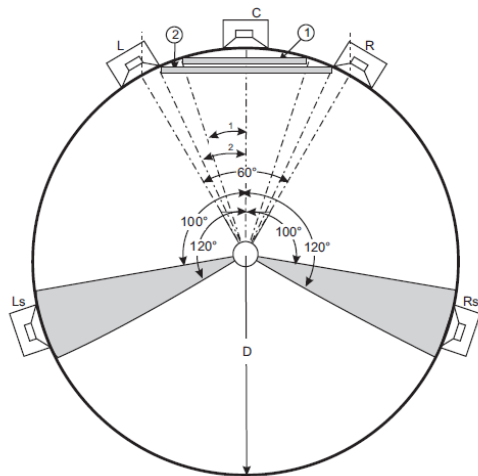


4. ábra. Tipikus filmhang-utómunka stúdiókörnyezet



5. ábra. Tipikus nagyméretű filmhang-utómunka lehallgatási környezet referencia vetítőteremben





6. ábra. ITU-775 szabvány szerinti referencia lehallgatási elrendezés többcsatornás audiotartalom (elsősorban konsumer célra szánt filmhang, zenetartalom) előállításához

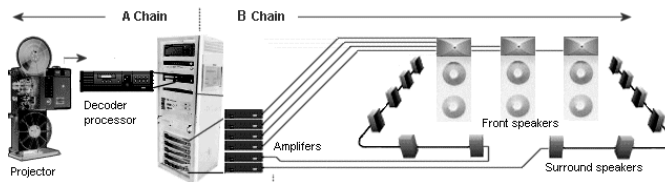
A megfelelően pontos térhatás/iránykép létrehozásához elengedhetetlen, hogy az L, R és Center csatornák hangszórói azonosak legyenek. Az L, R és Center hangszóróknak egyenlő távolságra kell elhelyezkedniük a hallgatótól, főtengelyüknek a hallgató fülének vízszintes síkjába kell esnie. Ideálisan a surround csatornák hangszóróinak is meg kell egyezniük a front hangszórókkal. Ha ez nem lehetséges, akkor a surround hangszórók lehetnek kisebb teljesítményűek, hasonló karakterrel, pl. ugyanazon gyártó kínálatából. Hasonlóan a front hangszórókhoz, a surround hangszórók is azonos távolságra kell hogy legyenek a hallgatótól, főtengelyükkel a hallgató fülének vízszintes síkjában. A megfelelő iránykép létrehozásához elengedhetetlen, hogy az öt hangszóróból beérkező hullámfront azonos időpontban, azonos fázisban érkezzen a hallgatóhoz. Ehhez az azonos akusztikai úthossz mellett a teljes elektroakusztikai átviteli út azonos fázismenete, és az erősítők, illetve a hangszórók azonos polaritása is szükséges.

### 4.3. Rendszerkalibráció

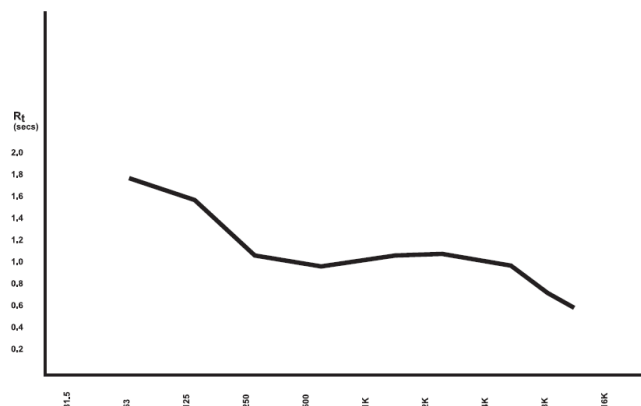
#### 4.3.1. Átviteli karakterisztika

A filmhang és mozitechnika szaknyelvében az elektroakusztikai reprodukciós láncban megkülönböztetik az ún. A-láncot (A-chain) és a B-láncot (B-chain). Az A-lánc a filmhang forrás jelűtja az elektroakusztikai szétosztó és reprodukciós hálózatig, mely a filmhang forrásától (optikai érzékelő, mágneses érzékelő, digitális forrás) az analóg, vagy digitális jelerősítő és korrekciós elemeken (optikai vagy mágneses jelerősítő, zajcsökkentő), A/D konvertereken és dekódolókon át a végfok erősítőig terjed. A B-lánc bemenete a többcsatornás, független dekódolt hangbemenet, ezután következnek a végfokok és erősítő/hangszóró processzorok (keresztváltó, EQ), és végül a hangszórók. Az A- és B-lánc elemei szemléletesen a 7. ábrán láthatók.

Filmhang keverésénél a helyiség akusztikájának illeszkednie kell egy tipikus mozitereméhez. A hangmérnök és a rendező azt szeretnék hallani, hogyan fogja hallani a közönség a film hangját a moziban. Ideális esetben a hangkeverési munka teljes folyamatát, de legalább a vég-



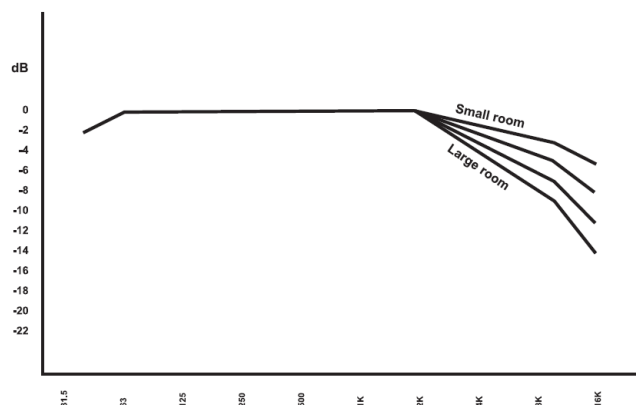
7. ábra. A filmhang jelút A- és B-lánca (illusztráció)



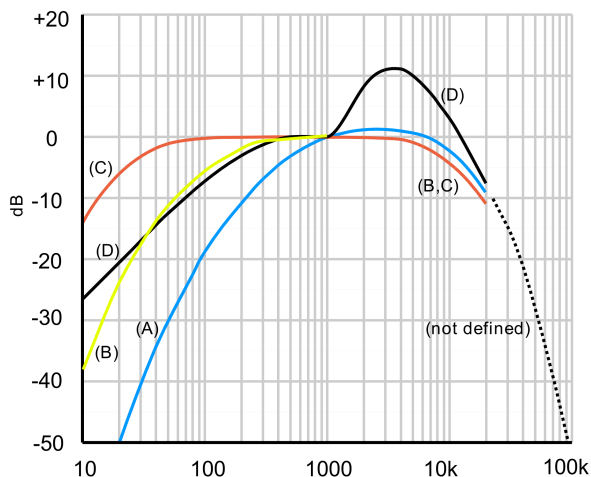
8. ábra. Tipikus utözengési idők egy mozi vetítőtermében

ső hangkeverési lépéseket (ugyanúgy, ahogy a képi utómunka végső fázisait) referencia-vetítőtermekben végzik, ahol mind a vetítógép, mind a hangrendszer, valamint maga a terem is szigorúan előírt műszaki paramétereknek felelnek meg. E paraméterek kitérnek a burkolatok, a vetítővászon, a hangszórók, a projektor stb. részleteire annak érdekében, hogy egy átlagos moziterem sajátosságait reprodukálja. Az elektroakusztikai rendszer elemeire vonatkozó specifikáció figyelembe veszi a vetítési környezet (moziterem) méretét. A terem méretétől függően változik a teremben az utözengési idő, melynek tipikus tercsávós értékei egy moziterem esetében a 8. ábrán láthatók. A szabvány által előírt relatív tercsávós hangnyomásszintgörbe, melyet rózsaszaj gerjesztés esetén a mozi B-láncának minden egyes hangszórójának teljesítenie kell a 9. ábrán látható.

