

Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem
28. számú művészet- és művelődéstörténeti tudományok besorolású
doktori iskola

A MULTIDIMENZIONÁLIS HANGSZÍNTÉR VIZSGÁLATA

SZIGETVÁRI ANDREA

DLA DOKTORI ÉRTEKEZÉS

2012

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	i
Ábrák jegyzéke	iii
Hang- és videó példák	vi
Bevezetés	vii
I. A végtelen hangzáster visszahódítása	1
I.1. Instrumentális kezdetek	6
I.1.1. A futurista lázadás	6
I.1.2. Arnold Schönberg: Farben	10
I.1.3. Edgar Varèse: A hang felszabadítása	19
I.2. Analóg elektronikus zene	32
I.2.1. A konkrét zene – Pierre Schaeffer	33
I.2.2. Elektronikus zene – Karlheinz Stockhausen	36
I.3. Számítógépes zene	43
I.3.1. Közvetlen digitális szintézis: MUSIC N programnyelvek	44
I.3.2. Jean-Claude Risset: A számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusa	47
I.3.2.1. A katalógus szerkezete	48
I.3.2.2. Hangzásjegyek kialakítása hangszeres hangok imitációjával	50
I.3.2.3. Érzéki csalódások, hallási illúziók	51
I.3.2.4. Adatredukció	53
II. A hangszínek osztályozása és a hangzásdimenziók	55
II.1. A hangszínosztályozás zeneelméleti alapjai	55
II.1.1. Pierre Schaeffer: A zenei objektumok traktátusa	55
II.1.2. Denis Smalley: Spektromorfológia	62
II.2. Multidimenziós skálázás	66
II.2.1. Harmonikus akusztikus hangszerhangok multidimenziós skálázása	69
II.2.2. A hangszíntér mint zenei vezérlő struktúra	70
II.3. Akusztikai hangzásdimenziók	73
II.3.1. A spektrum amplitúdó-arányaitól függő tulajdonságok	73
II.3.1.1. A spektrum fényessége vagy élessége	75
II.3.1.2. A spektrum burkológörbéjének egyenetlenségei	77
II.3.2. Az összetevők frekvencia-arányaitól függő tulajdonságok	79
II.3.2.1. Harmonicitás-inharmonicitás-zaj skála	79
II.3.2.2. A harmonikus spektrum jellemzői	82
II.3.2.3. Az inharmonikus spektrum jellemzői	84
II.3.2.4. A zaj	87
II.3.3. A hangszín időben változó tulajdonságai	88
II.3.3.1. Az amplitúdó-burkológörbe	89
II.3.3.2. A spektrális fluktuáció	90
II.4. Kvalitatív dimenziók	92
II.4.1. Szemantikai differenciál skálák	93
II.4.2. Szortírozás, csoportosítás és a dendrogram reprezentáció	96
II.4.3. Szókészlet	98
III. A redukált hangszíntér	106
III.1. A redukált hangszíntér meghatározása	107
III.2. A dimenziók kialakításának szempontjai	108
III.2.1. Percepció csomópontok	108

III.2.2.	Hangszínkategóriák és a kategorikus percepció szerepe	111
III.2.3.	Hangzásdimenziók formateremtő képessége	115
III.3.	A redukció típusai	121
III.3.1.	A dimenziók fajtája	121
III.3.2.	A dimenziók száma	122
III.3.3.	Konstans és dinamikus dimenziók elkülönítése	122
III.3.4.	Dimenziók kiterjedése	123
III.3.5.	Lépések száma/mérete	124
III.3.6.	Lépések közti távolság	125
III.3.7.	Percepció-szempontúság	125
III.4.	Redukált hangszíntér kialakítása	128
III.4.1.	Hipotetikus redukált hangszíntér szerkezete	128
III.4.2.	Hangszintézis-, hangátalakítás-technikák tulajdonságai	130
III.4.2.1.	Hangfelvétel, -átalakítás	131
III.4.2.2.	Hullámformaismétlés	132
III.4.2.3.	Additív szintézis	137
III.4.2.4.	AM/RM	140
III.4.2.5.	FM	144
III.4.2.6.	Szubtraktív szintézis	149
III.4.2.7.	Granuláris szintézis	152
IV.	Redukált hangszínterek gyakorlati alkalmazásai	158
IV.1.	John Chowning Turenas c. művének mintaanalízise az új terminológia segítségével	158
IV.1.1.	A Turenas hangszíntérének vizsgálata	160
IV.1.1.1.	A darabban előforduló hangzástípusok leírása	160
IV.1.1.2.	A darab redukált hangszíntérének dimenziói	163
IV.1.1.3.	A Turenas hangzástípusainak elhelyezése a hangszíntérben	173
IV.1.2.	A mű elemzése	174
IV.1.2.1.	Szerkezet	174
IV.1.2.2.	I. rész: az alapanyagok bemutatása	175
IV.1.2.3.	II. rész: variációk hangmagasság-, hangszín- és térmozgás-transzformációkra	179
IV.1.2.4.	III. rész: Visszatérés, coda	187
IV.2.	CT - valós idejű audiovízió megvalósítása redukált hangszínterekben	189
IV.2.1.	Jelenidejű, interaktív, jelenidejű rendszer	189
IV.2.2.	Kép és hang kölcsönös átértelmeződése	191
IV.2.3.	CT-projektleírás	194
IV.2.4.	A CT-t realizáló interaktív hangszer leírása	197
IV.2.5.	Hangszíntereken belüli mozgások kialakítása	206
V.	Összefoglalás	217
	Bibliográfia	221
	Függelék	230

Ábrák jegyzéke

I-1. ábra: Wishart három dimenziós zenei rácsa	3
I-2. ábra: Russolo: Risveglio di una citta c. művének kottaképe	8
I-3. ábra: Schönberg Farben c. művének referencia-akkordja	11
I-4. ábra: Schönberg Farben c. művét nyitó akkordmenet érdekességértékei	12
I-5. ábra: Schönberg Farben c. művének 1-3. ütemében szereplő hangszer-kombinációk érdekességértékei	13
I-6. ábra: Arnold Schönberg Farben c. művének 18-23. üteme. Részlet Burkhard elemzéséből.	14
I-7. ábra: Arnold Schönberg Farben c. művének 7-9. üteme.	16
I-8. ábra: Varèse: Intégrales - tömegek kijelölése a 6-13. ütemben	25
I-9. ábra: Varèse: Intégrales - összeolvadás a 19. ütemben	30
I-10. ábra: Risset hangkatalógusának elemei (teljes lista)	49
I-11. ábra: Risset hangkatalógusának elemei (kiválogatott lista)	50
I-12. ábra: Risset harangpélda	53
II-1. ábra: Schaeffer 4 hallási funkciója	56
II-2. ábra: Schaeffer Traktátusának klasszifikációs rendszere	58
II-3. ábra: Multidimenzionális skálázás folyamatábrája	68
II-4. ábra: Grey háromdimenziós hangszíntere	69
II-5. ábra: Wessel kétdimenziós hangszíntere	71
II-6. ábra: Hangmagasságok dallammá olvadása - teszt kottapéldája	72
II-7. ábra: Spektrum spektrális súlypontja	75
II-8. ábra: Az élesség és a kritikus sávok összefüggése	76
II-9. ábra: Spektrális egyenetlenség	77
II-10. ábra: Rezonanciahely a spektrumban	78
II-11. ábra: Smalley harmonicitás-zaj skálája	79
II-12. ábra: Tristimulus diagram	83
II-13. ábra: Páros és páratlan összetevők aránya	84
II-14. ábra: Majdnem harmonikus hang spektruma	85
II-15. ábra: Elszórtan elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező inharmonikus hang	86
II-16. ábra: Sűrűn elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező inharmonikus hang	86
II-17. ábra: Zérusátmenetek száma és a zajosság összefüggése	88
II-18. ábra: Amplitúdó-burkológörbe	89
II-19. ábra: Dinamikai változások archetípusai Smalley spektromorfológiájában	90
II-20. ábra: Példák a Bismarck-féle szemantikai differenciál skála jelzőpárjaira	94
II-21. ábra: Szemantikai profil adatai táblázat formájában	95

II-22. ábra: Szemantikai profil vizualizációja kör alakú vonaldiagrammal	95
II-23. ábra: Szemantikai profil vizualizációja vonaldiagrammal	96
II-24. ábra: Dendogram kialakításának folyamata	97
II-25. ábra: Hangszerhangok osztályozása dendogram segítségével	98
II-26. ábra: Pedersen hangleíró kifejezéseinek csoportosítása	101
III-1. ábra: Érdesség a frekvenciaarányok függvényében	108
III-2. ábra: Kategorikus percepció teszt pengetés és vonás azonosításával	113
III-3. ábra: Kategorikus percepció teszt impulzussorok összehasonlításával	114
III-4a. ábra: „A” magánhangzó granulálását és szűrését bemutató hangszintér 1.	122
III-4b. ábra: „A” magánhangzó granulálását és szűrését bemutató hangszintér 2.	123
III-5. ábra: Folyamatos átmenet képzése akkord- és hangszínérzet között	124
III-6. ábra: Érzékelési szakadozottság ábrázolása hangszintérben	125
III-7. ábra: Hangszerhangok közötti interpolációt reprezentáló hangszintér	126
III-8. ábra: Redukált hangszintér szerkezete	128
III-9. ábra: Hangparaméterek együttes vezérlése mátrix segítségével	129
III-10. ábra: Fuvola hangjának hullámforma-reprezentációja	132
III-11. ábra: Hullámforma-ismétlés: szinuszhullám létrehozása	133
III-12. ábra: Hullámforma-ismétlés: háromszöghullám létrehozása	133
III-13. ábra: Hullámforma-ismétlés: szinuszok összeadása	134
III-14. ábra: Hullámforma-ismétlés: előre rögzített forma elkülönítése	135
III-15. ábra: Hullámforma-ismétlés: periódus izolálásának „hibája”	135
III-16. ábra: Hullámforma-ismétlés: periódus rajzolása	136
III-17. ábra: Amplitúdó-burkológörbe töréspontjai	137
III-18. ábra: Trombitahang szonogram-analízise	138
III-19. ábra: Additív szintézis szoftver főablaka	139
III-20. ábra: Amplitúdó-moduláció folyamatábrája	140
III-21. ábra: Amplitúdó-moduláció spektruma	141
III-22. ábra: Amplitúdó-moduláció szintézis szoftver főablaka	142
III-23. ábra: Frekvencia-moduláció folyamatábrája	144
III-24. ábra: Frekvencia-moduláció spektruma	145
III-25. ábra: Visszaverődő frekvenciák a frekvencia-moduláció spektrumában	145
III-26. ábra: Formánsok képzése frekvencia-modulációval	146
III-27. ábra: Frekvencia-moduláció szintézis szoftver főablaka	148
III-28. ábra: Szubtraktív szintézis szoftver főablaka	150
III-29. ábra: Hangszíndimenziók kombinációja	151
III-30. ábra: Granuláris szintézis hangszemcséje	153
III-31. ábra: Granuláris szintézis szoftver főablaka	156

IV-1. ábra: Chowning: Turenas - grafikus kotta	161
IV-2. ábra: Chowning: Turenas - hangzástudajdonságok táblázata	164
IV-3. ábra: Chowning: Turenas - ütött hangok amplitúdó-burkológörbéi	168
IV-4. ábra: Chowning: Turenas - 0:27 - 0:33 sec. szakasz szonogram-analízise	170
IV-5. ábra: Chowning: Turenas - hangzástípusok dimenzióértékei	172
IV-6. ábra: Chowning: Turenas - T1+H1 hangszíntereinek profilja	173
IV-7. ábra: Chowning: Turenas - 3 szerkezeti felosztás összehasonlítása	174
IV-8. ábra: Chowning: Turenas - szerkezet	175
IV-9. ábra: Chowning: Turenas - PK1+PK2+G1 hangszíntereinek profilja	176
IV-10. ábra: Chowning: Turenas - térbeni mozgások	177
IV-11. ábra: Chowning: Turenas - 1:28 - 1:35 szakasz szonogram-analízise	178
IV-12. ábra: Chowning: Turenas - hangszíntertranszformáció G1, PK2 és H1 között	179
IV-13. ábra: Chowning: Turenas - T1+H1+H2 hangszíntereinek profilja	180
IV-14. ábra: Chowning: Turenas - T1+T2+T3 hangszíntereinek profilja	181
IV-15. ábra: Chowning: Turenas - témák összehasonlítása	182
IV-16. ábra: Chowning: Turenas - RT-k hangszíntereinek profilja	184
IV-17. ábra: Chowning: Turenas - hangszíntertranszformáció RT-k között	185
IV-18. ábra: Chowning: Turenas - PK1+PK4+PK7 hangszíntereinek profilja	186
IV-19. ábra: Chowning: Turenas - témák összehasonlítása	187
IV-20. ábra: Chowning: Turenas - G1+G2 hangszíntereinek profilja	188
IV-21. ábra: Interaktív rendszer struktúrájának megfogalmazásai	190
IV-22. ábra: Interaktív rendszer felépítése	191
IV-23. ábra: CT komputer-tomográf animáció képzése	195
IV-24. ábra: CT képkockák	196
IV-25. ábra: CT animáció grafikus partitúrája	198
IV-26. ábra: CT animáció képkockáit irányító szoftver főablaka	199
IV-27. ábra: CT animáció elemzésének adatai	200
IV-28. ábra: CT hangszínterét realizáló szoftver főablaka	201
IV-29. ábra: CT-t realizáló szoftver 1 szólamának szerkezete	203
IV-30. ábra: Az áttérképezés szerkezete a CT-ben	204
IV-31. ábra: Az áttérképezést végző mátrix a CT-t realizáló szoftverben	205
IV-32. ábra: CT hangzásdimenzióinak vezérlőtáblája 1.	208
IV-33. ábra: CT hangzásdimenzióinak vezérlőtáblája 2.	208
IV-34. ábra: CT hangszíntereinek összehasonlítása táblázatban	210
IV-35. ábra: CT hangszíntereinek összehasonlítása szonogramokkal	211
IV-36. ábra: CT hangszíntereinek összehasonlítása vonalas diagramokkal	212
IV-37. ábra: CT animációjának első 500 frame-je	213

Hang- és videópéldák

Hang01: CT egy szólamú szakasz kiindulási hangja, női suttogás	209
Hang02: CT: statikus granuláris hangszövet	210
Video01: CT: dinamikus granuláris hangszövet 1. videóvezérléssel.	214
Video02: CT: dinamikus granuláris hangszövet 2. videóvezérléssel	214
Video03: CT: részletek a műből	215

A példákat a mellékelt CD tartalmazza.

I. Bevezetés

„[...] a szín vagy hangszín szerepe teljesen eltérne az esetlegestől, anekdotikustól, érzékitől illetve festőtől; az ábrázolás közvetítőjévé válna, mint a térképen szereplő különböző színek, melyek elhatárolják egymástól a különböző területeket, és melyek a forma integráns részét képezik.”¹
(Edgard Varèse)

Az ember által érzékelt hangzások száma elvileg korlátlan. A fül és az elme közreműködésével feldolgozott, végtelenül finom felbontású frekvencia-, idő- és dinamika-tartományon belül létrejövő kombinációk mennyisége végtelen. Az evolúció során az emberi tudat különböző stratégiákat alakított ki, hogy a végtelenül komplex információt rendezze, osztályozza, aminek következtében lehetővé vált, hogy az ember a hallás segítségével is tájékozódjon környezetében, reagáljon rá, és kommunikáljon vele. A környezet hangjainak felismerése, az azonosságok és különbözőségek skálázása, a hangforrások helyzetének meghatározása máig alapvető feltétele a túlélésnek. A hangadás-hallás interakció az emberek egymás közötti kommunikációjának is elengedhetetlen feltétele mind a beszéd, mind a zene kialakulásának szempontjából. Míg a beszédben – részben a biológiai adottságok miatt – állandónak tekinthető az információ-közlés alapjául szolgáló hangzások halmaza, addig a zenében megfigyelhető, hogy folyamatos változásban van, hogy az érzékelt hangzások mely osztályait részesítjük előnyben, és tartjuk a zenei folyamat hangzó alapanyagának.

Ez a változás robbanásszerűen felgyorsult a XX. században. A zenei alapanyag rohamos bővülésével néhány évtized alatt kialakult egy új zenei „szókészlet”, melyben elvesztették kitüntetett szerepüket az ún. elsődleges zenei paraméterek, a hangmagasság, a hangosság és az idő, és a hangszín is a zenei forma integráns részét képező tulajdonsággá vált. A hangszín azonban lényegesen bonyolultabb paraméter, mint az eddig használtak, hiszen sokdimenziós és meghatározhatatlan – elvileg végtelen – kiterjedésű. A zene hangzó tere túlnőtt az euklideszi geometria szabályain, miután meghatározhatatlan számú dimenzióval bővült. Az elvileg végtelen hangszintér megnyílásával egy jól ismert, de bizonyos szempontból teljesen feltáratlan terület strukturálása, értelmezése vette kezdetét. A hangszínről egyrészt elmondható, hogy jól ismert, hiszen egyes hangszínosztályok

¹ Varèse, E. - Wen-Chung, C. (1966), 12. old.

esetében (például beszéd) az emberi hallás rendkívül finom, mondhatni virtuóz megkülönböztetési képességről tesz tanúságot. Másrésről viszont látható, hogy a hangszínről tárolt ismereteink rendkívül hiányosak: nincs leíró fogalmi rendszer, amit a hangforrások megnevezésén kívül segítségül lehetne hívni a hangszín-tulajdonságok osztályozásakor. A hangzás-tulajdonságok közül egyedül a hangmagasság és a ritmus rendelkezik jól fejlett fogalmi apparátussal, hiszen kategorizálásuk, rendszerbe foglalásuk a nyugati zenetörténet első nagy szakaszában rendkívüli fontossággal bírt. Ez a folyamat természetesen nem mesterségesen elkülönített eleméleti tevékenység volt, hanem a mindennapi gyakorlatra reagálva alakultak ki a később rögzített szabályok.

A jól definiált alapanyaggal, világos szabályokkal rendelkező, hagyományos zeneelmélet felől a hangszín, ez a meghatározhatatlan tulajdonságokkal rendelkező, sokdimenziós folytonosság furcsa, átláthatatlan ködnek tűnhet. A megfelelő tájékozódás feltétele a multidimenziós hangszíntérben az osztályozás, a rendszerezés és a strukturálás.

Dolgozatom célja annak bemutatása, hogy a kibővült hangzás-dimenziókon alapuló elektroakusztikus zene kezdetei óta eltelt időben milyen mértékig sikerült feltárni és rendszerezni a hangszín-tulajdonságokat, milyen módszerekkel lehet tájékozódni, irányító szerepet betölteni a „hangszínködben”. Ennek érdekében tanulmányoztam, melyek a hangszín eddig megismert legfontosabb dimenziói, milyen szerepük lehet a zenei forma létrehozásában, hogyan lehet jól felismerhető, transzformálható hangszínmotívumokat létrehozni. Megpróbáltam feltárni, milyen azonosságok és különbségek mutathatóak ki a hagyományos zenei paraméterek és a hangszíntulajdonságok között, mi mozgatja például az oldás-feszültséget a hangszínelapú zenében? Vizsgáltam, hogy milyen mértékben lehet bevonni az új zene elméletébe az egzakt módon tudományos akusztikai törvényeket, pszichoakusztikai tapasztalatokat.

A téma kifejtése érdekében bemutatom az első úttörő kísérleteket, amelyek nagy hatással voltak a hangszíntér strukturálásának későbbi irányaira, a ma érvényes hangszíntér-kutatási eredményeket, saját redukált hangszíntér elméletemet, az új terminológia alkalmazásával készített elektronikus zenei mintaanalízist, valamint redukált hangszíntér segítségével komponált és realizált művemet.

Az I. fejezetben, mely A végtelen hangzástér visszahódítása címet viseli, a hagyományos zenét irányító paraméterek és szerkezetek kritikáján keresztül

rámutatok, milyen nagy a hangzástérben a parlagon heverő terület, mely kihasználatlan maradt az elsődleges zenei paraméterek bemerevedésével párhuzamosan. Ezután azoknak a zeneszerzőknek és felfedezőknak a kutatásait és darabjait írom le, akik nem csupán elsőként járultak hozzá, hogy az elvesztett hangzástulajdonságok újra a zene szolgálatába álljanak, hanem munkáikban már a hangszínalapú zene kezdeti szakaszában törekedtek a hangzástér rendezésére is próbálva strukturálni zenei kompozíció, akusztikai, pszichoakusztikai törvények vagy technológiai fejlesztések formájában az új teret.

Először azokat mutatom be, akik még az elektronikus zenei hangszerek kialakulása előtt vagy azzal párhuzamosan, akusztikus hangszerekre komponálva valószínűsítették meg az új hangzásokkal kapcsolatos elképzeléseiket. Ezen a helyen a futuristák, Arnold Schönberg és Edgard Varèse elméletei fejtegetéseit és darabjait írom le, és elemzem abból a szempontból, hogy hogyan képzeltek az új dimenziók meghatározását, osztályozását, skálázását. Ezt követően az analóg elektroakusztikus zenei stúdiók kialakulását meghatározó, két jelentős zeneszerző-egyéniség, Pierre Schaeffer és Karlheinz Stockhausen elméleti és zenei munkáit analízálom. A fejezet utolsó részében Max Matthews és Jean-Claude Risset kutatásai alapján tárgyalom, hogy hogyan befolyásolta a számítógép megjelenése a hangzásokról rendelkezésre álló tudást.

A II. fejezet – A hangszínek osztályozása és a hangzásdimenziók – áttekinti a hangszínosztályozás és a multidimenzionális hangszíntér kérdéseivel foglalkozó zeneelméleti, akusztikai és pszichoakusztikai kutatások eredményeit, majd felsorolja azokat a hangzásdimenziókat, amelyeket zenei szempontból relevánsnak tartottam, és amelyeket alkalmaztam általam létrehozott hangszínterek leírásához és kezeléséhez. Ebben a fejezetben tárgyalom részletesen Pierre Schaeffernek a zenei objektumokról, Denis Smalley-nak a spektromorfológiáról, John Grey-nek és David Wesselnek pedig a multidimenzionális hangszíntéréről szóló, alapvető jelentőségű tanulmányait.

A hangzásdimenziók tárgyalásakor két nagy csoportot különböztettem meg: az akusztikai (kvantitatív) dimenziókat és a szemantikai (kvalitatív) dimenziókat. Az akusztikai dimenziók a precíz, aprólékos, matematikai alaposságú ismereteket reprezentálják, a szemantikai skálák pedig a hagyományos zenéhez talán közelebb álló, intuitív, érzéki gondolkodást.

A III. fejezetben bevezettem és definiáltam a redukált hangszíntér fogalmát, mely az elvileg végtelen, multidimenzionális hangszíntér korlátozott számú és

kiterjedésű érzékelési dimenzióját tartalmazó hangszínmátrix. A redukció feltételeit vizsgálva meghatároztam, melyek a kritériumai annak, hogy a hangszíndimenziók formateremtő képességgel rendelkezzenek, és leírtam hipotetikus redukált hangszíntér létrehozásának feltételeit. Az elvi konstrukció létrehozásával azt vizsgáltam, ki lehet-e olyan módszert dolgozni, melynek segítségével hatékonyan lehet navigálni a hangszíntérben akár meglévő elektroakusztikus zenei művek elemzése, akár új kompozíciók létrehozása céljából.

A IV. fejezetben a redukált hangszínterek gyakorlati alkalmazásait vizsgáltam. A koncepció segítségével elemeztem John Chowning Turenas című művét, és leírtam CT című audiovizuális darabom komponálásának folyamatát és redukált hangszínteret mintázó interaktív zenei szoftverét.

I. A végtelen hangzástér visszahódítása

A XX. században végbemenő gyors átalakulást megelőzően lassan fejlődött, és évszázadokra bemerevedett a zene alkotóelemeit és viszonyait meghatározó konvenció. A XVI-XVII. századtól máig érvényes kottakép jól tükrözi a nyugati zene elsődleges paramétereinek, a hangmagasságnak és az időnek diszkrét egységekre történő bontását. A reneszánsz kortól új lendületre kapó hangszerfejlesztés kiszolgálta illetve megerősítette az így kialakult zenei paraméter-szerkezetet. Az ideális hangszer állandó, kiegyenlített hangszínnel rendelkezik, és képes a kottában lejegyzett diszkrét hangmagasság-pontok pontos intonálására. Segítségével általánossá vált a gyakorlat, miszerint a zene legkisebb alkotóeleme a kottában lejegyezhető, állandó hangmagasságú, állandó hangszínű hangjegy.

Trevor Wishart a hangmagasságok, ritmusegységek és a hangszerek által előállított hangszínek diszkrét pontjait rácsként jeleníti meg:

„A zenét ennél fogva egy három dimenziós rácson belül zajló folyamatnak tekinthetjük. A három dimenzió diszkrét hangmagasság-szintekből, diszkrét időtartam értékekből és diszkrét hangszínobjektumokból tevődik össze.”²

Figyelemre méltó, hogy Wishart a „rács” szót használja, mely az egyenlő felosztáson túl utal a fogság, bezártság érzésére is. A zenei eszköztár fejlődését és bemerevedését végigtekintve felismerhető, hogyan válnak korláttá az idő előrehaladtával azok a megoldások, melyek egykor a zene felszabadulását, kiteljesedését segítették.

A háromdimenziós rácspan – a kottaképnek megfelelően – a vízszintes (x) tengelyen található az idő felosztása, a ritmusértékek. A tradicionális lejegyzés az idő lineáris felosztásán alapul. Az élő zenei előadás természetesen lényegesen árnyaltabb felosztásokat tartalmaz, mint a kottaképben egyszerűen rögzíthető ritmusértékek. A kottakép a hagyományos hangszeres zene korában egyfajta idealizációnak tekinthető, amely az interpretáció során komoly eltéréseket is megenged az előadónak.

Az analitikus notáció követelményrendszerének azonban nagyon erős hatása van a ritmusról kialakult gondolkodás bemerevedésére, amely jól megfigyelhető a modern kori tánczene fejlődésén-egyszerűsödésén keresztül, melyet jól modelleznek a kommersz digitális zeneszerkesztő programok. A zenét nemcsak lejegyző, hanem

² Wishart, T. (1996), 25. old.

meg is szólaltató piacvezető szekvenszer-, dob gép- és hangeditáló-programok ritmikus alapját a szigorúan értelmezett, pontosan végrehajtott, hagyományos időbeni felosztás képi. Ezekben a szoftverekben a „humanizálás” vagy dekvantálás csak komoly erőfeszítéssel valósítható meg.

A rács függőleges tengelyén a hangmagasságok helyezkednek el. A nyugati zenében általánossá vált rendszer az oktáv 12 egyenlő egységre történő osztása. Az első dokumentált hangmagasságrendszert Püthagorasz írta le. 7 fokú skáláját és a ma használatos 12 fokú kiegyenlített hangolást másfél évezred választja el egymástól. Európában még a középkorban is Püthagorasz hangmagasságviszonyai voltak az általánosak, a nagy változás a reneszánsz korban kezdődött, amikor bevezetésre került a kromatika, és a 7 fok 12-re egészült ki, valamint kialakult a középhangú temperálás. Ekkor a hangmagasság-rácspontok még nem voltak egymástól egyenlő távolságra, hiszen érvényben maradtak az akusztikai szempontból tiszta hangközök, ami azt okozta, hogy az egyes hangnemek nem voltak egyforma hatásúak. A későbbiekben a modulációs fejlesztés igénye elvezetett a XIX. században véglegesített kiegyenlített hangoláshoz, amely korlátlan teret nyitott a modulációnak. Az élő előadásban természetesen itt is vannak eltérések a kottában lejegyzett értékektől, az egyenletes temperálás esetén is fontos interpretációs eszköz a portamento, a vibrató vagy az alul- és felülintonálás. Ezzel együtt a hangmagasság paraméter esetén már a hagyományos hangszeres zenében is tetten érhető az értékek bemerevedése. A rácspontok közötti mozgást nem minden hangszeren lehet végrehajtani. Egyes fúvós és a billentyűs hangszerek pontos intonációját megkönnyítő technológiai fejlődés az előállított hang hajlékonyságának rovására megy. A legszélsőségesebb példa erre a zongora, amelynek billentyűzete, ahogyan Wishart írja, „a zene rács-alapú nézőpontjának szempontjából a racionalizálás legutolsó lépését reprezentálja”³.

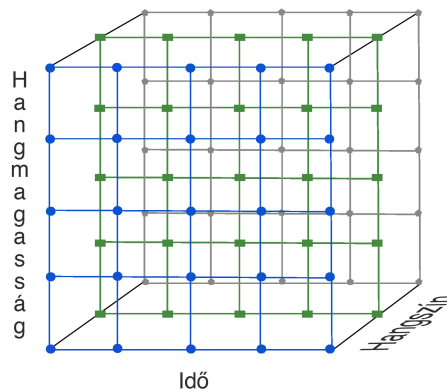
A rács harmadik dimenzióját a hagyományos zenekarban szereplő hangszertípusok foglalják el. A hangszínosztályokat ugyan nem lehet egy dimenzió skálázni, de kimutatható, hogy a zenei gyakorlatban használt hangszerek – hasonlóan az előző paraméterekhez – véges számú diszkrét pont segítségével reprezentálhatóak a végtelen hangzástartományt szimbolizáló rácson. A hagyományos akusztikus hangszerek kialakítása segítette a rács-alapú paraméter-elkülönülést. A törekvés, hogy egy hangszeren belül hasonló hangszínű, pontos intonálású hangmagasságokat

³ Wishart, T. (1996), 29. old.

lehessen létrehozni, hozzájárult, hogy „érzékelési fúzió”⁴ jöjjön létre, azaz a hangmagasságok közös folyamattá, dallammá álljanak össze. Az egyes hangszerek közötti hangszínekülönbségek biztosítják, hogy polifon mozgások esetén is azonosíthatóak legyenek az egyes szólamok.

A modern zenekari hangszerek egy része fizikai szempontból alkalmas különféle hangszínek keltésére. A hagyományos kompozíciós gyakorlat azonban azt mutatja, hogy a zenei szerkezet és forma szempontjából ez a rugalmasság egyáltalán nem meghatározó, hiszen a hagyományos repertoárnak szinte minden darabja előadható és felismerhető zongoraátírat formájában, azon a hangszeren, amelyen „a hangszín rögzített, a hangmagasságok semmilyen elhajlásra nem képesek, a fiziológia egy ponton teszi lehetővé a kontaktust a hang-objektummal a hang kezdetekor, ami után már nincs hatása a hangzás belső morfológiájára”.⁵

A háromdimenziós rács által kirajzolt kockában elhelyezkedő pontok (lásd I-1. ábra) jól szemléltetik, milyen kis hányadát használja a hagyományos hangszeres zene az akusztikus környezetben rendelkezésre álló hangoknak.



I-1. ábra

Még abban az esetben is, ha feltételezzük, hogy a paraméterek koordinátáinak helyzete idealizált, és a gyakorlatban nem csak egy értéket vehetnek fel, hanem az élő zenének megfelelően nagyobb területeket fednek le, szembeötlő a „parlagon heverő” fehér foltok és a „megművelt területek” mérete közötti különbség. A rácsponthoz belül kirajzolódó köbös kockák, téglatestek és kombinációik a különböző hangszereken játszott hangjegyek közötti területeket reprezentálják. Az ábra nem tartalmazza az egyes hangszerosztályok hangszíndimenzióit, amely hatványozottan

⁴ McAdams, S. (1984), 21-26. old.

⁵ Wishart, T. (1996), 29. old.

növelné az üresen maradó térfogatot, sem pedig a zenéléshez addig egyáltalán nem alkalmazott „nem zenei”, zajos, környezeti hangokat.

A nyugati műzenét jóval megelőző időkben számos példát lehet találni a diszkrét rácsponatok közötti területeket kitöltő paraméter-értékekre, melyek a zenei jelentés fontos hordozói. Ezekben az időkben és kultúrákban a hangszeres zene még szoros kapcsolatban állt a környező világgal, és gyakran merített inspirációt a természetből. Az ausztrál didgeridoo például egy folyamatos alaphangra épülő spektrum változtatásával hoz létre különböző ritmusképletek szerint harmonikus formánsváltozásokat és hirtelen, környezeti zörejekkel teli szöveteket. A rendkívül összetett, a szinuszosan puha hangoktól a fehérzajig terjedő színezetek előállítására képes japán shakuhachi is szoros kapcsolatot mutat a természet és az élővilág hangzaival. Ahogyan Blasdel írja:

„Az olyan hangszerek, mint a shakuhachi, lehetővé teszik számunkra, hogy élő kapcsolatban maradjunk a természetes hangokkal. Az olyan előadói technikák, mint a *muraiki* vagy a *tamane*, a természeti hangokból erednek, forrásaik a szél és a madárikoltások.”⁶

Időben és térben távol a nyugat-európai zene fejlődésétől, a hangszíneket, zörejeket beépítő praxisokat tekintve kiindulásként, elképzelhető olyan forgatókönyv, amely szerint a hangszerépítés valamint a kompozíciós és előadói technikák a végtelen hangszíntér egyéb területeit tárják fel, fejlesztik tovább, és teremtenek benne rendszert. Egy ilyen szisztémában egyes hangszíndimenziók és kombinációik lényegesen nagyobb szerepet kaptak volna, és a mai tudat számára felfoghatatlan struktúrák alkotnák a zene alapját. Bizonyára megvan az oka, hogy miért éppen a hangmagasság-, a ritmus- és a hangszeres hangszínpontok állandósultak először a nyugati zenében, és hogy miért nem lehet tetszőleges sorrendben kijelölni, milyen irányok mikor válnak kitüntetettek a hangzástérben.

A XX. század elején érkezett el az a fejlettségi szint, amikor a több mint ezer év alatt, egyes zenei potenciálok felszabadítása érdekében bemerevedett struktúra sokak számára kimerülni látszott. Ennek következtében a végtelen hangzástér régi/új területeinek birtokbavétele és átrendezése szükségessé vált. A struktúra újratervezésének érdekében ekkor lehetett visszatérni a kiindulási ponthoz, ahol még létezett az összes hangzásdimenzió ígérete.

⁶ Blasdel, C. Y., Kamisangô Y. (1988), 66. old.

A kiinduláshoz való visszatérés részben a végtelen hangzástér visszahódítását is jelenti. A végtelen értelmezhetetlen fogalom, beláthatatlan, ködös tér, a tájékozódáshoz ki kell jelölni irányokat, ha fel akarjuk fedezni egyes területeit. A hangzásparaméterek új rendszerének kialakítása a XX. században nagy lendületet kapott, melynek következtében még nem teljesen világosan ugyan, de már látjuk és halljuk, milyen irányokban halad a nagy technológiai változások után formálódó zene. A fejezetben azokat az úttörő, kezdeti lépéseket írom le, amelyek egyszerre próbáltak visszatérni a végtelen hangzástér fogalmához, és kijelöltek tendenciákat, amelyek a mai napig meghatározzák a hangszíndimenziók felhasználását az új zenei kompozíciókban.

I.1. Instrumentális kezdetek

A technológiai változások már az új hangszerek, hangzások feltételeinek létrejötte előtt hatással voltak a zene alakulására. A mindennapok hangkörnyezetét folyamatosan átalakító, a csendtől a zajok irányába mutató eltolódás nagy szerepet játszhatott abban, hogy az elektronikus hangszerek kialakulásával párhuzamosan jelentkezett a változás igénye az akusztikus eszköztárat alkalmazó zenében is.

I.1.1. A futurista lázadás

A zenei hangzástartomány egyes területeinek visszahódításában nagy szerepük volt az olasz futurista művészeknek. Ők lázadtak fel először és leghangosabban a tradicionális zenei intézmények és az általuk képviselt hangzásideál ellen, és követelték más, erőteljesebb, zajosabb minőségek megszólaltatását. Balilla Pratella zeneszerző fogalmazta meg Marinetti Futurista kiáltványa után két évvel a Futurista zenészek kiáltványát, melyben erőteljes kritikával illette az olasz zenei életet:

„A vegetáló iskolák, konzervatóriumok és akadémiák csapdaként működnek mind a fiatalság, mind pedig a művészet számára. Az impotencia eme melegágyaiban mesterek és professzorok, illusztris fogyatékosok állandósítják a tradíciót, és levernek minden erőfeszítést, ami a zenei terület kiszélesítésére vonatkozik.”⁷

Pratella később egy újfajta, a hangzó univerzumot megjelenítő zenekarról értekezik, mely képes környezetünk hangjainak visszaadására, tükrözi a természet erőit, magáévá teszi a tömegek, nagy ipari üzemek, járművek zenei lelkét. Az általános megfogalmazás után 1913-ban egy futurista festő, Luigi Russolo pontosította a célokat A zajok művészete című írásában:

„A zenei hangoknak túl korlátozott a hangszíne. A legkomplicáltabb zenekaroknak is csak 4-5 fajta, hangszínben lényegesen eltérő osztálya van: vonósok, pengetett hangszerek, fafúvók, rézfúvók és ütők. [...] Ki kell törnünk a tisztán zenei hangoknak ebből a szűk köréből és a zajos hangok végtelen variációját kell felhasználni!”⁸

Russolo esszéje a XX. századi zeneesztétika egyik legfontosabb írása, amely komoly befolyással volt az utána következő zenészekre, művészekre. Figyelemre méltó, ahogyan kategorizálja a hangzástereket, a hangokat, a számára kevésnek bizonyuló zenekari hangzásokat és a kíváncsnak tekintett zajokat. Fontos számára,

⁷ Pratella, B. (1910)

⁸ Russolo, L. (2008), 11. old.

hogy azonnal rendet teremtsen az új hangzások között. A futurista „zenekar” zajos hangzásait 6 kategóriába sorolja, melyek leírására főleg hangutánzó szavakat és különböző hangforrások és az azokat megszólaltató gesztusok kifejezéseit használja:⁹

- 1) dörgések, robbanások, sistergések, durranások
- 2) sípolások, sziszegések, pöfékelések
- 3) suttogások, morgások, motyogások, dörmögések, bugyogások
- 4) csikorgások, nyikorgások, zörgések, zúgások, ropogások, kaparások
- 5) fémek, fák, bőrök, kövek, edények ütügetéséből származó zajok
- 6) állatok és emberek hangjai, kiáltások, sikítások, rikoltások, jajveszékelések, huhogások, vonítások, halálhörgés, zokogások

Az osztályozást számos kritikával lehetne illetni. Vitatható a kategóriák mennyisége, támadhatók a leírás következetlenségei (például hangutánzó szavak-gesztusok) vagy a nyilvánvaló átfedések. Ennél azonban fontosabb, hogy észrevegyük, milyen nagy területet milyen nyelvi gazdagsággal ír le a szerző. Közel 100 évvel később, a kiterjedt elektroakusztikai gyakorlat korában, számos pszichoakusztikai jelenség megismerése után is az egyik legnagyobb probléma maradt a megfelelő nyelvezet kialakítása a hangszíndimenziók területén.