A teremméretfüggő referenciagörbe magyarázata a következő: A B-lánc átviteli karakterisztikájának specifikációját (elsősorban történeti okok miatt) rózsaszaj gerjesz-



9. ábra. SMPTE 202M szabvány szerinti B-lánc válasz (relatív) tercsávós hangnyomásszint diagram rózsaszaj gerjesztésre, különböző teremméretekre (ún. X-görbe)



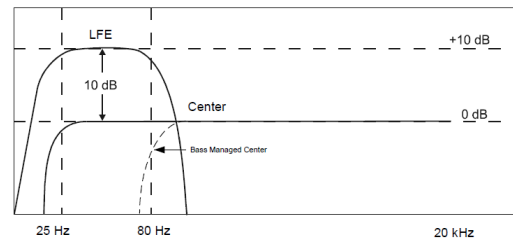
10. ábra. Standard A, B, C és D súlyozókarakterisztikák

tésre, és a lehető legegyszerűbb tercsávós hangnyomás-szintmérési módszerre definiálták, ez pedig a terem állandósult állapotának mérését jelenti. A filmhang időtartamának kb. 80 %-át azonban dialógus (párbeszéd) teszi ki. Az emberi beszéd számos mássalhangzója (pl. t, p, c) rövid, tranziens jellegű gerjesztést jelent a teremre nézve. Az ilyen hangok megszólalásakor a terem nem kerül még állandósult állapotba, így a lehallgatási pozícióban inkább a hangszórókból jövő direkt hang dominál. Mivel a termék állandósult állapotára a kisfrekvenciás erősítés (teremmódusok), és a nagyfrekvenciás csillapítás (burkolatok hangelnyelése) jellemző, az állandósult állapotban megvalósított konstans tercsávós hangnyomásszint a rövid, tranziens, és túlnyomórészt a hangszórókból érző direkt hangokra nézve nagyfrekvenciás kiemelést jelentene. Ennek elkerülése érdekében nagyobb termekre nagyfrekvenciás csillapítást ír elő a specifikáció. A B-lánc átvitelét specifikáló X-görbe mellett a referencia lehallgatási szint is specifikált.

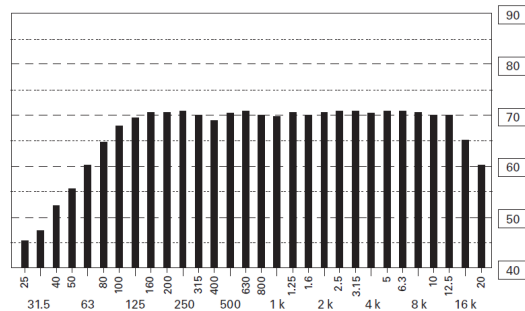
#### 4.3.2. Referenciaszint

**Front csatornák** A Dolby ajánlás, illetve a szabványok szerinti referencia lehallgatási szint azt írja elő, hogy  $-20$  dBFS (RMS átlag) jelszintű rózsazaj gerjesztés esetén mindhárom front csatornának (L,R,C) egyenként  $85$  dB C-súlyozású hangnyomásszintet kell előállítania a lehallgatási pozícióban. A  $-20$  dBFS kalibrációs szint a klasszikus VU egységet mutató kivezérlésjelzőkön  $0$  dB VU-nak felel meg. A C-súlyozószűrő karakterisztikája a 10. ábrán látható.

**LFE csatorna és a subwoofer bass management esetén** Bass management alkalmazása esetén a front csatornák kisfrekvenciás tartalma egy aluláteresztő szűrőn keresztül a subwooferbe jut. Ebben az esetben a teljes rendszer (front hangszórók + subwoofer) kalibrálásának referencia csatornája a Center csatorna. Első lépésként a Center csatornát a subwoofer kikapcsolt állapotában be kell állítani a  $85$  dBC referenciaszintre (a fenti módon), majd a subwoofer erősítőjének erősítését addig növelni, míg a  $25$ – $120$  Hz közötti tercsávokban a Center csatorna és a subwoofer által együttesen előállított eredő hangnyomásszint megegyezik a  $120$  Hz fölötti tercsávokban mért



11. ábra. Az LFE csatorna és a subwoofer kalibrációja



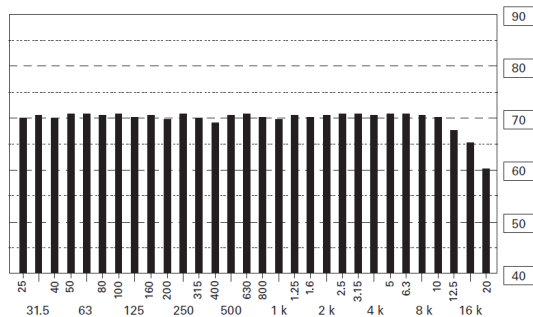
12. ábra. Tipikus, jó minőségű konzumer hifi Center hangszóró tercsávós hangnyomásszintje rózsazaj gerjesztés esetén

hangnyomásszinttel (ideálisan konstans tercsávós eredő spektrum elérése a cél). Második lépésként az LFE csatornában a referenciaszinten ( $-20$  dBFS) rózsazajt kibocsátva a  $25$ – $120$  Hz közötti tercsávokban  $10$  dB-lel magasabb hangnyomásszintet kell beállítani a Center csatorna esetén mért tercsávós spektrumhoz képest.

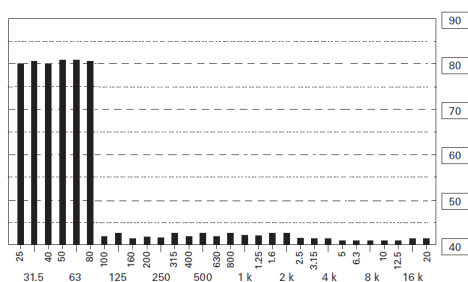
**LFE csatorna és a subwoofer bass management nélkül** Az LFE csatorna kalibráció bass management nélküli rendszerre lényegében megegyezik az előbb leírt második lépéssel: a Center csatorna ideálisan konstans tercsávós hangnyomásszintjéhez képest  $10$  dB-lel magasabb hangnyomásszintet kell létrehozni a subwooferrel a  $25$ – $120$  Hz-es tercsávokban akkor, amikor az LFE csatornában kibocsájtott  $-20$  dBFS referencia szintű rózsazaj szól.

**LFE csatorna szintjének ellenőrzése** Az LFE csatorna kalibrációja ellenőrizhető szélessávú hangnyomásszintméréssel: az LFE csatornában kibocsájtott  $-20$  dBFS szintű rózsazaj hangnyomásszintjének  $4$ – $5$  dB-lel kell magasabbnak lennie ( $89$ – $90$  dBC), mint a Center csatorna hangnyomásszintjének ( $85$  dBC). A bass management és az LFE csatorna beállítási specifikációja a 11. ábrán látható. A kalibráció eredményének tercsávós hangnyomásszintjei a 12., 13. és 14. ábrákon láthatóak.

**LFE csatorna sávkorlátozása** Hanganyag 5.1-es rendszerre történő keverésénél fontos, hogy az LFE csatorna jelét sávhatárolni kell. A Dolby AC-3 kódolók az LFE csatorna tartalmát egy  $120$  Hz felső határfrekvenciájú meredek aluláteresztő szűrővel sávhatárolják. Ezért ezt a meredek sávhatároló szűrőt az 5.1-es anyagok keverésénél, illetve monitorozásánál be kell iktatni az LFE csatorna jelútjába. A legalkalmasabb megoldás erre az, hogy magát az LFE csatorna tartalmát sávhatároljuk, így az LFE csatorna tartalma konzisztens lesz mind mozi disztribúció (tipikusan lineáris PCM kijátszás), illetve konzumer tartalomterjesztés (pl. AC-3 Blue-ray) esetén. A szűrő hiá-



**13. ábra.** Tipikus, jó minőségű konzumer hifi Center hangszóró tercsávós hangnyomásszintje, megfelelően beállított bass managementtel kiegészítve (Center + subwoofer) rózsaszaj gerjesztés esetén



**14. ábra.** Az LFE csatorna kalibrációjának eredménye (rózsaszaj gerjesztés esetén), a Center csatorna a 13 ábrán látható kalibrációjának eredménye után

nya esetén olyan 120 Hz fölötti komponensek is megszólalnak a monitorozás során az LFE csatornában, amelyek az AC-3 kódolt változatban nem szerepelnek majd.