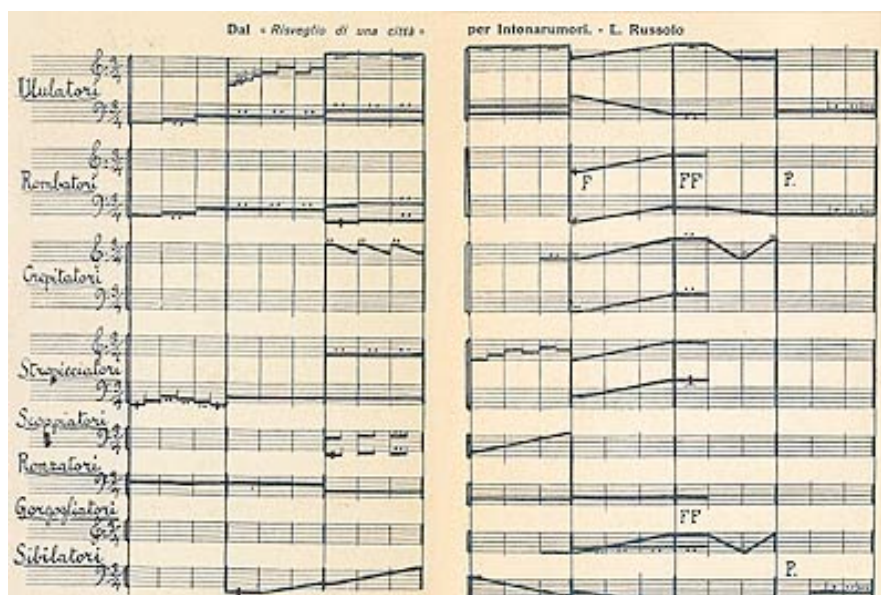
Komolyabb kritikát érdemel a módszer, ahogyan Russolo a zajok irányítását képzei. Véleménye szerint minden zaj rendelkezik egy elsődleges hangmagassággal (esetleg többel), ami dominál a hangzásban. Egyetlen ötlete a hangszínek szabályozására ennek a hangmagasságnak a változtatása. Természetesen figyelembe kell vennünk, hogy a futuristák, elektronikus hangszerek hiányában, csak mechanikai szerkezeteket tudtak felhasználni, így némileg érthető, hogy nehézségekbe ütközött más hangszíndimenziók vezérlésének még az elképzelése is. Russolo azonban előrevetíti azt az időt is, amikor többféle zajt többféle módon lehet majd kontrollálni:

„A zajok variációja végtelen. Ha ma, mondjuk ezer különböző géppel rendelkezve, ezer különböző zaj között tudunk különbséget tenni, holnap, az új gépek megsokszorozásával képesek leszünk megkülönböztetni tíz-, húsz- vagy harmincezer különféle zajt, nemcsak imitációval, hanem kedvünk szerinti kombinációikkal is.”¹⁰

⁹ Russolo, L. (2008), 13. old.

¹⁰ I. m., 14. old.

Pratella kiáltványait és Russolo esszéjét tettek követték: a futurista zenészek létrehozták első hangszerüket, az intonarumorit. Az intonarumori (zaj intonáló) egy fadoboz, melyhez fémtölcsér van erősítve. Belsejében bél vagy fémhúr és egy mozgásba hozható fém- vagy fakerék található, ami rezgésbe hozza húrt. A húr hangmagasságát a kerék forgatásával illetve feszességének egy emelővel történő állításával lehet változtatni. A fakerék különböző alakú lehet, ettől függ, milyen gyakran illetve milyen erővel ér a húrhoz. Sokféle intonarumori készült, hangzásuk szerint osztályokba sorolták őket, például: Gracitadore (brekegő), Crepitatore (törő), Stroppiccitatore (csiszatólő), Scoppiatore (repedő), Sibilatore (füttyölő), Gorgogliatore (bugyogó), Uluatore (huhogó), Ronzatore (zümmögő).



I-2. ábra¹¹

Amint az elnevezésekből kiderül, a különféle intonarumorik különböző típusú zajos hangzásokat bocsátottak ki magukból. A két vezérelhető paraméter, a forgás sebessége és a húr feszessége valószínűleg három hangzásdimenziót tudott változtatni: a szemcséesség mértékét, a hangmagasságot és a fényességet. Russolo fontos újtásnak tartotta, hogy bármilyen hangmagasság előállítható, és folyamatos glisszandók is létrehozhatóak a hangszeren. A lejegyzéshez külön írásmódot fejlesztett ki, amit „enharmonikus” notációnak nevezett. Russolo Risveglio di una citta című, intonarumorikra írott darabjának kottaképe tükrözi a hangszer

¹¹ Saggini, V. (2004).

vezérlésének hiányosságait. Az *I-2. ábrán* látható, hogy az egyes szólamokon belül valójában csak a hangmagasság változik.

Russoloék több koncertet adtak Európában a '10-es és a '20-as években, leírásaik szerint több mint 30000 ember hallotta a jövő zenéjét, köztük Edgar Varèse is, akire nagy hatással volt az új hangszer.

Az olasz futuristák hangos elképzeléseiket (robbanások, dörgések) igen korlátozott mértékben valósították meg a gyakorlatban. Előadásaik a civilizált színház- illetve koncerttermek falai között maradtak. Nem maradt el azonban a korszak nagyot szóló bruitista „durranása”: a szovjet Arsenij Avraamov megírja, és a bakui kikötőben elő is adják Gyári szirénák szimfóniája című művét. A hatalmas kórusra, ködkürtökre, a teljes Szovjet Kaszpi-tengeri Flotillára, két üteg tüzérségi fegyverre, egy teljes, géppuskákat is felvonultató gyalogos ezredre, hidroplánokra és Baku összes gyári szirénájára írt mű fináléjában gőzgép fűtyülte az Internacionálét és a Marseillaise-t zajos teherautók kíséretével. A műről, a politikai áthallások ellenére elmondható, hogy teljes mértékben birtokba vette a hangzó teret.

Mind Avraamov műve, mind pedig az olasz futuristák zajgépei első állomásnak tekinthetők az új hangzások irányításához vezető úton. A felhasznált „hangszerek” és a mechanikus vezérlés egyszerű természetéből következően a létrejövő hanganyag nyers, megmunkálatlan, a különféle zajok szó szerint manifesztálódnak a szerzők művészetpolitikai és tisztán politikai szándékainak megfelelően. A „zenén kívüli” világ éppen csak bevonult az eszköztárba, értelmezése még nélkülözi az absztrahálás finomságait, de a környezeti hangok komplex belső szerkezetének feltárása az új hangzások új osztályozási módszerével mindenképpen megkezdődött. Annak ellenére, hogy futurista műveket ma már csak nagyon ritkán játszanak, és a hivatalos zenetörténet is csak marginálisan foglalkozik velük, a futurista zenészek tevékenysége nagy fontossággal bír a zene és főleg a hangzások felszabadításának történetében. Jelentőségük részben koruk zeneszerzőire kifejtett hatásukban (például Varèse), de méginkább eszmerendszerükben rejlik. A kiáltványokban és A zaj művészetében leírtak nyilvánvalóan megelőzik korukat nemcsak követelésekkel, hanem az új hangszínek területén végzett elméleti feltáró munkájukkal is.

I.1.2. Arnold Schönberg: Farben

Az egyik leghíresebb és hatását tekintve máig legjelentősebb korai elmélet, ami a hangszín formateremtő alkalmazásáról szól, Arnold Schönberg hangszíndallam (Klangfarbenmelodie) teóriája. Az 1911-ben kiadott Összhangzattan befejező oladalain Schönberg túllép az akkordok fogalomkörén, és így ír a zenei paraméterekről:

„A zenei hangnak három tulajdonságát tartjuk számon: hangmagasság, hangszín, hangerő. Mostanáig a zenei hangot a három, a hangot befolyásoló dimenzió közül csak az egyikkel mértük, melyet »hangmagasságnak« nevezünk. A többi dimenzió mérésére napjainkig csak nagyon kevés próbálkozást láthattunk; az eredmények rendszerbe foglalását meg sem kísérelte senki. A hangszín, a másodlagos dimenzió értékelése így még mindig sokkal kevésbé kultivált, sokkal kevésbé szervezett állapotban van, mint a korábban említett harmóniák esztétikai elemzése...”¹²

Schönberg sorainak meghatározó jelentőséget ad, hogy nem egyszerűen új hangszíneket keres, nem a megszokott, hangmagasságközpontú paletta kibővítése a célja, hanem rögtön rendező elveket, rendszert keres az eddig felfedezetlen területen. Jóval a technológiai újítások és a pszichoakusztika térhódítása előtt megfogalmazza, hogy a zenei hangzások dimenziók mentén zajlanak, melyek közül csak egy a hangmagasság:

„(...) azt gondolom, hogy a hangmagasság a hangszínnek köszönhetően változik, s annak egyik dimenziója. Így a hangszín az elsődleges kategória, a hangmagasság egy alosztály. A hangmagasság nem más, mint a hangszín egy irányban mérve.”¹³

Zeneszerzői útkeresésének korai szakaszában szinte utópiának tűnhet elgondolása, hogy amennyiben a hangzások egy dimenziójából, a hangmagasságból jelentéssel bíró kombinációkat lehet létrehozni és érzékelni, feltételezhető, hogy a hangzás többi dimenziója is alkalmas értelmes zenei jelentések megfogalmazására:

„Ezek szerint, amennyiben a hangoknak azon színeiből, amelyeket hangmagasságként különböztetünk meg, és »dallamoknak« nevezünk, lehetséges mintázatok, a gondolati folyamatokéhoz hasonló hatásokat keltő összefüggéseket kreálni, akkor abból is kell tudnunk ilyen folyamatokat készíteni, amit egyszerűen »hangszínnek« nevezünk;

¹² Schönberg, A. (1978), 421. old.

¹³ I. h.

folyamatokat, melyek egymáshoz való viszonya pontosan olyan logika szerint működik, mint az a logika, ami a hangmagasság-dallamok esetében meglelégedést biztosít számunkra.”¹⁴

Schönberg nemcsak elméletben fogalmazta meg forradalmi elképzeléseit. Már az Összhangzattan kiadása előtt, 1909-ben, az Öt zenekari darab, Op. 16 III. tételében kipróbálta, hogyan bővíthetőek az összhangzások szervezhető hangszíntérré. A Farben (Színek) a zenetörténet egyik ikonikus darabjává vált, mely jóval meghaladta korát. Sem Schönberg, sem kortársai nem haladtak tovább a tétel által megkezdett úton, csak évtizedekkel később találkozunk újra a hangszeres zenei hangszíntér formálásának hasonló mélységű igényével. A darab még ma is szolgálhat tanulságokkal, közelebbi vizsgálata értelmezi Schönberg fentebb idézett gondolatait.

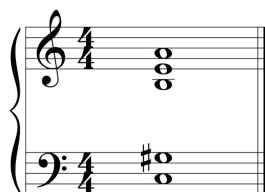
A szerző elsődleges szándékát jól érzékelteti a Farben partitúrájának lábjegyzetében megfogalmazott utasítás:

„az akkordoknak oly észrevétlenül kell követniük egymást, hogy a különböző hangszerek belépését semmi módon ne lehessen hallani, a változás csak az instrumentális szín eltolódásában legyen érzékelhető.”¹⁵

Felmerül a kérdés, vajon mit ért Schönberg az „instrumentális szín eltolódásán”, mi a különbség akkord, textúra és hangszín között. A darab hangzásszövetét két alapvető zenei paraméter, a) az akkordok változó hangmagasság-struktúrája és b) az akkordok egyes szólamaihoz variábilis módon hozzárendelt hangszerek együtthangzása irányítja. A két réteg egyes helyeken egymástól látszólag függetlenül, máshol szoros szinkronban változik.

a) Az akkordok változó hangmagasság-struktúrája

A hangmagasságok két jól elkülönülő szerkezetet alkotnak: 5 szólamú akkordok folyamatosan jelenlévő sorozata és rövid, csak ritkán megjelenő motívumok képezik az alapstruktúrát. Az I-3. ábrán olvashatóak a darabot indító referencia-akkord hangmagasságai:

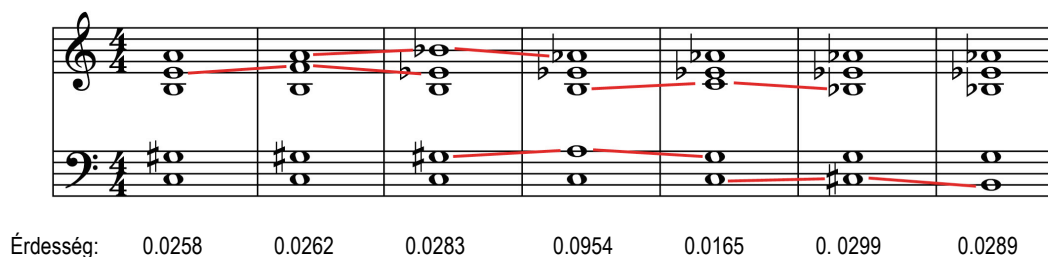


¹⁴ Schönberg, A. (1978), 421. old.

¹⁵ Schönberg, A. (1952)

I-3. ábra

Az akkordmenet finom hullámzásait a szólamok között rejtőzködő kánon biztosítja. A kánon először a 4. és 9. ütemek között jelenik meg. Funkciója az akkordok finom színezetének megváltoztatása a hangmagasság-viszonyok átrendezésével és az első akkord különböző transzpozícióinak fokozatos elérése.



I-4. ábra

A két lépésből (k2 fel, n2 le) álló kánon szűk hangterjedelmű mozgása lassú folyamatosság érzetét kelti. Az ötszólamú akkord hangterjedelme és az egyes hangmagasságok viszonylagosan egyenletes megoszlása áttetsző, világos, hol kevesebb, hol több közeli disszonanciát tartalmazó hangzást biztosít.

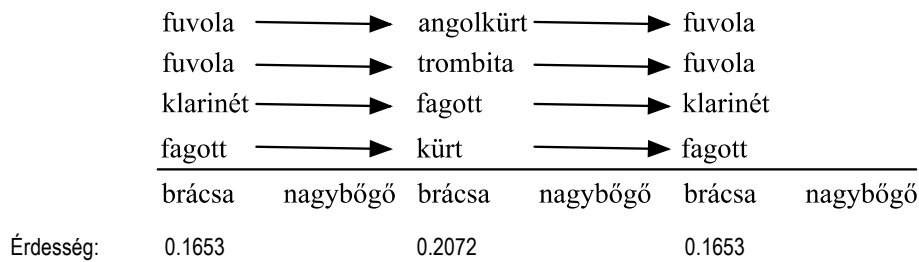
Az akkord színezete a transzpozíciók hatására finoman változik, melyet az érdelességgel¹⁶, az érzékelési konszonancia/disszonancia mértékegységével lehet leírni. A I-4. ábrán látható, hogyan alakul a szinuszhanggal modellezett akkordok érdelessége a transzpozíciók hatására. A számok szélső értékei a legkonszonánsabb (0.0165) és a legdisszonánsabb (0.0954) akkordot jelölik. Az értékek megfelelnek az akkordban található hangközök intuitív kiértékelésének: a „legsimább” akkord a c-g-c'-esz'-asz', ahol a többi akkordhoz viszonyítva csak egy igazán disszonáns különbség van (g-asz') és ez az egyetlen akkord, melyben oktáv is található. A legérdekesebb a c-a-h-esz'-asz', ahol a két nagyszeptim és a nagyszekund komoly disszonanciát okoz. A I-4. ábrán szereplő értékek lecsupaszított, összetevők nélküli szinuszakkordokra vonatkoznak. A hangszeren megszólaló akkordok lényegesen nagyobb érdelességérzetet produkálnak, hiszen a felharmonikusok közötti disszonancia-viszonyok is befolyásolják az érzetet.

b) Az akkordok egyes szólamaihoz variábilis módon hozzárendelt hangszer

A hangszerelés alapötlete szerint az egyes szólamok minden új akkord indításánál más hangszeren szólalnak meg (kivéve az első 9 ütemet, ahol két hangszerkombináció ismétlődik). Az akkordok érdelességérzete vagy színezete

¹⁶ Az érdelesség jelenségét jelen dolgozat 3.3.2.1. fejezete tárgyalja

jelentősen változik az összetevőkben gazdag hangszereknek köszönhetően. A I-5. ábra a darab első részének hangszerelését mutatja, ahol az első három ütemben még kánonmozgás nélkül, félhangnyi időtartamonként ismétlődik az első akkord (a basszus szólam negyedenként váltakozik) két hangszerkombinációban: 1. fuvola, fuvola, klarinét, fagott és váltakozó brácsa és nagybőgő, 2. angolkürt, trombita, fagott, kürt, váltakozó brácsa és nagybőgő. A felső négy szólam oda-vissza olvad a két hangszín között:



I-5. ábra

Az I-5. ábrán olvasható érdességértékek MacCallum és Eindbond méréséből¹⁷ származnak, és megmutatják, milyen mértékben változtatja meg a hangszerelés az akkord disszonanciáját, színezetét, ha nincs hangmagasságváltozás. Szoros összefüggés mutatkozik a fényesség és az érdesség paraméter között, hiszen a trombita és az angolkürt lényegesen több felharmonikust tartalmaz, mint a két fuvola. Ez lehet az oka, hogy a második akkordot feszültebbnek érezzük.

A mű negyedik ütemében elindul a I-4. ábra kottapéldáján bemutatott kánon a 9 ütemig változatlan, a I-5. ábrán feltüntetett hangszerelésben. Most az akkordok színezete a hangmagasság- és a hangszerstruktúrák érdesség-kombinációjának eredője. A 13. ütemtől folyamatosan változik az akkordok hangmagasság-szerkezete és hangszerelése is. A I-6. ábra a 18. és 23. ütem közötti szakasz változásait szemlélteti. A hangmagasságok alatti betűrövidítések az adott hangmagasságokat játszó hangszereket jelölik. Ebben az esetben a kombinációk rendkívül bonyolulttá válnak, a szerző a hangmagasság-, a harmónia- és a hangszínérzet határmezsgyéjén egyensúlyoz, a hangmagasságviszonyok és a hangszerkombinációk rendkívül összetett szervezése állandó bizonytalanságérzetet, többértelműséget sugall a hallgatónak. A változások időbeni lefolyásától függően a figyelem hol az akkordok hangmagasságtartalmára, hol pedig színezetére irányul.

¹⁷ MacCallum, J. - Einbond, A. (2007), 205. old.

I-6. ábra¹⁸

A hangszercsoportok közötti átmeneteket a szerző nyolcadhangnyi átlapolásokkal fedi el. Ez a módszer a későbbiekben a hangszínek lassú átmosásának eszközévé alakul, ahogyan a különböző hangszerek más-más kitartási idővel rendelkeznek majd.

Érdekes megfigyelní, ahogyan Schönberg a darab első részében szinte didaktikus módon adja tudtunkra művének megfejtését, ahogyan lassan, lépésről lépésre tárja fel a változó akkordok hangmagasság-változásainak és hangszereléseinak hatásait: 1) változatlan akkordok, két különböző hangszercsoport, 2) a kánon szerint változó akkordok, az első lépésben használt, két különböző hangszercsoport, 3) a kánon szerint változó akkordok a referenciaakkord transzpozícióit szolgáló lépések közbeiktatásával, állandóan változó hangszercsoportok.

Az egyre bonyolultabb szerkezet kialakításához, egyúttal a figyelemnek a hangszínek illetve hangmagasságok felé irányításához hozzájárul a változások gyakoriságának módosítása is. Általánosságban elmondható, hogy a tradicionális módszertől eltérően, ahol a hangmagasságok lényegesen gyakrabban változnak, mint a hangszerelés, itt sokkal gyorsabb a hangszerek váltakozása, mint az akkordokon belüli hangmagasságoké. Helyenként teljesen megdermednek az akkordok, ilyenkor a figyelem erőteljesebben irányul a fokozatosan átmosódó hangszínek irányába. Az

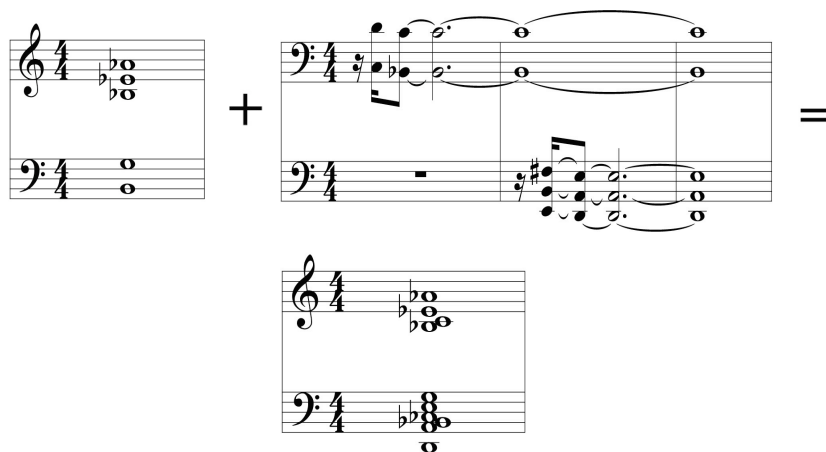
¹⁸ Burkhart, C. (1973)., Fig. 9., 159. old.

alaptempó is hullámzik, a leggyorsabb 29. ütemben végig 16-od értékenként cserélődnek a hangszerek. Ez egyúttal az egyetlen hely, ahol a hangszerelés tökéletes szinkronban mozog az akkordok változásával, a kánon minden lépésének egy új hangszercsoport felel meg. A darabnak ezen a szélsőségesnek tekinthető pontján a hangszín-hangmagasságérzet skálának azon a végén vagyunk, ahol leginkább a hangmagasság-elmozdulásokra figyelünk.

Az állandó változásban lévő akkordok statisztikai analízisét Burkhart¹⁹ végezte el számítógép segítségével elemezve a Farben hangszerkombinációit. Az eredményt egy, az összes hangmagasság-hangszerkombinációt és a hozzájuk tartozó hangszereket tartalmazó táblázat formájában, melyből az I-6. ábra mutat egy részletet. Burkhart a mű 44 üteme alatt 87, az előző akkordtól eltérő tulajdonságú struktúrát különböztet meg. A hangszercsoportok összetétele minden lépésnél más, azonban nem mind a 87 különbözik egymástól. Az analízisből kiderül, hogy egyes hangszercsoportok többször megismétlődnek, sőt sorozatot alkotnak. A szeriális komponálásnak ez a világos megnyilvánulása a 27. és a 30. ütem közé esik, ahol az egyes hangszercsoportok egymásutánjából 11 tagú sor alakul ki, ami egy rákfordítás közbeiktatásával újra megismétlődik eredeti formájában, majd egy kis szeletének bemutatásával lezárul a rész. A sor csak a hangszercsoportok szervezésére vonatkozik, a hangmagasságok ettől függetlenek, hol változatlanok, hol pedig az eredeti kánon szerint cserélődnek. Az eddig valamilyen szabályrendszerből következően véletlenszerű alakzatokká összeálló hangszercsoportok ebben a 4 ütemben kitüntetett szerepet kapnak. Felmerül a kérdés, miért volt szüksége Schönbergnek erre a sorbaállításra, mit akart kipróbálni, mit akart üzeni, milyen következtetést vont le a kísérletből. A többi 40 ütemben a hangszerek cserélődése az állandó változás, a hol világosabb, hol sötétebb, hol érdekesebb, hol simább színek létrehozásának motorja volt kimutatható irányok nélkül. A különböző mértékben hullámzó felületű szövetet szeriális szervezés nélkül is jól ki lehetett alakítani. Ráadásul nem valószínű, hogy bárki meghallja, hogy lényegi eltérés történt az eddigi kompozíciós módszertől, hiszen a függetlenül mozgó hangmagasság-változások végleg esélytelenné teszik bármilyen ismétlődés felfedezését! Talán rejtett „vízzellel” van dolgunk, netán a hangszínek szervezhetőségére vonatkozó üzenettel?

¹⁹ Burkhart, C. (1973).

Az alaphullámozást biztosító, végig következetes módszer szerint végigvitt akkordváltásokon kívül van egy más szabályrendszer szerint működő, motivikus rétege is a műnek, amely néhány esetben csatlakozik a hangszínmozgások hullámvonalaihoz. Két különálló zenei gesztust lehet elkülöníteni, egy két hangból álló, nagyszekundban ereszkedő motívumot és egy összetettebb, fürge, nagy hangközökből álló, hol emelkedő, hol ereszkedő ívet, az ún. halmotívumot. A motívumok fodrozódásokat okoznak az egyébként lassan, folyamatosan változó zenei szöveten, tagolják a művet, és az akkordmenettől eltérő hangmagasságaik folytán több helyen elszínezik a textúrát. A 7. ütemtől a 9. ütemig például a kéttagú motívum háromszor jelenik meg ereszkedő ismétlődésekkel különböző mértékű disszonáns viszonylatokat létrehozva az akkordváltásokkal. A I-7. ábrán látszik, ahogyan a második belépés kitartott hangjai és a harmadik belépés hangmagasságai összeadódnak a szakasz végén kitartott referenciaakkord fél hanggal mélyebb transzpozíciójával jelentősen növelve a hangzás édességét.



I-7. ábra

A tömör, disszonanciákkal teli akkord fokozatosan alakul ki az 5 hangú akkordból. A regiszter is változik, a motívum a mély tartomány irányába fejleszteti az akkordot, amit erősít a kontrafagotton megszólaló H. A hangszínen fokozatosan a mélyvonósok kezdenek dominálni, a motívumot harmadszor 3 bőgő játssza, majd a 10. ütemben megjelenik az eredeti akkord kisszekunddal mélyebb állásának felső 4 szólama 1 oktávval mélyebbre transzponálva csellókon. A hangzás különlegességéhez hozzájárul, hogy az akkord minden hangját C húron játszatja a szerző. Az egyes hangok kitaratási ideje különbözik egymástól, a hangszín folyamatosan változik, ahogy az egyes hangszerek abbahagyják a játékot. Az akkordfolyam lelassulása majd

megállása, a hangszín elsötétülése és fokozatos elfogyasztása zárlat érzetét biztosítja, a 11. ütemben elérkezünk az 1. rész végéhez. Fontos pont ez a zenetörténetben, hiszen Schönberg a hangszíndimenziókból funkciókat képes létrehozni anélkül, hogy szüksége lenne a hagyományos összhangzattan eszközeire.

Schönberg a *Farben* után nem ír több olyan művet, melyben a hangszíndallamnak hasonlóan fontos szerepe lenne. A zenetudomány is inkább Webernhez kapcsolja a „Klangfarbenmelodie”-t tisztázatlan jelentéseket tulajdonítva a fogalomnak. Cornicello szerint Webern és az '50-es évek szerialista zeneszerzői a fogalmat a „pointilizmus” megfelelőjeként használják, ami távol esik Schönberg elképzeléseitől²⁰. Bizonyítja ezt Schönberg (1951) írása is, melyben Webern Klangfarbenmelodie-hoz kapcsolódó elképzelését kritizálva némi betekintést nyújt a hangszíndallamok komponálására vonatkozó gondolataiba:

„Ami a Klangfarbenmelodie-t illeti, legfőképpen semmi sem igaz abból, hogy ezt a kifejezést azután találtam ki, hogy hallottam Webern Klangfarben kompozícióit. (...) Ezeket dallamoknak neveztem el, mivel a dallamokhoz hasonlóan ezeket is el kell látni egy adott formával, de saját szabályaiknak megfelelően, a saját természetükkel egyetértésben.

Emlékszem, hogy Webern jónéhányszor mutatott nekem kompozíciókat, és kitért arra, hogy "háromtagú dalformaként" kellene őket felfognom. Borzasztóan naív ötletnek tartottam, amikor ezt a Klangfarbenmelodie-re próbálta alkalmazni. A hangszínfolyamatok ugyanis biztosan más konstrukciót követelnek, mint ami a hangmagasságok vagy harmóniák folyamatához szükséges. Ezek ugyanis mindezek (hangmagasságok és harmóniák) együtt és egyúttal sajátos hangszínek is.

A Klangfarbenmelodie különleges szervezést követel, ami talán mutat némi azonosságot más zenei formákkal; de figyelembe kell venni az új faktor, a hangszínek által kijelölt követelményeket is. Egészen más formákat kell létrehozni homofóniával és ellenponttal. Az utóbbinak nem volt esélye, hogy összekösse a kontrasztáló frázisokat; de amióta a homofónia felszabadította a harmóniát az ellenpont által felállított követelményektől, új módszereket talált anyagának kidolgozására.”²¹

Sajnos nem találtam írásos formában megfogalmazott leírást arról, mit értett Schönberg a más konstrukción és az új módszereken, mint ahogyan arról sem, mennyire volt elégedett a *Farben*-nel, illetve, hogy miért nem folytatta a hangszínszervezés általa megkezdett módszerét. Egyedüli forrás a rövid mű maga,

²⁰ Cornicello, A. (2000), 11. old.

²¹ Schönberg, A. (1975), 485. old.

ennek alapján lehet csak megfogalmazni, melyek azok az újítások, amelyek forradalmian megváltoztatták a zenéről szóló felfogást, és nagymértékben hozzájárultak a hangszín emancipációjához.

Schönberg a hangszínek felé az absztrakt, hagyományos zene felől közelít. Nem kíván „zenén kívüli” elemeket beemelni a folyamatba, hangzásait a Wishart-féle merev rács metszéspontjain található elemekből hozza létre: az egyenletes hangolású 12 fokú skála, a metrikus ritmusértékek és a megszokott hangszerjárással megszólaltatott, hagyományos hangszerosztályok szolgáltatják a kiindulást. A hatás két fő dimenzió mentén váltakozik: hol az akkordszerűség, hol a színezet válik fontossá. Ezt a kétértelműséget elsősorban a tonalitás érzetének minimálisra való csökkentésével és az idő radikálisan új szervezésével éri el. Az egyes hangszíndimenziók változása sokszor funkció értékű. A lassú változások és a vele kontrasztáló, hirtelen mozgásokat létrehozó motívumok megteremtik a folyamatosság érzetét. Schönberget sok kutató a spektralisták előfutárának tartja, Topolski²² például Grisey munkásságában mutatta ki hatását.

²² Topolski, J. (2008)., 239. old.

I.1.3. Edgard Varèse: A hang felszabadítása

Edgard Varèse összegyűjtött előadásainak már a címe is arról tanúskodik, hogy a szerző számára nyomasztóan korlátozott volt a rendelkezésére álló hangzások mennyisége és minősége. Az említett előadások szövegéből az is kiderül, hogy Varèse nem egyszerűen új hangszínekre, hangmagasságokra, ritmusokra vágyott, hogy nem a zörejeket tüntette ki a hagyományosan zeneinek számító hangok rovására, hanem az akusztikus közeg által meghatározott, végtelen térben repültek gondolatai. Új zenei víziójának megfogalmazásához az építészet, a fizika, a geometria, a kémia, a geológia, a csillagászat és a térképészet metaforáit hívta segítségül. Hangtömegekről, felületekről, síkokról, irányokról, szögekről, kristályosodásról, penetrációról, transzmutációról beszélt, színes, titokzatos költői képekkel fogalmazta meg kompozíciós vágyait.

„Amikor az új hangszerek lehetővé teszik, hogy olyan zenét írjak, amelyet elképzelek, a hangtömegek mozgása, a síkok csúszása tökéletesen hallható lesz műveimben, és átveszik a lineáris ellenpont helyét. Amikor a hangtömegek összetalálkoznak, létrejön az áthatolás vagy a taszítás jelensége. Az egyes síkokon történő átalakulások kivetítődnek más síkokra, melyek eltérő sebességgel és szögben mozognak. A régi dallamkoncepció megszűnik létezni. A teljes mű dallami totalitássá válik, és úgy tud majd áradni, ahogyan a folyó áramlik.”²³

A fenti idézet a Chou Wen-Chung által szerkesztett, *A hang felszabadítása* című írásból való, mely Varèse öt előadásának szövegét jegyzi le az 1936 és 1962 közötti időszakból. Varèse tollából nem ismertek elméleti írások, így gondolatait ebből a cikkből illetve különböző riportokból ismerhetjük meg. Ezekben a szövegekben dominálnak a metaforákkal teli, anekdotikus leírások a szerző zenei ars poéticájáról, gyakorlati módszereiről, a megvalósítás mikéntjéről azonban nem találunk didaktikus kifejtést. Ennek oka részben az lehet, hogy Varèse elutasította mindenféle előre kitalált zenei rendszer használatát, és nem szívesen adott információt az általa használt processzusokról. Attól tartott, hogy ha felfedi az egyes darabokban használt metódust, egyesek azt a következtetést vonhatják le, hogy az maga a módszer.

²³ Varèse, E. - Wen-Chung, C. (1966)., 11. old.

Varèse zenei elképzeléseit megvalósult formájukban műveiből sem lehet teljességgel megismerni, hiszen élete végéig nem komponálhatott vágyainak hangszerén. Utolsó szerzői periódusában született ugyan két elektroakusztikus zenei mű, a *Poème Electronique*, és a *Déserts 3* interpolációja, melyeket elektronikus zenei stúdióban valósított meg, a rendelkezésére álló eszközökkel azonban messze nem volt elégedett. Jean-Claude Risset beszámolója²⁴ szerint Varèse az analóg stúdiót felülmúló eszközökről, a számítógépekről hitte, hogy majd képesek lesznek vágyainak megfelelően vezérelni és formálni a hangzásokat. Varèse a '60-as évek elején lelkesen üdvözölte Max Mathews első digitális hangszintézis kísérleteit a Bell Laboratóriumban, de számára már nem adatott meg, hogy a gyakorlatban is kipróbálja az új eszközt. Megvalósulatlan álmai azonban fontos inspirációul szolgáltak és szolgálnak ma is a következő generációk kutatásaihoz, műveihez. Nem véletlenül írta Pierre Boulez Varèse halálakor a következő sorokat: "Isten hozzád, Varèse, Isten hozzád! A te időd lejárt, és egyúttal elkezdődik"²⁵. Csak sejtéseink lehetnek arról, hogy időben milyen messze volt Varèse álmai hangszerétől. Valószínűleg igaza volt Risset-nek, amikor évszázadokban gondolkodott:

„Meg vagyok győződve, hogy a számítógép és a hang korszaka épp csak elkezdődött: az elkövetkező századok feladata lesz, hogy termékeny szinergiát alakítson ki az ember és új »partnere« között”²⁶

A didaktikus kifejtés hiánya, a zenei analízissel szemben táplált ellenszenv, a zenei rendszerek alkalmazásának elutasítása megnehezíti, hogy elképzeljük, milyen lett volna Varèse zenéje, ha birtokában van a tökéletes elektronikus hangszer, melynek segítségével áttételek nélkül tudta volna realizálni a képzeletében megszólaló kompozíciókat. Gondolatait és elkészült műveit egymással összevetve lehet csak értékelni, milyen szerepet játszott a zenei hangszíntér felszabadításában, melyek azok az újítások, kezdeti lépések, technikák, ami miatt a mai napig őt tartják az elektroakusztikus zenei esztétika megalkotójának.

Varèse előadásaiból kiderült, hogy számára az összes hangzásparaméter – nem temperált hangmagasság, hangszín, a zenekar lehetőségeit meghaladó dinamika, komplex ritmusok – nagy fontossággal bír, és hogy a zenét elsősorban térbeni folyamatként képzelte el. A Hoëne Wronsky által megfogalmazott zenei definíció,

²⁴ Risset, J.-C. (2004)., 28. old.

²⁵ I. h.

²⁶ I. h.

miszerint „a zene a hangban található intelligencia megtestesülése”, arra inspirálta, hogy a zenéről, mint a „térben szabadon mozgó intelligens hangokról” gondolkodjon²⁷. A mozgás érzetének megteremtéséhez a hagyományos hangzás-paramétereket kiegészítette a térbeni projekció fogalmával.