A konzumer lejátszó rendszerek gyakran egy keresztváltó (crossover) szűrőt tartalmaznak. Ez elvégzi az öt fő csatorna basszustartalmának átirányítását a subwooferbe, illetve csak a keresztváltó frekvencia fölötti tartalmat engedi rá az öt fő csatorna hangszóróira. A keresztváltó frekvencia jellemzően 80 Hz, bizonyos esetekben választható 80, 100 és 120 Hz. A 80 Hz-es beállítás esetében a subwoofer csak a 80 Hz alatti tartományt szolgáltatja meg, míg az öt főcsatorna a 80 Hz fölötti tartományt. Mivel a konzumer főhangszórók a 80–120 Hz tartományban jóval kisebb teljesítményűek mint a subwoofer, a 80–120 Hz-es tartomány (ahol a subwoofernek még szólnia kellene) kisebb szinten fog megszólalni, mint ahogy ezt a keverés során elképzelték. Ezért a konzumer rendszerek szimulálásához érdemes a keverés során 80 Hz-es keresztváltó alkalmazásával is meghallgatni a kevert anyagot.

A szakirodalomban élénk vita folyik arról, hogy a subwoofer elhelyezésére mi az optimális pozíció, illetve hogy ennek milyen hatása van a lehallgatásra. Ennek részletezésétől eltekintünk. A gyakorlat az, hogy a subwoofer a front irányban, a lehallgató helyiség egyik sarkában, vagy a sarokhoz közel kerül elhelyezésre. Ebben a pozícióban a kisfrekvenciás forrás többé-kevésbé egyenlő arányban gerjeszti a terem kisfrekvenciás módusait, így kisebb teljesítménnyel jelentős hangnyomásszint hozható létre homogén módon a teremben. Másik gyakori elhelyezése a terem hosszanti középvonalának közelében, lényegében a Center hangszóró alatt van. Alapvetően az is szakmai vita tárgya, hogy pszichoakusztikai szempontból a subwoofer elhelyezésére milyen mértékben érzéket-

len a hallásunk. Köztudott, hogy a többcsatornás rendszerek .1 csatornája azt a pszichoakusztikai elvet használja ki, hogy a kisfrekvenciás tartalomra vonatkozóan az irányhallásunk érzéketlen. Fontos, hogy a subwoofer harmonikus és intermodulációs torzítások nélkül szólaltassa meg a kisfrekvenciás tartalmat, mert ilyen – az LFE csatorna frekvenciasávja fölötti – torzítási termékek megjelenése esetén a subwoofer elhelyezése hallhatóvá válik. Ugyanebből a szempontból kritikus a megfelelő meredekségű (legalább 24 dB/oktáv) aluláteresztő szűrő alkalmazása az LFE sáv tartalmára.

**Surround csatornák** Filmhang illetve mozi alkalmazás esetén a surround hangszórók hangnyomásszintje a lehallgatási pozícióban egyenként 82 dBC –20 dbFS RMS szintű rózsaszaj esetén. 5.1 csatornás zenei felvételek esetén a surround csatornák egyenrangúak, hangnyomásszintjük egyenként 85 dBC.

Konzumer, televíziós és broadcast keverések céljára a kalibrációs hangnyomásszint tipikusan minden csatorna esetében alacsonyabb, 79 és 82 dBC közötti.

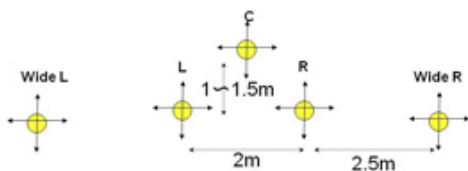
## 5. Többcsatornás felvételi és hangekeverési technikák

Mind felvételtechnikai, mind pedig keveréstechnikai szempontból megkülönböztetik a többcsatornás surround hangkép kialakítása során az ún. Direct/Ambient megközelítést, valamint az ún. Direct-Sound-All-Around megközelítést. Az első esetben a audiotartalom és az információ nagy része (úgy mint cselekmény, párbeszéd, iránylokalizáció) a front csatornákból szól, míg a surround csatornák inkább járulékosak, és a térérzetet növelik. Ebben az esetben pl. egy zenekar hangszerei első sorban a front csatornákból szólnak, míg a Surround csatornák a terem utószélességét (teremhang) reprodukálják, olyan érzetet keltve, mintha az ember a koncertterem nézőterén ülne. A Direct-Sound-All-Around keverési technika esetében a csatornák sokkal inkább egyenrangúak, a hangképbe való teljes belemerülés élményét reprodukálják. Ebben az esetben olyan hangkép reprodukciója a cél, mintha az ember nem a koncertterem nézőterén ülne, hanem a színpadon a zenekarral körülvéve.

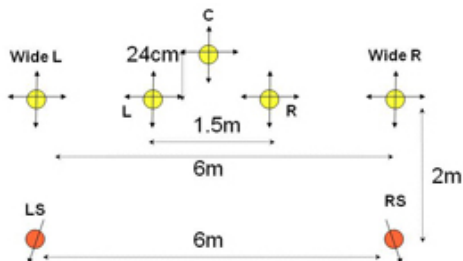
### 5.1. Felvételi és mikrofonozási technikák

5.1 csatornás felvétel előállítására számos köztéri, távtéri, koincidens, és nem-koincidens, illetve kombinált mikrofonozási technika áll rendelkezésre.

A Direct/Ambient megközelítés esetén a front hangkép (zenekari hangszerek hangja) rögzíthető akár hangszerenként elhelyezett diszkrét monó, vagy diszkrét sztereó mikrofonpárokkal, mely források térbeli pozícióját utólag a hangekeverés során panorámázással lehet beállítani. Ebben az esetben a Surround csatornák jelét (teremhang) a teremben távolabb elhelyezett gömbi iránykarakterisztikájú mikrofonokkal szokták rögzíteni. A teremhang rögzítésénél figyelembe kell venni, hogy ezek a mikrofonpozíciók ne legyenek túl távoliak, mert ez hallható visszhangokat eredményezne a felvételen.



15. ábra. Decca Tree mikrofonelrendezés

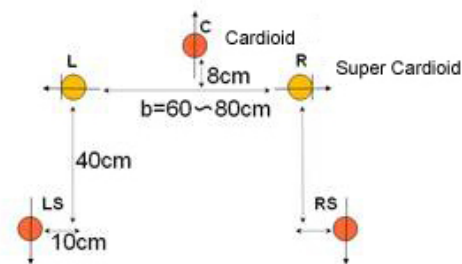


16. ábra. Fukada Tree mikrofonelrendezés

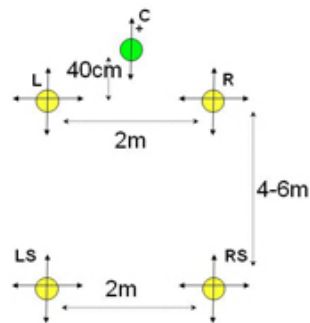
Léteznek közvetlen sokcsatornás mikrofonozási elrendezések is. Néhány példa gyakran használt, standard surround mikrofon elrendezésekre a 15–19. ábrákon látható. Az ábrákán szereplő surround mikrofonelrendezések alkalmasak mind a Direct/Ambient megközelítés front oldali hangképének rögzítésére, mind a zenekarba olvadásnak (Direct-Sound-All-Around, in-the-band effektus) megfelelő hangkép rögzítésére. Utóbbi esetben a surround mikrofonelrendezés diszkrét mikrofonjelei akár egy az egyben megfeleltethetők az öt fizikai hangszóró-csatornának.

Koincidens elrendezések esetén a többmikrofonos elrendezés mikrofonkapszulái gyakorlatilag azonos pozícióban helyezkednek el, irányítottságuk eltérő. Ekkor az irányleképzés általában pontosabb, mint nem-koincidens elrendezések esetében. A közel-koincidens és nem-koincidens technikák esetében a mikrofonok távolságát alapvetően a leképezni kívánt forrás vagy tér méretei és a forrástól való távolság határozzák meg. Ha a mikrofonok közötti távolság túl nagy, az hallható időkülönbségeket, elkülönült visszhangokat okozhat a jelben. Noha a nem-koincidens elrendezések esetén az irányleképzés kevésbé pontos, a hallgatót körbevevő térérzet, illetve belehelyezkedés élménye (angolul *spaciousness* és *envelopment*) szubjektív kísérletek eredményei alapján jobbnak mondható.

A nem-koincidens technikák hátránya még az is, hogy az egymástól távolabb elhelyezett mikrofonok jelei közötti lényeges fáziskülönbségek miatt egy esetleges dekóder downmix (sztereó lekeverés), vagy még rosszabb esetben monó reprodukció esetén a különböző csatornában lévő ellenfázisú komponensek azonos csatornába kerülhetnek, és ezáltal frekvenciafüggő kioltások (fésűszűrő hatás) jönnek létre a sztereó, illetve mono lekeverésben. Az ún. dupla M/S (mid-side) technika ilyen szempontból optimális felvételi technika, mert downmix-kompatibilis hangképet hoz létre. Mivel a mérés során külön foglalkozunk M/S és dupla M/S mikrofonozási technikájú felvételek keverésével, ezért az M/S technika részleteire a következőkben külön kitérünk.



17. ábra. OCT (Optimal Cardioid Triangle) Surround mikrofonelrendezés



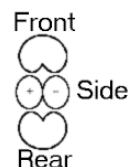
18. ábra. Omni Surround mikrofonelrendezés

## 5.2. Az M/S sztereó felvételtechnika

A sztereó M/S felvételtechnikában a főirányban (0 fok) egy kardioid karakterisztikájú (Mid) mikrofon áll, míg a főirányra merőlegesen egy nyolcas karakterisztikájú mikrofon (Side) áll. Az elrendezés a 20. ábrán látható. Egy főirányból beérkező síkhullámfront (20. ábra, A eset) a nyolcas karakterisztikájú mikrofon iránykarakterisztikáját pontosan annak „nulla” irányában érinti, tehát a főirányból beeső hang esetén a Side mikrofon jele nulla lesz, és csak a Mid mikrofon jelet rögzítjük. Hasonlóan a 20. ábra B és C eseteiben pozitív polaritású jelet kapunk a Mid mikrofonon, a Side mikrofonon pedig a két esetben ellentétes polaritású jel jön létre. Ez alapján belátható, hogy a Mid és Side mikrofonjelek segítségével a következő módon írhatjuk fel a Left és Right sztereó csatornák jelét:

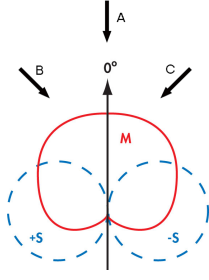
$$\begin{bmatrix} L \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & +\alpha \\ 1 & -\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ S \end{bmatrix}, \quad (4)$$

ahol  $\alpha$  a Side csatorna keverési együtthatója. Ha  $\alpha = 0$ , akkor mind az L, mind az R csatornába a Mid mikrofon monó jelet keverjük, tehát a fantom közép irányból szól a Mid mikrofon jele. Ugyanezt a mono jelet kapjuk abban az esetben is, ha a  $L + R$  monó összegjelet képezzük (monó downmix). A fenti példa alapján látható, hogy főirányból beérkező hullámfront esetén  $S = 0$ , így  $L = R = 2M$ , vagyis a fantom közép irányból szóló jelet kapunk (lásd



19. ábra. Dupla M/S mikrofonelrendezés





20. ábra. Sztereó M/S mikrofon alaprendezés

az 5.4. szakasz), a különböző irányokból érkező hullámfrontok esetén pedig az L illetve R csatornák jeléhez ellentétes előjellel keverjük a hangot. Ezen az egyszerű elven valósul meg az intenzitásalapú sztereó reprodukció. Az  $\alpha$  keverési együttható növelésével növelhető a sztereó kép szélessége.

### 5.3. Dupla M/S surround mikrofonelrendezés

A dupla M/S mikrofonelrendezés (19. ábra) esetben előre főirányban is elhelyezünk egy kardioid mikrofont (Front), illetve hátrafelé főirányban (Rear) is egyet. Az L, R, C, SL, SR csatornák mátrioxolására több lehetőségünk is van. A Front mikrofon jelét keverhetjük a Center csatornába, illetve a L és R csatornába is. Általánosságban a következőt írhatjuk fel:

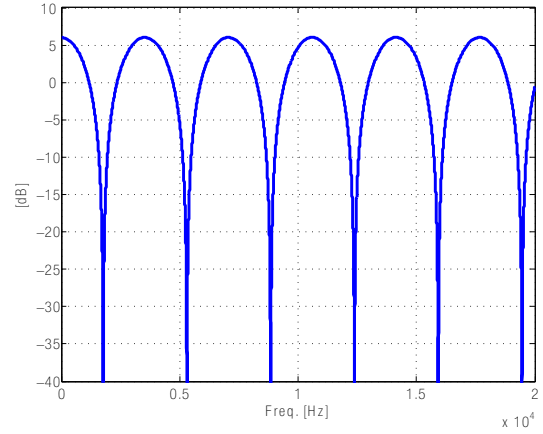
$$\begin{bmatrix} L \\ R \\ C \\ SL \\ SR \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & +\beta_F & 0 \\ \alpha & -\beta_F & 0 \\ \gamma & 0 & 0 \\ 0 & +\beta_R & 1 \\ 0 & -\beta_R & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ S \\ R \end{bmatrix}, \quad (5)$$

ahol  $\alpha = 0$  esetén a Front jelet nem keverjük az L és R csatornába (ilyenkor  $\gamma > 0$  esetén a Front jelet csak a Center csatornába keverjük). Ha  $\alpha > 0$  és  $\gamma > 0$  akkor a Front jelet mind az L, R, C csatornába keverjük. A Front és Rear oldali sztereó kép szélesség rendre a  $\beta_F$  és  $\beta_R$  keverési együtthatókkal állítható.

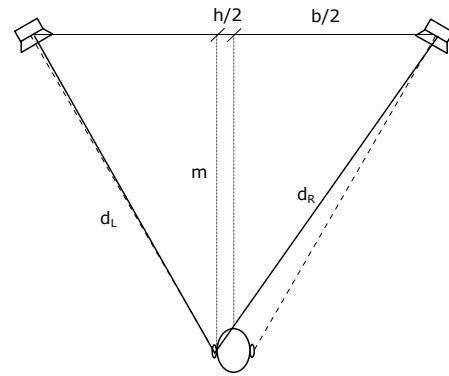
### 5.4. Hangkeverési technikák, gyakorlati megfontolások

**Közép, és fantom-közép irányok** A Center, és Surround csatornák jelenléte számos kreatív lehetőséget, de ugyanakkor kihívást is jelent a sztereó hangkép kialakításához képest. Tradicionálisan a párbeszéd (dialógus) periódusok 80–90 százalékban a középcsatornából, illetve a sztereókép közepéről szólnak a filmekben. Ezért is nagy jelentőségű, hogy a dialógus, illetve a középirány hogyan áll elő a sokcsatornás rendszer esetében. Sztereó hanganyag keverése során csak egyféleképpen helyezhető el a hangforrás a sztereókép közepén, mégpedig úgy, hogy a hangforrás jele azonosan szinttel szól mind a Left, mind a Right csatornákból. Ez a középirány a fantom közép. 5.1-es rendszer esetén három lehetőség is kínálkozik a forrás középére helyezésére: 1. fantom-közép létrehozása a sztereóval megegyező módon, 2. csak a Center csatorna használata, vagy 3. a fantom közép és a Center csatorna együttes használata tetszőleges keverési aránnyal.