„Jelenleg három dimenzió áll rendelkezésre a zenében: horizontális (idő), vertikális (hangmagasság) és dinamikai növekedés és fogyás. Én hozzá fogom tenni a negyediket, a hangprojekciót [...], a térbeni utazás érzetét.”²⁸

Varèse esetében a tér fogalma nem az előadói tér átrendezésén alapul. Nem használ a megszokottól eltérő zenekari ültetést, és a *Poème Électronique* kivételével nem alkalmaz speciális hangosítást téreffektusok vezérlésére. Bernard²⁹ szerint instrumentális darabjaiban a teljes életmű szempontjából nagy fontossággal bíró, új jelentést kap a térbeniség, mely a darabok benső működésében rejlik. A hangzáster újfajta koncepciója magába foglalja mind a vertikális, mind a horizontális, mind pedig a mélység síkjának vezérlését. Különösen figyelemreméltó a hangzásdimenziók együttes vezérlése az elérni kívánt cél érdekében.

„A ma létező és könnyedén adaptálható technikai eszközökkel az egyes tömegek és felületek [...] jól szétválaszthatóak akusztikai elrendezés segítségével. Mi több, az említett akusztikai elrendezés lehetővé teszi az általam »intenzitászónáknak« nevezett minőségek elszeparálását. Ezeket a zónákat a különféle hangszínek és hangosságok segítségével lehetne egymástól elkülöníteni. A fizikai folyamatok segítségével az egyes zónák különféle hangszínekkel, tömegekkel és perspektívákkal jelennének meg érzékelésünk számára.”³⁰

A hangtömegek, intenzitászónák elkülönítése, mozgatása fizikai objektumok, processzusok tulajdonságaival látja el a zenei folyamatokat, melyek konstruálása az eddigiektől teljesen új hozzáállást igényel a zeneszerző részéről. Varèse meg is fogalmazta az új attitűdöt, amikor zenéjét „szervezett hang”-nak nevezte, és önmagát a ritmusok, frekvenciák és intenzitások szerzőjének aposztrofálta. Kompozíciós célját, a tér illúziójának megteremtését, karakterisztikusan elrendezett, örökös mozgásban lévő, állandóan változó hangzástömbök segítségével valósította meg. Az idézetben említett zónák elvileg kitöltik a teljes hangzásteret. Megfogalmazásukkal Varèse az

²⁷ Varèse, E. - Wen-Chung, C. (1966)., 15. old.

²⁸ I. m., 11. old.

²⁹ Bernard, J. W. (2006), 150. old.

³⁰ Varèse, E. - Wen-Chung, C. (1966)., 11. old.

első, aki tudatosan képzett átmeneteket a klasszikus zene diszkrét paraméterértékei között. Az általa vizualizált tér maga a sokdimenziós hangszíntér, melyben elvileg előidézhető az összes hangzásjelenség. Hangtömegei a hangszíntér különböző részeit foglalják el, a vezérlő paraméterek pedig a regiszter, a kiterjedés (legmélyebb-legmagasabb), a sűrűség (egy hangmagasságtól, a disszonáns klasztereken keresztül a fehérzaj hatású ütőhangszerekig) és a ritmus.

Intégrales

Varèse *Intégrales* című darabjának kezdő szakasza kiválóan alkalmas annak demonstrálására, hogyan próbálta a szerző elérni az újszerű térhatást, a hangtömegek elkülönítését és mozgatását, hiszen ahogyan saját maga írja,

„az *Intégrales* célja a térbeni projekció megvalósítása volt. A művet azért konstruáltam, hogy alkalmazzak bizonyos akusztikai eszközöket, melyek addig nem léteztek, de tudtam, hogy megvalósíthatóak, és használatba kerülnek előbb vagy utóbb”³¹

A darabban megfigyelhető, hogyan képez a szerző eltérő tulajdonságú, egymástól jól elválasztható hangtömegeket és azok variációit. A hangtömegek nem mindig határozhatóak meg objektív módon, különböző elemzők, mint Strawn³² és Wen-Chung³³, eltérően jelölik mennyiségüket, elhelyezkedésüket. A hangtömegek fogalmát Wen-Chung a következő módon definiálta:

„Úgy tűnik, a *hangtömeg* kifejezés olyan hangzásegyüttesekre utal, amelyek speciális tulajdonságokkal rendelkeznek a hangköztartalom, a regiszter, hangszín, intenzitás, felfutás, lecsengés szempontjából. A hangtömbök egy elgondolás →amely egy belső struktúra alapja« – továbbfejlesztéséből alakulnak ki a hangzó térben.”³⁴

A hangtömegek kialakulásának és további szervezésének mikéntjét Varèse a kristályosodás jelenségével illusztrálta:

„A kristályt jellemzi egy meghatározott külső forma és egy meghatározott belső struktúra. A belső struktúra a kristály alapelemén alapul, mely az atomok legkisebb, az adott anyag elrendezésével és összetételével rendelkező csoportja. Az alapelem

³¹ Strawn, J. (1978), 139. old.

³² I. m.

³³ Wen-Chung, C. (1966)

³⁴ Richardson, C. (2005), 48. old.

térformákká bővítése alakítja ki a teljes kristályt. A viszonylag korlátozott változatban található belső struktúra ellenére a kristályok külső formái végtelenek. Ez, úgy hiszem, jobban rámutat bármely magyarázathoz műveim megformálásának mikéntjére. Van egy idea, a belső struktúra alapja, amelyet kibővítünk és szétosztunk különböző formákra vagy hangcsoportokra, melyeknek alakja, iránya, sebessége állandóan változik a különféle erők vonzó és taszító hatásainak megfelelően. A mű formája ennek az interakciónak a következménye. A lehetséges zenei formák éppúgy határtalanok, mint a kristályok külső formái.”

Wen-Chung és Bernard megegyeznek abban, hogy az Intégrales fúvós hangtömegei kibonthatóak egy ideából (kristályból), még ha az alapelemet illetően el is tér a véleményük. Wen-Chung szerint az alapkristályt teljességében először a mű 10. ütemében megjelenő trombitatéma hangközszerkezete alkotja, míg Bernard véleménye az, hogy a kristály az első három hang, és a hangtömegek ennek további deriválásából származtathatóak. A mű első részében (1-23. ütem) 5 hangtömeg szerepel, melyeket egymástól a hangmagasság-regiszterek, kontrasztáló hangszínek, textúrák és ritmusok különböztetnek meg. Kezelésük jól példázza Varèse variációs technikáját, melynek segítségével megvalósítja az állandó mozgás, az élő hangzás érzetét. A szakaszt alkotó hangtömegek:

Fúvósblokkok:

- 1) a hangmagasságstruktúrát horizontálisan megjelenítő szóló, amely négy hangszeren – esz klarinét, trombita II, oboa, trombita I – szólal meg egymás után. A nyitó motívum 13-szor ismétlődik különféle variációkban. A váltakozó hangszerek és a dinamikai mozgások miatt a szóló fényesség- és hangosságváltozásai a távolodás-közeledés érzetét keltik.
- 2) az 5. ütemben megjelenő, három hangszerre – b klarinét, piccolo I, piccolo II – írt, magas regiszterű, éles a", disz", h" akkord. A hangtömb hétszer indul újra, hosszú kitarított szakaszai hasonló hosszúságú szünetekkel váltakoznak.
- 3) az 5. ütem második felében megjelenő, három hangszerre – kontrabasszus harsona, basszusharsona, tenorharsona – írt, közép-mély regiszterű, „recsegő” c, e, cisz' akkord.

Ütősblokk:

- 4) a 4. ütemben kezdődő, a teljes spektrumot kitöltő puha, zajos, „súroló” hatású, tremoló segítségével hosszan kitarított hangok, melyeket öt hangszer – tam-tam,

gong, triangulum, két cintányér – játszik. A hangtömeg ötször jelenik meg hosszú szünetekkel, eltérő időtartamokkal (legrövidebb 1 ütem, leghosszabb 5 ütem).

5) a 6. ütemben kezdődő, keményebb, ütött hangokat felvonultató komplex ritmusok. A hangtömeget játszó ütőhangszerek jól elkülöníthető hangmagasság-tartományban, jellegzetes hangszínnel szólalnak meg. Némelyikük átmenetet képez a hangmagassággal rendelkező és zajos hangok között. A hangzástömeg egy ütem kivételével állandóan jelen van egészen a 23. ütem végéig.

Az első 23 ütemben a fúvós hangtömegekben a minimálisan változó szóló dallam és a két hangtömeg hangmagassága állandónak tekinthető. Bernard „befagyasztott zenének”³⁵ nevezi ezt a technikát, ahol a lassú mozgást az együttállások váltakozásainak és az eltérő dinamikai mozgásoknak precíz, kifinomult időbeli kezelése okozza. A hangszíntér különböző felületeit elfoglaló tömegek találkozásai által a hangzástér szerkezete az időben lassan, de állandóan változik. A hangmagasság paraméter befagyasztása révén a figyelem képes jól elkülöníteni az egyes hangtömegeket. Az ütőhangszerekkel megformált tömegek lényegesen aktívabbak. Szerepük egyáltalán nem konvencionális, az állandóan változó, bonyolult ritmusok nem arra szolgálnak, hogy egyenletes lüktetésükkel tagolják a struktúrát. Szerepükről Varèse a következő módon vall:

„Az ütőhangszerek nem arra szolgálnak, hogy kijelöljék a dallami szerkezet alátámasztására szolgáló hangsúlyokat, hanem ellenkezőleg, behatolnak a hangtömegekbe, ezernyi változó, váratlan vibrálással pulzálásra készítve őket hasonlóan a látás területéhez, ahol a fénysugár áttörve a kristályprizmán többszörös létezését biztosít számukra.”³⁶

Az I-8. ábra kottapéldája a szakasz 8 ütemét (6-13.) mutatja, melyen tanulmányozható néhány módszer, melyek segítségével a szerző különböző viszonylatokat teremt az egyes hangtömegek között. A hangtömegeket különböző színek jelölik, az első hangtömeget a kék, a másodikat a piros, a harmadikat a sárga, a negyediket a zöld, az ötödiket a lila szín képviseli.

³⁵ Bernard, J. W. (2006), 151. old.

³⁶ Richardson, C. (2005), 71. old.

(1) *R* - rebord
M - membrane

9

10 poco rallent.

[1] a tempo

ptes Fl.
Hb.
mib
Cittes.
sib
Cor (fa).
ré
Trpttes.
ut
T.
B.
C.B.
Cy.s.
C.c.
C.r.
T.c.
Ctts.
Cymbs.
B.ch.
Grls.
Ch.
T.b.
Gong.
T.t.
Trgl.
Cy.ch.
Vrg.
Gr.c.

poco rallent.

[1] a tempo

a l.v.

(i) avec baguettes tambour
sur le rebord

4

12 13 14

Fl.

Fl.

Hb.

Cl.

Sib.

Cor (fa.)

Trpttes

T.

B.

C.B.

Cys.

C.c.

C.r.

T.c.

Cts.

Cymb.

B.ch.

Grls.

Ch.

T.b.

Gong.

T-t.

Trgl.

Cy.ch.

Vrg.

Gr.c.

(x) avec baguettes tambour

I-8. ábra

A kottapéldán feltüntetett 8 ütemben mind az öt, fentebb említett hangtömeg jelen van. Az első hangtömeg témáját az esz klarinétól (6-9. ütem) a trombita veszi át (10. ütem), majd visszakerül a klarinéthoz (11. ütem) és tovább vándorol az oboához (12-13.) A második és harmadik hangtömeg háromszor (6., 8-9. és 11-12. ütem) fordul elő. A negyedik hangtömeg egyszer egy ütem erejéig képviselteti magát, míg az ötödik végig jelen van.

A hangtömegek manipulálásának leírására Varèse gyakran használja a következő fogalmakat: 1) projekció, 2) interakció, 3) penetráció és transzmutáció. A kifejezések zenei megvalósítása kibontható az Intégrales elemzésével.

1) Projekció

A projekció a hangzástérben történő mozgást jelenti, amelyet a vízszintes és függőleges tengelyen a regiszterek, a sűrűségek és a hangszerelés változtatásával, a harmadik, mélységet megjelenítő tengelyen pedig a dinamika irányításával ér el a szerző.

Az első hangtömeg keskeny, a gyakori ismétlések és a kis hangközmozdulások vonalszerűre határolják területét. A klarinét és a trombita hangja a cisz' körüli regiszterben fényes, átható, ami biztosítja, hogy fúvós együttállások esetén is elkülönül a hangszínük. A dallamvonal tagolásából kiderül, hogy a hosszabb klarinétállások közé nagyobb szünet nélkül beillesztett trombita illetve oboa szakaszok célja, hogy a dallamvonal megtörése nélkül kismértékű hangszíneltolódásokat hozzon létre a fényesebb-sötétebb tengelyen. A precíz dinamikai tagolás jellegzetes kontúrral látja el a hangmagasság szempontjából statikusnak nevezhető anyagot.

A második és harmadik hangtömeg egymástól 1 oktáv és kis szext távolságra fekvő diszsonáns hármashangzatok. A hangzatok diszsonancia-foka jelentősen növekszik, ha összegezzük őket. A diszsonancia-fok növekedése, a regiszterek távolsága és a hangszínek karakterének különbözősége biztosítja elkülönülésüket egymástól, melyet erősít az időben elcsúsztatott belépés és az eltérő dinamika-kontúr. A 8-9. ütemben megfigyelhető, hogy először a második hangtömeg lép be *forte* hangsúlyos indítással, melyből négy negyed- és egy nyolcadhang alatt kell eljutnia a *pianissimo*-ig. A második hangtömeg két negyeddel később indul, *sf* hangsúllyal, ami után gyorsan *piano-forte-pianissimo* vonalat kell leírnia két negyed és egy nyolcadnyi

idő alatt. A dinamikai változások Varèse-nél a mozgást szolgálják. Sokszor a statikus hangmagasságú hangtömegek egymáshoz viszonyított dinamikai kontúrja speciális polifóniát eredményez. Jelen esetben a két jól elkülönülő hangtömeg aszinkronban lévő pulzálása, térbeni irányaik és mozgásuk sebességeinek eltérése mélységében tágítja a hangzó teret, és kijelöli, illetve beszkálazza a harmadik, „z” tengelyt, amely a hallgatótól való távolság érzetét határozza meg.

A hangprojekció, a térbeni mozgatás elérése érdekében Varèse gyakran alkalmaz egy másik technikát is, az ún. görbült hangzásokat (elsősorban hangmagasságokat), amikor a tradicionális hangszerek által biztosított, korlátozott számú lépések helyett a korlátlan folyamatosságú paraméter-értékeket használja fel hiperbola, parabola, spirál formákat leíró hangvektorokhoz. Az *Intégrales*-ban például oroszlánbőgést és fúvósglisszandókat használ kiemelt helyeken (például a 25. ütemben, ahol átmenet található az első Andantino-részből a következő, Moderato szakaszba vagy a 36., 38. ütemben, ahol tenorharsona glisszandók hallhatóak).

2) Interakció

Interakció akkor jön létre, ha két vagy több hangtömeg találkozása új minőséget eredményez. Ilyen pl. az első és a második hangtömeg egymáshoz viszonyulása a 5-6. és a 8-9. ütemben (lásd I-8. ábra). Annak ellenére, hogy az első hangtömeg vezető aisz" hangjával disszonanciát alkot a második hangtömeg piccolinak a" és h"" hangmagassága, a b klarinét disz""-ének kvintttávolsága és a hasonló hangszínkarakter miatt könnyen egy textúrává olvad össze a két hangcsoport.

A fúzió és a szétválás ezen a helyen sokkal kényesebb egyensúly kérdése, mint a második és harmadik hangtömeg együttállásakor. Az időbeni tagolásnak és a dinamikai fluktuációknak jóval nagyobb szerep jut annak kialakításában, hogy külön vagy egyben halljuk a két hangtömeget. A 6. ütemben például a textúrában felolvadó aisz"" újra előtűnik, öt nyolcaddal tovább tart, mint az őt bekebelező hangtömeg. Ezzel szemben a 9. ütemben egyszerre végződik a két hangtömeg, így a feloldódás érzete egy alkalom erejéig véglegesnek tűnik.

Más típusú összeolvadás történik a 19. ütemben (lásd I-9. ábra), amikor a szóló trombita dallamvonala az oboán folytatódik.



I-9. ábra

A trombitaszóló utolsó hangja – egy rövid, hangsúlyos forte aisz"– és az oboa szóló egyetlen kitartott, fff hangsúllyal indított aisz" hangja – egyszerre szólal meg. A jóval fényesebb trombitaindítás összeolvad a tompább, nazálisabb folytatással az oboán, miáltal új hangszín keletkezik. Az elektronikus hangszintézisnek jól ismert módszere ez, melyet Varèse, korát jóval megelőzve, hagyományos hangszerek segítségével valósít meg.

3) Penetráció, transzmutáció

A penetráció és transzmutáció a hangtömegek mélyrehatóbb egymásra hatására utal. Ilyenkor a hangtömbök együttállásakor „behatolás” történik, ami után maguk a hangtömbök is megváltoznak, és szétválás után magukon viselik a találkozás hatásait. Ezt a tömböket alkotó motívumok egyes szerkezeti elemeinek átadása okozza. Így válik lehetővé a fentebb már idézett kristályosodás folyamata, mely kevés belső szerkezetből elvileg végtelenül sok külső szerkezetet képes kreálni. Az *Intégrales*-ban a penetráció és transzmutáció a 11. ütemben (lásd I-8. ábra) észlelhető először. Itt a második és harmadik hangtömeg – melyek első alkalommal egy-egy hosszú, kitartott akkord formájában jelennek meg – időbeni tagolása változik meg az első hangtömeg hatására. A szólóban a központi hang, az aisz" ismétlése fokozatosan változó ritmusképletekkel történik. Az időben előre haladva egyre gyakrabban érzékelhető a hangsúllyal induló, kitartott hangnak egy rövid, szintén hangsúlyos hanggal történő megelőlegezése, mint például a 6. ütem klarinét- és a 10. ütem trombitaállásában. A 12., 13. ütemben a penetráció hatása eléri az ütőhangszereket is, az 5. hangtömegben egyre inkább dominálnak az ismétlődő ütések, és az első hangtömeg triola ritmusai.

Az *Intégrales* példái jól szemléltetik, hogy a Varèse alkotásaiban alkalmazott zenei eszközök messze túlmutatnak a tradicionális hangszeres zene keretein. A

„zeneszerző, hangszobrász, látnok”³⁷ több olyan jelenséggel foglalkozott műveiben, amit csak jóval később kezdett el tárgyalni a pszichoakusztika, az elektronikus illetve a számítógépes zene, mint például:

- összeolvadás, szétválasztás jelensége,
- hangzásdimenziók együttes vezérlése,
- térbeni mozgások vezérlése a hangerő és a hangszín segítségével,
- interpoláció a hangmagassággal rendelkező és a zajos hangok között,
- a teljes hangkontínuum használata az egyenlő léptékes helyett,
- hangszerek „szintetizátorként” való használata (rövid, hangsúlyos felfutás az egyik hangszeren, kitartás egy másikon esetleg folytatva egy harmadikkal).

Ahogy Wen-Chung írta: „ezek a hangszeres művek nem csupán *hangzásukban* »elektronikusak«, hanem sokkal fontosabb, hogy *konceptiójukban* »elektronikusak«”³⁸.

³⁷ Bernard, J. W. (2006)

³⁸ Wen-Chung, C. (1966), 163. old.

I.2. Analóg elektronikus zene: az első stúdiók

A XX. század első felében számos nagyon fontos elektronikus zenei hangszert találtak fel, mint például a Telhamonium, a Theremin vagy az Ondes Martenot. A hangsúly ekkor még a technikai újdonságokon volt, ezek a hangszerek nem változtatták meg alapjaiban a zenéről való gondolkodást. Cage is komoly kritikával illette a korszak hangszerkészítőit, zeneszerzőit és előadóit:

„Az elektromos hangszerek feltalálójának többsége a tizennyolcadik és tizenkilencedik századi hangszereket próbálta utánozni, miként az első automobil tervezői is a szekeret másolták le. [...] Míg Theremin a hangszert alapvetően új képességekkel ruházta fel, addig Theremin hangszerének játékosai minden tőlük telhetőt megtettek azért, hogy a hangszer úgy szóljon, mint valamelyik régi; [...] Pajzsot vontak közénk és az új hangzási tapasztalatok közé.”³⁹

Az elektronika szerepe a zenében a II. világháború után változott meg lényegesen, amikor létrejött a két legjelentősebb stúdió, 1948-ban a Francia Rádió Konkrét Zenei Kutató Csoportjának (Groupe de Recherche de Musique Concrète) előde, a Radio d'Essay Párizsban és 1951-ben a Nyugat-Német Rádió Elektronikus Zenei Stúdiója Kölnben. A stúdiók zenei irányát nagyban meghatározó egyéniségek, a hangmérnök-zeneszerző-író Pierre Schaeffer és a zeneszerző Karlheinz Stockhausen korai elektroakusztikus zenei művei és a hozzájuk fűződő elméleti írások nagy előrelépést jelentettek a zenei alapanyag bővítésében és rendszerezésében, és a mai napig komoly hatással vannak a hangzásokról alkotott fogalmainkra.

³⁹ Cage, J. (1994), 7-8. old.

I.2.1. A konkrét zene – Pierre Schaeffer

Pierre Schaeffer 1948-ban fedezte fel, hogy a hangrögzítés nem csak eredeti céljára – valamilyen esemény minél jobb minőségű rögzítésére és reprodukciójára –, hanem kreatív hangszerként is használható. A rögzítés lehetősége minden hangot potenciális zenei forrássá avatott, melyeknek alapvető tulajdonságain már a legelső, kezdetleges eszközökkel is lehetett vágással, sebesség-manipulálással változtatni.

Schaeffer először környezeti zajokkal kísérletezett, aminek az eredménye az Öt zajetűd című darab volt, melyet 1948-ban közvetített először a párizsi rádió. Az etűdök tanulmányozása – kezdetlegességük ellenére – kiváló lehetőséget teremt annak megfigyelésére, milyen módszerekkel alakította zenei anyaggá Schaeffer a mintavételezett hangokat.

Az öt rövid darab közül a második, a Vasúti etűd Schaeffer egyik első próbálkozása, hogy a zenén kívüli jelentéseket hordozó környezeti hangokból absztrakt zenei motívumokat alakítson ki. A műhöz a hangokat a szerző a Batignolles pályaudvaron gyűjtötte. A kalauz füttyét, hat gőzmozdony zakatolását, fűjtatását, sziszegését, sípolását rögzítette, melyekből zenei motívumokat szerkesztett. A kiindulási hangokból különböző módszerekkel nyert ki zenei motívumokat fokozatosan megfosztva az alapanyagot eredeti jelentésétől. Schaeffer a következő módszereket használta a felvett hangok átalakításához:

1) hangmagasságokkal rendelkező hangzásokból dallamvonalak szerkesztése

A hangmagassággal rendelkező motívumok többször visszatérnek a darab folyamán eredeti és transzponált változatban, szerepük a formaszakaszok tagolásán (lásd 0:54, 1:35, 2:14, 2:22, 2:44) túl annak bemutatása, hogyan lehet dallamkontúrok formálásával demonstrálni, hogy a környezeti hang mely elemei potenciális zenei objektumok.

2) loopok alkalmazása

Schaeffer a „loop” alkalmazását így írja le: „Különböztess meg egy elemet, hogy önmagában halld, csak a textúrájáért, anyagáért, színéért! Ismételd! Ismételd ugyanazt a hangzó részletet: már nem egy esemény többé, hanem zene.” A loop segítségével zörejekből épít ritmikus motívumokat, melyek transzformációit zajok hozzáadásával, egyes részletek elfedésével alakítja ki. A kerékmotívumnak például két variációját ismétli, először azt, amelyben világosan hallhatóak a ritmust kialakító ütött minőségek, később pedig azt a változatot, ahol a ritmust sűrűlő zajjal fedi el, csak az utolsó két ütést meghagyva az előző szerkezetből 0:22 és 0:46 között.

3) transzpozíció, editálás

A darab elején bemutatott elemek átalakított – transzponált és editált – formában is megjelennek, ami által a vonathangok eredeti jelentése teljesen elmosódik. Ilyenkor csak az emlékezet köti az egyes motívumokat az etűd első szakaszában bemutatott hangzásokhoz.

A Zajetűdök tapasztalatai alapján Schaeffer folytatta a környezeti hangok zenei szempontú vizsgálatát. Cikkét publikált Bevezetés a konkrét zenébe címmel, melyben már nem csupán a zajok kutatásáról ír, hanem a „konkrét zene” kifejezést használja. A fogalom a zenei kifejezés új módját határozza meg, mely – ellentétben az absztrakcióból, zenei notációból, kiinduló és hangzó végeredménnyel végződő hagyományos zenével – a konkrét hangokból meríti alapanyagát, kísérletezik velük, majd zenei kompozícióvá absztrahálja őket.

1952-ben A konkrét zene kutatása címmel jelentetett meg írást, mely a Pierre Henry-val közösen komponált opera, az „Orphée” realizálása közben készült. Henry az Orphée-hez olyan nagy mennyiségű hangot rögzített, ami elérte a kezelhetőség határait. Az opera realizálása közben felvetődött, hogy a sikeres munkához két kottára van szükség: egy olyanra, amelyben az elérni kívánt hangzásokot rögzítik, és egy realizációs partitúrára, mely tartalmazza azokat az elektroakusztikus manipulációkat, amelyek a fentebb említett hangzásokat előállítják. A kották elkészítése azonban problematikusnak bizonyult. Erről Schaeffer a következőket írta a cikkben:

„Hogyan lehet elképzelni előre a konkrét hang ezernyi előreláthatatlan transzformációját, és hogyan lehet választani a száz hangfelvétel közül, ha sem az osztályozás sem a notáció nincs definiálva?”⁴⁰

Schaeffer – részben az Orphée írásakor felmerülő problémák hatására – egyre inkább a kutatás és az elméleti kérdések felé fordult. A konkrét zene nyelvezetének kialakításához elkezdte katalogizálni, osztályozni a hangokat, és olyan rendszer kidolgozásához fogott, amely alkalmas minden hangzástulajdonság leírására. Eredményeit 1966-ban publikálta Zenei objektumok traktátusa (Traité des objets musicaux) címmel, melyet bővebben jelen dolgozatom II.1.1. fejezete ismertet. A traktátus a percepcióra alapuló leíró rendszer, mely feltételezi, hogy a hangszínek több dimenzióban skálázhatóak, és hogy segítségével magyarázatot lehet kapni arra, miért vezetnek bizonyos hangzások bizonyos zeneszerzői döntésekhez. A traktátusban

⁴⁰ Palombini, C. (1993), 8. old.

bevezetett fogalmak közül a redukált hallgatás, a hangzó objektum vagy a zenei objektum a lassan alakuló új elmélet szókincsének alapvető részévé váltak.

Schaeffer osztályozási rendszerének alapvető gondolatai továbbélnek az elmélet továbbfejlesztőinek – Smalley⁴¹, Wessel⁴², Wishart⁴³, Roy⁴⁴ – munkáiban, és állandó provokációt jelentenek a konkrét és akusztikus zenét más, szélesebb szempontok alapján vizsgáló zeneszerzők, zenetudósok számára, mint például Clarke⁴⁵ vagy Windsor⁴⁶.

Schaeffer szerepe az elektroakusztikus zene fejlődésében felbecsülhetetlen. Munkássága utat nyitott a korábbi, a zajokat, a környezeti hangokat, a hangszínt zenei célokra felhasználni vágyó álmok megvalósulásához, a futuristák zajokkal kapcsolatos elképzeléseinek realizálásához, Varèse új hangszerének elméleti továbbfejlesztéséhez. Windsor⁴⁷ szerint például a hangzó objektumok osztályozása Schönberg "Klangfarbenmelodie" ideájának továbbfejlesztését jelenti vezérelhető és a percepció szempontjából releváns zenei paraméterek formájában.

⁴¹ Smalley, D. (1997).

⁴² Wessel, D. (1978)

⁴³ Wishart, T. (1996)

⁴⁴ Roy, S. (2003)

⁴⁵ Clarke, E. F. (2005).

⁴⁶ Windsor, W. L. (1995).

⁴⁷ Windsor, W. L. (1995), 32. old.

I.2.2 Elektronikus zene - Karlheinz Stockhausen

A kölni elektronikus zenei stúdió megalakulása után Gottfried Michael König volt az, aki megteremtette a korai elektronikus zene technikai feltételeit, és elkezdte kialakítani nyelvezetét. Amellett, hogy hozzá kapcsolódtak a stúdióból kikerülő első jelentős darabok, technikai segítséget nyújtott a stúdióba érkező vendégzeneszerzőknek, hogy el tudják sajátítani az új technológiát. Munkájának eredményeként a stúdió nemzetközi találkozóhellyé vált, olyan zenészerzők és művészek éltek és dolgoztak Kölnben, mint Ernst Krenek, Ligeti György, Franco Evangelisti, Cornelius Cardew, Mauricio Kagel és Nam June Paik.

A kezdeti, úttörő időkben elektronikus zenének nevezték a kölni stúdióhoz köthető műfajt megkülönböztetésül a párizsi konkrét zenétől. Az elektronikus zenét komponáló szerzők kizárólag kontrollálható paraméterekkel rendelkező összetevők (pl. szinuszhullám, szűrt fehérzaj) szervezésével hozták létre műveiket. A dogmatikus hozzáállást Stockhausen munkái oldották fel, aki átjárást teremtett a konkrét és az elektronikus zene között.

Stockhausen nemcsak gyakorlati szempontból jelentett hidat a két elektroakusztikus műfaj között. Hangszínskálái segítségével korán, az 1955-56 között komponált *Gesang der Jünglinge* című darabjában eljut a szinuszhang és a komplex emberi beszéd összekötéséig. A gondos dokumentációnak köszönhetően a hangzások tudatos szervezése nyomon követhető Stockhausen első elektroakusztikus zenei munkáiban is. A művek tanulmányozásával felfedhető, melyek voltak az első lépések, amelyek elvezettek a gyakorlatban is megvalósított, hangszíndimenziók szervezését alapul vevő komponálásig.

STUDIE I-II

Stockhausen első elektronikus zenei műveit, a STUDIE I-t és a Studie II-t még kizárólag szinuszhullámokból építette fel. A szinuszhullámok frekvencia, amplitúdó és hosszúság paramétereit mindkét darabban szeriális módon szervezte.

A STUDIE I kiindulási hangzásai frekvenciasorokból tevődnek össze, melyek egymáshoz viszonyított aránya a harmonikus sor egyes hangközeit veszi alapul. A bonyolult matematikai sorok alapján kiszámolt és realizált inharmonikus „hangmixtúrák”-ból szériák alapján jön létre hangszín-kombinációk sokasága. A kérdés, hogy a paraméterek kezelésének módszere milyen típusú rendezettséget

eredményez, beszélhetünk-e hangszínskálák kialakulásáról. A szerző célját érzékelteti, amit a hangmixtúrák összetevőinek kialakításáról ír:

„A sorok kiválasztását két megfontolás határozta meg: az első a bármilyen szimmetrikus, monoton szekvenciák keletkezésének elhárítása, a második két ugyanolyan frekvenciájú vagy oktáv (1:2) távolságra lévő hang létrejöttének megakadályozása.”⁴⁸

Meglepően szerény a szándék, úgy tűnik, ez még az elektronikus zene kísérletező, szeriális korszaka, amikor a felismerés, hogy a hangszín belső struktúrája parametrizálható, felfedezés értékű volt. Erre utal a következő megjegyzés is:

„A hangszínt meghatározó tényezők elsősorban az egymással összekevert szinuszhullámok száma egy csoportban, másodsorban a hangok közötti frekvenciaarányok, és harmadsorban az összetevők amplitúdója.”

Azon túl, hogy Stockhausen ma már evidenciaként működő megállapítást közöl, érdekes a paraméterek fontosságának sorba állítása. A frekvenciaarányok és az amplitudók kevesebb jelentőséggel bírnak a szerző számára, mint az összetevők mennyisége, holott mára már bizonyított tény, hogy a hangszínkülönbségek létrehozásában mindhárom paraméter egyforma jelentőséggel bírhat. Fontos tanulsága még az idézetnek, hogy Stockhausen az egyébként rendkívül részletes leírásban nem jellemzi a különbségek milyenségét, amiből feltételezhető, hogy számára ez a darab kísérleti jelleggel bírt, és valóban az volt az elsődleges cél, hogy a keletkező hangszínskálák egymástól eltérőek legyenek. Az egyetlen minőségi kikötés, hogy a felhasznált frekvenciák abban a tartományban legyenek, ahol a frekvenciaértékek zenei hangmagasságként érzékelhetőek, ezért a darabban felhasznált összetevők 66 Hz és 1920 Hz között helyezkednek el.

Figyelemre méltó, hogy az írásban korlátozottan tűnő célok eredménye mégis egy jól működő hangszínskála. Az összetevők mennyisége a mixtúrák sűrűségét határozza meg, így jól elkülöníthetőek zajos, inharmonikus és tiszta hangmagassággal rendelkező hangcsoportok. A frekvenciák aránya, illetve a csoportban a domináns, leghangosabb összetevő elhelyezkedése különböző színezeteket teremt, illetve meghatározza a regisztert, gyakran a konkrét hangmagasságot. A burkológörbék eredményeképpen ütött és lassan kifejlődő hangszínek váltakoznak egymással. A zengetés két, egymástól jól elkülönülő felületet – elöl és hátul megszólaló hangokat –

⁴⁸ Stockhausen, K. (1996), 104. old.

képez, amely lehetővé teszi, hogy a direkt módon megszólaló szekvenciák egyes részletei echo-szerűen, elmosódott emlékeként ismétlődjenek. A két tér között elvileg nincsenek köztes lépések, azonban a különböző frekvenciájú és amplitúdójú mixtúrák helyenként eltérően reagálnak a zengetésre, ezáltal átmeneti térérzetek keletkeznek.

Stockhausen második elektronikus zenei kísérlete, a *STUDIE II* tudatosabb célokat tűz ki maga elé, ami a hangszín kezelését illeti:

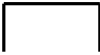
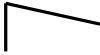
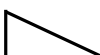
„A *STUDIE II* nem törekszik nagyon változatos vagy különösen szokatlan hangokra – ellenkezőleg, a hanganyag és formája közötti maximális egység létrehozása a cél.”⁴⁹

A hanganyag itt különböző szélességű és sűrűségű zajsávokból tevődik össze. Mivel a szerzőnek nem állt rendelkezésére megfelelő felbontású szűrőpark, a színezett zajsávokat szinuszhullámok és zengetés segítségével realizálta. Az egységes hangzás elérése céljából egyszerűsítette a frekvenciaarányokat: az egyes hangcsoportok 5 összetevőből állnak, melyek egymáshoz viszonyított aránya a mindig állandó, $\sqrt[25]{5}$ 1., 2., 3., 4. hatványa. A lehetséges frekvenciaértékek 100 Hz és 17200 Hz között helyezkednek el 81 fokú skálát alkotva. A 81 fokú skálára 193 hangmixtúrát épít a szerző, ahol az arányok következetesen a $\sqrt[25]{5}$ 1-4-ig terjedő hatványai. Attól függően, hogy a $\sqrt[25]{5}$ melyik hatványát alkalmazzuk, különböző szélességű, illetve sűrűségű klasztereket, vagy ahogyan Stockhausen nevezi, színezett zajsávokat kapunk. A $\sqrt[25]{5}$ arányra épülő mixtúrák a legsűrűbbek és a legkeskenyebbek, azaz a legmélyebb és a legmagasabb összetevő között ekkor a legkisebb a távolság. A legkeskenyebb zajsávok 1:1.29 (bő nagyterc), a legtágabb zajsávok pedig 1:3.62 (oktáv + bő kisszeptim) hangköz terjedelemben helyezkednek el. Ennek következménye, hogy a hangsáv szélességétől és regiszterétől függően más és más hangmagasságérzet keletkezik. Pszichoakusztikai kísérletek kimutatták⁵⁰, hogy ha fehér zajt sávszűrővel szűrünk, a hangmagasság érzékelésének két szélsőséges esete létezik: ha a zajsáv szélessége kisebb, mint az oktáv egyötöd része, a hangmagasságérzet a sáv középfrekvenciájától függ. A szélesebb sávok esetén a sáv két szélének hangmagasságát érzékeljük. Természetesen mindkét esetben a zajosság érzete színeződik, nem pedig helyettesítődik a hangmagasságérzettel. Amennyiben a zajsáv magasabb regiszterben található, nagyobb hangközök esetében is előfordulhat, hogy a

⁴⁹ Stockhausen, K. (1996), 123. old.

⁵⁰ Fastl, H. - Zwicker E. (2007), 125-129. old.

középfrekvencián halljuk a hangmagasságot. Mivel a STUDIE II-ben nem fehérzajt szűr a zeneszerző, hanem zengetett szinuszmixtúrákat használ, még nehezebb előre megjósolni, milyen hangszínérzeteket keltenek a különböző szélességű és regiszterű klaszterek. A mélyebb hangzások elmosódottabb, zajszerűbb érzetet adnak, a magasak élesebb, világosabb hangszínérzettel rendelkeznek. Amikor a hangcsoportok egyszerre, összekeverve szólalnak meg, összeolvadnak egymással, nem viselkednek különálló hangobjektumokként. A fentebb leírt különbségek ellenére a korlátozott számú szinuszhullámnak és a frekvenciaértékek közötti állandó aránynak köszönhetően a hangcsoportok nagyon hasonlóak egymáshoz azt az érzetet keltve, hogy közös „hangszertől”, közös forrásból származnak, egy családba tartoznak. A lecsupaszított, időbeli változásaitól megfosztott hanganyag (a realizációs partitúra segítségével egyszerűen szintetizálhatóak a hangcsoportok) statikus, mondhatni unalmas. Valódi étellel, zeneiséggel a virtuóz módon kezelt morfológiák, az amplitúdógörbék és az időbeni szervezés töltik meg őket. A szerző 5 féle dinamikai alakzatot használ, melyek erőteljesen befolyásolják a hangszínérzetet:

-  - gyors felfutás, egyenletes kitartás, gyors lecsengés
-  - gyors felfutás, csökkenő amplitúdójú kitartás, gyors lecsengés
-  - gyors felfutás, növekvő amplitúdójú kitartás, gyors lecsengés
-  - gyors felfutás, egyenletes lecsengés
-  - egyenletes felfutás, gyors lecsengés

Az alakzatokhoz tartozó időtartamok között nagy különbségek vannak (0.061sec - 1.54 sec). A rövid hangok szinte koppanásszerűen szólalnak meg, az idő rövidsége miatt nem lehet érzékelni a spektrum- illetve hangmagasság-struktúrát. Az egyes időtartamértékek közötti viszony nem metrikus, a hatás organikus, beszédszerű.