A fantom középirány hátránya, hogy kialakulásához a hallgatónak ténylegesen középen kell ülnie, a Left és



21. ábra. A sztereó fantom közép irányában fellépő fésűszűrő átviteli karakterisztikája



22. ábra. Illusztráció a fantom középirány esetén fellépő fésűszűrőhatás számításához

Right csatornáktól egyenlő távolságra. Ezenkívül a Left és Right csatornákból együttesen, azonos erősséggel szóló hang spektruma a fésűszűrőhatás miatt módosul. A fésűszűrőhatást okozó útkülönbség illusztrációja a 22. ábrán látható. Ha a sztereó bázisszélesség  $b$ , a fülek közötti távolság  $h$ , akkor

$$d_{L,R} = \sqrt{\left(\frac{b}{2} \pm \frac{h}{2}\right)^2 + m^2} \quad \text{ahol} \quad m = \frac{b}{2} \sin(30^\circ), \quad (6)$$

amiből  $b = 3 \text{ m}$ ,  $h = 21,5 \text{ cm}$  esetén az úthosszkülönbség  $\Delta d = |d_L - d_R| = 9,61 \text{ cm}$ . A  $\tau$  időkülönbség  $c = 340 \text{ m/s}$  esetén  $\tau = \Delta d/c = 282,68 \mu\text{s}$ . A kétutas terjedésből adódó fésűszűrő átviteli függvénye:

$$H(j\omega) = 1 + e^{-j\omega\tau}, \quad (7)$$

melyhez tartozó amplitúdókarakterisztika a fent szereplő adatokkal a 21. ábrán látható.

Itt megjegyezzük, hogy a fej diffrakciós és árnyékoló hatásait pontosabban figyelembe véve, illetve azt is számításba véve, hogy nem csak a hangszórókból jövő direkt hangot halljuk, hanem a falakról jövő visszaverődéseket is, a fésűszűrőhatás a 22. ábrán láthatónál enyhébb mértékben jelentkezik (a leszívások helyén enyhébb mértékű csillapítás jelentkezik).

**Térbeli panorámázás** A forrás jelének 5.1 panorámázására, az érzékelt térben elhelyezésére és mozgására

(*panning*) több mód is kínálkozik. Alapvetően megkülönböztetjük a statikus *panning*-et, és a dinamikus *panning*-et. A statikus *panning* esetében a forrásnak a térben történő elhelyezése a cél (pl. a zenekari hangszerek elhelyezése a hangképben), míg a dinamikus *panning*nek általában mozgás-irányváltoztatás érzékeltetése a célja.

A többcsatornás panorámázás kivitelezésére a többcsatornás keverési feladatokra szolgáló dedikált keverőpultokon kétféle panorámaszabályzó terjedt el: Az első típus három panorámaszabályzót tartalmaz: Left–Center–Right (ahol a Center a szabályzó középállása), Front–Rear és Surround Left–Surround Right szabályzókat.

A másik típus, az első ránézésre legintuitívabban használható joystick szabályzó, amellyel tetszőlegesen elhelyezhető a forrás a térben. Általában a joystick szabályzó alapértelmezett állapotában felfelé áll, vagyis minden csatornából azonos erősséggel szól a forrás jele. Ennek a hátránya az, hogy hajlamosít az alapértelmezett, vagy az alapértelmezetthez közeli pozícióba keverni a forrásokat, melyben a többutas terjedés miatt jelentős fésűszűrő hatás jelentkezik.

A térpanoráma szabályzó mellett gyakran található az ún. *divergencia* szabályzó, mely azt szabályozza, hogy milyen arányban szól egy adott irányba panorámázott forrás az adott irányból a többi irányhoz képest. 0 százalékos *divergencia* esetén csak az adott irányból (pl. adott hangszóróból) szól a forrás, míg 100 százalékos *divergencia* esetén minden hangszóróból egyformán szól a forrás jele.

Ha térpanoráma szabályzó nem áll rendelkezésre, a monó forrás mozgatható a térben két hagyományos sztereó csatornapár panorámázásával is. Az egyik csatornapárt megfeleltetjük a Left és Right csatornáknak, a másik csatornapárt a Center és Surround Left–Right csatornáknak. Az első csatornapár sztereó panorámázásával a térben balra–jobbra mozgathatjuk a forrást, míg a második sztereó csatornapár panorámázásával a térben előre–hátra mozgathatjuk a jelet. Természetesen a négy (L, R, C, SR=SL), illetve öt (L, R, C, SR, SL) csatornához külön fadereket is rendelhetünk egy keverőpulton, de ekkor a forrás térbeli panorámázása, mozgathatása kevésbé intuitív.

**További fantom irányok** Hasonlóan a front sztereó fantom közepéhez, a hátsó Surround hangszórókkal is létrehozható egy hátsó fantom közép, ha a Left és Right Surround csatornában azonos jelet sugárzunk.

Fontos megjegyezni, hogy ugyan létre lehet hozni oldalirányú fantom közép forrásokat is, a hallgatói pozíció bal, illetve jobb oldalán, ha a front Left és a Left Surround csatornába, illetve a front Right és a Right Surround csatornából azonos jelet sugárzunk, de ezek az oldalsó fantom pozíciók nagyon instabilak: a fej legkisebb mértékű mozgathatására úgy tűnhet, mintha a fantom forrás elmozdulna. Ennek az oka az, hogy emberi fej és fül együttes, eredő irány- és frekvenciafüggő karakterisztikája (HRTF: *Head Related Transfer Function*) nagyon eltérő a hallgatóval szemben (front) elhelyezkedő hangforrások, illetve a hallgató mögött elhelyezkedő hangforrásokra nézve. A front oldali sztereó fantom középirány azért viszonylagosan stabil, mert a bal-előre, illetve jobb-előre, illetve közép irányokból érkező hangokra vonatkozóan a HRTF nem különbözik lényegesen. Sokkal nagyobb a különbség a HRTF-ben az előre, illetve hátra irányokra nézve. Az oldalsó fantom irányokat tekintve (tehát pl. azonos

jelet sugárzunk a Left és a Surround Left csatornákból) jelentős különbség lesz a Left és a Surround Left hangszórókból jövő hang érzékelt spektruma között, és ez a különbség nagyon érzékeny a fej mozgathatására. Még állandó, mozdulatlan fejtartás mellett is azt érzékelhetjük, hogy bizonyos frekvenciakomponensek nem oldalról (a fantom irányból), hanem előlről vagy hátulról jönnek.

Emiatt az előre–hátra panorámázás sem lehet teljesen valóságos. Ha a Center és a Surround csatornák arányát változtatjuk (lásd később 2-4 punch), akkor előre hátra mozgathatjuk a forrást. A HRTF eltérése az előre és hátra irányokra nézve azonban itt is megjelenik, és azt érzékelhetjük, hogy a panorámázás közben a hang spektruma „szétszakad”: bizonyos komponensek előlről szólnak, bizonyos komponensek hátulról.

**Surround csatornák, térérzet** Sztereóban rögzített hangfelvételek, vagy sztereóban rendelkezésre álló hangminta-könyvtárak esetén tipikus surround keverési eljárás az, hogy a sztereó anyag bal csatornáját az 5.1-es rendszer Left és Left Surround csatornájaiba, míg a sztereó anyag jobb csatornáját a Right és Right Surround csatornába keverik. Ebben az esetben az érzékelt hang körülveszi a hallgatót, és ezzel együtt rendelkezésre áll egy front oldali sztereó-kép (kompatibilitás). A front és surround csatornák arányának módosításával a hallgató és a hangforrás érzékelt távolsága szabályozható (magasabb surround arány azt érzékelteti, hogy az észlelő mélyebben, távolabb van a térben).

Ha csak monó hangforrás áll rendelkezésre, és nem kívánatos a hangforrás mozgathatása (*panning*) a térben, akkor a legegyszerűbben úgy hozható létre térérzet a monó forrás jeléből, ha a forrás jelét a Center, valamint a Surround csatornába keverjük (2-4 punch). Ha a forrás jele egyenlő szinttel szól a Center és a Surround csatornákból, akkor a hallgató úgy érzékeli, hogy a hangforrás hangja teljesen körbeveszi őt. Sztereó reverb alkalmazásával növelhető a monó forrás érzékelt szélessége: a száraz monó jelet a Center és a Surround csatornába keverve, a Left és Right csatornába pedig zengetett jelet keverve növelhető az érzékelt forrásszélesség.

Sokcsatornás anyagok keverésénél jogosan felmerülő gyakorlati kérdés, hogy mikor van elegendő surround csatorna információ a kevert hanganyagban. A kérdés alapvetően esztétikai, illetve ízlésbeli természetű. A tradicionális keverési koncepció az, hogy a kialakult térérzet inkább a front irányba fókuszálja a figyelmet, ugyanakkor a Surround csatornák hiányának (pl. a surround csatornák elnémításával) észrevehetőnek kell maradnia. Ugyanakkor a surround csatornák visszakapcsolása nem irányíthatja a figyelmet túlzottan a hátsó hangszórók felé, a surround csatornák szerepe járulékos, nem vonhatja el a figyelmet pl. a film cselekményétől a képernyőn/mozivászn.

**Center beszűkülés és diszjunkt Center csatorna jelensége** Ha egy forrás hangját csak a Center csatornába keverjük, akkor a hangforrás hangja, illetve térbeli kiterjedése túl fókuszáltnak, szűknek tűnhet. A sztereó felvételek hallgatása, illetve a sztereó felvételek keverési technikája miatt fülünk hozzászokott a fantom-közép jelenségéhez, ehhez képest a diszjunkt Center csatornából szülő

közép információ szűkíti az érzékelt teret. Ezt a középcsatorna jelének zengetésével és a zengetett jel Left és Right csatornába keverésével lehet javítani (a Center csatorna jelét általában viszonylag szárazon, zengetetlenül, vagy rövid utóengési idejű zengetővel szokás keverni, mert a Center csatornából szülő túlzott mértékű utószögzés valótlán hangképet eredményez). A zengetett jel arányával, illetve a Left Right csatornák és a Center csatornák arányával a középéről szülő hangforrás érzékelt térbeli kiterjedése, mélysége befolyásolható.

A keverési munka során mindenképpen kerülendő a Center csatorna kiiktatása, és csak a fantom (L, R) monitorozás használata. Noha ez a sztereó térérzethez szokott fülnek ismerősebb, előnyösebb térérzetet produkálhat, a tényleges 5.1 hallgatási körülményekhez képest félrevezető hatású. A dedikált Center csatorna jelenléte lehetővé teszi jól lokalizálható fantom források elhelyezését a Center és Left, illetve a Center és a Right hangszórók között. A keverési munka során azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a konzumer berendezésekben a Center hangszóró jellemzően kisebb méretű és teljesítményű, sok esetben nem pontosan középen helyezkedik el, végső esetben a Center hangszóró hiányozhat is. Ezért a keverés során a Center csatorna szerepében túlságosan bízni nem ajánlatos.

A túl dedikált szerep a Center csatorna esetében a keverés, illetve a zenei felvétel szubjektív minőségét is kompromittálhatja, hiszen még a konzumer lejátszórendszerek esetében is szinte tökéletesen biztosított az áthalásmentes Center csatorna. Ebben az esetben pusztán a Center csatornába kevert szólóhangszer, vagy pl. vokális előadó nagy mértékben el tud különbülni az együttes többi tagjától, jelentősen és akaratlanul is kiemelve ezáltal az előadás esetleges hibáit, hiányosságait. Tipikus megoldás a szóló előadó mix-be olvasztására a már említett párhuzamos routolás, vagy zengető technika alkalmazása, vagyis a szólóhangszer száraz vagy zengetett jelét kis mértékben a többi csatornába is bekeverni.

**Fésűszűrő jelenség detektálása és kiküszöbölése** Ideális, referencia lehallgatási körülmények között a referencia lehallgatási pozícióban között minden hangszóróból azonos idő alatt, azonos fázisban érkeznek a fülünkbe a hanghullámok. A gyakorlatban ez az ideális eset ritkán teljesül. Az ideális elrendezés (azonos úthosszak hangszórók és a lehallgatási pozíció között) minden hallgató számára általában nem biztosítható (pl. moziterem). Ezért általánosságban az tapasztalható, hogy ha ugyanazt a jelet párhuzamosan kettő vagy több csatornába routoljuk, akkor a különböző hangszórókból eltérő időkezelésekkel érkeznek be a fülünkbe a hanghullámok. A fésűszűrő hatás bekövetkezésének esélye csökkenthető, ha a különböző fizikai hangszórókba routolt forrásjelet az egyes fizikai csatornában dekorreláljuk.

A hangszóró csatornák közötti dekorreláció általánosságban úgy érhető el, ha a forrás jelét az egyes hangszórók jelében kis mértékben módosítjuk. A dekorreláció eszközei az időkezelés, többcsatornás zengetés (reverb), szűrés (EQ), hangmagasság (pitch) változtatás. Ha több hangszóróból érkezik a fülünkbe ugyanannak a forrásnak a dekorrelált, kis mértékben módosított változata, akkor az eredő spektrumban kevésbé domináns a fésűszűrő hatás. A valóságban a minket körülvevő tér-

ből a fülünkbe érkező hang is kis mértékben dekorrelált, így a hangforrás többcsatornás, dekorrelált reprodukciója ilyen szempontból is valóságosabb. Ez az oka annak, hogy a kifejezetten többcsatornás keverés céljára kifejlesztett zengető effektek az egyes csatornák jelét kis mértékben eltérő módon zengetik, ezzel is elősegítve a csatornák dekorrelációját, és csökkentve a fésűszűrő hatások megjelenésének valószínűségét. Ha nem áll rendelkezésre többcsatornás zengető, akkor valóságos dekorreláció elérhető pl. monó zengető (reverb) effekttel úgy, ha a hangforrás jelét az egyes csatornában külön, csatornánkénti zengető effekttel zengetjük oly módon, hogy a zengető effekt paraméterei (pl. utószögési idő, keverési arány, pre-delay stb.) kis mértékben eltérnek egymástól az egyes csatornában.

A többutas terjedés, és a fésűszűrőhatás jelenlétének ellenőrzésére gyakorlatias megoldás, hogy amikor egy új forrást (pl. hangsávot) routolunk egyszerre több fizikai hangszórócsatornába, a routolás hatását ellenőrizzük úgy, hogy egyenként kikapcsoljuk-visszakapcsoljuk az érintett fizikai hangszórókat/csatornákat. Ha az érzékelt hangkép/spektrum változik a további csatornák bekapcsolása során, illetve a lehallgatási pozíció változtatása (pl. a fejünk mozgatása) során, akkor a hangforrás hangjában felfedezhető a többutas terjedés miatti fésűszűrő hatás.

## 5.5. Szubjektív tényezők

**Kép–hang konzisztencia** Az irányérzékelésben elsődleges a vizuális információ, és másodlagos az akusztikus információ. A többcsatornás audio alkalmas vizuális információ, cselekmény (film) hangja kíséretére, illetve önálló audiotartalom reprodukciójára (pl. többcsatornás zene, koncertfelvétel). Az előbb említett szubjektív megfontolások miatt a két különböző tartalom (filmhang, illetve önálló többcsatornás zene) keverési megfontolásai alapvetően különbözhetnek.