A STUDIE II hanganyaga kevés számú, korlátozott terjedelmű paraméter segítségével épül fel. Részben ennek is köszönhető, hogy a hangszínkészlet világos hangdimenzióskálák mentén helyezhető el. A zajosság, a fényesség, az élesség, a megütés mértéke egymással összefüggő, rendező skálaként működik. A darab címe nem véletlenül "Etűd", azaz tanulmány. A szerző nagy mértékben behatárolt terepen tanulmányozza az új terület, az elvileg korlátlan hangszíntartomány kezelését. Sikerül

létrehozni képlékeny, jól formálható anyagot, amely képes világosan érzékelhető, skálázható transzformációk sorozatára.

Gesang der Jünglinge

A megszerzett tapasztalatok lehetőséget biztosítottak Stockhausen számára, hogy lényegesen bonyolultabb vállalkozásba fogjon közös hangzástérben egyesítve konkrét (emberi) és szintetikus hangokat. A Gesang der Jünglinge komponálásának első időszakában Stockhausen így írt:

„[...] az elmúlt két évben (1953/54) kidolgoztam az elektronikus zene komponálásának alapvető feltételeit. Léteznek már hangzó modellek (az elektronikus STUDIE I és STUDIE II), melyek bebizonyították alapvető jelentőségüket.”⁵¹

A Gesang der Jünglinge kiindulásául az az elképzelés szolgált, hogy a szerző egyesítse a vokális hangzásokat az elektronikusan létrehozott hangokkal, melyeknek

„érzékelés szempontjából egyforma gyorsnak, hosszúnak, puhának, egyforma sűrűségűnek és összefonódottnak kell lenniük, ugyanolyan kicsi és nagy hangközökkel kell rendelkezniük, olyan differenciált hangszínekkel, amelyet csak a képzelet megkövetel felszabadulva az énekhang korlátaitól”⁵²

Ez az első olyan mű, melynek leírásában a szerző megfogalmazza, hogy az alapanyagból hangszínfolyamatot kíván komponálni, és ennek érdekében skálákat hoz létre:

„annak érdekében, hogy a beszéd szélsőségesen bonyolult fonetikus struktúráját a szeriális kompozíció feltételeinek megfelelően tudjuk használni, köztes lépésekre van szükségünk az adott fonetikai rendszer (jelen esetben német) egyes hangjai között, hogy képesek legyünk egyenletes hangszínskálákat kiválasztani a hangszínkontinuumból.”⁵³

A folyamatos hangszínskála létrehozása érdekében a beszédhangokat a szinuszhullámtól a fehérzajig terjedő szintetikus folyamatba integrálta a szerző. Az elektronikusan komponált hangzások arra szolgáltak, hogy a beszédhang-sorozatból hiányzó rokonsági fokokat pótolják. A vokális hangzások egy 12 éves fiú szöveges énekének felvételéből származnak, melyeket a szerző akusztikus tulajdonságaik

⁵¹ Stockhausen, K. (1996), 137. old.

⁵² I. m., 135. old.

⁵³ Stockhausen, K. (1996), 153. old.

alapján választott ki, és kategorizált. Hogy a beszédhang rendkívül összetett struktúrájához illeszkedni tudjanak, a szintetikus hangoknak is hasonló komplexitással kellett rendelkezniük. Ezek létrehozásához 11 alapelemet definiált Stockhausen, melyek segítségével elegendő érzékelési kapcsolatot tudott teremteni az összes elektronikus és vokális hang között: 1) szinuszhullámok, 2) periodikusan frekvencia-modulált szinuszhullámok (vibrátók), 3) véletlenszerűen frekvencia-modulált szinuszhullámok, 4) periodikusan amplitúdó-modulált szinuszhullámok (tremolók), 5) véletlenszerűen amplitúdó-modulált szinuszhullámok, 6) periodikus kombinációi a 2., 3., 4., 5. hullámoknak, 7) véletlenszerű kombinációi a 2., 3., 4., 5. hullámoknak, 8) színezett zaj változatlan sűrűséggel, 9) színezett zaj véletlenszerűen változó sűrűséggel, 10) szűrt impulzusok (kattanások) periodikus impulzus-szekvenciákból, 11) szűrt impulzusok (kattanások) véletlenszerű impulzus-szekvenciákból. A szerző a vokális és szintetikus hangokból a hangszín, hangmagasság, hangerő, hanghosszúság, amplitúdó-burkológörbék, szövegérthetőség, tér tengelyek mentén alakított ki skálákat, melyeket később szeriális technikával permutált.

Figyelemreméltó, hogy a *Gesang der Jünglinge* írásakor az egyes paraméter-tengelyek skálázása során Stockhausen lényegesebben több figyelmet szentelt a pszichoakusztika törvényeinek, mint az etűdök komponálásakor. A *STUDIE I* és a *STUDIE II* kész, formalista szerkezetre épült, míg a *Gesang* realizálásának fontos része volt a pszichoakusztikai kísérletezés, hallgatói tesztek végzése. Stockhausen erről a szemantikai (szövegérthetőség) folyamat skálázása kapcsán írt:

„Az érthetőség fokozatai természetesen nem mérhetőek precíz módon - ezek kísérletek, tesztek, kérdőívek eredményei. Különféle hallgatók reakcióit kellett vizsgálni, hiszen a minőségi érthetőség-szériáknak ez a típusa csak sok fejrázás, találgatás, feltételezés, hibás kijelentés, biztos tudás után érhető el.”⁵⁴

Az összes skálázott hangzásdimenzió szeriális módon változik a kompozíció során. A totális szerializmus szabályainak megfelelően a hangszíndimenziók, a hangmagasság, a hangerősség, a burkológörbék és a szemantikai folyamat is diszkrét, különböző sorozatokat és azok permutációit alkotó értékekkel rendelkeznek. A totális szerializmussal szemben általános kritika, hogy a zenei befogadás és értékelés óriási nehézségekbe ütközik, mivel a percepció szintjén a hang paraméterei nem

⁵⁴ Stockhausen, K. (1996), 157. old.

egyenrangúak. Egyes paraméterek elveszthetik hatásukat a hallgatáskor, így nem hozzák létre a kottában vagy koncepció formájában még szereplő formát, és a hangzó eredmény statikus káosz. Stockhausen műve esetében ez a kritika nem helytálló. A *Gesang der Jünglinge* jól érthetően teremt átmeneteket a determinált, statikus hangszínektől a folyamatos állapotváltozásokig, érthetően tagolja időben a hangzáskomplexumokat, gesztusrendszere egymással összefüggésben alkalmazza az egyes hangásdimenziók mentén történő változásokat. Ennek egyik oka a megmagyarázhatatlan zeneszerzői zsenialitáson túl az lehet, hogy a hangásdimenziók percepció alapúak, kialakításuk hallás után történt.

Stockhausen *Gesang der Jünglinge* című műve az első olyan elektroakusztikus zenei kompozíciónak tekinthető, amely tudatosan, formateremtő szándékkal alkalmazza és rendszerezi a multidimenzionális hangszíntér percepció alapú tulajdonságait. A darab hangzó alapanyaga és a hangszínjellegek szervezésének módszerei útmutatásul szolgálnak a kialakulófélben lévő elektroakusztikus zenei elmélet számára.

A kölni WDR elektronikus stúdióját sokan az utána keletkező stúdiók, mint pl. a milánói RAI 1955-ben létrehozott Fonológiai Stúdiója vagy a varsói 1957-ben alapult Experimentális Zenei Stúdió modelljének tekintenek, mivel ezek a műhelyek is hasonló eszközökkel, szinusz-, zaj- és impulzusgenerátorokkal, magnetofonokkal, szűrőkkel és zengetőkkel dolgoztak. A technikai egyezőségénél messze fontosabb következmény az új zenei gondolkodás modellje, melynek hatása nyilvánvaló a mai modern számítógépes zenében is.

I.3. Számítógépes zene

A hangszíndimenziók hatékony befolyásoláshoz nagyban hozzájárult a közvetlen digitális szintézis kifejlesztése. A digitális kódolás precizitást, stabilitást és reprodukálhatóságot hozott a hangszintézis és a hangátalakítás területére, és segítségével bármilyen hangzás előállítása reális lehetőséggé vált. A hangszín ettől kezdve precíz komponálás eredménye lehet, a mű kifejtésének középponti dimenziója, a zeneszerző érdeklődésének tárgya.

A technikai lehetőségek nagymértékű bővülése lehetővé tette, ezáltal megkövetelte a hangzások szisztematikus vizsgálatát. Az első számítógépes zenei kísérleteket követően létrejöttek a számítógépes zenei kutató központok. A kutatásoknak már korai szakaszukban központi elemévé vált a különböző hangszintézismódszerek fejlesztése és a hangzástulajdonságok pszichoakusztikai vizsgálata, amely a hangok fizikai paraméterei és változásai által okozott érzetek közötti összefüggéseket vizsgálja. Mindkét terület meghatározó jelentőségű a hangszíndimenziók vezérlése szempontjából.

A hatékony hangszintézistechnikák lehetővé tették az egyébként csak elvi szinten létező, analóg elektronikai eszközökkel addig nem realizálható hangszínek létrehozását is. A technológia mind szélesebb körű elterjedésével egyre több felhasználó kezdett el számítógéppel szerkesztett hangok fejlesztésével foglalkozni. Az egyre nagyobb mennyiségben megjelenő, új, formateremtő képességgel rendelkező hangzások az alkalmazott hangzásművészetek legkülönbözőbb területein jelentek meg (elektroakusztikus zene, elektronikus tánczene, audiovizuális alkotások, számítógépes játékok, filmzene, hangdizájn, stb.). A zenei köztudatba lassan elkezdtek beépülni az új hangszíndallamok, hangzásmotívumok, melyek egy idő után elérték azt a kritikus mennyiséget, amely lehetővé tette új zenei kategóriák megfogalmazását, és fokozatosan bővülő, közös tapasztalatokon alapuló adatbázis kialakítását a pszichoakusztikai kísérletekhez.

A végtelen hangszíntér gyakorlati, digitális feltérképezéséhez nagyban hozzájárult két úttörő munkássága: Max Matthews közvetlen digitális szintézise és Jean-Claude Risset zeneszerzői-pszichoakusztikai kutatásai.

I.3.1 Közvetlen digitális szintézis: MUSIC N programnyelvek

A digitális és számítógépes zenei innováció az analóg elektronikus zenei technológia fejlődésével párhuzamosan haladt, és már korán komoly eredményeket ért el a hangszintézis területén is. Max Matthews-nak a Bell Laboratóriumban már 1957-ben sikerült az első digitálisan szintetizált hangokat megszólaltatni az első, közvetlen digitális hangszintetizáló szoftver, a MUSIC I segítségével. A digitális szintézis során a számítógép közvetlenül számítja ki a hullámformát reprezentáló értékeket, így bármilyen hullámformát elő tud állítani anélkül, hogy fizikai rezgéseket kibocsátó rendszert kellene építeni.

A MUSIC I-et követték a szoftver újabb és újabb változatai részben Mathews, részben más programozók továbbfejlesztésében. Mathews, saját MUSIC N szoftvereinek összefoglalásaként 1968-ban publikálta a MUSIC V-ot, melynek ma is használatos, utolsó leszármazottját, a CSound-ot 1986-ban fejezte be Barry Vercoe.

Mathews felfedezésének fontosságát mutatja, hogy nagy hírű kutatóintézetek neves kutatóit közel három évtizeden keresztül foglalkoztatták a közvetlen digitális szintézist megvalósító szoftverben rejlő további lehetőségek. 1957 és 1986 között 16 új verzió keletkezett, mire elkészült a ma is használatban lévő utód, a CSound.

A MUSIC N szoftver-sorozat alapvetően meghatározta a számítógépes zene későbbi fejlődését is. Egyik legfontosabb újítása, mely fordulópontot hozott a számítógépes zene területén, az egységgenerátor (EG) fogalmának bevezetése. A számítógépes terminológia szempontjából az EG olyan makró, amely speciális funkciókat végez és egyszerű parancsokkal nagyon gyorsan behívható. Mathews ötlete, hogy a hanggeneráló algoritmusokat kisebb, jól elkülönülő blokkok, ún. egységgenerátorok segítségével építse fel, a mai napig meghatározza még a legkorszerűbb hangszintézis-programnyelvek (pl. SuperCollider, MAX/MSP) működését is.

A MUSIC V egységgenerátorai az analóg, feszültségvezérelt szintetizátorok moduljait modellezték, melyek különböző feladatok elvégzésére voltak képesek: szinuszhangokat előállító oszcillátor, amplitúdó burkológörbe, különböző típusú szűrők, stb. A fogalom bevezetése nagyban hozzájárult, hogy a számítógép az analóg zenei hangszerekhez hasonlóan működve biztosítsa a folyamatosságot az elektronikus zenei korszak után. Az így kialakult – átfogó elektronikus zenei tapasztalatokat összegző modularitás – jól általánosítható és más programnyelvekre is alkalmazható

szoftverek írását tette lehetővé, és alkalmazható napjainkban is, amikor a hangszintézis programnyelvek fejlődésével az egységgenerátorok száma jelentősen bővült.

Az egységgenerátorok segítségével létrejött modularitás átláthatóvá, jól kezelhetővé teszi a hangelőállítást vezérlő paramétereket. A fekete doboz elven működő egységek belső szerkezetét nem kell ismernie a felhasználónak, elég, ha tisztában van, hogy milyen bemeneti paraméterek milyen kimeneti jeleket produkálnak. Az egységgenerátorok egymásra épülve fejlődnek, és általánosan érvényes alapköveit jelentik az elektroakusztikus zenei elmélet hangszintézist tárgyaló fejezetének.

A fokozatosan alakuló elektronikus zenei szaknyelv is tükrözi szerepüket: egy egységgenerátor és a hozzá kapcsoló paraméterek minden szoftverben ugyanazt jelentik, ismeretük segít eligazodni az elektronikus zenei piacon nagy számban található kommersz szintetizátorok ködös fantázianevekkel kecsegtető (pl. warmth - melegség) paramétereinek között.

Mivel a MUSIC N típusú programokban a zeneszerzőnek a hangszínre vonatkozó eljárásai tárolódnak a számítógépben, ezeket a szoftvereket a hangzások számítógépes partitúrájának lehet tekinteni, mely lehetővé teszi a megfigyelő számára a hangstruktúra kompozíciós szempontból lényeges tulajdonságainak elemzését, a hangban foglalt és az azt generáló zenei idea megragadását. Így a hangszintézis szoftver olyan lejegyzési formává vált, ami – bár nagyban különbözik a hagyományos lejegyzéstől – dokumentációt biztosít a segítségével készült hangzások, kész darabok tanulmányozásához.

A közvetlen digitális szintézis korai szakaszában az ötletek, a szoftverfejlesztésben alkalmazott megoldások gazdagsága nem tükröződött a számítógéppel előállított hangok minőségén, melynek okait Mathews így foglalta össze 1963-ban:

„Jelenleg a számítógépes zenét alapvetően két faktor korlátozza: a költségek és a pszichoakusztikai ismereteink.”⁵⁵

Mathews digitális hangszintézis kutatásait a számítógép elterjedésének korai szakaszában kezdte, abban az időben, amikor számítógéphez férni sem volt egyszerű. 1994-ben így emlékszik ezekre az időkre a Wired hasábjain:

⁵⁵ Chowning, J. M. (2008), 2. old.

„a számítógépes partitúrákat lyukkártyán rögzítettük, amit csomagokban tároltunk. Ezeket elszállítottuk Manhattanbe, az IBM épületébe, ahol a pincében volt egy számítógép, amin lehetett időt bérelni (óránként 600 \$-ért!). Sorban álltunk, és amikor mi következünk, lerohantunk a lépcsőn, bedugtuk a kártyánkat a gépbe, és megnyomtuk a gombot.”⁵⁶

Figyelemre méltó, hogy Mathews ebben a korai, praktikus nehézségekkel teli szakaszban felismerte, hogy a digitális hangszintézis valódi korlátait a zenei és pszichoakusztikai ismeretek hiánya okozta. Ennek orvoslására együttműködést kezdeményezett zeneszerzőkkel, akiket megistertetett a szoftverrel, és akik különböző, zenei célú hangszintézis-feladatok tanulmányozásával járultak hozzá az új terület ismereteihez. James Tenney és Jean-Claude Risset meghívásával a Bell Laboratóriumba elsőként vezette be azt a gyakorlatot, hogy az általa kifejlesztett rendszeren képzett muzikusok végezzenek zenei kísérleteket.

A zenei kísérletek hamar eljutottak a különböző percepció alapú hangszín-skálák vizsgálatához, amint azt az alábbi, Mathews által írt kommentár is bizonyít, melyet Tenney kutatásaihoz fűzött:

„Az adatok használatával a zeneszerző olyan felfutásfüggvény-»skálát« alakíthat ki, amelynek elemei akkora távolságokra esnek egymástól, hogy figyelembe vegyék a hallgató képességeit a felfutásfüggvények közötti különbségek megállapításához.”⁵⁷

A megjegyzés jelentősége, hogy hangdimenzió-skála létrehozásáról beszél, melynek kialakításához összekapcsolja a hang fizikai adatait az érzékelt minőségekkel megmutatva, hogy a kettő között nem egyértelmű a megfelelés. Ugyanebben a cikkben felhívta a figyelmet a pszichoakusztikai kutatások fontosságára is:

„Kísérletünk megmutatta, milyen keveset tudunk a hang minőségének és a hullámforma különböző tulajdonságainak viszonyáról. Pszichoakusztikai adatok tömegére van szükség. [...]Az adatok egy részének összegyűjtése természetesen a zeneszerzők feladata, másik része pedig a pszichológusoké.”⁵⁸

⁵⁶ Johnstone, B. (1994).

⁵⁷ Mathews, M. V. (1963, 1995), 66. old.

⁵⁸ I. m., 64. old.

I.3.2 Jean-Claude Risset: A számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusa

A MUSIC N szoftvercsalád megalkotása után a legfontosabb áttörést Jean-Claude Risset kutatása jelentette a digitális hangszintézis területén. Risset 1964-1965 és 1967-1969 között végzett zenei kísérleteket Mathews meghívására a Bell Laboratóriumban, ahol hanganalízissel, -szintézissel és a hangok percepciójával foglalkozott. Kísérleteinek eredményeit A számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusa⁵⁹ című munkájában írta le. A katalógus tartalmazza a szerző által fejlesztett hangzások, zenei frázisok számítógépes algoritmusainak MUSIC V alakú folyamatábráit és kódjait, hangfelvételeiket valamint leírásokat, magyarázatokat az egyes hangszínek működéséről.

A katalógusnak több szempontból is meghatározó szerepe van a számítógépes zene kezdeti fejlődése szempontjából:

a) ez az első olyan hanggyűjtemény, amelyben a hangzások fizikai struktúrája teljes egészében megismerhető. A MUSIC V típusú jelölést ismerő felhasználók számára a folyamatábrák alapján a szintézismódszer és a változtatható paraméterek, így a hang spektruma és annak időbeni változásai könnyen feltérképezhetők.

b) a hangok szintéziséhez pszichoakusztikai szempontból közelít. Nagyrészt jól ismert, hangszeres hangok szintézisének bemutatása a célja, melyeket valós hangszerek hangjainak analízis-adatai alapján szerkeszt. A szintézis sikerességét az dönti el, hogy milyen mértékben ismerhető fel az adott hang. Nem feltétlenül a pontos imitáció, inkább hangszín-modellek kialakítása és prezentálása a cél, melyek kiindulási pontot szolgáltatnak az adott hangzástípus további vizsgálatához a szintézisadatok változtatásával, hogy kiderüljön, milyen az egyes paramétereknek az érzékelésben betöltött szerepe.

c) a tudományos igényvel felépített, fizikai, akusztikai, pszichológiai ismereteket igénylő kutatást zenei környezetbe ágyazza. A szintézissel előállított hangok zenei összefüggéseket vizsgáló etűdök formájában is bemutatásra kerülnek, így vizsgálva azok zenei működését. Risset nem összefüggéseikből kiragadott hangokkal dolgozik, egy-egy hangszíntípust különböző zenei paraméterek (hangmagasság, hanghossz) segítségével skálákba rendez, ellátja az élő játékban használatos expresszív díszítésekkel, előadói játékmódokkal (tremoló, glisszandó, vibrató), akusztikai jelenségekkel bővíti (lebegés, kórus), majd ezek alkalmazásával

⁵⁹ Risset, J.-C. (1995).

rövid frázisokat komponál. Az ízig-vérig zeneszerzői hozzáállást bizonyítja az a tény is, hogy több hangszínpélda továbbfejlesztését megtaláljuk Risset-nek a katalógussal egyidőben keletkezett és azokat követő darabjaiban is, mint pl. a Little Boy (1968), a Mutations (1969) vagy az Inharmonique (1977).

d) kiindulási alapul szolgál a hangszintézis területén felhalmozódó tudás hatékony megosztására, a kutatásban résztvevők hálózatba szervezésére. Mathews-zal együtt Risset is felismerte, hogy széleskörű együttműködésre van szükség a vadonatúj lehetőségek kiaknázása céljából, és hogy a számítógépes adatstruktúra kiválóan alkalmas a tudás egyszerű, hatékony közvetítésére. A szintézishez felhasználható számítógépes adatok, a hozzájuk fűzött magyarázatok és a hangszalagra rögzített példák együttese módszertanként is működik. Risset szándéka katalógusával

„olyan példát mutatni, amit más, a hangszintézis területén dolgozó szakemberek is követhetnek annak érdekében, hogy minél többen hasznosíthassák fejlesztéseiket, hogy ezáltal széleskörű szintetikus hangzásrepertoár jöjjön létre a hangszínek és a számítógépes zene tanulmányozására.”⁶⁰

e) komoly előrelépést jelent az elektronikus zene notációs problémáinak megoldása felé. A katalógus olyan lejegyzési formát javasol, ami, bár nagyban különbözik a hagyományos partitúrától, mások számára is dokumentációt biztosít a darabok tanulmányozásához.

I.3.2.1. A katalógus szerkezete

A katalógus 28 példát tartalmaz, melyeknek „folyamat” (run) az elnevezése. A példák számozásából kiderül, hogy Risset-nek nem lezárt, kész eredmények bemutatása a célja, hanem bővíthető, kiindulási ötleteket adó hangszintézis-programokat javasol. A katalógus elemeit felsoroló I-10. ábra táblázatában a „Risset-féle sorszámok” oszlopban látható, hogy #100 és #550 sorszámok között helyezkednek el a példák nagy kihagyásokkal, hogy – Risset megjegyzése szerint – további kiegészítéseket lehessen eszközölni logikus helyre illesztve a később keletkező hangpéldákat. A százas és tízes osztások valamiféle osztályozást sejtetnek, ami azonban nem áll össze következetes rendszerré, melynek a szerző is tudatában van:

⁶⁰ Risset, J.-C. (1995), 109. old.

„Meg kell azonban jegyezni, hogy nem próbáltuk szigorú módszer szerint osztályozni a bemutatott hangokat. A problémák ezzel kapcsolatban ijesztőek, hiszen a hangszín befogadása, úgy tűnik, nagy mennyiségű dimenzió mentén történik.”⁶¹

		Risset-féle sorszámok	
01	01	#100	fuvalaszerű dallam
02	02	#150	szeriális részlet klarinetszerű hangokkal
03	03	#200	részfúvósszerű hangok a harmonikusok független vezérlésével
04		#201	mint a #200., csak más mintavételi frekvenciával
05	04	#210	egyszerűsített részfúvós hang
06	05	#250	náddal fújt és pengetett hangok, kórus effektus
07	06	#300	lineáris és exponenciális lecsengés
08	07	#301	zongoraszerű részlet
09	08	#400	pergődob, dobszerű hangok
10	09	#410	perkusszív dobszerű és harangszerű hangok
11		#411	ua. mint a #410, csak más kombinációban
12	10	#420	gongszerű hangok
13	11	#430	harang hang 3 sorozatos megközelítése
14	12	#440	különböző magasságokra hangolt dobok glisszandóval
15		#490	keverés példa
16	13	#500	akkord spektrális analízise
17		#501	ugyanaz, mint az #500., csak más időburkolóval
18		#502	#500-ból keverés
19		#503	#501-ből keverés
20	14	#510	szirénaszerű glisszandók
21	15	#511	glisszandók, 2. részben különösen konstans frekvencia-különbséggel az egyes szólamok között
22		#512	#511-ből mix
23	16	#513	végtelen glisszandó
24	17	#514	le és felfelé is haladó hang
25	18	#515	burkoló áttétele oktávkomponensekre
26	19	#516	burkoló áttétele harmonikus és inharmonikus komponensekre
27		#517	#510 és #516 keverése
28	20	#550	ringmoduláció kórus gongszerű rezonanciával

I-10. ábra

A katalógusban nem minden példa tartalmaz új hangszintézis programot, 8 példa (#201, #411, #490, #501, #502, #503, #512, #517) az előzőleg leírt hangszínek folyamatba rendezésével létrehozott zenei etűd. Az I-10. táblázatban szürke szín jelöli azokat a példákat, ahol ismétlődnek korábban már szerepeltetett hangszínek.

⁶¹ Risset, J.-C. (1995), 114. oldal

Statikus spektrum egy hangon belül, változások a hangmagasság függvényében		
01	#100	fuvolaszerű dallam
02	#150	szeriális részlet klarinetszerű hangokkal
Amplitúdó függvényében változó hangerejű felharmonikusok		
03	#200	rézfúvósszerű hangok a harmonikusok független vezérlésével
04	#210	egyszerűsített rézfúvós hang
05	#250	náddal fújt és pengetett hangok, kórus effektus
a hang hosszától és magasságától függően változó burkológörbe		
06	#300	lineáris és exponenciális lecsengés
07	#301	zongoraszerű részlet
Zajsáv és inharmonikus spektrum változó burkológörbájű összetevőkkel		
08	#400	pergődob, dobszerű hangok
09	#410	perkusszív dobszerű és harangszerű hangok
10	#420	gongszerű hangok
11	#430	Harang hang 3 sorozatos megközelítése
12	#440	különböző magasságokra hangolt dobok glisszandóval
Érzéki csalódások/ hallási illúziók - (spektrum összeolvadása)		
13	#500	akkord spektrális analízise
14	#510	szirénaszerű glisszandók
15	#511	glisszandók, 2. részben különösen konstans frekvencia-különbséggel az egyes szólamok között
16	#513	végtelen glisszandó
17	#514	le és felfelé is haladó hang
18	#515	burkoló áttétele oktávkomponensekre
19	#516	burkoló áttétele harmonikus és inharmonikus komponensekre
20	#550	ringmoduláció kórus gongszerű rezonanciával

I-11. ábra

A I-11. ábra táblázata csak azt a 20 hangzást tartalmazza, amelyekben új, egymástól különböző szintézis-algoritmus jelenik meg. Itt látható, hogy a katalógus valójában 20 különböző hangszintézis-példát tartalmaz, melyek 2 nagy csoportra oszthatóak, a hangszeres hangokat imitáló szintézisprogramokra (#100-#440) és az érzéki csalódások, hallási illúziók vizsgálatát célzó kísérletek eredményeire (#500-#550). A #490-es (a katalógust szinte felező) példa összefoglalása a hangszeres hangokat utánzó programoknak, ami tartalmazza az addig elkészített összes hangszínt.

I.3.2.2 Hangzásjegyek kialakítása hangszeres hangok imitációja segítségével

A hangszerszerű hangzásokat 4 külön csoportba rendezte Risset: 1) fuvola és klarinét (#100-#150), 2) rézfúvós hangszerek, nádsípok, pengetett hangok (#200-#250), 3) zongora (#300-#301), 4) dobok, gongok és harangok (#400-#440). Az egyes szintézisprogramok összehasonlítása segít megérteni az osztályozás elvét, és végigvezet az érzékelés alapú hangszintézis első, legfontosabb lépésein.

Miután Mathews-hoz hasonlóan Risset-nek is tapasztalnia kellett, hogy még a jól ismert hangok szintézise is komoly problémát jelent a pszichoakusztikai tudás hiánya miatt, módszeres kutatásba kezdett hangszeres hangok imitációinak segítségével. A cél nem az volt, hogy „hangzaspótlékokat” gyártson, hanem hogy az emberi hallás által jól ismert, az emlékezetben rögzült hangforrásokkal kísérletezzon. A katalógus hangpéldáiból kiderül, hogy hangszín-imitációival azt vizsgálta, milyen tulajdonságok miatt képes az emberi elme azonosítani a hangforrásokat, melyek azok a paraméterek, amik kialakítják a forrásra utaló, a jelentős torzítást elszenvedő hangjel esetén is jól működő hangzásjellegeket, ismertetőjegyeket. Egyik legfontosabb felismerése az volt, hogy a forrás meghatározásához a fül sokkal finomabb és összetettebb megoldókulcsokat használ, mint azt addig képzelték. A I-11. ábrán az egyes csoportokat elválasztó sorokban szereplő címek összefoglalják, milyen módszerrel kísérletezett Risset az egyes hangosztályok esetén.

Risset a hangszerszerű hangzások szintetizálásával rengeteg tapasztalattal, új pszichoakusztikai információval gazdagította a digitális hangelőállításal foglalkozó zeneszerzőket, programozókat. Számára azonban az imitáció nem végső cél, hanem „erős identitással rendelkező kiindulási alap, ahonnan elindulhatunk a hangszíntérbe.”⁶²

I.3.2.3. Érzéki csalódások, hallási illúziók

Az #500-#550 között felsorolt 8 ún. hallási illúziókat keltő hangszintézispélda azt mutatja be, hogyan lehet „becsapni” az emberi fület egyszerű módszerekkel irányítva a figyelmet különböző hangzásminőségek detektálására. A példák nagy része valamilyen módon a hangösszetevő-összeolvadás érzékelését vizsgálja. Az összeolvadás vagy fúzió a komplex hangspektrum összetevőinek egy hangzásobjektummá történő csoportosítását, összegzését jelenti a fülben. Az összeolvadás teszi lehetővé, hogy valamely hangszeren (pl. oboán) játszott hangot egy hangmagasságként érzékeljünk, ne pedig harmonikus összetevőinek akkordjaként. Fontos megjegyezni, hogy a Katalógus kiadásának évében még nagyon kevés publikált információ állt rendelkezésre az összeolvadás szabályairól. A téma elismert kutatója, Stephen McAdams 1980-ban publikált először a témában, és 1984-ben írta

⁶² Risset, J.-C. (2003), 5. oldal

meg doktori disszertációját⁶³, melyben saját kísérletei alapján megfogalmazta, milyen paraméter-változások vezérlik, hogy mit érzékelünk összeolvadónak és különállónak. A fejezet legnépszerűbb, legtöbbet hallgatott hangzása valószínűleg a #513 sorszámú végtelen glisszandó, melyet Shepard⁶⁴ korábbi, félhanglépésekkel emelkedő/ereszkedő MUSIC V algoritmus alapján fejlesztett tovább Risset folyamatos glisszandóvá.

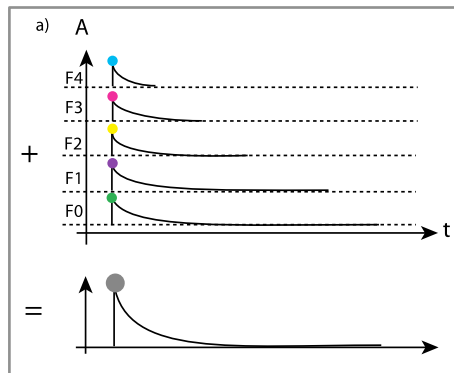
Az összeolvadás, elkülönülés jelenségét tanulmányozza az #500 példa is, melynek továbbfejlesztett változatai több Risset műben szerepelnek és számítógépes zenei iskolapéldává váltak. A szerző elnevezése – akkord spektrális analízise – arra utal, hogy van mód arra, hogy úgy változtassunk bizonyos hangparamétereket, hogy a hang összetevőit összegezve és különállóan is hallani lehessen. Risset két tulajdonság – a harmonikus viszonyok és a hangok időbeni lefutása – változtatásával vizsgálja az érzetet. Az #500 példában inharmonikus, harangszerű hangok spektrumát lassú felfutású amplitúdó-burkológörbével látja el, majd harmonikus arányokra transzponálva dallamot hoz létre úgy, hogy az új hangmagasságok belépésekor átlapolódnak a hangok. Folyékony, ereszkedő, fényes-fémes hangszövet az eredmény, helyenként érzékelhető az új hang belépése, máshol összeolvad az öt megelőzőkkel.

A példa továbbfejlesztett változata haranghang komponenseit teszi hallhatóvá, változtatja hangszíndallammá az összetevők között lévő szinkron kiiktatásával. Az eredeti haranghang különböző hosszúságú összetevőinek egyforma alakú, az ütött hangokra jellemző amplitúdó-burkológörbéje van (lásd I-12a ábra). A hirtelen felfutás szinkronizálja a burkológörbéket, ezért fülünk egy hanggá egyesíti őket annak ellenére, hogy frekvencia-arányaik inharmonikusak, és lecsengésük nem tart egyforma ideig. Az I-12b ábrán látható, mi történik, ha megváltozik a burkológörbe alakja, és a csúcspont az összetevő időtartamának felére esik. Ekkor a maximális amplitúdók különböző időpontokra esnek, az adott összetevő hangmagasságát az amplitúdócsúcsnál halljuk leginkább. A szinkron megszűnése segíti a hallgatót, hogy szeparálja az összetevőket, és a harangokat folyékony hangtextúrákként, hangszíndallamokként érzékelje. A maximális pont helyzetének változtatásával különböző ritmikájú textúrákat lehet kialakítani. Ha a csúcspont közelít a burkológörbe kezdőpontjához, el lehet jutni egy szinkronközeli szakaszhoz, ahol a hang indítása felpuhul, a kezdet bizonytalan, csúszkál, mégis harangszerű. A szakasz

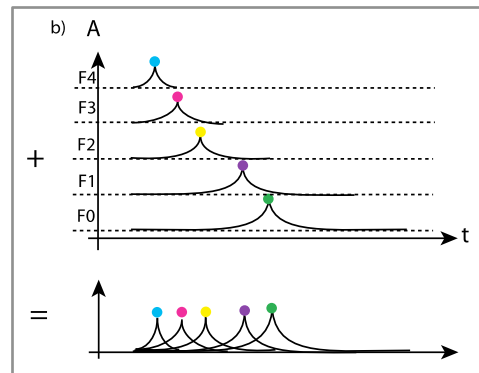
⁶³ McAdams, S. (1984).

⁶⁴ Id. Shepard, R. N. (1964).

jól skálázható dimenzió, ahol a szinkron teljes felbomlásáig különböző, a természetben nem hallható hangindításokat lehet létrehozni.



I-12a ábra



I-12b ábra

Risset harangpéldája korai esete hangszíndimenziók együttes programozásának. A frekvencia-, a hanghossz- és az amplitúdóarányok valamint a burkológörbe alakjának különböző kombinációi gazdag terepet jelentenek egymással összefüggésbe hozható, jól formálható zenei anyag gyűjtéséhez, skálázásához, formálásához.

I.3.2.4. Szintézistechnikák, adatredukció

Risset kutatásait analízis-szintézis módszerrel végezte. Az analízis esetenként csak a hullámformát érintette, gyakrabban a hangzás spektrumát. A hangspektrum elemzésének segítségével korán felismerte, hogy a korábban – elsősorban az analóg szintetizátorok esetén illetve Mathews első kísérleteiben – használatos hullámformaismétlés módszer⁶⁵ messze nem kielégítő az időben összetett módon változó hanghullámok előállítására. A trombitahanggal végzett kísérlet vezette rá, hogy az eljárás segítségével nem képes a hangszer hangját imitálni. A hangzás elemzése kimutatta, hogy a spektrum összetevői nem egyformán változnak az időben, ami nyilvánvalóvá tette, hogy újabb szintézismódszerre van szükség. A számítógépes zenei hangszintézis történetében ez volt az a pont, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy különböző hangzások különböző módszereket, hangszintézistechnikákat igényelnek.

Risset a különféle metódusok elnevezésére még nem használta a szintézistechnika kifejezést, katalógusában az „eljárás” vagy „módszer” szerepel. A katalógusban szereplő hangok előállítására négy technikát alkalmazott: 1) a

⁶⁵ konstans hullámforma periodikus ismétlése amplitúdó-burkológörbe hozzáadásával. Lásd III.4.2.2 fejezet

hullámforma-ismétlést, 2) az additív szintézist, 3) a hullámforma torzítását és 4) a ringmodulációt.