Filmhang esetében a hang kíséri a képet, nem fordítva. Egy koncertfilm, vagy koncertvideo esetében például ha egy közeli képet látunk az egyik zenészről, akkor a keverésben az adott hangszer hangerejét meg lehet növelni, vagy pl. jobban középre lehet panorámozni. Ugyanez a hangkeverési eljárás önálló többcsatornás audioanyag esetén indokolatlan lenne.

Ha egy zenei anyag kísérőzeneként szolgál egy filmhez, akkor a dialógusrészek alatt a kísérőzene lehalkítható. A hatás természetes lesz, nem fog indokolatlannak hatni, mert a szövegérthetőséget szolgálja. Éppen ellenkezőleg, a szövegérthetőséget rontó, a dialógus hangerejéhez képest túl hangos kísérőzene lenne zavaró. Hasonló módon lehetséges a kísérőzenében a beszédsvába eső, középfrekvenciás komponensek EQ-val történő csillapítása a dialógusok alatt, a szövegérthetőség javítása érdekében.

Mivel a film cselekménye a vásznon zajlik, a közönség figyelme a hangtér front oldalára összpontosul. A filmhang keverési gyakorlatában kerülendő a surround hangsávok túlzott használata. Ha pl. egy hangforrás a teremből hátulról szólal meg jelentős hangerőn, akkor az kiküszöbölhető a nézőt a film cselekményéből. Ez az *exit sign* effektus, mely onnan kapta a nevét, hogy a túl domináns hátsó (surround) irány annyira meglepheti a nézőt, hogy hátra fordul, és meglátja a vészkijárat lámpát

(kiesik a film cselekményéből).

Látható, hogy az önálló (kép nélküli) többcsatornás zenefelvételek keverése során kreatívan, sok esetben szabaddan lehet alkalmazni a surround keverési technikákat, mivel nem áll fenn a veszély, hogy az alkalmazott effektus zavaró, vagy inkonzisztens a képpel.

**Többcsatornás zenei tartalmak** A fentiek ellenére az 5.1 csatornás zenei keverések sok esetben meglehetősen konzervatívak, és legtöbb esetben a Direct/Ambient keverési elvet követik. A surround csatornák ilyenkor a koncertteremben a forrástól messzebb elhelyezett térmikrofonok jeleit reprodukálják, esetleg mesterséges zengető, illetve delay effektek visszatérő csatornáit keverik a surround csatornába. A Center csatornában általában néhány kiválasztott szólóhangszer, vagy vokális szólista hangja szól. A Left és Right csatornába általában fixen rögzített panorámázással keverik a többi hangszer hangját, mintha sztereó keverésről lenne szó. Többcsatornás zenei felvételeknél az LFE csatorna szerepe is konzervatívabb.

Az újabb, modern zenei felvételek esetében kísérleteznek a Direct-Sound-All-Around (vagy in-the-band) keverési stílussal. Ezekben a Surround csatornák szinte egyenrangú elemei a keverésnek, és a lehallgatási pozíció körül a térben körben szólalnak meg az együttes hangszerei. Ezáltal az érzékelt tér megnövelhető, kitágítható a valóságoshoz képest. Kreatív zenei keveréseknél meglepő hatású keverési technika az, amikor tranziens hangokat (pl. váratlanul megszólaló ütőhangszerek hangja), vagy speciális hangeffektusokat kevernek a Surround csatornába, ezzel mehökkentve a hallgatót, mintegy kiléptetve az addig megszokott hangképből (az ilyen *exit sign* effektus filmhang esetén zavaró lenne).

**Az LFE csatorna szerepe** Az LFE csatorna és a subwoofer jelenléte alapvetően a filmhang-mozi alkalmazásokban jelent meg először, mert a mozihangszórók jellemzően nem voltak alkalmasak megfelelő kisfrekvenciás teljesítmény torzításmentes lesugárzására. Hagyományosan a filmhang LFE csatornája a „bumm-csatorna” szerepét tölti be, mely jelentősen hozzájárul a drámai hatás fokozásához olyan jeleneteknél, mint a robbanás, rakétakilövés, vulkánkitörés stb. A többcsatornás zenei felvételeknél az LFE csatorna funkciója és létjogosultsága ezzel szemben mind a mai napig vitatott.

Míg egy konzumer házimozis élményben jogos – szubjektív – igény lehet arra, hogy az úrhajó felrobbanása során a hallgató azt érezze, mintha a lakás falai össze akarának omlani, felmerül a kérdés, hogy szükség van-e hasonló intenzív élményre egy rockzenekari lábdob, vagy szimfonikus zenekari üstdob megszólalásakor. Hasonlóan a Center csatorna esetében, a kisfrekvenciás hangkép esetében sem ajánlatos túlzottan az LFE csatorna funkciójára hagyatkozni, hiszen a konzumer készülékek nagyon nagy szórást mutatnak a subwoofer minőségét, teljesítményét illetően. Ezenkívül a legtöbb mátrix elvű surround kódolás (amelyekben a csatornákat nem egyenként, függetlenül kódolják), mint a Dolby Pro Logic, nem is kódolja külön az LFE csatornát, hanem a többi csatorna eredő kisfrekvenciás tartalma szólal meg a dekódoláskor a subwooferben. A gyakorlati hangkeverési munka

során ezért az LFE csatornát nem célszerű úgy használni, hogy „rábízzuk” az öt fő csatorna kisfrekvenciás tartalmának a megszólaltatását. Mivel a konzumer lejátszók bass management rendszere ezt automatikusan megoldja, ha a hangmérnök a keverés során külön, szándékosan az LFE csatornába routolja a kisfrekvenciás tartalmat, amellet, hogy a fő csatornában is megszólal ugyanez, akkor lényegében kettős bass management alkalmazása történik, és a konzumer eszközök subwooferén „duplán” fog megszólalni a kisfrekvenciás tartalom.

Az LFE csatornát ezért körültekintéssel használják a hangkeverési gyakorlatban, inkább effektus jelleggel, csak dedikált, jelentős és karakteres kisfrekvenciás tartalommal rendelkező források (pl. lábdob, basszusgitár, orgona pedálok) hangját keverik be az LFE csatornába, úgy hogy ugyanezen forrás felső tartománya megszólal a fő csatornában.

## 6. Ellenőrző kérdések

1. Mi a különbség a diszkrét és a mátrix elvű sokcsatornás hangrendszerek között?
2. Mi a célja a Dolby DRC dinamikakompressziójának?
3. Miért reverzibilis a Dolby DRC rendszere?
4. Mi a célja a *dialnorm* paraméter szabvány által specifikált beállításának?
5. Rajzoljuk fel az ITU-775 szabvány szerinti referencia lehallgatási elrendezést.
6. Mely elemek alkotják a B-láncot?
7. Mi a Dolby által specifikált hangszóró kalibrációs referencia jel, és mi ennek a referencia jelszintje?
8. Mi a Dolby által specifikált referencia lehallgatási hangnyomásszint?
9. Mit nevezünk bass management-nek?
10. Sztereó hangrendszer esetén mit nevezünk fantom közép iránynak, és hogyan állítható elő?
11. Mit nevezünk Direct/Ambient és Direct-Sound-All-Around keverési stílusnak?
12. Milyen eszközök vannak a csatornák jeleinek dekorrelációjára, és mi ennek a célja?
13. Mi az *exit sign* effektus?
14. Írjuk fel a sztereó M/S felvételtechnikához tartozó L/R – M/S keverési mátrixot.
15. Rajzoljuk fel a dupla M/S mikrofonelrendezést.

## 7. Feladatok

- Mérés, kalibráció
  - Állítsuk be a referencia lehallgatási szintet minden csatornára
  - Ellenőrizzük, hogy a hangszóró csatornák átvitele teljesíti-e az X-görbe specifikációt



- Keverés, panorámázás
  - Sztereó forrás L-SL, R-SR routolás
  - Mono forrás 2-4 punch routolás
  - Center jel zengetése L-R csatornában
  - Oldalsó fantom közép, és hátsó fantom közép irány meghallgatása
  - Front-rear panning meghallgatása
  - Direct/ Ambient hangkép kialakítás, front oldali surround többlet
  - In-the-band hangkép kialakítás elosztott surround reverb
- Fésűszűrő hatás
  - One-to-many routolás, csatornánkénti ki-be kapcsolás, fésűszűrő hatás meghallgatása
- Dekorreláció, többcsatornás zengetés

## 8. A mérés során használt főbb Cubase Nuendo 4 műveletek, funkciók

- Devices menu VST Connections Stereo és 5.1 csatornás busz létrehozása
- Project menu Add track Group Channel létrehozás
- Project menu Add track Add FX Channel track
- Channel strip Output routing
- Channel strip Stereo panoráma
- Channel strip Surround panoráma

## 9. Feladatok részletes leírása

1. "Flamenco" mono hangfelvétel surround panorámázás I.
  - (a) Importáljuk a hangfelvételt egy Nuendo projektbe, 5 példányban, az egyes példányokat egyidejűleg 5 külön sávra
  - (b) Nevezzük el a sávokat sorrendben L, R, C, SL, SR néven
  - (c) A mixer nézetben a csatornánkénti fader-eket állítva hozzuk létre, és hallgassuk meg a front oldali (első) sztereó fantom középirányt, rear oldali (hátsó) sztereó fantom középirányt, és a bal illetve jobb oldali oldalsó fantom középirányt
  - (d) Hallgassuk meg és hasonlítsuk össze a front oldali sztereó középirányt és a center hangszóróból sugárzott középiránnyal
  - (e) Hozzuk létre a forrás 2-4 punch keverését
2. "Flamenco" mono hangfelvétel surround panorámázás II.
  - (a) A fenti projektet egészítsük ki 4 darab FX csatornával. Nevezzük ezeket rendre RevL, RevR, RevSL, RevSR-nek

- (b) A 4 effekt csatornába routoljuk (Channel strip send) egyenként a vonatkozó csatornákat (rendre a L, R, SL és SR)
- (c) Hozzunk létre 2 darab Group Tracket, nevezzük ezeket Front Rev és Rear Rev csatornáknak
- (d) A RevL és RevR effekt csatornák hangját routoljuk a Front Rev Channel Group-ba (megfelelően balra, illetve jobbra panorámázva)<sup>1</sup>
- (e) A RevSL és RevSR csatornák hangját routoljuk a Rear Rev Channel Group-ba (megfelelően balra, illetve jobbra panorámázva)
- (f) A RevL, RevR, RevSL és RevSR csatornákra egyenként állítsunk be egy-egy zengetőt (Channel strip Insert) azonos paraméterekkel
- (g) Hallgassuk meg annak a hatását, ha a Front/Rear Rev zengető Group Channelek arányát változtatjuk

### 3. Gitár + Vokál (1 Stereo + 1 mono csatorna) hangfelvétel panorámázása

- (a) Illesszük be egy új projektebe 3 külön sávra a GuitarL, GuitarR és a Vocal csatornákat egyidejűleg
- (b) Az egyes sávokhoz tartozó surround panoráma szabályzóval hozzunk létre többféle keverést
  - i. Vokál a Center csatornában, Gitár bal és jobb oldalon,
  - ii. majd hozzuk közelebb (a Surround tér közepe felé) a vokál, illetve a gitár hangját
  - iii. Helyezzük a gitárcsatornákat a SL illetve SR csatornába, stb.
- (c) Hozzuk létre a korábbi feladat zengető csatorna struktúráját, és kísérletezzünk a zengetési arányokkal (elsősorban Front/Rear zengetett jel arány)

### 4. Beethoven zongoraverseny double MS felvétel sztereó keverés (front oldali)

- (a) Hozzunk létre egy sztereó kimeneti buszt (Left: Analog 1, Right: Analog 2)
- (b) Importáljuk be a Front, és Side fileokat: Front file egy példányban egy külön sávra, a Side file két példányban, két külön sávra, és nevezzük el a hozzájuk tartozó sávokat Front, Side+, Side- néven
- (c) A Side- sáv tartalmának fázisát az Audio Process Phase Reverse-zel invertáljuk
- (d) Hozzunk létre két Sztereó Channel Groupot, egyiket Mid, másikat Side néven
- (e) A Front sávot középre panorámázva routoljuk a Mid Channel Groupba
- (f) A Side+ sávot balra panorámázva routoljuk a Side Channel Groupba

<sup>1</sup>A CuBase bizonyos verzióiban ez a funkció nem működik megfelelően, az effekt csatornák nem routolhatóak a channel group-ba. Ekkor a (d) és (e) részfeladat nem valósítható meg a szoftverrel, a (g) feladatnál pedig külön-külön kell beállítani a négy csatornán a zengetés arányát.

- (g) a Side- sávot jobbra panorámázva routoljuk a Side Channel Groupba
  - (h) Hallgassuk meg egyenként a Solo módban a sávokat illetve a Channel Groupokat
  - (i) Ha a Side Channel Groupot elnémítjuk, akkor monó felvételt hallunk, a sztereó fantom közép irányból
  - (j) Ha bekapcsoljuk a Side Channel Groupot, és növeljük a szintjét, akkor hallható, hogy folyamatosan nyílik szélesebbre a sztereó kép. Ha a Side Channel Group szintjét a Mid Channel Group szintjén túl növeljük, akkor a sztereóbázison kívül eső virtuális források is hallhatók
5. Beethoven zongoraverseny double MS felvétel surround keverés
- (a) Hozzunk létre egy sztereó kimeneti buszt Front Stereo néven (Left: Analog 1, Right: Analog 2)
  - (b) Hozzunk létre egy sztereó kimeneti buszt Rear Stereo néven (Left: Analog 5, Right: Analog 6)
  - (c) Importáljuk be a Front, és Side fileokat a fentivel megegyező néven. Nevezzük el a sávokat Front, FrontSide+, és FrontSide- néven
  - (d) Invertáljuk a FrontSide- fázisát
  - (e) Importáljuk be a Rear, valamint ismét a Side fileokat még további három sávra
  - (f) Nevezzük el a sávokat Rear, RearSide+, és RearSide- néven
  - (g) Invertáljuk a RearSide- fázisát
  - (h) Hozzunk létre két Sztereó Channel Groupot, egyiket FrontMid, másikat FrontSide néven
  - (i) Hozzunk létre két további Sztereó Channel Groupot, egyiket RearMid, másikat RearSide néven
  - (j) Végezzük el a sztereó routolását a Front oldali sztereó sávoknak (Front Sztereó Busz kimenetre) a sztereó MS beállítás alapján
  - (k) Végezzük el a sztereó routolását a Rear oldali sztereó sávoknak (Rear Sztereó Busz kimenetre) is
  - (l) Hasonlóan a sztereó feladathoz, hallgassuk meg a Channel Groupok tartalmát Solo módban egyenként.
  - (m) A front oldali és a hátsó oldali surround sztereó kép szélessége mellett a Front és Surround csatornák arányát is állíthatjuk a Channel Groupok segítségével
  - (n) Adjuk hozzá a projekthez még egyszer a Front nevű filet, nevezzük el a sávot Center néven, és routoljuk a tartalmát közvetlenül a Center hangszóróba
  - (o) Kísérletezzünk azzal, hogy szükség van-e a FrontMid Channel Group tartalmára, vagy elég-e a Center és a FrontSide információ.
6. Beethoven zongoraverseny double MS felvétel surround keverés: Valósítsuk meg a double MS felvétel surround 5.1 leképzését csatornánkénti surround panorámázással
7. "Garázs"-video dupla M/S hangkeverés és képhang igazítás
- (a) Importáljuk be a vonatkozó fileokat, végezzük el a dupla M/S keverést, és illesszük a videót a hanghoz
  - (b) stb.