Risset kísérleteinek korában komplex szintézistechnikák esetén nagyarányú egyszerűsítéseket kellett eszközölni, hiszen ekkor még nem állt rendelkezésre olyan számítógép, ami kezelni tudott volna a természetes hangokra jellemző több ezer, időben folyamatosan változó szinuszhullámot. Az adatredukciós kísérletek fő célja az volt, hogy kiderüljön, milyen egyszerűsítésekkel lehet az egyes hangforrások felismerését biztosító hangzásjegyeket megőrizni. Risset kutatásainak köszönhetően nagy mértékben képes volt csökkenteni a hatékony szimulációhoz szükséges adatok mennyiségét olyan algoritmusok megfogalmazásával, amelyek megőrizték a forrásjegyeket (például a trombitahang fényesedését az amplitúdó növekedésével).

A percepció szempontjából legfontosabb tulajdonságok izolálása mérföldkő volt a digitális hangszintézis területén. Risset munkája demonstrálta, hogy a hallás szelektálja a hangban található komplex fizikai adathalmaz egy részét annak érdekében, hogy azonosítani tudjuk a forrást. A hangszeres hangokat imitáló szintézis tapasztalatait kiterjesztette a hangszíntér ismeretlen területeire is olyan hangzásjegyeket hozva létre (például végtelen glisszandó), melyek kizárólag a digitális szintézisnek és hangátalakításnak köszönhetően válhattak az érzékelés részévé.

II. A hangszínek osztályozása és a hangzásdimenziók

Az analóg stúdiókban komponált művek és a számítógépes zenei kutatások – elsősorban a közvetlen digitális szintézis korai tapasztalatai – felkeltették az igényt, hogy az új zene új hangzásairól bővebb ismeretek álljanak rendelkezésre. A hangszínek bevonása a kompozíciós folyamatba természetesen azt eredményezte, hogy mind a zeneelméleti, esztétikai mind pedig az akusztikai, pszichoakusztikai vizsgálódás tárgyává váljon az eddig másodlagos paraméternek számító zenei alapanyag. A zenével újra szoros kapcsolatba kerültek a kutatás, az akusztika, a matematika, fizika kifejezések, és új elektronikus és számítógépes zenei kutatóközpontok tevékenységi körében nagy hangsúlyt kapott a hangzásdimenziók vizsgálata.

A fejezetben először két, a mai napig nagy hatású és inspiráló zeneelméleti tárgyú kutatást mutatok be, majd leírást adok az inkább pszichoakusztikai szempontú multidimenzionális hangszíntér-kísérletekről, és válogatást közlök a ma rendelkezésre álló akusztikai és szemantikai hangszíndimenziókból.

II.1. A hangszínosztályozás elméleti alapjai

A hangszínek osztályozásának alapjait két zeneszerző, Pierre Schaeffer és Denis Smalley fektette le. A két munka szorosan összefügg egymással, a köztük lévő különbségek jól mutatják a haladás irányát a területen.

II.1.1. Pierre Schaeffer: A zenei objektumok traktátusa

Az első hangszín-osztályozási rendszer Pierre Schaeffer nevéhez fűződik, aki 1966-ban publikálta az elektroakusztikus zene kulcsfontosságú írását A zenei objektumok traktátusa (a továbbiakban Traktátus) címmel. Az értekezés megírása előtt Schaeffer éveket töltött az osztályozási tipológia különféle módszereinek kipróbálásával. A terület úttörőjeként csak saját, szubjektív kísérleteire támaszkodhatott. Az analóg stúdióban nem álltak rendelkezésre sem a kutatást vizualizációval segítő hanganalízis módszerek, sem adatbázis programok. Ennek ellenére ambiciózus programjának célja nem kevesebb volt, mint az összes létező hang osztályozása. Hogy mennyire tisztában volt a hangzások nyomasztó mennyiségével, mutatja a következő bekezdés a Traktátusból (1966):

„A legjobb pedagógiai szituáció, ami egyben a legrosszabb a tanár számára, a padláson található: vajon az ott felhalmozott dolgok közül nem mondható el mindegyikre, hogy

kimeríti az objektum fogalmát? Ebben a helyzetben senki sem tagadhatja, hogy bármi, ami a kézbe kerül, rászolgál, hogy a megfelelő helyre kerüljön, hacsak nem érezzük erre alkalmatlannak magukat, és nem adjuk fel (ami mellelleg igazolja a padlások létezését).⁶⁶

A problémát nem csak a hangzások elvileg végtelen száma jelentette, hanem – a zenetörténetben először – azt is el kellett dönteni, milyen tulajdonságok alapján lehet őket csoportosítani.

„Van aki azt javasolja, hogy osztályozzuk az objektumokat anyaguk szerint? Kerüljön egymás mellé a fa, a textil, a fém, stb. Ez a javaslat realisabbnak tűnik, mint a méret, de ez sem vezet túl messzire: tegyem össze a fémhuzalt a villával? A hegedűt a fatörzsszel?”⁶⁷

Schaeffer az osztályozás fő szempontjául végül az „alapvetően zenei kritériumot” választotta. A meglehetősen homályos és kétséges minőség schaefferi felfogását az általa javasolt hallásmódokon keresztül lehet értelmezni. Schaeffer szerint a hallásnak négyféle funkciója van, melyek leírására a francia écouter, ouïr, entendre és comprendre szavakat használja. A magyarra nehezen fordítható négy kifejezés – hallgatni, hallani, erősen figyelve hallgatni, megérteni a hallgatott dolgot – közötti különbség a francia nyelvben is magyarázatra szorul. A négy szó az intenció nélküli, szinte véletlenszerű hallás és az aktív, absztraháló befogadás közötti kontinuumon teremt négy pontszerű állapotot. Schaeffer táblázatban helyezi el a négy típust az absztrakt/konkrét és az objektív/szubjektív ellentétpárok tengelyén (lásd II-1. ábra).

	<i>Konkrét</i>	<i>Absztrakt</i>
<i>Szubjektív</i>	ouïr (hallani)	entendre (erősen figyelve hallgatni)
<i>Objektív</i>	écouter (hallgatni)	comprendre (megérteni a hallott dolgot)

II-1. ábra

A szubjektív/objektív jelzőpár jelentését Schaeffer kiegészítő magyarázata pontosítja. Az objektív a kiművelt, fejlesztett hallásra, míg a szubjektív a „naív”, képzetlen hallásra utal. Egy másik helyen Schaffer használja a hétköznapi/specializált jelzőpárt is, ami valószínűleg hasonló jelentéssel bír. A szubjektív hallás megjelölését azért tartja fontosnak, mert szerinte az nyitott lehet olyan lehetőségek felé is, amelyet

⁶⁶ Palombini, C. (1993), 108. old.

⁶⁷ I. m., 109. old.

a képzett fül nem vesz tudomásul. A konkrét/absztrakt jelzők a hang zenén kívüli jelentésére illetve belső tulajdonságaira való figyelés kettősségét hangsúlyozza.

Annak feltételezése, hogy a hallgató képes váltogatni a különféle hallgatási módok között, fontos eszköz lehet a zeneszerzők számára, akiknek Schaeffer szerint egy újfajta hallást kell kifejleszteniük a hangszínekkel való komponáláshoz.

A mindennapi életben tapasztalt hallás/hallgatás osztályozása alapjául szolgált az új terminus, a „redukált hallgatás” bevezetésére. A konkrét zene kialakulásának meghatározó problematikáját jelentette a környezeti hangok megfosztása zenén kívüli jelentésüktől. A redukált hallgatás a schaefferi elméletben a hang önmagáért, hangzó objektumként való hallgatásának attitűdjét jelenti eltávolítva annak valós és feltételezett forrását valamint az általa hordozott jelentést. A fogalmat Schaeffer Husserl fenomenológiájából vezette le, melynek egyik alapvető terminusa az „epoché”, a fenomenológiai redukció, az az eljárás, melynek segítségével a befogadó a külső világot és annak objektumait felfüggeszti, zárójelbe teszi, hogy a bennük rejlő jelenségre összpontosítson. A hallás esetében ez azt jelenti, hogy a hallgató félreteszi, hogy az adott hang milyen tárgyra vagy történésre utal annak érdekében, hogy a hangzás belső tulajdonságaira figyelhessen. A mindennapi életben megszokott hallás/hallgatás esetén az ember a hangot közvetítő közegként értelmezi. A megszokott referenciák eltávolításának aktusa a redukált hallgatáskor akaratlagos és mesterséges aktus, ami lehetővé teszi, hogy csak magát a hangot, annak akusztikai minőségét, érzékelhető dimenzióit vizsgáljuk. A redukált hallgatással elkülönített hangzást nevezi Schaeffer hangzó objektumnak.

A hangzó objektumok a tárgyai a Schaeffer által kidolgozott speciális szolfézsnek, melynek része egy több szintű tipológiai és morfológiai osztályozási rendszer. Schaeffer szolfézsének és osztályozási rendszerének megértése nem könnyű feladat. Követőinek és kutatóinak magyarázatai, interpretációi teszik valamelyest megközelíthetővé gondolatait.⁶⁸ Az alábbi összefoglalás Carlos Palombini⁶⁹ és Leigh Landy⁷⁰ elemzéseit veszi alapul, akik leírásaikban elsősorban Schaeffer asszisztense, Michael Chion és tanítványa John Dack tanulmányaira támaszkodnak.

A szolfézs Schaeffer elgondolása szerint még nem a zene, hanem a jobb hallás gyakorlatának művészete, mely fontos előfeltétele a komponálásnak. Kutatási

⁶⁸ Jellemző, hogy Michel Chion *Guide des objets sonores: Pierre Schaeffer et la recherche musicale* címmel adott ki magyarázókötetet a témában.

⁶⁹ Palombini, C. (1993)

⁷⁰ Landy, L. (2007).

programját (Programme de la Recherche Musicale = PROGREMU) öt műveletre osztja: tipológia, morfológia, karakterológia, analízis, szintézis. Az öt művelet egymással összefüggésben álló rendszer, mely a hangzó objektumok elkülönítésétől az osztályozáson és analízisen keresztül vezet új, a zenei kompozíció részét képező új hangzások kialakításáig.

A tipológia összefoglaló táblázatát Schaeffer a Traktátus V., A hangzó objektumok tipológiája és morfológiája című fejezetében közölte. A művelet célja a hangzások azonosítása és osztályozása, a típusok elkülönítése. Az eredményt négydimenziós mátrix szemlélteti (lásd II-2. ábra), melynek segítségével betekintést lehet nyerni a schaefferi hangzásrendszer alapstruktúrájába. A mátrix két tengelyén a hangzások osztályozásának két-két alapkritériuma, a táblázat belsejében pedig a típusok minősítései találhatók.

kivitel tömeg	folyamatos			impulzus	szaggatott		
	F1 megjósol- hatatlan	F2 nincs kivitel	F3 zárt	F4 impulzus	F5 zárt	F6 nincs kivitel	F7 meg- jósol- hatalan
M1 egyszerű hangmagasság	mintavételezett hangok	nem eredeti	kiegyensúlyozott	objektumok	objektumok	akkumulált hangok	
M2 tömeg- hangmagasság							
M3 rögzített tömeg							
M4 kissé változó tömeg							
M5 nagyon változó tömeg							
tömeg időbeni aspektus	makro objektumok		meg- formált objektu- mok	mikro objek- tumok	meg- formált objektu- mok	makro objektumok	

II-2. ábra

A látszólag két dimenziós táblázat függőleges tengelye a hangzások „tömegét” (M=mass) jeleníti meg. A „tömeg” tulajdonképpen a spektrumnak felel meg, és ábrázolása kétféle tulajdonságot egyesít öt fokozaton: a spektrum sűrűségét és időbeni változását. Az első egyszerű hangmagasságot jelölő fokozattól (M1) három átmeneti állapoton keresztül jutunk el az időben nagyon változó, sűrű, hangmagasságérzettel

nem rendelkező spektrumig (M5). A spektrum sűrűsége és változékonysága alapján Schaeffer eredetiségük szerint minősíti a hangokat. M1-től M5 felé haladva növekszik a hangzások eredetiségének mértéke.

A vízszintes tengely a „kivitelezést” (franciául *facture*) határozza meg. A kifejezés Schaeffer szerint is magyarázatra szorul:

„a kivitelezés az a mód, ahogyan az energia átadódik és megnyilvánul a hangzás időtartama alatt”.

A „kivitelezés” tengely is két dimenziónak felel meg. Az egyik a hangok hosszát határozza meg. Középen vannak az impulzusszerű, nagyon rövid hangok, melyeket Schaeffer mikrohangoknak is nevez. Ennek két oldalán tükrözve helyezkednek el a zárt vagy „jól formált” hangzások, melyek azokat az időtartamokat jelölik, amelyek határozott kezdéssel és végződéssel rendelkező, jól elkülönülő hangzásobjektum érzetét adják, ahol az idő elegendően hosszú a hangszínerzet kialakulásához, de elegendően rövid ahhoz, hogy az emlékezet a kezdet és végpont közötti történetet egy objektumként tudja kezelni. A tükör két oldalán elhelyezkedő utolsó két típus a makroobjektum jelzőt kapta, melynek két fajtája létezik: azok a hangok, melyek olyan hosszúak, hogy az emlékezet nem egy objektumként kezeli őket (így nincsen „kivitel”), és azok, amelyeknek hossza megjósolhatatlan. A tengely másik dimenziója a hang fenntartásához szolgáltatott energia megnyilvánulása szerint osztályoz. Itt is megjelenik középen az impulzus, ami ebben az esetben nem az idő rövidségére utal elsősorban, hanem a kitartási szakasz hiányára, melynek oka a gyors felfutás utáni energiaátadás megszűnése. Az impulzustól balra azok a hangzások helyezkednek el, amelyek kitartási szakasza folyamatos, jobbra pedig azok, amelyeké szaggatott, szemcsés.

Az alaptípusok meghatározása után részletesebb osztályozást a morfológiák leírása szolgáltat. Landy ennek összefoglalásához Dack-et idézi⁷¹:

„Miután a hangzó objektumok tipológiai osztályozása megtörtént, szükség van tulajdonságaik részletesebb leírására. Természetesen a leírás a tipológiához is nélkülözhetetlen, de az kevésbé specifikus. A kifinomultabb, precízebb ismertető a morfológia feladata.”

⁷¹ Landy, L. (2007), 83. old.

Schaeffer hét morfológiai kritériumot különböztet meg, melyek a tömeg, a harmonikus hangszín, a dinamika, a szemcse, az oszcillálás, a dallamprofil és a tömegprofil.

A morfológiák elkülönítése után következik a karakterológia, mely „hangszínzsánerek” szerint csoportosítja a hangokat. Ez a művelet Landy szerint a legnehezebben megragadható fogalom. Magyarázatához ezúttal Chiontól idéz⁷²:

„a zenei objektumok szintézisének célja egyforma zsánereű objektumok szériájának előállítás, melyek alkalmasak egy releváns tulajdonság vagy érték variációinak kialakítására”

A zsánerek elkülönítése után az analízis feladata, hogy meghatározza azokat a hangzástulajdonságokat, amelyek skálázhatóak, és alapját képezhetik absztrakt viszonylatok kialakításához. A végső állomás, a hangátalakítás és -szintézis célja, hogy a hangszínskála hiányzó elemeit létrehozza.

A Traktátusban a zenetörténet során először jelenik meg a hangszíndimenziók szisztematikus osztályozásának és skálázásának igénye. Schaeffer elméleti munkássága nemcsak saját kompozícióinak kiszolgálója egy-egy darab erejéig, mint például Stockhausen *Gesang der Jünglinge*-je, hanem általános érvényű, a teljes hangszínpalettát lefedő javaslatok megfogalmazása. Ő az, aki nekilát, hogy a futurista zaj-forradalom és a varèse-i gondolat kísérlet zenei „rendszerátalakításának” elméleti alapjait megteremtse.

Schaeffer a megváltozott zenei gyakorlathoz megváltozott zenei hallást és hallgatási módot kívánt rendelni, melynek alapvető részét képezi a hangszínek analitikus, hangzásdimenziókra bontott érzékelése, mivel véleménye szerint a kompozíció alapvető feltétele az új hangok elemzése, osztályozása, skálázása.

Az osztályozás különböző szintjeinek bonyolultsága, a terminológia nehézkessége részben az új feladat nagyságából fakad, hogy teljesen ismeretlen területen, technológiai segítőik nélkül, csak a hallásra támaszkodva kellett dimenziókra bontani a hangzáspalettát, méghozzá redukció nélkül, az összes elképzelhető hangszínt bevonva a feladatba. A II.3. fejezetben, az akusztikai hangzásdimenziók tárgyalásánál majd olvasható lesz, hogy a precíz, számítógép számára is formalizálható ismertetőjegyek definiálásakor radikálisan szűkíteni kellett az elemezni kívánt hangzások körét. Schaeffer komplex, önmagukban is zenei

⁷²I. m., 84. old

hangzásokkal dolgozik. Ezért van, hogy még ma sem kerülhető meg elméleti munkássága, és máig inspirációt jelent az új elmélet alakítói számára. Bonyolult zeneisége sok tekintetben túlmutat a későbbi, kényszerűen leegyszerűsített, száraz pszichoakusztikai kutatások eredményein, ezért esik olyan jól időről időre visszatérni gondolataihoz, és megvizsgálni, hogy az új felfedezések milyen mértékben képesek kifejezni a schaefferi komplexitást.

Schaeffer érdeme és hibája egyaránt a hangszínek absztrahálásának, folyamatos skálázhatóságának feltétlen igénye, mely a konnotációs jelentések makacs tagadását is jelentette. Rendkívüli hatású személyisége, iskolateremtő egyénisége sokáig rányomta bélyegét az elektroakusztikus zene fejlődésére, ami valószínűleg nagyban hozzájárult, hogy a konkrét és akusztikus kompozíciókban nyilvánvalóan jelen lévő és működő zenén kívüli jelentések szerepének vizsgálata csak jóval később, halála után vált szalonképpé.

II.1.2 Denis Smalley: Spektromorfológia

Denis Smalley spektromorfológia elmélete vállaltan schaefferi indíttatású. A Traktátusnál lényegesen rövidebb és lényegretörőbb „Spektromorfológia: a hangzás-alakok magyarázata” című írás egyrészt egyszerűsíti és világossá teszi, másrészt kibővíti a Schaeffer által leírtakat.

Schaefferhez hasonlóan Smalley számára is a hallás élvez elsőbbséget a zenei struktúrák kialakításakor illetve analízisekor. A spektromorfológia definíciójában ezt a következőképpen rögzíti:

„A spektromorfológia fogalmát és terminológiáját a hallási tapasztalat leírására és analízisére fejlesztettem ki. [...] A spektromorfológia nem kompozíciós elmélet vagy módszer, hanem a hallási érzékelésen alapuló leíró eszköz.”⁷³

A spektromorfológia kifejezés, amely a spektrum és a morfológia szó összetételéből keletkezett, két alapvető hangzástulajdonságra utal, melyek alapján Smalley levezeti elméletét.

„A terminus két része a hang spektruma (spektró-) és időbeni változása, formálódása (morfológia) közti interakcióra utal. A spektró- nem létezhet a -morfológia nélkül és vice versa: valamit alakítani kell, és a formának hangzó tartalommal kell rendelkeznie.”⁷⁴

A spektrum és az időbeni formálás dualitásának koncepciója már jelen volt Schaeffer tipológiájában is (lásd II-2. ábra). A konstans hangzástulajdonságok és az időbeni változások furcsa keveredése tipológiai összefoglaló táblázatának tengelyein azonban homályossá tette az elválasztást. Smalley pragmatikus megoldása megkönnyíti egy áttekinthető struktúra felállítását. A spektrum és a morfológia különválasztása lehetővé teszi jól ismert archetípusok elkülönítését, és folyamatos átmenetek létrehozását a közös kritériumok alapján kialakított archetípusok összekötésével.

Smalley értekezése a spektromorfológiáról öt nagy szakaszból áll: spektrum-tipológia, morfológia, mozgás, strukturáló folyamatok, tér. A hangzásdimenziók osztályozásának szempontjából különösen fontos a kiemelni a spektrum-tipológiát és a morfológiát tárgyaló szakaszt. A mozgást és a strukturáló folyamatokat leíró fejezetek a hangzásdimenziók kezelését helyezik előtérbe, melynek segítségével

⁷³ Smalley, D. (1997), 107. old.

⁷⁴ I. h.

áttételesen nyerhetünk további információkat a dimenziók tulajdonságairól. Jelentős előrelépés funkciók hozzárendelése a szerkezeti elemekhez. A tér jellemzőinek vizsgálata meghatározó újítás, ami kibővíti a hangzásdimenziók körét.

Spektrumuk szerint a hangok felfűzhetőek a ún. zenei hangot és a telített zajt összekötő kontinuumon, melynek köztes archetípusai az inharmonikus hangok és a hangmagassággal nem rendelkező zajos típusok. Smalley szerint a spektrum felosztásakor elsődleges szempont, hogy milyen mértékben különíthetők el hangmagasságok a hangzásban. A hangmagasságérzet szerinti általános felosztáson túl Smalley tárgyalja a spektrális tér kitöltésének módozatait és a spektrum sűrűségét is. A spektrális tér kitöltését négy jelzőpárral írja le: üres-telt, szétszórt-koncentrált, áramló-hézagos, átlapolódó-keresztelő. A kifejezések vizuális indíttatásúak, segítségükkel egyszerűen el lehet képzelni a hangzások spektrumának grafikus formáit, de nem biztos, hogy automatikusan hangzásérzetek is társulnak hozzá. Ennek ellenére alapvető fontosságú felvetés a spektrum mintázatainak leírása.

A morfológiai dimenziót is három fő archetípus határozza meg: a felfutás, a felfutás-lecsengés és a fokozatos-folyamatos alakot reprezentáló amplitúdó-burkológörbék, melyeket bővebben a II.3.3.1. fejezet tárgyal. Az archetípusok változtatásával, a burkológörbe három fázisának időtartamát és spektrális energiáját manipulálva különféle morfológiai modellek alakíthatók ki. A Schaeffer által folyamatos és szaggatott kitaratást Smalley az egyes morfológiai alakok szekvenciáiból alakítja ki kontinuumot képezve a szemcsés érzetet adó szekvenciák és az egymást gyorsan követő, folyamattá összeolvadó impulzussorok között.

Smalley viszonya a zenén kívüli asszociációkhoz és jelentésekhez lényegesen kevésbé dogmatikus, mint a schaefferi megközelítés. A hangpercepció fontos részének tartja a hangforrás és a hangot okozó gesztus felismerését. A hangszínt nem tekinti függetlennek okozójától, szerinte a hangzások mimetikus tulajdonságai összetett viszonyban vannak a redukált hallgatással. A hang zenén kívüli és belső tulajdonságai közötti kapcsolat ábrázolására Smalley bevezette a forrás-hozzárendelés fogalmát, melyet a következőképpen definiált:

„természetes hajlam, hogy a hangokat összefüggésbe hozzuk feltételezett forrásukkal és okozójukkal, és hogy a hangokat azért kapcsoljuk össze egymással, mert eredetük közösnek vagy hasonlóknak tűnik.”⁷⁵

⁷⁵ Smalley, D. (1997), 107. old.

A forrás-hozzárendelés Smalley szerint a percepció alapvető tulajdonsága, a hangot okozó gesztus ismerete erősen beivódott az emberi érzékelésbe az evolúció és a kulturális kondicionálás következtében. A fizikai hangforrások megszólaltatása gesztusok által történik, amiket energiavektoroknak tekinthetünk. Mind a zenei, mind pedig a köznapi hangzások megszólalása gesztushoz kötődik, mely a hallási élményen kívül hordozza az érintés, a látás és az izmok feszülésének érzetét. Amikor zenét hallgatunk, nemcsak halljuk azt, hanem dekódoljuk a fizikai (akár emberi, akár természeti) aktivitást, melyből komoly mennyiségű pszichofizikai információt nyerünk. Ez a folyamat a zenében különösen felértékelődik, amikor nem jól ismert, kiegyensúlyozott, „biztonságos” hangszerhangokat hallunk, hanem olyanokat, ahol a forrás és a gesztus érzete dinamikusan változik. Ezért az elektroakusztikus zenében, ahol a felhasznált hangzások különböző mértékben köthetők ismert hangforrásokhoz és gesztusokhoz, a percepció szempontjából fontos szempont lehet a hang forrásának megjelenítése illetve elfedése. Smalley elméletében kidolgoz egy olyan dimenziót, amely mentén folyamatosan lehet kezelni, milyen mértékű a forrás és a gesztus érzete. Mivel az elektroakusztikus zene virtuális forrásokkal és gesztusokkal operál, és a hangelőállítás elszakad a közvetlenül megtapasztalt fizikai gesztusoktól és hangforrásoktól, Smalley bevezeti a gesztus-pótlék fogalmát, mely azt jelöli, milyen távol esik a gesztus érzékelése a normális fizikai gesztusok befogadásától. A gesztus-pótlék tengelyen négy állapotot definiál, az első-, másod- és harmadrendű valamint a távoli gesztuspótléket.

Az elsőrendű gesztuspótlék a hangkeltés eredeti, ősi módját tükrözi, a hangszerek megszületése előtti állapotot. A munkával és játékkal kapcsolatos hangzások tartoznak a csoportba. A másodrendű gesztuspótlék a tradicionális instrumentális gesztus. A felvett illetve szintetizált hangszerhangokkal operáló elektroakusztikus zene tartozik ebbe az osztályba. A harmadrendű gesztuspótlék esetén a gesztusra csak következtetni lehet. A hangzás természete bizonytalanná teszi a forrást és az okozót is, a fizikai realitás érzete elmosódik, a hangminőség ismeretlen energiavektorok mentén változik. A távoli pótlék csak nyomokban tartalmaz gesztusokat. A forrás és az ok ismeretlen marad, és nem is lehet megismerni, mivel semmilyen emberi aktivitás nem érzékelhető a hang mögött.

Smalley cikkében megfogalmazza álláspontját, miszerint az elektroakusztikus zenében alkalmazott gesztus-pótlékok típusa meghatározó a keletkező művek szempontjából:

„Megkockázatom annak felvetését, hogy az az elektroakusztikus zene, amely csak másodrendű gesztuspótlékokkal operál, nem igazán aknázza ki a médiumban rejlő potenciált, míg az a zene, amely nem veszi valamilyen mértékben figyelembe a gesztus kulturális beágyazódottságát, a legtöbb hallgató számára rideg, bonyolult és steril marad.”

A hangzások megszólaltatását illetve fenntartását biztosító energiavektorok további osztályozását jelenti, hogy Smalley különbséget tesz gesztus és textúra között. Az elkülönítés Schaeffer „kivitelezés” dimenziójának kibővítése, azoknak a makrohangzásoknak (lásd F1, F2, F6, F7 a II-2. ábrán) magyarázata, amelyek olyan hosszúak, hogy az emlékezet nem egy objektumként kezeli őket. Ezt az esetet Smalley kibővíti a gyenge illetve az időben túl lassan fejlődő gesztusokkal, melyek esetén elvész az emberi fizikalitás érzete, és a humán skáláról környezeti skálára vált a percepció. Ilyenkor megváltozik a figyelem fókuszpontja, és a hallás a hangzás belső részleteire koncentrál. Mivel a legtöbb esetben mindkét típus jelen van a zenében, a két esetet Smalley gesztus-vezérelt illetve textúra-vezérelt kategóriaként írja le.

Smalley új fogalomként vezeti be, és teszi spektromorfológiájának részévé az térmorfológiát. Mivel a tér érzete közvetlenül kapcsolódik a hangzások spektromorfológiai tartalmához, a hallgató gyakran csak a hangzás kibővítéseként, mintegy díszítéseként érzékeli. Smalley szerint speciális figyelmet kell kialakítani a térérzetet meghatározó paraméterek vezérléséhez.

„A térmorfológia terminust használom, hogy kihangsúlyozzam azt a speciális figyelmet, amely a tér tulajdonságainak és változásainak felderítésére irányul, és hogy ezek a tulajdonságok a hangzási élmény egy másik, elkülönülő kategóriáját alkossák.”⁷⁶

A térmorfológiáról egy 20 évvel későbbi tanulmányában értekezik részletesen. Ebben az írásban fontos megállapításokat tesz a halláson kívüli modalitások bevonódásáról az akusztikus hallgatás során keltett érzetekbe:

„Transzmodális kapcsolat következik be automatikusan, amikor a hangzó anyagok olyan képzeteket váltanak ki, amelyek a zenén kívüli világhoz kapcsolódnak. Az akusztikus hallgatás során, ami nemcsak az akusztikus zene hallgatását jelenti, transzmodális reakciók keletkeznek, akkor is, ha az érzékek nem közvetlenül aktiválódnak. Az akusztikus zene hallgatásakor nálam nem érzéki beszűkülés jelentkezik, hanem

⁷⁶ Smalley, D. (1997), 122. old.

spontán módon egy egyedülálló vagy ismeretlen virtuális transzmodalitás érzetéhez jutok el, amelyet a zene esztétikai konfigurációja biztosít”.⁷⁷

Smalley írásai a spektromorfológiáról és a térmorfológiáról egy lépéssel közelebb visznek ahhoz az ideális állapothoz, ahol a nehezen megfogalmazható zenei komplexitás és a precíz, számszerű akusztikai, pszichoakusztikai definíciók találkoznak. Bár a szerző keverve használja az akusztikai és a szemantikai ismertetőjegyeket (ezek leírását a II.3. és II.4. fejezet tartalmazza), inkább a költői, metaforikus megfogalmazások kerülnek túlsúlyba: akusztikai megfogalmazás például a harmonikus-inharmonikus-zaj felosztás, szemantikai a zenei mozgástípusokra használt tol/húz, folyik, emelkedik, hajít/lendít, áramlik, lebeg, repül kifejezés-sorozat. A rendkívül gazdag képi és a tapasztalt elektroakusztikus zenei hallgatóban erőteljes hallási képzeteket keltő leírásokat olvasva folyamatosan felmerül az igény, hogy a szerző beavasson a hogyan és miként titkaiba. Smalley-ról lehet tudni, hogy az, ami Varèse-nek vagy Schaeffer-nek nem sikerült, neki megadatott: zenéjében minden megszólal, amiről elméleti írásaiban értekeznek. Logikusnak tűnik, hogy tőle várnánk, hogy bővebb technikai leírásokat adjon a realizáció módszereiről. Hogy nem teszi, valószínűleg annak tudható be, hogy Smalley a konkrét/akusztikus zene kísérleti szakaszában szerezte ismereteit, amikor a felvett hangok átalakítása során az ismételt próba-hallgatás jellemezte a kompozíciós folyamatot, melynek tapasztalatait az aktívan komponáló, akusztikai kutatásokkal nem foglalkozó generáció nehezen tudott még szavakba önteni. Smalley elméleti munkája ezért is számít alapvetően fontos kiindulásnak a hangzásdimenziók leírása területén.

II.2. Multidimenziós skálázás

A számítógép megjelenése lehetővé tette gyakorlatiasabb, hatékonyabb eszközök alkalmazását a hangszín dimenzióinak feltárásában. John M. Grey kutatási eredményeinek közlése 1977-ben⁷⁸ áttörést jelentett ezen a területen, és a mai napig inspirálóan hat a hangszínt meghatározó tulajdonságokat vizsgálók számára. Grey felismerte, hogy a hangszín sokdimenziós természetének vizsgálatára a számítógéppel végzett multidimenzionális skálázás az egyik legalkalmasabb technika:

⁷⁷ Smalley, D. (2007)., 39. old.

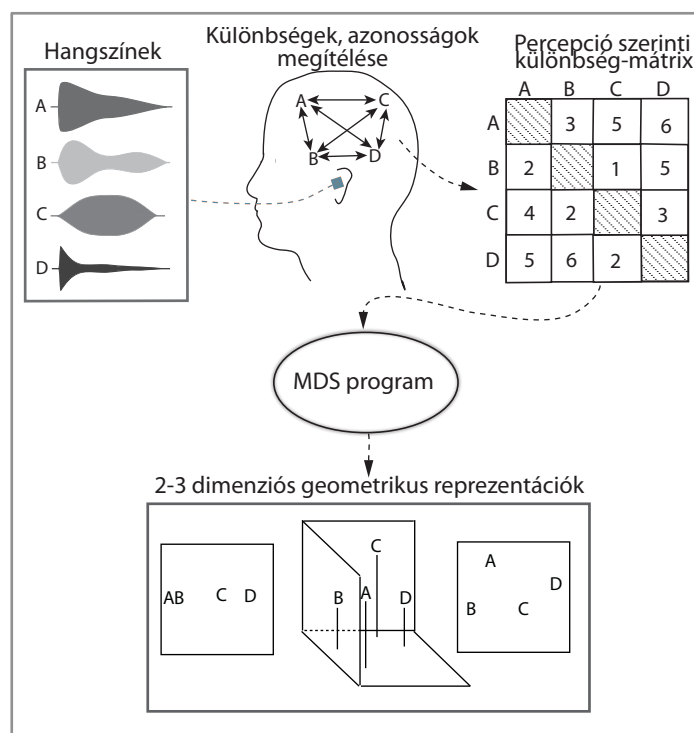
⁷⁸ Grey, J. M. (1977)

„Mivel a hangszín nyilvánvalóan multidimenzionális jellemzője a hangnak, a percepció számítógépes alapú adatelemzés-technikái, melyek a multidimenzionális skálázás kategóriájába tartoznak, különösen jól illenek a hangszín-percepció komplex aspektusainak vizsgálatához.”⁷⁹

A multidimenzionális skálázás (MDS) arra szolgál, hogy bizonyos tulajdonságokra vonatkozó hasonlósági vagy különbözőségi adatokból létre lehessen hozni olyan sokdimenziós geometriai reprezentációkat, melyekben az egymáshoz valamilyen szempontból közelebbinek érzékelt vagy gondolt objektumok az ábrázolásban is közel kerülnek egymáshoz, s ezáltal az adott tulajdonságok között észlelt viszonyokat egy megfelelő dimenzió-számú geometriai térben a lehető legpontosabban tükrözik vissza. Különösen alkalmas ez a módszer olyan tulajdonságok feltérképezésére, ahol a különbözőség-hasonlóság érzete nem egy minőség alapján alakul ki, ahogyan ez történik a hangszínek értékelésekor is. Az MDS nagy előnye, hogy viszonylag egyszerű feladat – tulajdonságpárok közötti hasonlóság, különbség mértékének meghatározása – segítségével rendezett struktúrát lehet elérni, melynek paramétereit gyakran számszerűsíteni is lehet.

Az MDS folyamatát a II-3. ábrán követhetjük nyomon. Pszichoakusztikai teszt formájában korlátozott számú hangzáscsoportot mutatnak be páronként minden minden létező kombinációban hallgatónak, akiknek értékelniük kell, mennyire hasonlítanak egymásra a hangok. Az értékelést a párok között számok vagy folyamatos potenciométer segítségével lehet elvégezni. Minden hallgató eredményét egy mátrixban lehet összefoglalni, amely az összes hangpár hasonlósági értékét tartalmazza. Az adatok összegzése után az átlagolt mátrix adatait olyan szoftverbe táplálják, amely képes belőlük MDS reprezentációt létrehozni, és a térben távolság formájában megjeleníteni a hasonlóság mértékét. Az ábrán látható háromdimenziós koordináta-rendszerben azok a hangzások, amelyek nagyon különböznek egymástól, nagy távolságra, azok pedig, amelyek hasonlóak, közel helyezkednek el egymáshoz képest. A kétdimenziós ábrázolások a háromdimenziós reprezentáció vetületei, melyekből leolvasható, hogy milyen sorrendben helyezkednek el a hangzások egy-egy tengely mentén. A következő fontos lépés a tengelyek meghatározása. Egyes kutatók kvalitatív módon, jelzők segítségével (pl. fényesség, stb.) határozzák meg az egyes tengelyeket, mások számértékek segítségével, ún. akusztikai ismertetőjegyek alkalmazásával írják le a hangzások dimenzióit.

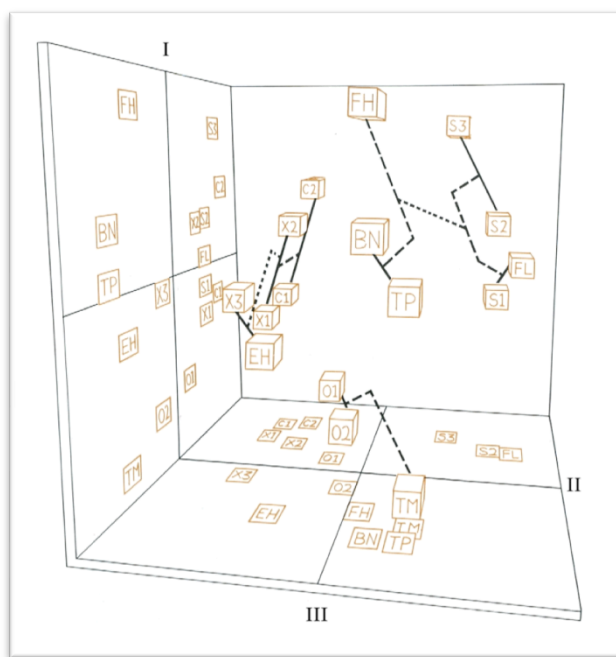
⁷⁹ I.m., 1270. old.



II-3. ábra

II.2.1. Harmonikus akusztikus hangszerhangok multidimenziós skálázása

Grey kísérletéhez számítógéppel szintetizált hangokat használt, melyeket 16 akusztikus hangszerhang felvételei alapján állított elő. A hangok hangmagassága, hossza és hangereje egyforma volt, hogy kizárólag a hangszín-tulajdonságok befolyásolják percepciójukat. A hangszerek: O1, O2 - 2 oboa (két különböző játékos által megszólaltatott két különböző hangszer), EH - angol kürt, BN - fagott, C1 - Esz klarinét, C2 - basszus klarinét, FL - fuvola, X1, X3 - 2 altszaxofon, (piano és mezzoforte megszólaltatás), X2 - szopránszaxofon, TP - trombita, FH - kürt, TM - harsona hangfogóval, S1, S2, S3 - 3 cselló (normális játékmód, sul tasto játékmód hangfogóval, sul poticello játékmód). A hallgatóknak hangszerhang-párok felvételei közötti hasonlóságot kellett értékelni 1-30-ig terjedő skálán. Az eredményeket multidimenzionális skálázás segítségével értékelték, ami a II-4. ábrán látható háromdimenziós térben rendezte el a hangszereket a hallgatók által adott hasonlósági minősítések alapján.



II-4. ábra⁸⁰

A következő lépés az így keletkezett hangszíntér koordinátáinak azonosítása volt, Grey feltételezése szerint ezeket a következő hangszíndimenziók határozták meg:

⁸⁰ Grey, J. M. (1977), 1272. old.

- I. tengely: spektrális energia eloszlása, a magas frekvencia-összetevők számának növekedése a spektrumban
- II. tengely: a magas összetevők szinkronicitása a felfutás fázisában
- III. tengely: alacsony amplitúdójú magas frekvenciák jelenléte a felfutás fázisában

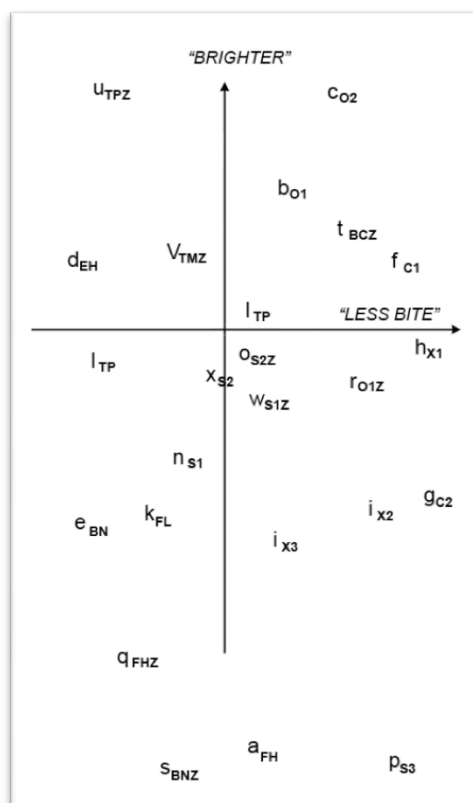
Grey eredményei demonstrálták, hogy a hangszíndimenziókról percepció alapú következtetéseket lehet levonni, és hogy a hangzások rendezhetőek egyes tulajdonságaik mentén.

II.2.2. A hangszíntér mint zenei vezérlő struktúra

Grey eredményeit felhasználva David Wessel vezette be 1978-ban a multidimenziós hangszíntér kifejezést a teljes hangzástartomány leírására⁸¹. Vizsgálódásainak elsődleges célja tovább mutatott Grey kutatásán, hiszen a hangszín kompozíciós szempontú vezérlését illetve az arra alkalmas elvi eszköztár kifejlesztését tűzte ki feladatul. Ennek elképzelése szerint előfeltétele az volt, hogy a hangszíntérben olyan hangszín-reprezentációkat hozzon létre, amelyek lehetővé teszik a hang érzékelés szempontjából fontos tulajdonságainak alacsony dimenziójú vezérlését.

Kísérletéhez a Grey által felhasznált, szintetizált hangszerhangokat kiegészítette nyolc további hibrid hangzással, melyeket az előző hangok burkológörbéinek cseréjével állított elő. Amint az a II-5. ábrán látható, Wessel 2 dimenziós hangszínteret készített a hangszínek közötti hasonlóság értékelése alapján. A tengelyek definiálása különbözik a Grey féle interpretációtól, és elsősorban a hangszínerzetet veszi figyelembe, nem pedig a hangzások elemzéséből származó akusztikai tulajdonságokat. A függőleges tengelyen felfelé haladva a „fényesebb” (brighter), a vízszintes tengelyen jobbra elmozdulva pedig a „kevesbé harapós” (less bite), hangokat találhatók (magyarul szerencsésebb megütöttségnek fordítani). A tengelyek elnevezései Grey-nél inkább kvantitatív, Wessel-nél pedig kvalitatív tulajdonságot jelölnek. A későbbi hangszíntér-kutatások (ld II.3. fejezet) egyik legbonyolultabb kérdése a kvalitatív és a kvantitatív dimenziók közötti összefüggések feltárása.

⁸¹ Wessel, D. (1978).

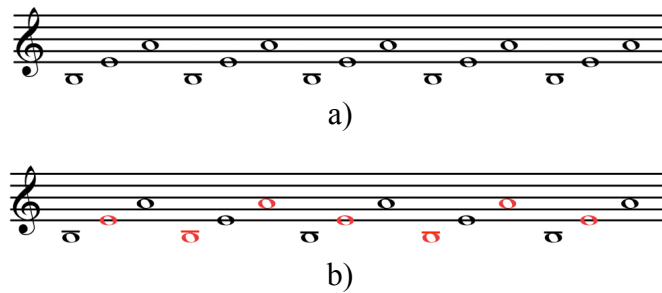


II-5. ábra⁸²

Wessel az általa kialakított hangszíntér segítségével további kísérleteket is végzett, melyek arra kerestek választ, hogy a hangszíntér geometriája mennyire alkalmas különböző hangszínmintázatok felismerésének előrejelzésére, hangszíntávolságok azonosítására. A hangdimenziók skálázásának szempontjából nagyon fontos az egyes skálapontok távolságának érzékelhetőségét vizsgáló teszt. Wessel egyszerű dallam segítségével vizsgálta hangszíntere mindkét tengelyét oly módon, hogy a motívumot váltakozó hangszínnű hangokkal hangszerelte. A II-6a ábra az eredeti, ismétlődve emelkedő dallamvonalat szemlélteti. A II-6b ábrán a piros és fekete szín jelöli a hangszerelésnek megfelelően váltakozó hangszíneket. Az egyes hangszínek egymástól való távolságának függvényében változik, milyen dallamokat és ritmusokat érzékel a megfigyelő. Ha a két hangszín közötti nincs nagy különbség, az eredeti dallamvonalat lehet hallani. Ha a „fényesség” tengelyen nagy a távolság a két hangszín között, ún. „dallamhasadás” jön létre, ami azt jelenti, hogy a fül különválasztja az ábrán pirossal illetve feketével jelölt hangszínek által kialakított dallamvonalakat. Amennyiben a másik tengelyen, a megütöttség mértéke változik, a ritmus egyenetlenné válik, mivel a puhább megütésű hangok kezdetét későbbre teszi a

⁸² Wessel, D. (1978), 8. old.

hallás. A teszt kiválóan alkalmas hangszíndimenziók skálázásakor a hangszínek közötti legkisebb, még jól érzékelhető távolság kialakítására.



II-6. ábra

Egy másik tesztsorozat azt vizsgálta, hogy a dallamok transzpozícióihoz hasonlóan érzékelhetőek-e hangszínszekvenciák transzpozíciói. Pszichoakusztikai mérések eredményei alapján Wessel azt a következtetést vonta le, hogy a hangszíndimenziók mentén párhuzamosan eltolt értékek menti hangszínszekvencia-transzpozíció „ésszerű és zenei szempontból életképes elképzelés”⁸³.

Wessel nagyon korán, már 1976-ban a gyakorlatban is alkalmazta hangszíntér elméletét, az IRCAM-ban felállított első, valós időben hangot szintetizáló célszámítógépet vezérelte két kontroller segítségével.

Grey és Wessel hangszíntér-kísérleteit összehasonlítva látható, hogy Grey multidimenziós skálázás elgondolását Wessel zeneszerzői célokra használta fel. Bár Wessel munkája nem jutott tovább a kísérleti fázison, a hangszíndimenziók lehetőségeiről szóló értekezése a mai napig nagy hatással van a téma kutatóira és a hangszínnel foglalkozó zeneszerzőkre.

⁸³ Wessel, D. (1978), 11. old.

II.3. Akusztikai hangzásdimenziók

Grey és Wessel első javaslatait számos további kutatás követte, melyek elsősorban azt célozták meg, hogy megtalálják a hangszínerzetért felelős hangzásdimenziókat, és kijelöljék, melyek a legáltalánosabbak, és melyek bírnak a legnagyobb fontossággal a hangszínek közötti különbségek érzékelésekor.

A multidimenzionális skálázással kialakított hasonlósági dimenziókat összevetve a hangok analíziséből származó adatok statisztikai elemzésével számos eredmény született. A módszer segítségével kvantitatív módon, ún. akusztikai hangzásdimenziók (másképp akusztikai ismertetőjegyek) alkalmazásával lehet meghatározni a hangszíntereket kijelölő tengelyeket. Az akusztikai hangzásdimenziókat mindig az audio-jel analíziséből kiindulva lehet definiálni szemben a szemantikai vagy kvalitatív hangzásdimenziókkal, melyeket a hangok által közvetített érzetek, jelentések megfogalmazásával határoznak meg az alanyok.

Az akusztikai hangzásdimenziók területén végzett több évtizedes kutatás egyik részeredményének tekinthető az MPEG-7⁸⁴ szabvány, amely a gyakorlatban alkalmazza hangszínek osztályozására a kutatási eredményeket. Az MPEG-7 által osztályozható hangszínek messze nem fedik le a teljes hangzástartományt, egyelőre az a) harmonikus, kitartott, koherens és a b) perkusszív, nem kitartott hangok alkalmasak osztályozásra. Az MPEG-7 folyamatosan bővülő környezet, és a jövőben remélt hangosztályok között szerepelnek még az a) nemharmonikus, kitartott, koherens hangok és a b) nem koherens, kitartott hangok is.

Mivel az elektroakusztikus zene által felhasznált hangzások köre lényegesen nagyobb, mint amit az MPEG-7, azaz a piac által használt, szabványosított módszer kezelni tud, vizsgálni kell más, akár kísérleti fázisban lévő dimenziókat is.

Az IRCAM vezetésével folytatott nemzetközi CUIDADO projekt⁸⁵ 2003-ban megkísérelte olyan hangszín-adatbázis létrehozását az interneten, ahol akusztikai dimenziók megadásával lehetett bizonyos hangszínekre keresni. A hangszínek kereséséhez 72 ismertetőjegyet adaptáltak és fejlesztettek ki, melyek felsorolása és kiszámításuk módja megtalálható a projekt 2004. évi beszámolójában. A beszámolóból ugyan nem derült ki, hogy elkészült-e az adatbázis, azonban az akusztikai ismertetőjegyek felsorolása és részletezése jó kiindulási alapot képez

⁸⁴ Quackenbush, S. - Lindsay, A. (2001) és Martinez, J.M. ed. (2004).

⁸⁵ Peeters, G. (2004). és Rioux V., McAdams S., Susini P., Peeters G. (2002).

további listák készítésére. A Yaafe - audio-tulajdonság meghatározó szoftver építése és működtetése köré épülő projekt leírása⁸⁶ is számos akusztikai ismertetőjegyet sorol fel.

A szakirodalomban megtalálható akusztikai dimenziókat különböző szempontok szerint tárgyalják a szerzők. Vannak olyanok, amelyek túl részletekbe menőknek tűnnek, és megértésükhöz komoly matematikai háttér szükséges, mint például Rodet és Schwartz cepstrum és formáns meghatározásai⁸⁷ és olyanok is, amelyek könnyen, intuitív módon befogadhatóak, és egyszerűen alkalmazhatóak zenei feladatokhoz, mint például a spektrális súlypont.

Dolgozatomnak nem célja kimerítően bemutatni az összes eddig feltárt akusztikai hangzásdimenziót. Inkább arra törekedtem, hogy kiválogassam azokat, amelyek zenei szempontból relevánsak számomra. A továbbiakban a CUIDADO⁸⁸ és a Yaafe projektleírás, Smalley⁸⁹, McAdams és társai⁹⁰, Tenney⁹¹, Terhard⁹², Donnadieu⁹³, Sethares⁹⁴ és Beauchamp⁹⁵ eredményeit rendszerezve sorolom fel, és írom le azokat a ma használt akusztikai dimenziókat, amelyeket alkalmaztam az általam létrehozott hangszínterek leírásához és kezeléséhez. A felsorolt szerzők között olyanok is vannak, akik nem a matematikai elemzés, hanem a percepció felől közelítik meg egyes akusztikai dimenziók leírását, mint pl. McAdams, Smalley vagy Tenney. Ezzel az volt a célom, hogy közelítsem egymáshoz az intuitív, érzékelés központú nézőpontot és a pontos, precíz akusztikai meghatározásokat, és bevonjam a zenei szókészletbe a legfontosabb akusztikai dimenziókat.

A továbbiakban bemutatom a hangszín konstans spektrális szerkezetének elemzéséből származó akusztikai dimenziókat, a komplex hangzások minőségét nagyban befolyásoló érzékelési konszonancia elméletet, majd ezekre alapozva leírom a különböző spektrumtípusokat. Ezután a hangszín időben változó tulajdonságainak felsorolása következik.

⁸⁶ Yaafe-audio features

⁸⁷ Rodet, X. - Schwartz, D. (2007)

⁸⁸ Peeters, G. (2004).

⁸⁹ Smalley, D. (1997)

⁹⁰ McAdams, S., Windberg, S., Donnadieu, S., De Soete, G., Krimphoff, J. (1995).

⁹¹ Tenney, J. (1988).

⁹² Terhardt, E. (2000)

⁹³ Donnadieu, S. (2007).

⁹⁴ Sethares, W. A. (1995).

⁹⁵ Beauchamp J. W. (2007).

II.3.1 A spektrum amplitúdó-arányaitól függő általános tulajdonságok

A spektrumösszetevők amplitúdó-értékeinek összekötésével kialakul a spektrum burkológörbéje (lásd a piros szaggatott vonalat a II-9. ábrán). A vonal formájából a hangszín általános tulajdonságaira (mint például fényesség, rezonancia) lehet következtetni függetlenül attól, hogy a belső szerkezet harmonikus vagy zajos hangra utal. A vonal illetve az általa összekötött amplitúdó-értékek elemzése többféle hangzástulajdonságot képes jellemezni.

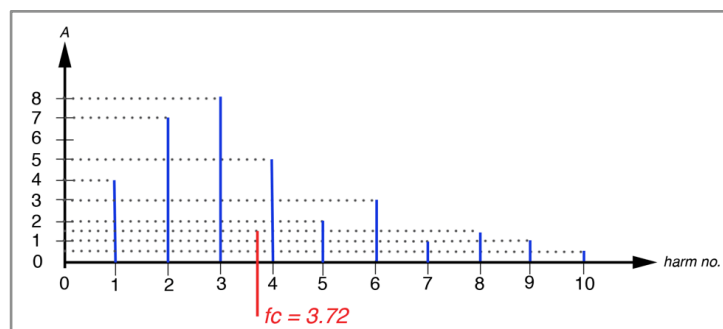
II.3.1.1. A spektrum fényessége vagy élessége

A fényesség és élesség jelzőket gyakran szinonimaként kezeli a szakirodalom. Elvileg mindkét kifejezés azt az érzetet írja le, amelyet a magas frekvenciájú összetevők jelenléte okoz a spektrumban. Az élesség kimagasló szerepet játszik a hangminőségérzet megítélésében. Ha a hang a kellő mennyiségű élességgel rendelkezik, az az erőteljesség érzetet biztosítja. A túl sok élesség azonban kellemetlenül agresszívvá teheti a hangzást.

Az érzetet kétféle módon lehet akusztikai ismertetőjegyekkel meghatározni: a) a spektrális súlypont kiszámításával és a spektrum alakjára vonatkozó kiegészítő információk megadásával, b) az élesség „acum” mértékegységének segítségével.

a) Spektrális súlypont

A spektrális súlypont meghatározásához a hangban jelenlévő összetevők súlyozott átlagát kell kiszámítani. (lásd II-7. ábra)



II-7. ábra

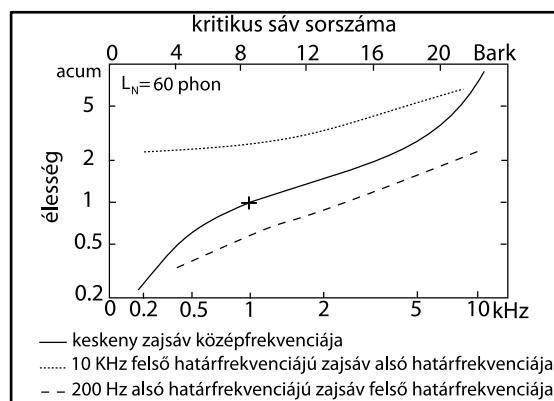
Az eredményül kapott frekvenciaérték megmutatja, milyen távolságra van az átlagérték a legmélyebb összetevőtől, így egyszerűen lehet fogalmat alkotni a spektrum közelítő szélességéről is.

Mivel hasonló spektrális súlypont értékeket kaphatunk különböző sűrűségű és kiterjedésű spektrumok esetén, a hányadosból nem határozható meg egyértelműen a hangszín. A hangszín pontosítása érdekében használatos kiegészítő információ a spektrális kiterjedés és a spektrális elhajlás is.

A spektrális súlypont meghatározására az akusztikus hangszerek spektrumában Beauchamp⁹⁶ és McAdams⁹⁷ végzett kiterjedt kutatásokat. A kutatások érintették a jól ismert jelenséget is, miszerint számos zenei hangszer esetén a spektrális súlypont (illetve fényesség) szoros összefüggést mutat az amplitúdóval. Például a trombita hangja jelentős mértékben fényesedik a hangerő növekedésével. Beauchamp⁹⁸ cikkében 14 hangszer hangjának átlagolt és maximális amplitúdóra vonatkoztatott fényességértékét közli. A listán szereplő hangszerek közül a legkisebb spektrális súlyponttal (1.4) rendelkező a marimba (a maximális érték 6.7), a legfényesebb átlagos hangja (7.9) a csembalónak van (maximális érték 31). Valahol középen helyezkedik el az altszaxofon, melynek átlagolt fényességértéke 4.1, maximuma 9.8.

b) Élesség „acum” mértékegységgel történő meghatározása

Az élesség „acum” értékének kiszámítása a hangosságnak a kritikus sávokon belüli eloszlásán alapul, ezért a Bark skálával összevetve szokásos ábrázolni. Referenciaértéke (1 acum) az az érzet, amelyet 1 kHz középfrekvenciájú, 150 Hz-nél keskenyebb sáv szélességű zajsáv kelt 60 dB hangosságon, ha 0 dB a hallásküszöb.



II-8. ábra⁹⁹

⁹⁶ Beauchamp J. W. (2007).

⁹⁷ McAdams, S. (1999).

⁹⁸ Beauchamp J. W. (2007).

⁹⁹ Fastl, H. - Zwicker E. (2007).

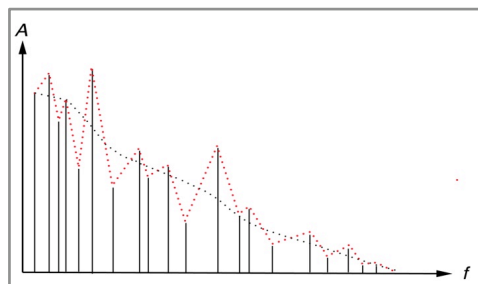
A II-8. ábra három különböző esetet szemléltet : a folyamatos vonal azt ábrázolja, hogyan változik a hangzás élessége a kritikus sávnál kisebb szélességű zajsáv középfrekvenciájának függvényében, a szaggatott vonal egy 200 Hz alsó határfrekvenciától felfelé szélesedő zajsáv élességét mutatja a sáv felső határfrekvenciájával összevetve, míg a pontozott vonal a 10 kHz felső határfrekvenciájú zajsáv alsó értékének változása következtében létrejövő élességértékeket jeleníti meg.

Az élesség acum-mal megadott értékeit általában ipari és háztartási eszközök motorzajának mérésére használják annak megállapítására, mennyire kellemes illetve zavaró az egyes eszközök hangja.

Az élesség mértékét több szintézistechnikával is lehet egyszerűen változtatni (szűrés törésfrekvenciája, FM moduláció index), így az egyik legjobban kezelhető hangzásdimenzió.

II.3.1.2. A spektrum burkológörbéjének egyenetlenségei

A spektrális burkológörbe segítségével jól demonstrálhatóak a spektrum egyenetlenségei is, a görbe „recézettségének” mértéke és milyensége. A spektrum kitüremkedései lehetnek a) a teljes frekvencia-tartományban véletlenszerűen jelenlévők, és b) rendszerezett, csak egyes szakaszokat érintő eltérések.



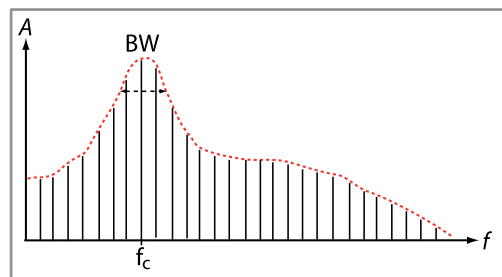
II-9. ábra

a) Véletlenszerű kitüremkedések a spektrum burkológörbéjén

A mérésakor a recézett verziót az átlagolással kisimított görbéhez hasonlítják (lásd II-9. ábra). Azonos fényességű és tristimulus értékű hangszínek különböző spektrális egyenetlenségekkel rendelkezhetnek. A jelenség komolyan befolyásolja a hangszínérzetet, azonban nem mindig lehet egyértelmű érzékelési dimenziót kötni hozzá.

b) Rezonanciák, formánsok

A spektrum burkológörbéjén gyakran lehet észlelni harang alakú csúcsokat, melyek azt jelzik, hogy ún. rezonanciahelyek vannak a spektrumban. Akusztikus hangszerek estében a rezonanciahelyek helyzete független a hangmagasságától, csak az adott hangszer fizikai szerkezete befolyásolja. A II-10. ábra rezonanciahelyet szemléltet, melynek tulajdonságait középfrekvenciája (f_c) és sáv szélessége határozza meg.



II-10. ábra

Számos hangszer esetében kimutatható rezonanciahelyek jelenléte, helyzetük jelentősen befolyásolja a hangszínérzetet. Sokszor a rezonancia tulajdonságai határozzák meg, milyen anyagszerűséget észlelünk (például cserép, üveg, fa).

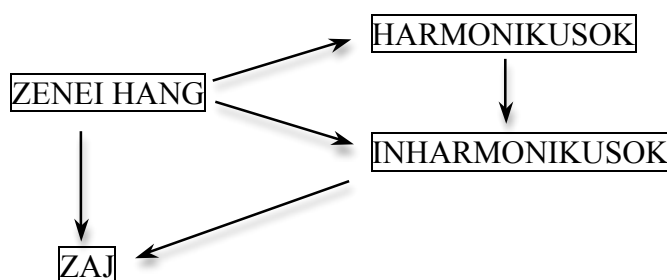
A legjobban feltérképezett rezonanciahelyek a vokális hangzók, elsősorban magánhangzók jellegét determináló formánsok. A vokális formánshelyek megítélésében egyfajta abszolút hallással rendelkezünk, a hangszínérzet egy újabb minőséggé, jelentéssé alakul, ennek következménye a magánhangzóérzet. Egy-egy magánhangzóhoz 3-5 formáns tartozik, melyek pontos pozíciója nyelvenként változó. A magánhangzóérzet sokszor áttevődik más hangszínekre is, például szűrések helyének meghatározására sokszor segítséget jelent a magánhangzójelleg megállapítása.

II.3.2 Az összetevők frekvencia-arányaitól függő tulajdonságok

A spektrumösszetevők sűrűsége, frekvenciaértékeik egymáshoz viszonyított aránya alapvető hangzás-tulajdonságokat határoz meg. Ettől függ, hogy adott hangzás zenei vagy zajos, hogy a színezete nazális, üreges, konzonáns, disszonáns vagy éppen zörejszerű.

II.3.2.1. Harmonicitás-inharmonicitás-zaj skála

A spektrum összetevőinek elhelyezkedése a frekvenciatengelyen determinálja, hogy konkrét hangmagassággal rendelkező, az összetevőket egyggyé olvasztó zenei hangot vagy különböző hangmagasságok együtteseként megszólaló, inharmonikus hangzást hallunk, esetleg a végső, szélsőséges állapotként hangmagasságérzetet nem nyújtó, érdes felületű zajt érzékelünk, melyek a zenei hang – zaj kontinuumon helyezkednek el.



II-11. ábra

Smalley klasszifikációjában¹⁰⁰ a zenei hang (note) a tengely egyik végpontja, melyet további két alosztályra oszt, a harmonikus és az inharmonikus hangzásokra, a zajt pedig az ellentétes végponton helyezi el (lásd II-11. ábra). Az ábrán a nyilak jelzik a folyamatos átmeneteket az egyes kategóriák között.

A modern akusztika kiterjesztette a konzonancia fogalmát a hangszínekre is. James Tenney¹⁰¹ megkülönböztet melodikus, ellenponton alapuló, polifonikus, funkciós és pszichoakusztikai konzonanciát. A legmodernebb, a pszichoakusztikai konzonancia szerint a zenei hang és a zaj közötti folyamatos átmenetet az érdesség azaz érzékelési konzonancia-disszonancia viszonyokkal valamint a „tonálisság” fogalmával lehet leírni.

¹⁰⁰ Smalley, D. (1997)., 120. old.

¹⁰¹ Tenney, J. (1988).

A skála határeset az akusztikai ismertetőjegyek és a pszichoakusztikai vagy szemantikai skálák között. A harmonikus, inharmonikus, zajos jelzők önmagukban is kifejeznek egyfajta minőséget, nem feltétlenül kapcsolódnak hozzájuk fizikai, matematikai értékek. Mivel pontosításukhoz számos akusztikai ismertetőjegy járul, indokolt, hogy jelen fejezetben essen róluk szó.

A harmonikus és nem harmonikus spektrum között érzékelt különbség alapvető a zenei minőség szempontjából, hiszen a pontos hangmagasság-érzékelés alapja a harmonikus hangzás. A két minőség közötti különbség mérésére két fontos akusztikai ismertetőjegy, az a) érzékelési konszonancia és a b) tonálisság mértéke áll rendelkezésre.

a) Az érzékelési konszonancia (érdesség)

A pszichoakusztikai konszonancia egyik legfőbb tulajdonságaként az először Helmholtz által leírt, majd Békésy, Plomp és Levelt valamint Terhardt¹⁰² által vizsgált „érdesség”-et határozza meg. Terhardt definíciója szerint az érdességet rövid auditív események gyors szekvenciája esetén érzékeljük, ha az egyes események között eltelt idő kisebb, mint 30 ms¹⁰³. Terhardt a következőt írja a hangtulajdonságról:

„Az érdesség valójában olyan hallási érzet, amely a hang időstruktúráját reprezentálja »időintegrált« módon. Az időstruktúra a hallás útján jelenik meg az egyes elemek tudatos felfogása nélkül.”¹⁰⁴

Érdességet lehet az amplitúdó vagy a frekvencia modulálásával is kelteni. A modulációt nélkülöző hangzásokban az érdesség érzete a kritikus sáv szélességéhez kapcsolódik. Amikor két szinuszhullám frekvenciája olyan közel van egymáshoz, hogy a hallószervben az alaphártyán (ahol a hangmagasság érzékelése történik) átlapolódnak, azaz a kritikus sáv szélességén belül vannak, a fül nem képes megkülönböztetni a két hangmagasságot, csak egy frekvenciát érzékel, amihez a lebegés érzete társul. A lebegés tekinthető amplitúdómodulációnak, melynek frekvenciája megegyezik a két közeli frekvencia különbségével. Amikor a hangmagasságok nagyon közel vannak egymáshoz (pl. 1 Hertz-nyire) a lebegés kellemesen lassú. Ahogyan a magasságok távolodnak egymástól, a gyorsuló lebegés

¹⁰² Terhardt, E. (2000).

¹⁰³ I. m.

¹⁰⁴ I. m.

átalakul egyre kellemetlenebb érdesség érzetté, majd még távolabbi hangmagasságok esetén, kikerülve a kritikus sávból, a két hangmagasság elválík egymástól.

Az érdesség érzetével nem csak két hang közötti hangköz konszonanciáját lehet vizsgálni, hanem összetett hangzásokét is. Ez a típusú konszonancia-disszonancia viszony, szemben a korábbi konszonancia-elméletekkel, nem a zenei kontextus eredménye, hanem a hangzás saját tulajdonsága. Komplex harmonikus hangzások összetevői, melyek közül számos komponens összeolvad egymással, ugyancsak létrehozhatnak érdesség érzetet, amennyiben a kritikus sávba esnek.

Terhardt elméletét továbbfejlesztve ma már számmal is kifejezhető az érzet mértéke. Az érdesség értékét kiszámító algoritmus alkalmazható a jelenidejű MAX/MSP szoftverben is¹⁰⁵, ami által élő előadásokban is felhasználható hanganalízishez.

b) A tonálisság mértéke

A tonálisság (angolul: tonalness) kifejezés új szó a magyar zenei szókészletben, nem a hagyományos értelmében vett tonalitásra vonatkozik, hanem egy adott hangzás spektrumának minőségére. Sethares a tonálisság fogalmát a harmonikus entrópiára vezeti vissza, ami a hangmagasságérzet bizonytalansági fokának modellje¹⁰⁶. Az emberi hallás számára a rendezettség az összetevők harmonikus rendszerét jelenti. Köztudott, hogy amennyiben egy komplex hangzás összetevő frekvenciaértékei rendelkeznek közös osztóval, azt a hangzás legmélyebb hangmagasságának, azaz alapfrekvenciájának érzékeljük, melyben összeolvad a többi komponens, ami által nem halljuk őket különálló hangmagasságokként, hanem az alaphang színezetét határozzák meg. Hasonlóan az érdességnél közölt idézethez ebben az esetben a tonálisság érzet a hang frekvenciastruktúráját reprezentálja 'alapfrekvenciába integrált' módon.

A harmonikus hangok is rendelkeznek érdességgel, hiszen az 5. összetevő feletti komponensek egymástól fekvő távolsága egyenlő vagy kisebb, mint a kisterc, amely megfelel a kritikus sáv alsó értékének. A tapasztalat azt mutatja, hogy az azonos érdességgel rendelkező hangzások közül azokat halljuk konszonánsabbnak, amelyek nagyobb mértékű tonálissággal rendelkeznek.

¹⁰⁵ MacCallum, J. - Einbond A. (2007), 205. old.

¹⁰⁶ Sethares, W. A. (1995)., 83. old.

II.3.2.2. A harmonikus spektrum jellemzői

A harmonikus spektrum tonalitása maximális, nem találhatóak benne inharmonikus arányok. Az akusztikus hangszerek vagy a környezetben található hangok ritkán tisztán harmonikusak. Minimális inharmonicitás-arányok jelenléte nem zavarja a hangmagasság érzetét, így a harmonicitás-inharmonicitás skálán a harmonicitáshoz közel eső hangokat a fül „zeneinek”, azaz egy hangmagassággal és valamilyen színezettel rendelkezőknek érzékeli. A zenei hangokban az inharmonikus összetevők által meghatározott színezetet az inharmonikus hangokat tárgyaló fejezetben részletezem.

Az alábbiakban két, a harmonikus spektrumokra jellemző akusztikai dimenzió kerül bemutatásra, a) a tristimulus diagram és b) a páros-páratlan összetevőarány.

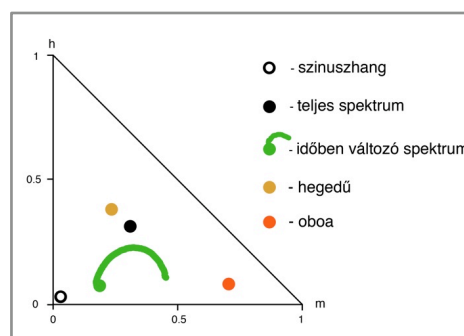
a) A tristimulus diagram

Tapasztalatból tudjuk, hogy a spektrális súlypont nem elegendő egy harmonikus hang színezetének teljes körű leírására, nem magyarázza például a hegedű és az oboa (amelyek hasonló fényességértékekkel rendelkeznek) közötti jelentős perceptuális különbséget. A spektrum általános tulajdonságainak tömör összegzésére dolgozta ki „tristimulus” elméletét Pollard és Jansson¹⁰⁷, akik a látás régóta érvényben lévő színdefiníáló technikájának analógiáját követték. A szem három különböző típusú pálcika detektort tartalmaz, melyek mindegyike a látható spektrum más részére érzékeny: az egyik csoport túlnyomóan a vörös fényre, a másik a zöldre, a harmadik pedig a kékre reagál. Amikor a szem egy összetett spektrumú fényt fogad, az agy képes megítélni a fény spektrális felbontását összehasonlítva azt a három típusú receptor jeleivel. A szín így meghatározható három számmal, melyek a vörös, a zöld és a kék régiók komponenseinek relatív erejét reprezentálják.

A hangspektrum fő tulajdonságai a színekhez hasonlóan redukálhatóak három számra, melyek a spektrum három régiójának hangosságát reprezentálják. Az első régió csak az alaphangot tartalmazza (1. harmonikus), a második a 2., 3., és 4. harmonikust, a harmadik pedig az összes magasabb harmonikust. A három terület átlagolt hangosságainak egymáshoz viszonyított arányát egy derékszögű háromszög által határolt koordináta-rendszeren, az ún. tristimulus diagramon (lásd II-12. ábra) lehet ábrázolni.

¹⁰⁷ Campbell, M. – Greated C. (2001), 150.old.

A II-12. ábrán a tristimulus diagram bal alsó pontján található üres kör jelzi a szinuszhangot. Mivel mind a közép- mind pedig a magastartományhoz rendelt érték 0, a fennmaradó 1 az alaphang hangossága, ami nyilvánvalóan igaz a szinuszhang esetén. A teljes, kiegyenlített tartományt az ábrán a sötét pont jelzi. Az okker illetve narancssárga pontok egy hegedű és egy oboa hang tristimulus reprezentációját mutatják. A hegedű kiegyensúlyozott hangszíne a diagram közepétől kissé a magas tartomány felé tolódik, míg az oboában dominálnak a középtartomány összetevői. A zöld színnel ábrázolt pont és a hozzákapcsolódó görbe jelzi, hogy a tristimulus diagram alkalmas időben változó spektrális folyamatok ábrázolására is.



II-12. ábra

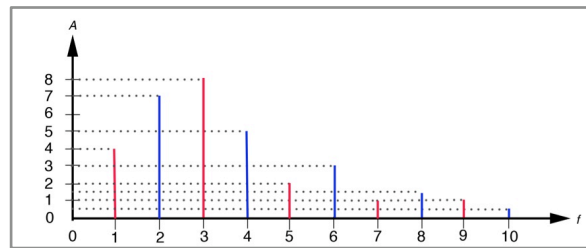
A tristimulus diagram geometrikus reprezentáció, ezért nem alkalmas percepció dimenziót azonosító jelző társítására. A koordináták formájában definiált tér azonban jó kiindulást nyújthat egyes hangszínterekben való navigációhoz, és párosítva a spektrális súlyponttal egyszerű módon lehet információhoz jutni általa az alapvető harmonikus spektrumtípusokról.

b) Páratlan és páros számú összetevők aránya

A páratlan és páros számú összetevőarány lehetővé teszi, hogy megkülönböztessük egymástól a páratlan harmonikusok által dominált hangszínt az összes harmonikust tartalmazó hangzástól. A mérték a páratlan harmonikusok és a páros számú többszörös összetevők amplitúdóarányát adja meg. Amennyiben az érték 1, kiegyenlített a spektrum. Ha az érték 0, a spektrum csak páros összetevőket tartalmaz. Ha az érték a végtelenhez tart, a spektrumban csak páratlan összetevők vannak. A II-13. ábrán látható spektrum közel egyenlő arányban tartalmazza a két típusú összetevőt.

A szakirodalom érzékelési szempontból fontos dimenziónak értékeli a páratlan harmonikusok arányának meghatározását, már Helmholtznál is szerepel az alapvető

törvények között. A páratlan értékek "üreges", klarinétszerű, míg a teljes tartomány jelenléte nazális, oboaszerű hangszínre utalnak.



$$\text{OER} = 16/17 = 1.0625$$

II-13. ábra

II.3.2.3. Az inharmonikus spektrum jellemzői

Smalley spektromorfológia elmélete az inharmonikus hangokat a harmonikus, jól elkülöníthető, összeolvadó hangmagassággal rendelkező hangok és a zajok közötti területen helyezi el. Instabil, többértelmű típusnak tartja ezeket a hangzásokat, melyek elmozdíthatóak mind a harmonikus mind a zajos tartomány felé.

„Az inharmonikus kétértelműség két irányú spektrális változást tesz lehetővé. Először elmozdulhat a hangközöket tartalmazó és harmonikus, tonális spektrum felé. Másodsor [...] az inharmonikus telítés – a spektrális komponensek hozzáadásával – eszköz lehet a zaj irányába történő mozgáshoz. Az inharmonicitás így hasznos köztes területet foglalhat el, amely lehetővé teszi az elmozdulást mind a harmonikus hangok mind pedig a zaj felé.”¹⁰⁸

A későbbi, a hangszerek hangszínét vizsgáló pszichoakusztikai kutatások az inharmonikus tartományt három kategóriára osztották, amely összhangban Smalley elképzelésével tartalmazza a majdnem tonális, a majdnem zajos és a köztük elhelyezkedő, mindkét irányba elmozdítható inharmonicitást. Beauchamp három kategóriát ír le¹⁰⁹: a) majdnem inharmonikus hangok, b) elszórtan elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező inharmonikus hangok és c) sűrűn elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező inharmonikus hangok.

a) Majdnem harmonikus hangok

A főleg húrok pengetésekor vagy megütésekor keletkező hangszínek

¹⁰⁸ Smalley, D. (1997)., 120. old.

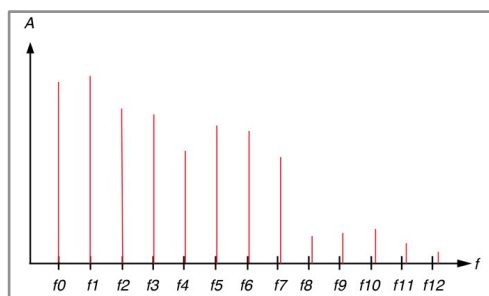
¹⁰⁹ Beauchamp J. W. (2007), 58. old.

összetevőinek kis mértékű eltérését a harmonikus arányoktól ún. inharmonicitás együtthatóval lehet leírni a következő képlet segítségével:

$$I_n = n f_1 (n^2 - 1) A / 2,$$

ahol I = inharmonicitás mértéke, n = összetevő sorszáma, f_1 = alaphfrekvencia, A = inharmonicitás együttható, melynek mértéke a húr anyagának jellemzőitől függ.

Az A inharmonicitás együttható zongorahúrok esetén az 1000 Hz alatti regiszterben 0.0001 és 0.001 között, az e feletti tartományban pedig 0.001 és 0.01 között mozog. Ez azt jelenti, hogy például az A' esetén a 10. összetevő 4400 Hertz helyett $4400 + 10 \cdot 440 \cdot 99 \cdot 0.0005 / 2 = 4509$ Hz. A képletből kiolvasható, hogy az inharmonicitás mértéke az összetevő sorszámaival négyzetesen arányos, így minél magasabb sorszámú az összetevő, annál nagyobb a különbség a harmonikus esetben létrejövő értéktől, amint az a II-14. ábrán látható.



II-14. ábra

Choi és társai¹¹⁰ kutatásai eredményei azt mutatták, hogy zongorahangok esetében az inharmonicitás növelésének következtében a tesztalanyok szerint a hangzás fényesebbé, tisztábbá, élesebbé, hidegebbé, feszültebbé vált.

b) Elszórtan elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező inharmonikus hangok

Az akusztikus hangszerek közül a fa- és fémlappal rendelkező ütőhangszerek spektruma tartalmaz elszórtan elhelyezkedő inharmonikus összetevőket. A részfrekvenciák kiszámítására Morse alapján Beauchamp¹¹¹ közöl képletet:

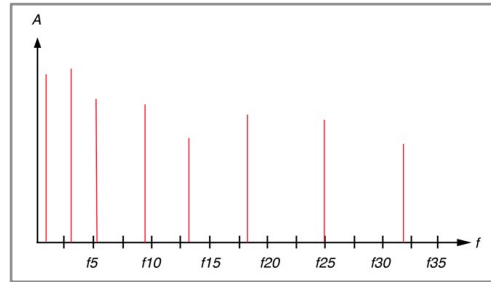
$$f_k = f_0 (2k+1)^2,$$

ahol f_0 a felhasznált anyag típusától, méretétől és alakjától függő együttható. Az első összetevő értékét kiszámítva $k=1$ sorszámnál $9f_0$ -t kapunk. Ha $9f_0$ -t tekintjük a

¹¹⁰ Choi, I. Y.; Yoon, S. Y., Kim S. W., Sung K-M. (2002), 6.old

¹¹¹ Beauchamp J. W. (2007), 60.old.

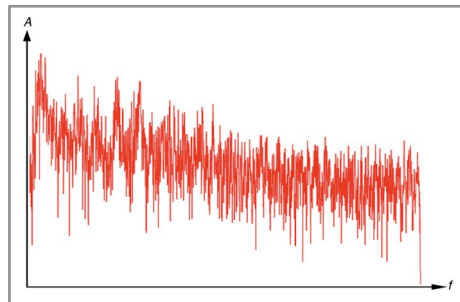
legmélyebb összetevőnek, a további arányok kifejezéséhez kilenccel kell osztanunk a további eredményeket. A képletbe behelyettesítve a harmonikus sorszámokat, a kilenccel történő osztás után a következő szorzókat kapjuk az alaphanghoz viszonyítva: f_1 , $2.78f_1$, $5.45f_1$, $9f_1$, $13.44f_1$, $18.78f_1$, $25f_1$, $32.11f_1$, stb., ami egy felfelé táguló spektrumot mutat egymástól jól elkülönülő összetevőkkel (lásd II-15. ábra).



II-15. ábra

Az összetevők egymástól való távolsága miatt nem jellemző érdesség érzet kialakulása, az összetevők egy részét külön hangmagasságként érzékeljük. Azok az összetevők, amelyek között közel harmonikus arányok alakulnak ki, összeolvadhatnak egy hangmagasságéretté.

c) Sűrűn elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező inharmonikus hangok



II-16. ábra

A vékony fémlemez és a kifeszített membránok spektruma nagyon sűrű, sokszor közelít a fehér zajhoz. A cintányér hangjának elemzéséből például az derül ki, hogy az egyik legerőteljesebb alkotóeleme, a 2200 Hz a 110. sorszámú összetevő. Lineáris megoszlás esetén 20 Hz-ként találunk összetevőket, ami a magasabb tartományban egészen kicsi hangköznek felel meg (8000 Hz esetén a kisszekund 475 Hz-nek felel meg, a 20 Hertz nem éri el a fél centet sem). A közeli összetevők miatt a hangzás nagy mértékű érdességgel rendelkezik, így hangmagasságot nélkülöző, zajos érzet keletkezik (lásd II-16. ábra).

II.3.2.4 A zaj

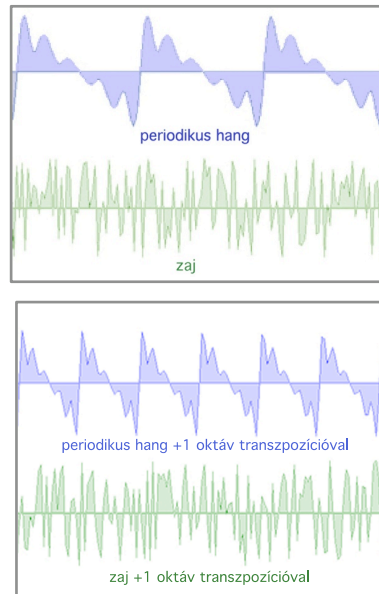
A harmonikus hangzások és a zaj közötti érzékelési különbség nagyon jelentős spektrális meghatározó, azonban a pontos határérték nehezen definiálható a két minőség között. Ennek oka egyrészt a „zaj” szó széles körű jelentésében keresendő, amely gyakran magában foglalja az elutasítást, a védekezést minden olyan hangzással szemben, amelynek funkciója egykor az volt, hogy veszélyre figyelmeztessen. A háborgó vizek, viharok, lezúduló kövek, robbanások hangja negatív reakciót kiváltó kategóriaként rögzült az evolúció folyamán. A civilizáció előrehaladtával valamelyest megszelídült jelentése, de ma is általános, hogy a zavaró, a hallásra veszélyes hangok nagy csoportját tekintjük zajnak. Egy másik ok a két kategória közötti folyamatos átmenetben keresendő, hiszen elég széles az a határterület, ahol még a kontextustól függ, mit tekintünk inharmonikus hangnak, zajos hangmagasságnak vagy hangmagassággal rendelkező zajnak.

A zaj matematikai definíciója szerint véletlenszerű folyamat. A digitális hangkeltésben a zaj egyes hangmintái között nincs kódolható viszony. A teljesen véletlenszerű zaj spektrumában minden összetevőnek egyforma az átlagolt amplitúdója. Smalley ezt az állapotot „telített spektrális állapotnak”¹¹² nevezi, mely nem bontható hangmagasságokra.

A zaj behatárolását az is megnehezíti, hogy befogadásának módja lényegesen különbözik a periódikus hangokétól. A II-17. ábrán periodikus hang és fehérzaj hullámforma-reprezentációjának összehasonlításán jól látható, hogy a periodikus jel ismétlődő hullámformákkal tagolt, zérusátmenetei egymástól egyenlő távolságra helyezkednek el. A hallás ezt az időtartomány-információt is figyelembe veszi a hangmagasság- és hangszínérzet kialakításakor. A periodikus hang transzpozíciója világosan megjelenik rövidebb periódusok formájában. A zaj időtartomány-reprezentációja véletlenszerű amplitúdóértékeket és zérusátmeneteket tartalmaz. Transzpozíciója nem okoz a periódusos hangokéhoz hasonló változást az időtengelyen, és ami még meglepőbb, az oktávval feljebb transzponált fehérzajt ugyanolyannak érzékeljük, mint transzponálatlan verzióját. Összetettebb zajos hangzások esetén még furcsább érzékelési eredmények fordulnak elő. Wishart egyik hangzó példája pl. az oktáv-transzpozíció után egy terccel feljebb szól¹¹³.

¹¹² Smalley, D. (1997), 120. old.

¹¹³ Wishart (1996), 58. old.



II-17. ábra

A zaj véletlenszerűség-foka változtatható, azaz a zaj amplitúdójának és/vagy spektrumformájának változtatásával különféle módokon lehet „színezni” a fehérzajt. Az amplitúdómoduláció a moduláló frekvenciával megegyező hangmagasságot ad a zajhoz. A zaj spektrumformáját szűréssel változtathatjuk. A széles sávokkal behatárolt zaj továbbra is zajos karakterű, de eltérő színezetű hangzásokat eredményez. Keskenyebb sávok esetében hangmagasságérzet is kialakul. A zaj színezésével hozzávetőlegesen meg tudjuk ítélni, milyen hangmagasságok keletkeznek az egyes deformációk eredményeképpen, amely megkönnyíti a közlekedést a hangmagasság-zaj kontinuumon.

A zaj meghatározásának egyik módszere a zéruskeresztezés gyakorisága. Mértéke meghatározza, hogy a jel hányszor keresztezi egy időegység alatt (általában egy analízisablak hossza) az y , zérustengelyt. A periodikus hangok esetében ez a szám lényegesen kisebb, mint zajos hangoknál.

A „zajosság” azt határozza meg, hogy egy hangzáson belül milyen az aránya a zajos hangoknak a periódussal rendelkezőkhöz viszonyítva.

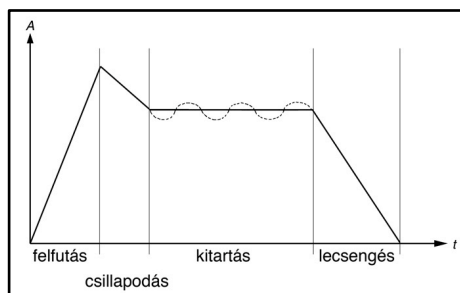
II.3.3. A hangszín időben változó tulajdonságai

A hangszín tulajdonságait nemcsak spektrumának szerkezete határozza meg, hanem annak időbeni változásai is. Két, időben változó paramétercsoportot lehet elkülöníteni a hangszíneken belül: a makro szinten történő, globális

amplitúdóváltozást (amplitúdó-burkológörbe), és a mikro szinten történő, a spektrum belső szerkezetének egyes összetevőit érintő változásokat (pl. spektrális fluktuáció).

II.3.3.1 Amplitúdó-burkológörbe

Az amplitúdó-burkológörbe az idő függvényében reprezentálja a hang energiájának változásait, melyek nagy mértékben befolyásolják a hangszínérzetet. A rendkívül komplex, az átmeneti fázisaiban komoly hektikusságot mutató görbét adatredukció segítségével 4 alapvető fázisra osztották (lásd II-18. ábra) – felfutás, csillapodás, kitartás, lecsengés – melyek segítségével elvileg bármilyen hang dinamikai változása leírható. Természetesen nem minden hang tartalmazza mind a négy fázist, gyakran csak a felfutás és a lecsengés van jelen. Egyes reprezentációk tartalmazzák a kitartás fázis amplitúdó-fluktuációit is (II-18. ábra, szaggatott vonal).



II-18. ábra

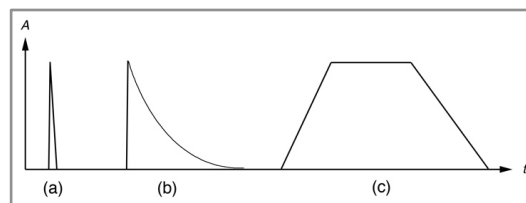
Az amplitúdó-burkológörbe hangszínt befolyásoló hatását számos pszichoakusztikai kísérlettel vizsgálták. Leggyakrabban a felfutás és/vagy a lecsengés eltávolításával tanulmányozták, mennyire sérül a hangok felismerhetősége hiányukban. Az eredmények egyértelműen kimutatták, hogy a felfutás nélküli hangokat kevésbé lehet azonosítani, azaz a hangszínt nagy mértékben befolyásolja a felfutási szakasz. A felfutás és a lecsengés meghatározására két paraméter használatos: az időtartam és a dőlés formája (például lineáris, exponenciális). A felfutás a hangok megütöttségét, a lecsengés pedig a rezonancia-érzetet befolyásolja.

Smalley spektromorfológiai értekezésében a hangszeres hangok dinamikai változásának három archetípusát különbözteti meg, melyek variánsaival az összes állapot előállítható¹¹⁴.

- csak felfutás (II-19a) : két fázis, a felfutás és a lecsengés egy formába olvad, ilyenkor pillanatnyi energiaimpulzus, koppanás-, pattanásszerű hang keletkezik,

¹¹⁴ Smalley (1997), 113. old.

- felfutás-lecsengés (II-19b): a felfutás szakaszt rezonancia prolongálja. A kezdő gesztus elindítja a hangot, nincs további energiaközlés, a hang fokozatosan lecseng. Rezonáns testtel rendelkező, ütött, pengetett hangszerek (például zongora, vibrafon, hárfa) tompítatlan hangzásainak morfológiája,
- fokozatos folyamatos (II-19c): a három legfontosabb fázis (felfutás, kitartás, lecsengés) van jelen. A hang fokozatosan kezdődik, és a kitartás szakasz után fokozatosan végződik. A kitartás szakasz fenntartásához folyamatos energiaközlés szükséges, ami miatt Smalley szerint ez az archetípus a leginkább alkalmas variánsok kialakítására.



II-19. ábra

Az amplitúdó-burkológörbe általános, kevés adatot felhasználó jellemzésére szolgál súlypontjának meghatározása. Alkalmazásával egy érték segítségével határozható meg, hogy a hang ütött vagy kitartott. Egyes kutatások¹¹⁵ érzékelési szempontból fontos jellemzőnek tartják.

II.3.3.2. Spektrális fluktuáció

A spektrum alakjának és belső szerkezetének időbeni változásai komoly hatással vannak az érzékelt hangszínre. Mint arról korábban szó volt I.3.2. fejezetben, Risset már a számítógépes hangszintézis úttörő időszakában megállapította, hogy a hangzások összetéveszthetetlen, rossz hallgatási körülmények között is felismerhető jellegzetességeit a belső változások mintázatai okozzák, nem az általános, konstans szerkezet. Zenei szempontból is az egyik legizgalmasabb kérdés a változások természetének megismerése és meghatározása. Ezen a területen is elsősorban a már létező, akusztikus hangszínek területén állnak rendelkezésre kutatási eredmények. Az elektroakusztikus zenében már az első lépésnél azzal a problémával találjuk magunkat szemben, hogy meg kell határozni, mi az a legkisebb egység, amit vizsgálni érdemes, hiszen ebben a műfajban nem a hang (notáció esetén hangjegy) a legkisebb összetevő.

¹¹⁵ Peeters, G. (2004), 9. old.

Gyakran összefüggő áramlások, sima vagy érdes felületű szövetek változása, hangszínek fokozatos egymásba morfolódása tartja mozgásban a zenei folyamatot, ahol nehéz kijelölni az elemzendő egység időhatárait. Azt is ki lehet jelteni, hogy egyes elektroakusztikus zenei műfajokban (pl. akusztikus zene) épp a komplex spektrális fluktuáció formálása határozza meg a keletkező zene minőségét.

Az akusztikus hangszerek spektrális fluktuációjának vizsgálata sem zárult még le, újabb és újabb elképzelések jelennek meg a szakirodalomban. Jól mutatja a befejezetlen, folyamatos átalakulásban lévő állapotot Donnadieu megjegyzése a hangszínpercepcióról szóló, összefogó munkájában:

„Nem minden kísérletben találtak érvényesnek tekinthető harmadik dimenziót, és akik találtak, azok egymást követő tanulmányaikban különböző módon interpretálták ezt az érzékelési tengelyt.”¹¹⁶

A kutatások jelenlegi állapotában a fluktuáció azt fejezi ki, milyen gyorsan és milyen mértékben változik egy adott hang színe. Donnadieu az ingadozás reprezentálására háromféle módot különít el¹¹⁷:

- a) spektrális flux: a spektrális súlypont értékének változási sebessége az átlagérték körül,
- b) spektrális variáció: az amplitúdó-spektrumok átlagos korrelációja az egymást követő analízisablakokban,
- c) korreláció: az egyes összetevők felfutási idejének aszinkronja.

Pedersen¹¹⁸ egyszerűbb meghatározásokkal operál:

- a) a spektrális fluktuáció tempója: az érzékelhető audio-események (mint például a hangerő vagy a frekvencia változásai a hangban) sebessége
- b) a spektrális fluktuáció egyenletessége: az időintervallumok szabályossága az érzékelhető audio-események megjelenése között.

¹¹⁶ Donnadieu, S. (2007), 283. old.

¹¹⁷ Donnadieu (2007)

¹¹⁸ Pedersen, T. H. (2008), 14. old.

II.4. Kvalitatív dimenziók

Az előző fejezetben felsorolt akusztikai dimenziók fejlesztése rendkívül fontos területe a hangszíntudatásnak, hiszen segítségével célirányosan lehet hangszíntulajdonságokat számszerűsíteni egyébként kezelhetetlenül nagy mennyiségű analízisadat matematikai, statisztikai feldolgozása segítségével. A mennyiségi meghatározás egyik hátránya, hogy nehézkesen lehet vele a hangszíntulajdonságokat kommunikálni, így kizárólagos alkalmazásukkal jelentősen szűkülhet a zenei felhasználók köre. További probléma, hogy sok olyan sajátosság leírására nem áll rendelkezésre számadat, melyek fontos részét képezik a hangszínekről alkotott képzeinknek.

A hangszínek meghatározására használt verbális kifejezések sokasága arról tanúskodik, hogy az emberi érzékelés nagyon kifinomult megkülönböztetési képességgel rendelkezik ezen a területén. Ennek a képességnek a tanulmányozása évtizedek óta lényeges információkkal szolgál a hangszíndimenziók kutatásához, és kiegészíti az akusztikai dimenziók vizsgálatával nyert információkat. A kétféle megközelítés nem váltja ki egymást, a hangzások jellemzésében egyformán nagy szerepük van.

A szemantikai dimenziókat gyakran alkalmazzák az ember mindennapi környezetében használt tárgyak hangjainak vizsgálatához annak érdekében, hogy a gyártók a fogyasztók által legkedveltebb, a termék eladása szempontjából ideális hangzást tudják kialakítani. Az autómotorok, -ajtók, ventilátorok, légkondicionáló berendezések, ital- és kávéfőző automaták stb. hangjának tervezésekor már nemcsak a zaj csökkentése a cél, hanem a fogyasztók érzelmi befolyásolása is. Az említett tárgyak hangdizájnjának folyamatában fontos állomás a hangzások értékelése, ami nagyrészt szemantikai skálák segítségével történik. Mivel az akusztikai dimenziókat nagyrészt hangszeres hangszínek értékeléséhez fejlesztették, nagyon fontos terület az elektroakusztikus zenében használt hangokhoz sok tekintetben hasonló ipari, környezeti hangokkal végzett kutatás, hiszen ennek eredményei nagy mértékben hozzájárulnak a feltáratlan dimenziók megismeréséhez. A környezeti hangok vizsgálata sok olyan szemantikai dimenziót a felszínre hoz, amelyek nem szerepeltek, vagy csak kis fontosságot kaptak a hangszeres kutatásokban.

II.4.1. Szemantikai differenciál skálák

A hangszín érzékelésének megértéséhez közelebb visz a komplex hangszínek leírására használt verbális meghatározások elemzése. Az első kutatások a hangzások reális, mindennapi közegben való észlelésével foglalkoztak, olyan helyzetekkel, ahol a hangzásokhoz társított jelentések helyes értelmezése kiemelkedő fontossággal bírt. Solomon¹¹⁹ például tapasztalt hanglokátor-kezelők speciális szókészletet használva próbálta meg kategorizálni a tengeralattjárók hanglokátorainak hangzásait, hogy azonosítsa azokat a tulajdonságokat, amelyek hozzájárulnak az egyes források azonosításához (például hajók mérete, típusa, stb.). A kísérlethez a szemantikai differenciál skálát alkalmazta, és a hanglokátor-kezelők verbális kifejezéseinek tesztelésével vizsgálta, mennyire általános a módszer a hallási percepció kutatása szempontjából.

A szemantikai differenciál Charles Osgood amerikai pszichológus által az '50-es évek elején javasolt skálatípus, melynek segítségével bizonyos fogalmakkal kapcsolatos konnotatív jelentéseket lehet értékelni. Kétpólusú, szemantikai ellentéteken alapuló skálák (például jó-rossz, puha-kemény, stb.) csoportjának használatával lehet így többdimenziós, percepción alapuló értékelést készíteni. Osgood szemantikai differenciálnak nevezte el a skálákat, mert azok különbséget tudtak tenni szavak konnotatív jelentéseinek szubjektív értelmezései között. Az ő találmánya volt a szemantikai tér fogalma is, amely szerint három fő típusú szemantikai dimenzió létezik – kiértékelő, erőteljesség szerinti, aktivitás szerinti – amelyek mentén kulturális, nyelvi és környezeti különbségektől függetlenül értékelik az emberek környezetüket.

A szemantikai differenciál skála jól működő technika a hangzások pszichológiai hatásainak értékeléséhez, segítségével leírhatók a hangszín alapvető tulajdonságai (például hangosság, fényesség), az érzelmi válaszok (tetszés, nem tetszés, szépség érzete), és a hangforrás konnotatív dimenziói (például Trabant hangzás) is.

A szemantikai differenciállal vizsgálták többek között azt is, hogy hány szemantikai skála szükséges a hangszínek teljes körű meghatározásához. Az egyik első kutatás ezen a területen von Bismarck¹²⁰ nevéhez fűződik, aki hipotézisként 69

¹¹⁹Solomon, L. N. (1959).

¹²⁰Bismarck, G. (1974).

jelzőpárt jelölt ki. A rokonértelmű kifejezések eltávolítása után 28 párt hagyott meg pszichoakusztikai kísérleteinek kiindulásául. A II-20. ábra 10 jelzőpárja érzékelteti, milyen típusú kifejezésekkel dolgozott von Bismarck.

sötét	-	fényes
tompa	-	éles
puha	-	kemény
tömör	-	szétszórt
egyenletes	-	hepehupás
tág	-	szűk
vastag	-	vékony
szilárd	-	üreges
színes	-	színtelen
teljes	-	üres

II-20. ábra

35 eltérő hangszínű beszédhang analízisével a következő dimenziókat találta érvényesnek a különbségek 90%-ára: 1. vastag-vékony, 2. tömör-szétszórt, 3. színes-színtelen, 4. teljes-üres. Szintetikus hangokkal végzett tesztjeiből az derült ki, hogy a legfontosabb, egymástól független skála, ami leírja a változásokat a 1. tompa-éles, 2. tömör-szétszórt, 3. teljes-üres, 4. színes-színtelen. A két eredmény nagyon hasonló egymáshoz. A különböző jelzőpárok rokonértelműek, a beszéd esetén az első helyre kerülő vastag-vékony hasonlóságot mutat a tompa-éles párral. A két vizsgálat eredményei közül Bismarck egyedül az élességet leíró dimenziókat tekintette általánosan érvényesnek, nem véletlen, hogy a későbbiekben saját módszert dolgozott ki a perceptuális élesség kiszámítására.

A skálák megjelöléseit szemantikai ismertetőjegyeknek nevezik. Az elemzett objektumnak (a mi esetünkben hangnak) a különböző szemantikai skálákon elvégzett értékelései határozzák meg a szemantikai profilnak nevezett multidimenzionális reprezentációt. A profil vizualizációjától függően különböző módon lehet információegyütteseket megjeleníteni a vizsgált hangokról. A II-21 — II-23. ábrák légkondicionálók hangzásának analízisadatait¹²¹ szemléltetik táblázat és diagramok formájában:

a) táblázat (lásd II-21. ábra): tartalmazza az összes vizsgált dimenzió pontos értékét. Nehezen átlátható, de paraméter-párokat precízen össze lehet segítségével hasonlítani.

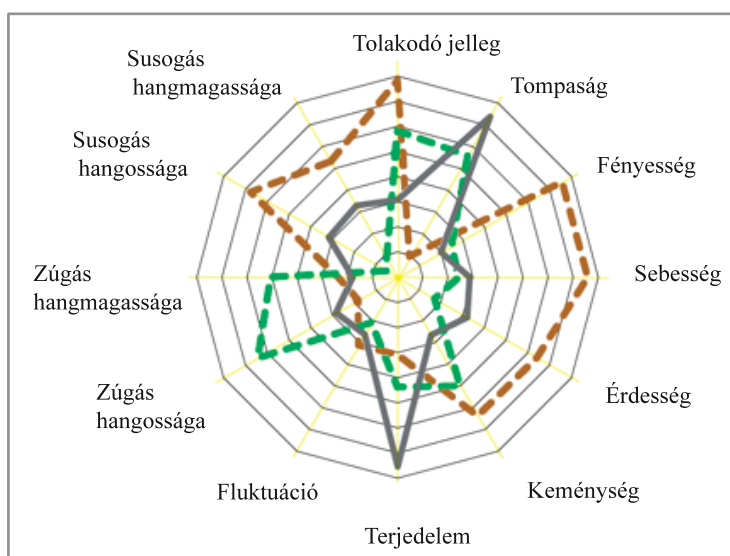
¹²¹ Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S. (2011)

A táblázat a további vizualizációk adatbázisaként szolgál.

		1. (barna)	2. (zöld)	3. (szürke)
01	Tolakodó	90	70	40
02	Tompa	10	68	85
03	Fényes	85	40	30
04	Sebesség	85	37	40
05	Érdes	75	30	42
06	Kemény	72	60	38
07	Terjedelem	40	52	87
08	Fluktuáció	40	30	38
09	Zúgás hangossága	30	70	40
10	Zúgás hangmagassága	25	60	30
11	Susogás hangossága	80	12	40
12	Susogás hangmagassága	62	18	42

II-21. ábra

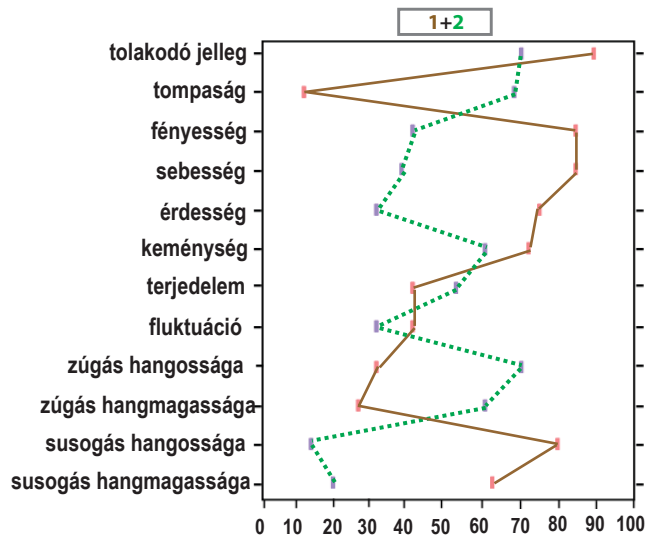
b) kör alakú vonaldiagram (lásd II-22. ábra): gazdaságos, helykihasználó vizualizáció, segítségével jól láthatóan össze lehet hasonlítani hangszínek alapvető tulajdonságait. Egypólusú szemantikai és akusztikai meghatározások ábrázolására alkalmas.



II-22. ábra¹²²

c) vonaldiagram (lásd II-23. ábra): jól átlátható, hatékony vizualizáció. Mivel két pólusa van az x tengelynek, alkalmas két pólusú, jelzőpárral meghatározott tulajdonságok ábrázolására is. Az x tengelyen lévő, jól átlátható tér használható terjedelmek ábrázolására is, ezért időben változó hangszíntér-dimenziókat is lehet vele szemléltetni.

¹²² Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S. (2011), 234. old. alapján



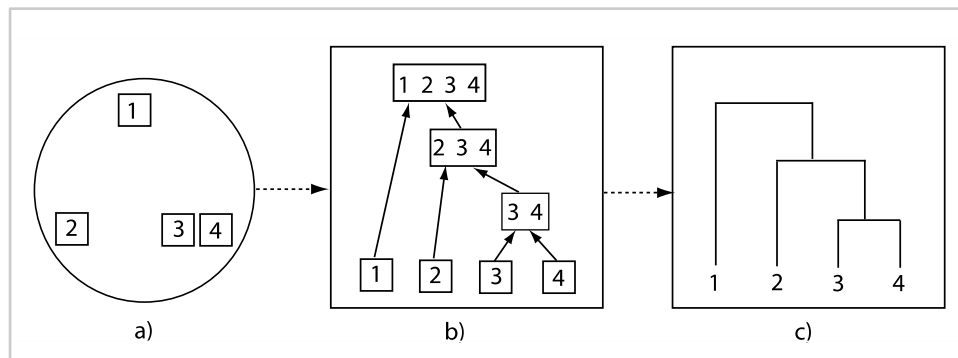
II-23. ábra

II.4.2. Szortírozás, csoportosítás és a dendrogram reprezentáció

A verbális meghatározások tanulmányozása során figyelemmel kell lenni a kategorikus percepció jelenségére is, ami miatt számos hangzást a hangforrás teste illetve megszólaltatásának módja szerint csoportosítunk. Különösen nagy befolyással lehet a hangzások értékelésére a forrás-hozzárendelés, ha nagyon különböző hangzásokat kell egy csoportban kezelni például szemantikai differenciál skálákkal. Ezért a hangszínek közötti viszonylatok finomabb kialakítása érdekében hasznos lehet a forrásuk vagy megszólaltatásuk miatt különböző hangzásokat különválogatni, és csoportokba rendezni. Mint azt az akusztikai hangzásdimenziók esetében láthattuk, az elemzett hangzáscsoportban szereplő hangok nagy mértékben meghatározzák, milyen akusztikai ismertetőjegyek tartoznak hozzájuk, és melyek lesznek a legjelentősebbek. A verbális dimenziók értékelésekor fokozottabban befolyásolhatja az eredményt a forrás ismerete, hiszen egyes hangzástípusokhoz olyan konnotációk tartozhatnak, melyek az értékeléskor a hang forrásához köthető „előítéleteket” helyezik előtérbe a hallott hang rovására. Elképzelhető például, hogy ha perkusszív hangot hasonlítunk össze cselló pizzicato hanggal a zajos-nem zajos skálán, a dobhoz, mint zajos hangszerhez, a csellóhoz pedig mint harmonikus dallamhangszerhez kapcsolódó asszociációk miatt nagyobb lesz a különbség a két hangzás között a hangforrások azonosítása miatt, mintha két, az előző két hangszerhez hasonlóan zajos, de hasonló fizikai adottságokkal rendelkező hang került volna összehasonlításra.

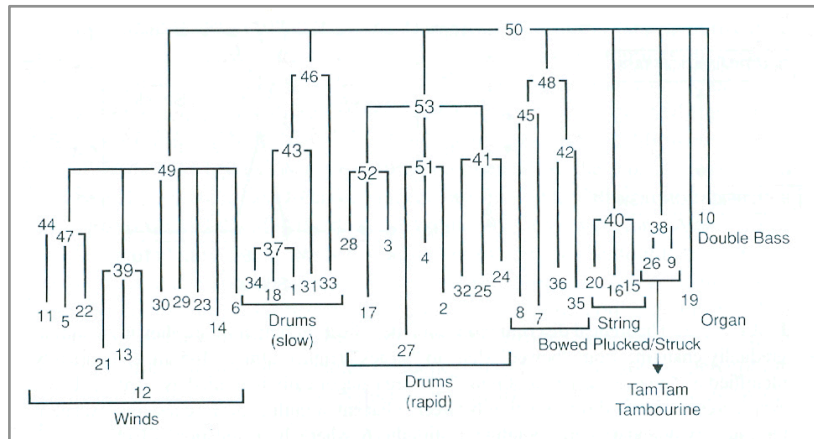
A hangzások csoportosítását gyakran szabad-verbalizációs tesztek mintájára végzik, azaz a hallgatóra hagyják, hogy előzetes elnevezések nélkül, szabadon csoportosítsa a hangzásokat, és ezután jelöljön ki elnevezéseket az egyes csoportoknak. A kísérleti alany annyi csoportot állít fel, amennyit fontosnak tart, és minden kategóriához annyi hangot rendelhet, amennyi tetszik (egy hang több csoportba is tartozhat). Az adatokat számítógépes program elemzi, melynek segítségével meg lehet határozni az egyes kategóriák közötti hierarchikus és hasonlósági viszonyokat. Az eredmény vizualizálására a fa-reprezentáció a legalkalmasabb, melyek közül a legnépszerűbb a dendrogram, amely hierarchikus formában ábrázolja az adatokat. A „levelek” reprezentálják a hangokat, és a két levelet összekötő csomópontok magassága tükrözi a hangok közötti percepció távolságot.

A II-24. ábrán egyszerű dendrogram kialakításának folyamata látható. A példa az a) körben található 4 objektum térbeli távolságát képezi le dendrogram segítségével. A b) négyzetben a csomópontok helyén megjelöltem, melyik objektum tartozik a megfelelő szinthez, a c) négyzet az egyszerűsített, vonalas dendrogram ábrát illusztrálja.



II-24. ábra

A II-25. ábra fűvós, ütött és vonós hangszerhangok hangszíneinek hasonlóság szerinti csoportosítását mutatja be dendrogram használatával.



II-25. ábra¹²³

II.4.3. Szókészlet

Amikor szemantikai differenciál tesztet kell összeállítani, vagy meg kell rajzolni egy hangszín profiljának diagramját, szükség van arra, hogy szavak segítségével kommunikáljuk a hangszín tulajdonságait. Ez az egyszerűnek tűnő feladat komoly nehézségeket tud okozni, mivel az emberi nyelvek nem rendelkeznek pontos, szabatos kifejezésekkel a hang minden tulajdonságának leírására. Számtalan olyan hangzás és hangzástulajdonság létezik, amit csak nehézkes körülírással lehet verbalizálni, és lehet, hogy még akkor sem sikerül átadni pontosan az érzetet.

A verbalizáció fontos állomás a hangszíntulajdonságok megismerésében, hiszen segítségükkel lehet megosztani a közös tapasztalatokat, és továbbadni a már feltárt szabályokat. Valamely csoport (például akusztikusok, elektroakusztikus zeneszerzők, stb.) által egységesen értelmezett kifejezések kialakítása hozzájárul a hangszín által keltett érzetek tudatosításához és memorizáláshoz.

A hangszíneket, hasonlóan az ember által érzékelt világ más objektumaihoz, kategorizálás segítségével különböztetjük meg egymástól. A kategorizálás olyan interakció az ember és az őt körülvevő világ között, melynek során differenciál a tárgyokról, jelenségekről alkotott érzetek között. Kategorizálás akkor történik, ha hasonló jellegű jelenségekre ugyanazzal a „kimeneti reakcióval” reagálunk, pl. felismerjük, hogy dörög az ég, megkondult egy harang, hogy valaki kedves vagy fenyegető hangon beszél, stb. A kategorizálás folyamata állandó, az ember születésétől kezdve permanens módon, sokszor észrevétlenül alakít ki újabb és újabb kategóriákat. Csecsemőként például felismerjük a szüleink hangját, később a

¹²³ Donnadieu, S. (2007)

közvetlen, majd távolabbi környezetünk hangjait. A hangzás-kategóriák általában érzékelési tapasztalatok irányított „találat-hiba” értékelésén keresztül állandósulnak az agyban, nem pedig az adott kategória tulajdonságainak intellektuális elsajátításával. Eső hangjának felismerésekor például még a tapasztalt felnőttek is kinéznek az ablakon, hogy meggyőződjenek arról, hogy az esőként azonosított hangkategória valóban esőt jelent-e.

Nagyon sok esetben nem vagyunk tudatában, így nem is vagyunk képesek megnevezni, mik azok a tulajdonságok, amelyek alapján kategorizálunk, ami azonban nem jelenti azt, hogy ezek a tulajdonságok nem léteznek. Stevan Harnad kategorizációról értekező cikkében¹²⁴ a kiscsirkék nemek közötti szétválogatásának szinte a lehetetlenségig nehéz feladatát hozza fel példának arra, hogy a kategorizálásban résztvevő tulajdonságok megismerésével lényegesen sikeresebbé lehet tenni a megkülönböztetést. Leírja, hogy fekete öves, általában japán nagymesterek szerint hosszú évekig tart, amíg a mesterek felügyelete alatt végzett „találat-hiba” értékelésen keresztül valaki képes eljutni a barna öves képességig. Ez a módszer nem tanítja meg közvetlen módon azokat a tulajdonságokat, amelyek jellemzőek az eltérő nemű kiscsirkékre, mivel hosszú ideig azt gondolták, ezek a jellegek nem verbalizálhatóak. 1987-ben Biederman¹²⁵ számítógéppel elemezte a kiscsirkék hasának vizuális elemeit, és sikeresen azonosította a nemekre jellemző eltéréseket, így viszonylag rövid idő alatt képes volt kezdőknek is megtanítani, hogyan lehet felismerni azokat. Egyes hangzástulajdonságok feltárása gyakran hasonló nehézségeket okoz, mint a „chicken-sexing”. Hogyan íránk le pl. a különbséget a magassarkú cipő kopogása és a papucs csoszogása között anélkül, hogy a hangforrásra utaló szavakat használnánk?

A hangszíntulajdonságok leírására szolgáló szókészlet vizsgálatán keresztül ki lehet alakítani közös, az eddiginél precízebb nyelvet, melynek elemeiből válogatni lehet, amikor kifejezésekre van szükség hangszíndimenziók változtatásával komponált művek vizsgálatához, szemantikai differenciál tesztekhez, hangzások leíró analíziséhez.

Hangtulajdonságokat leíró szavak összegyűjtését és vizsgálatát Pedersen¹²⁶ végezte el, aki angol-dán szótár alakjában tette közzé az általa talált 450 kifejezést. A

¹²⁴ Harnad, S. (2003)

¹²⁵ Ibid.

¹²⁶ Pedersen, T. H. (2008)

szavakat különböző csoportokba rendezte annak megfelelően, hogy milyen módon írják le a hangzásokat. A következő kategóriákat tartotta fontosnak:

1. Érzékelési tulajdonságok
 - 1.1 Közvetlen hangismertetőjegyek (például hangos, levegős, mély)
 - 1.2 Más érzékszervekhez kapcsolódó jelzők (például ködös, sötét, tiszta)
 - 1.3 Hangforrásokra és hangeseményekre utaló szavak (például kattogó, mekegő)
 - 1.4 Változások vagy különbségek az érzékelésben (például halott, iszapos)
2. Érzelmi válaszok a hangra (például unalmas, irritáló, izgalmas, stb.)
3. Konnotatív asszociációk (például agresszív, veszélyes, sűrű, stb.)
4. Hangutánzó szavak (például csiripelő, bégető, susogó, stb.)
5. Tulajdonságok (például felfutás, színezet, tisztaság)

Pedersen kategorizálási kísérlete a hangszín szemantikai dimenzióinak feltérképezésében is nagy előrelépést jelent, bár kategóriái nem mindig értelmezhetőek világosan, és sokszor nagymértékű átfedés van egyes osztályok között (a hangutánzó szavak például mindig utalnak a hangforrásokra illetve hangeseményekre, ezért inkább a „Hangforrásokra és hangeseményekre utaló szavak” alosztályának javasoljuk). Az általa feltüntetett kifejezések sokszor egymás szinonimái, máskor nehezen tekinthetők hangzástulajdonságnak. Jelen formájában a rendszert kiindulási alapnak tekintettem, melyet átdolgoztam lényeges egyszerűsítéseket és strukturális változásokat eszközölve benne. A javasolt szavak szűrésével és kiegészítésével saját, példaként szolgáló szókészletet alakítottam ki.

A II-26. ábrán feltüntetett táblázatban látható, hogy az új változat Pedersen 8 kategóriája helyett csak 5-öt tartalmaz, melyeket 3 fő osztályba szerveztem:

1. Közvetlen hangleíró ismertetőjegyek
2. Más érzékszervekhez kapcsolódó jelzők
3. Konnotatív asszociációkat és érzelmeket kifejező jelzők

A felosztás megkönnyíti, hogy meghatározzuk az egyes típusok funkcióját a hangszínek leírásában. A három kategória elemeinek összehasonlításával rögtön szembetűnik, hogy az első két kategória alkalmasnak tűnik arra, hogy segítségével egy szakmai csoport közös, korlátozott számú objektív tulajdonság alkalmazásával elemzésre alkalmas szavak készletét alakítsa ki.

		Közvetlen hangleíró ismertetőjegyek			Más érzék- szervekhez kapcsolódó jelzők	Konnotatív és érzelmeket kifejező jelzők
		Kizárólag a hangzás érzetére vonatkozó kifejezések	Hangforrásokra és hang- eseményekre utaló szavak			
			Hangutánzók	Nem hangutánzók		
		I. oszlop		II. oszlop		
Egydimenziós kifejezések	I. sor	basszusos, csendes, dallamos, diszsonáns, fluktuáló, glisszandáló, tremoláló, halk, hangos, harmonikus, inharmonikus, konzonáns, lebegő, magas, mély, modulált, polifón, pulzáló, rezonáns, ritmikus, tonális, torz, visszhangos, zajos, zengetett,			éles, fényes, pulzáló, remegő, sima, szaggatott, szemcsés, szétszórt, színtelen, tágas, távoli, teljes, teres, tiszta, tompa, üreges, változatos, vékony, vibráló, világos	átható, csúnya, dzsesszes, elegáns, feltűnő, fültépő, idegesítő, kusza, lágy, megnyugtató,
Többdimenziós kifejezések	II. sor		bégető, bongó, brekegő, bugyogó, cincogó, ciripelő, csaholó, csattintó, csengő, cseppenő, csikorgó, csilingelő, csipogó, csiripelő, csobogó, csöpögő, csörgő, csoszogó, cuppanó, daráló, dongó, doromboló, döngető, dörgő, dudáló, gágogó, gügyögő, horkoló, huhogó, károgó, kattogó, kongó, kopogó, korgó, kotyogó, kuruttyoló, lihegő, mekegő, morajló, nyávogó, pattogó, pengő, pöfögő, puffanó, pukkanó, reccsenő, rekedt, reszelő, robbanó, sercegő, sípoló, sistergő, susogó, suttogó, sziszegő, szűkölő, toccsanó, vonító, zakatoló, zörgő, zúgó, zümmögő	csapódó, fa-szerű, fémes, hangszernevek, harangozó, mechanikus, nyerítő, nazális, nedves, ordító, perkusszív, tépés, ugató, üveges, víz-szerű,	áradó, bizonytalan, durva, dús, elfojtott, erős, fakó, fátyolos, fodrozódó, gazdag, gépies, gömbölyű, gomolygó, homályos, ködös, levegős, mechanikus, meleg, puha	fenyegető, metsző, nehézkes, nyers, pazar, ragadós, sportos, száraz, szép, tolakodó, zavaró, zsenge

II-26. ábra

A harmadik kategória szubjektív ítéleteket tartalmaz, melyek túl sok hangra illenek egyszerre, és nem feltétlenül várható el, hogy még azonos kultúrából származó emberek is egyetértsenek abban, hogy például mi csúnya, és mi szép. Ez a kategória hasznos annak tesztelésére, hogy a vizsgált hangzások tartalmazzák-e azt a szemantikai jelentést, amit egyes, hangot is kibocsátó tárgyakkal a hangzásukkal közvetíteni vagy erősíteni kell. Ilyen kifejezésekkel tesztelik célcsoportjaikat pl. az autógyártók, amikor azt vizsgálják, hogy az egyes modellek hangja elég sportos, vagy elég elegáns-e. Mivel a két első kategóriában vannak jelen leginkább azok a jelzők, amelyek alkalmasak jól körülírható hangzástulajdonságok jellemzésére, a továbbiakban elsősorban ezekkel foglalkozom.

Pedersen kategóriáinak megalkotásakor abból a szempontból indult ki, hogy milyen típusú jelentéssel ruházza fel az adott kifejezés a hangingerekből érkező észleleteket. A kategóriákat sorba állítva a közvetlen, hangforrástól független ismertetőjegyeiktől az észlelet által keltett, ítéleteket is megfogalmazó érzelmekig, asszociációkig jutunk a hangforrásra utaló kifejezések, illetve a más érzékszervek által közvetített érzetek metaforáin keresztül. Pedersen az osztályozás folyamatába nem foglalta bele a szavak szemantikai kiterjedésének szempontját, azaz hogy jelentésük egy vagy több dimenzióból tevődik-e össze. A különbségtétel az egydimenziós (például konsonáns-disszonáns) és az összetett, csak több jelzőpár segítségével leírható kifejezések (például dörgő, gomolygó, csapódó) között azért szükséges, mert segítségével ki lehet jelölni, mely kifejezések szolgálhatnak tovább „oszthatatlan szemantikai elemként”, és melyek származtathatóak ezen elemek különböző kombinációiból. Ezért, amint az a II-26. ábra táblázatán látható, az 5 oszlopba rendezett kategóriákat a függőleges tengely mentén kettéosztottam egydimenziós és többdimenziós kifejezésekre. Az így kialakult mátrix tanulmányozásával a következő konklúziókat lehet levonni az egyes kategóriákról és a közöttük kirajzolódó összefüggésekről:

1.) A „konnotatív és érzelmeket kifejező jelzők” esetén nem alkalmaztam az egydimenziós illetve többdimenziós felosztást. Ez ugyanis az a kategória, ahol a kifejezések olyan tágas jelentéskörrel rendelkeznek, olyan sok elem tartozhat hozzájuk, annyira szubjektívek, hogy nem lehet szemantikai profiljukat szemantikai dimenziók segítségével megrajzolni, így nincs értelme a dimenzió szerinti felosztásnak.

2.) Látható, hogy lényegesen több multidimenzionális kifejezés van használatban, mint egydimenziós. (A táblázat nem tartalmazza az összes lehetséges kifejezést, de az elemek számának arányai nagy vonalakban igazodnak a valósághoz.) Egydimenziós elnevezésről akkor lehet beszélni, ha ellentétes jelentéssel rendelkező kétpólusú (például hangos-csendes) vagy egypólusú (például lebegő - nem lebegő) skálán elvégezhető az értékelés, és a kifejezés jelentését nem lehet finomítani más jelzők bevonásával. A hangszínelírásnak ezek a szavak az „atomjai”, olyan elemek, amelyeket nem lehet további összetevőkre bontani. Elvileg az egydimenziós kifejezések a legalkalmasabbak arra, hogy segítségükkel oly módon tudjuk leírni a hangzásokat, hogy az átfordítható legyen akusztikai dimenziókra és ezek közreműködésével hangszintézis- és hangátalakítás-paraméterekre.

3.) Egydimenziós kifejezéseket két kategóriában találunk: a kizárólag a hangzás érzetére vonatkozó kifejezéseknek (I. oszlop) mindegyike, a más érzékszervekhez kapcsoló jelzőknek (IV. oszlop) pedig egy része ilyen. A két kategória kifejezései közül az I. oszlopba tartozók nagy része közvetlenül átfordítható akusztikai tulajdonságra (pl. hangos-halk, magas-mély, zajos, torz, stb.), jelentésük egyértelmű, nincs szükség értelmezésre. A IV. oszlop elemei olyan szavak, amelyeket a látásból, tapintásból származó tapasztalok alapján adaptáltunk a hangzások világára, ezért gyakran interpretálni kell, hogy melyik akusztikai tulajdonságra vonatkozik egy-egy jelző (például szétszórt).

4.) A többdimenziós kifejezések túlnyomó többsége olyan kifejezés, ami a hang forrására utal: vagy magára a tárgyra (hangszerek nevei), annak anyagára (fémes, fa-szerű) vagy valamely tárggyal végzett hangadásra (kopogó, csiripelő). A hangszínek felismerésében nagyon erős a forrás-hozzárendelés szerepe, összetett hangzások esetén a hangforrásokra utaló kifejezések nagyon hasznos, „rövidített útvonalak” kommunikációjuk folyamatában. Feltételezve, hogy a kifejezéseket használó csoport minden tagja ismeri a hivatkozott hangforrásokat, az ebbe a csoportba tartozó kifejezések mindenki számára hasonló hangzást jelentenek. A komplex hangzásokat a nyelv nem tudja „kizárólag a hangzás érzetére vonatkozó kifejezésekkel” (1. oszlop) leírni, nagyon kevés absztrakt kifejezés létezik a hangzástulajdonságokra. Ennek hátránya akkor válik nyilvánvalóvá, ha olyan hangzásokat kell verbalizálni, amelyeknek nem ismert a forrása, ami gyakran előfordul például az elektroakusztikus zenében. Ilyenkor a már ismert jelzők által

meghatározott hangforrások és hangtulajdonságok között elhelyezkedő köztes állapotok leírására kénytelenek vagyunk azon kifejezések kombinációira hagyatkozni, amelyek a hangszíntérben kijelölnek egyes pontokat vagy területeket.

5.) A többdimenziós kifejezések között lényeges kisebbségben ugyan, de találhatóak hangforrásoktól eltávolított elnevezések is, melyek szintén mindennapi érzéki tapasztalatokból származnak, ezek a IV. oszlop, II. sorban található, többdimenziós, más érzékszervekhez kapcsolódó jelzők (például gomolygó, fátyolos). A kifejezések ebben az esetben metaforikus jelleget öltenek, ilyenkor a metaforák hiányzó elnevezéseket pótolnak. Ha összehasonlítjuk a más érzékszervekhez tartozó jelzőket (IV. oszlop) a hangforrásokra utaló szavakkal (II-III. oszlop), azt tapasztaljuk, hogy jelentésük homályosabb, némelyik kifejezés elmozdul az érzelmi ítéletet irányába, és nehéz eldönteni, hogy a IV. vagy az V. oszlopba kell-e tartoznia (pl. áradó, elfojtott).

A táblázat fenti elemzéséből fontos tanulság, hogy a hangzástulajdonságok szókészlete jól tükrözi a hangszínek többdimenziós természetét. Ha pontosan kell röviden, körülírás nélkül meghatározni egy hangzást, annál jobban működik egy kifejezés, minél több szemantikai dimenzióval lehet leírni.

A nyelvben található egydimenziós jelzők segítségével lehet kialakítani a többdimenziós kifejezések szemantikai profilját. Pedersen ezeket elsőrendű ismertetőjegyeknek¹²⁷ nevezi, és a következő 17 tulajdonságot jelöli ki, amelyek segítségével jellemezhető az összes hangzástulajdonságot leíró kifejezés: hangosság, amplitúdó variáció, impulzus kiemelkedés, hossz, lecsengés, tempó, egyenletesség, érdekesség, élesség, sötétség, hangmagasságérzet erőteljessége, hangmagasság, zenei hang kiemelkedés (el van-e fedve más zajokkal), polifónia, harmónia, frekvenciavariáció, térbeni lokalizáció.

A lista gyakorlatilag akusztikai ismertetőjegyeket tartalmaz, melyeket Pedersen saját szubjektív megítélése alapján választott ki megjegyezvén, hogy további tesztekre van szükség a lista véglegesítéséhez. Pedersen az elsőrendű ismertetőjegyekhez rendelt számértékek segítségével határozta meg a lexikonjában található 450, hangzásra vonatkozó szó profilját. Egy-egy szóhoz változó mennyiségű ismertetőjegyet rendelt (minimum 1, maximum 16), ami alátámasztja azt az állítást,

¹²⁷ Pedersen, T. H. (2008), 10. old.

hogy nem lehet minden hangszínrre érvényes ismertetőjegy-együttest találni, különböző hangzásokhoz különböző ismertetőjegyek tartoznak.

A tanulmányhoz tartozik egy Excel dokumentum, amely tartalmazza az összes kifejezés elsőrendű ismertetőjegyekkel való értékelését. A táblázat arra is alkalmas, hogy az adatok alapján kiszámítsa az egyes kifejezések közötti szemantikai távolságot.

A hangzások meghatározására szolgáló szókészlet tanulmányozása, elemzése alapvető fontosságú a hangszíndimenziók kezelésében. Az osztályozás, emlékezetbe vésés, előhívás folyamatában meghatározó a verbalizáció. Klasszikus zenei műszavak, mint például tonika, allegro, stb. nélkül valószínűleg nagyon nehéz lenne a hagyományos zeneelmélet kérdéseiről értekezni, és a tudást átadni. Jellemző, hogy a hagyományos zene leírására szolgáló kifejezéseket „műszavak”-nak hívjuk. Ez arra utal, hogy a klasszikus zenei elmélet kialakulásával párhuzamosan, művi úton kerültek ezek a fogalmak a nyelvbe. Az elektroakusztikus zenei elmélet megteremtésével egy időben ugyanígy el kell végezni ezt a munkát kialakítva a megfelelő szókészletet.

III. A redukált hangszíntér

Az előző fejezetben leírt többdimenziós hangszíntér-kutatások eredményei azt mutatják, hogy a hangszíntér rendelkezik érzékelhető struktúrával, mely sokdimenziós mátrix formájában reprezentálható. Annak ellenére, hogy számos akusztikai és szemantikai hangzásjegyet sikerült elkülöníteni, továbbra is kérdéses, hogy melyek a legerőteljesebben ható dimenziók, és van-e olyan dimenzióhalmaz, amellyel le lehet írni az összes hangszínt. Bizonyítottan jól működő dimenzió-csoportokat egyelőre csak behatárolt típusú hangzásokra (főleg egyszerű hangszeres hangokra) sikerült kialakítani.

Az elektroakusztikus hangzások száma minden újabb dimenzióval hatványozottan növekszik. A műfaj jellemző hangszíneit leíró dimenziók számát egyelőre nehéz megbecsülni, mivel a) a terület még mindig kísérleti fázisban van, így folyamatosan bővül az új hangzások száma, b) a szisztematikus dimenziófeltárás nem jutott még el arra a szintre, hogy ezekkel az ismertetőjegyekkel kapcsolatban biztos eredményeket fogalmazzon meg.

Az első működő hangszínosztályozási rendszer, az MPEG-7 különböző típusú hangzástípusokhoz más és más, egyelőre két dimenzióegyüttest javasol. Mivel az MPEG-7 az elektroakusztikus zenében alkalmazott hangszíneknél nagyságrendekkel egyszerűbb mintát elemez, magától értetődő a következtetés, hogy az elektronikus zenét lényegesen több, egyelőre meghatározhatatlan számú kombinációt tartalmazó dimenzió-együttesek segítségével lehet kezelni.

Az elektroakusztikus zene eklektikus, állandóan változó, élő gyakorlat. A dimenzió-kombinációk ismeretlen számán túl az egyénre illetve művekre szabás is megoldandó problémát jelent. A tudomány jelenlegi fejlettségi fokán ki lehet jelenteni, hogy nem lehet a műfajhoz az MPEG-7 dimenzió-együttesei mintájára kész, lezárt rendszereket rendelni. Egyelőre meg kell elégedni olyan módszer kifejlesztésével, amelynek segítségével meghatározható, hogy az azonosított dimenziók közül melyek érvényesek egy-egy esetre. A végtelennek tűnő halmazból válogatni kell, azaz a dimenziókat szelektálva, egyedileg strukturálva kell létrehozni a megfelelő hangszíntereket. A módszer leírására bevezettem a redukált hangszíntér kifejezést. A fejezet további részében definiálom a redukált hangszíntér fogalmát, és taglalom a dimenziók kiválogatásának szempontjait, a redukció típusait és a redukált hangszínterek kialakításának praktikus modelljét.

III.1. A redukált hangszíntér meghatározása

A redukált hangszíntér az elvileg végtelen multidimenzionális hangszíntér korlátozott számú és kiterjedésű érzékelési dimenzióját tartalmazó hangszínmátrix. Csak azok a hangásdimenziók vesznek benne részt, amelyek befolyásolják a zenei formát meghatározó hangzások változásait.

A szakirodalomban számos példát lehet találni különböző kiterjedésű hangszínterek leírására¹²⁸. A redukció célját és módszerét azonban egyik sem definiálja tudatosan, melynek több oka lehet. Az egyik, hogy a gyakorlatban nem lehetséges végtelen elemet kezelő hangszínteret definiálni, így evidensnek tűnhet, hogy amikor egy adott hangszínterről van szó, az már eleve korlátozott. A hangszínterek kialakításának célja és mikéntje is befolyással lehet a redukcióra. Egy adott hangzáshalmaz – pl. a Wessel által először definiált multidimenzionális hangszíntér definiálásához alkalmazott, szintetizált, hagyományos hangszerhangok – korlátozott számú dimenziót tartalmaz. Mivel az eredményül kapott multidimenzionális skála jól leírja a kiindulásul választott halmaz tulajdonságait, nincs szükség a korlátozás tényének megállapítására.

Az elektroakusztikus zenében felhasznált hangzások halmaza elvileg korlátlan méretű. Szervezéséhez szükséges a redukció elvi fogalmát bevezetni, hogy kisebb, kezelhető összefüggés-rendszerek kialakítását lehetővé tevő egységeket tudjunk bevezetni.

¹²⁸pl. Grey, J. M. (1977), McAdams, S. (1999), Wessel, D. (1978).

III.2. A dimenziók kiválasztásának szempontjai

Wessel többek között bebizonyította, hogy az egyes dimenziókon belül folyamatos skálákat lehet képezni¹²⁹. A zeneelméletben a hangmagasság és a ritmus területén gazdag tapasztalat áll rendelkezésre zenei dimenziók skálázásának módjairól, ezek percepciójáról és formateremtő képességéről. A hangszíndimenziókon belül létrehozható felosztások bizonyos mértékig egyezőséget mutatnak a hagyományos skálákkal, de sok tekintetben különböznek azok tulajdonságaitól. Különösen a hangmagasságra vonatkozó kutatások eredményei jelenthetnek segítséget az egyezőségek és különbségek feltárásában, és szolgálhatnak kiindulásul a hangszíndimenziók tulajdonságainak feltárásához.

III.2.1 Percepciós csomópontok

Két hangmagasság közötti távolság, azaz hangköz közötti konszonancia érzete összefügg a két frekvencia közötti aránnyal. Már Püthagorasz megállapította, hogy az egyszerű frekvenciaarányok harmonikus illetve konszonáns viszonylatokat hoznak létre. Helmholtz kutatásai a lebegés illetve az érdesség jelenségével írták le a disszonancia- és konszonanciaviszonyokat.



III-1. ábra¹³⁰

A III-1. ábra Helmholtz érdesség/konszonancia diagramjának Sethares által kibővített és kisímitott változata. Az összes értéket tartalmazó görbe hektikus oszcillálást, komoly véletlenszerűnek tűnő kilengéseket mutat. Az ábrán megfigyelhető, hogy minél kisebb az arányt reprezentáló törtek nevezője, azaz minél egyszerűbb a tört, annál konszonánsabb a hangköz. Két konszonáns hangköz között a

¹²⁹ Wessel, D. (1978), 12. old.

¹³⁰ Sethares, W. A. (1995)., 100. old.

disszonancia-görbe jelentős emelkedést mutat. Ebből arra lehetne következtetni, hogy egy kitartott alaphanghoz viszonyított két közeli konszonáns hangköz (például t5, k6) közötti területen glisszandálva lényegesen emelkednie kellene a disszonanciaérzetnek, mi több, ha a kisimítatlan görbét vesszük figyelembe, nagyon gyors sebességgel változó eltolódásokat érzékelnénk a konszonancia-disszonancia görbét követve. Nyilvánvaló, hogy a valóságban nem így hallunk. Két közeli hangköz között glisszandálva hallásunk a közelebbi hangközöt érzékeli, azaz az előző példa alapján távolodva a t5-től megmarad a hangköz érzete egészen addig, amíg közelebb nem kerülünk a k6-hez, amikor már ennek leszállított verzióját érzékeljük. Wishart ezt a jelenséget „közelség szabálynak”¹³¹ nevezi. A jelenség okozza, hogy a hangmagasságskála a pontos arányoktól eltérő hangolások esetén is jól működik. A III-1. ábrán látható az egyenletesen temperált skála fokainak eltolódása az egyszerű törtektől. A hangszíndimenzió tagolása szempontjából tanulságos, hogy a közelség szabály azt feltételezi, hogy hallásunk az uniszónó és az oktáv közötti tengelyen kitüntet bizonyos pozíciókat az egyszerű arányok közelében. Wishart ezeket a helyeket „csomópontoknak”¹³² nevezi, melyek segítségével mérni tudjuk a távolságot a hangmagasság-kontinuumon. A csomópontok pontos helyzete kulturálisan meghatározott, melyet nyilvánvalóan demonstrálnak a zenében létező különböző hangolások. A csomópontoknak köszönhetően a hangmagasság dimenzió hallható metrikussággal rendelkezik. Ez azt jelenti, hogy nem elsősorban a hangok közötti frekvenciakülönbséget használjuk a viszonyításra, hanem a hangmagasság-dimenzió alapjául szolgáló csomópontstruktúrát.

A csomópontok következménye, hogy a hangmagasság-dimenzió két fontos tulajdonsággal rendelkezik: 1) véges és zárt, 2) szimmetria alapján strukturálható. Véges és zárt, mivel az oktáv elérésével a csomópontok pontosan ismétlődnek a következő oktávban. A hagyományos zenei skálák hangközstruktúrája aszimmetrikus, mely lehetővé teszi alaphang definiálását, relációk kialakítását egy adott hangmagassághoz képest és harmonikus távolság képzését az egyes hangnemek között. A hangmagasság-dimenzió csomópontszerkezete nagy számú, jól érzékelhető kombinációt biztosít, ezért rendelkezik a legerősebb formateremtő képességgel.

A hangszíndimenziók vizsgálatakor alapvető kérdés, hogy rendelkeznek-e csomópontokkal illetve az ehhez kapcsolódó tulajdonságokkal. A hangszintér sok

¹³¹ Wishart, T. (1996), 73. old.

¹³² I. h.

dimenzióval rendelkezik. Az egyes dimenziók nem egyformák, így a fenti kérdéseket nem lehet általánosan megválaszolni. Ennek ellenére Wishart megpróbál néhány törvényszerűséget megállapítani, melyekről feltételezi, hogy globálisan érvényesek. Véleménye szerint a csomópontokat mutató hangmagasság-dimenzióval ellentétben a hangszíntér-mátrix tengelyei „nem végesek, nem zártak és nem metrikusak”¹³³. Véleménye szerint definiálhatók alosztályok, amelyek emlékeztetnek csomópontokra, mint például a pengetett, ütött, kapart, tört, stb. minőségek, ezek azonban nem rendelkeznek metrikus rendezhetőséggel. Mivel nincs olyan határérték, amit meghaladva az egyes minőségek újra ismétlődnének, mint a hangmagasság esetén az oktáv, a dimenziókat nem lehet zártak illetve végesnek nevezni. Bár az egyes dimenziók mentén keletkezik távolságérzet, ennek minősége Wishart szerint nagyban eltér a hangközök által biztosított észleléstől:

„Ahogyan haladunk [egy hangszíndimenzió mentén], érzékelni fogjuk, hogy észrevehető távolságra kerültünk az előző hangszínterületről. Nem leszünk képesek megmérni azonban, milyen messzire vagyunk egy másik, a zeneműben korábban előforduló hangszíntől. Ily módon az okozati viszony érzékelésünk rövid távra korlátozódik, és megtörik, amikor hosszabb időtartamokhoz szeretnénk viszonyítani.”¹³⁴

Wishart megállapításai alapján kijelenthető, hogy az egyes hangszíndimenziókon belül – a csomópont-érzékelés hiánya miatt – lényegesen kevesebb jól felfogható kombináció hozható létre, így önmagukban jóval gyengébb a formateremtő képességük, mint a csomópontokkal rendelkező hangmagasság-dimenzióé. A tanulmánynak már ezen a pontján vélelmezhető, hogy a hangszín szerkezete lényegesen eltér a hangmagasságétól. Az egyik fontos következtetés, hogy a klasszikus zene diszkrét értékein alapuló zenei gyakorlat nem alkalmazható a hangszín kezeléséhez, és már most lehet feltételezni, hogy nem rendelkezik elegendően erős formateremtő képességgel az a hangszíntér, melyet egy dimenziója mentén manipulálunk.

A Wishart által hangszíncsomópontokként interpretált alosztályok (pengetett, ütött, kapart, tört, stb. minőségek) jelenléte a tudatban felvet egy fontos különbséget az ún. elsődleges zenei paraméterek (hangmagasság, ritmus) és a hangszín érzékelése között. A hagyományos értelemben tárgyalt zenei motívum (dallam) jól elkülöníthető

¹³³ Wishart, T. (1996), 80.old.

¹³⁴ I. m., 81. old.

zenei dimenzióira, a hangmagasságra és a ritmusra; a két paraméter nem olvad össze a tudatban. A zenei oktatás alapvető törekvése, hogy a két tulajdonság világosan elváljon egymástól, és a tradicionális szolfézs fontos része ezek egymástól elkülönített gyakoroltatása. Függetlenül attól, milyen mértékben veleszületett illetve tanult a két paraméter független kezelésének képessége, a jelenség jó kiindulásul szolgál a kategorikusan beágyazódott hangszínmotívumok érzékelésének összehasonlításához, melynek jellemzője, hogy a motívumot létrehozó hangzásdimenziók nem válnak automatikusan külön a tudatban, szeparációjukhoz komoly intellektuális erőfeszítésre van szükség.

III.2.2. Hangszínkategóriák és a kategorikus percepció szerepe

A hangmagasság dimenzió zárt, véges rendszerén belül folyamatos, létrehozhatóak benne egyenletesen növekvő illetve ereszkedő skálák. A hangszíntér lezáratlan multidimenzionális kontinuum. Wishart szerint a rács-alapú zene parametrizálása során kialakult szokások következtében azt feltételezhetjük, hogy ez a tér a hallástartományon belül korlátlanul terjed minden irányba, és hogy teljesen egynemű. „A folyamatos tér így egyfajta végtelen ködnek látszik, mely minden irányba kiterjed.”¹³⁵—írja. A ködben felsejlő hangszíntulajdonságok azonban különböző struktúrákkal rendelkeznek, és egymástól eltérően viselkednek. Némelyek a hangmagassághoz hasonlóan, egyenletesen módosulnak, másokban sűrűsödések, ritkulások és töréspontok alakulnak ki. Ennek következménye, hogy az egyes hangzások között nincs tetszőleges irányú átjárás, a hangzástér egyenletes skálázása csak a percepció által kijelölt struktúra figyelembevételével lehetséges. Egyik harmonikus hangszínből egy másikba például nem lehet az összetevők frekvenciájának tetszőleges interpolációjával folyamatos átmenetet képezni, mert akkor nagyon eltérő, inharmonikus szakaszok keletkeznének.

A jelenlegi kutatások (például Donnadieu¹³⁶) eredményei azt mutatják, hogy a hangszíntér egyenletlenségét részben a tudatban jelen lévő hangszínkategóriák okozzák. Környezetünk rendkívül komplex jellel stimulálja hallásunkat. Ahhoz, hogy megfelelően reagáljunk erre (például értsük a beszédet, vagy észrevegyük, ha egy tömegben ismerős hang jelenik meg, vagy egy zajos környezetben meghalljuk a veszélyt hordozó objektumot), osztályozni kell tudni az ingert. A hangszínkategóriák

¹³⁵ Wishart, T. (1996), 82.old.

¹³⁶ Donnadieu, S. (2007), 301-312.old.

létezésére az egyik – az emberi kommunikáció szempontjából legfontosabb – példa a beszéd. A beszéd hangzásait azért tudjuk megkülönböztetni, mert képesek vagyunk különböző módon kategorizálni őket. A beérkező folyamatos információt, például a formánsok helyzetét a magánhangzók esetén, diszkrét formákká transzformáljuk. Ennek köszönhetően az agy nem elemzi és interpretálja minden alkalommal a hangzás szerkezetét, hanem közvetlen jelentéssel ruházza fel (például a, á, e, é, stb. hangzó). A köztes állapotok nem rendelkeznek kitüntetett jelentéssel, azokat hallásunk a beszéd szempontjából nem veszi figyelembe.

A hangszín-kategóriák működése hasonló az érzékelés területén általánosan megfogalmazott kategóriákéhoz. Harnad szerint „az érzékelési kategóriák jellegek, azaz kategorizációról akkor beszélhetünk, ha ugyanaz a kimenet jelenik meg az érzéki bemenet ugyanazon fajtája esetén”¹³⁷. A kérdés az, hogy hogyan alakulnak ki tudatunkban az egyes reprezentációk, mit jelent az „ugyanazon fajta”, hiszen ismeretes, hogy ugyanazokat az érzékelési ingereket különböző módszerek szerint lehet csoportba rendezni a körülményektől függően.

Harnad tanulmányaiban az egyik legfontosabb fogalom a kategorikus percepció. Az effektus legjobban minőségi különbségként írható le, azaz hogy hasonló dolgok milyennek látszanak attól függően, hogy ugyanahhoz a kategóriához tartoznak vagy sem. A kategorikus percepció akkor jelenik meg, amikor a) egy fizikai kontinuum mentén sorakozó ingercsoport a kategória-határ egyik oldalán egy elnevezést kap, a kategória-határ másik oldalán pedig egy másikat, és b) az alany kisebb fizikai különbségeket tud megkülönböztetni a határt közrefogó ingerpárok között, mint azon párok között, amelyek teljes egészében az egyik vagy a másik kategórián belül helyezkednek el. Más szavakkal, a kategorikus percepció miatt mennyiségi diszkontinuitás mutatkozik a megkülönböztetésben a fizikai kontinuum kategória-határain. A pszichoakusztikai mérésekkor a megkülönböztetési képesség erőteljességének csúcsértéke az átmeneti szakaszban a szomszédos kategóriák tagjainak felismerésekor jelentkezik.

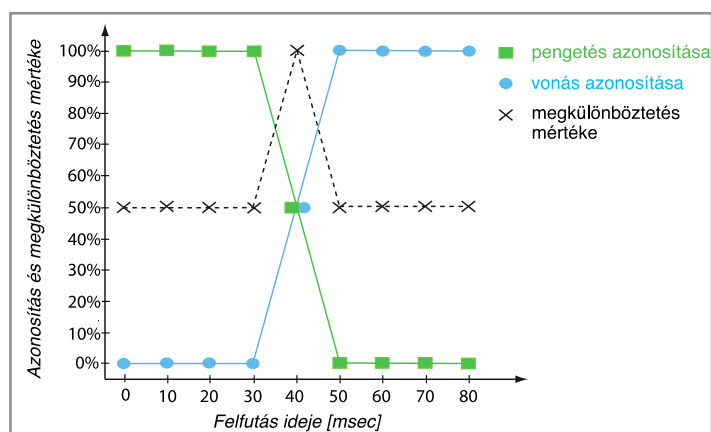
A zene területén számos esete ismert a kategorikus percepciónak. A Smalley által „forrás-hozzárendelésnek”¹³⁸ nevezett jelenség is a kategória-alkotás következménye. Az egyes jól ismert hangszerek a tudatban erős kategóriákat

¹³⁷ Harnad, S. (2003), 3. old.

¹³⁸ Smalley, D. (1997), 110. old.

alkotnak, a hangforrás és a megszólaltatás típusa határozza meg, hogyan csoportosítjuk őket.

Donnadieu¹³⁹ több olyan kutatást ír le, amelyek a zenei kategorikus percepciót vizsgálták, és pszichoakusztikai tesztekkel bizonyították létezését. Leírásában beszámol pl. a húros hangszerek két megszólaltatási módjának, a pengetésnek és a vonásnak kategorikus percepció szerinti vizsgálatáról. A kísérletben 0 és 80 ms között 10 ms-ként változtatott felfutású fűrészhangokat kellett megkülönböztetni egymástól, és azonosítani a hallott érzetet, illetve páronként különbséget tenni közöttük. A III-2. ábra idealizált diagram alapján mutatja be, hogyan változik az azonosítás illetve a megkülönböztetés mértéke a felfutási idő függvényében. A 0-30 ms-ig és az 50-80 ms-ig terjedő sávban nyilvánvalóan pengetett illetve vont minőséget lehetett érzékelni. Ezekben a tartományokban nem volt jónak nevezhető a megkülönböztetés az egyes lépések között. Az eredmény szerint akkor volt a legsikeresebb a megkülönböztetés, ha a felfutás 40 ms körül volt, ami a két percepciók kategória határterületét jelentette. Ekkor a minőségek azonosítása nem volt egyértelmű.



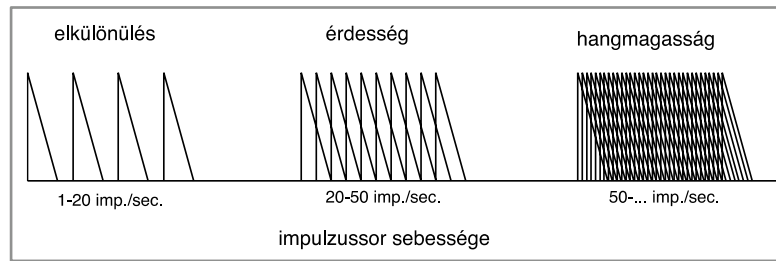
III-2. ábra¹⁴⁰

Az elektroakusztikus zene megjelenésével került a zeneszerzők figyelmének terébe a kategorikus percepció egy másik esete, az impulzussorok viselkedése. Amennyiben egy kiindulási impulzussorban az egyes impulzusok követési sebessége lassú (kb. 1-20 impulzus/sec), az impulzusok elválnak egymástól, külön-külön hallhatóak, valamilyen ritmust alkotnak. Ha növeljük a sebességet, két kategória

¹³⁹ Donnadieu, S. (2007), 301-312.old.

¹⁴⁰ I. m., 308. old

kell átlépnünk: a szemcsés, érdes folyamat és az összeolvadó, a követési sebességből eredő, hangmagassággá összeolvadó folyamatét (lásd III-3. ábra)



III-3. ábra

Az elektroakusztikus zenében alkalmazott hangszintézissel lehetséges a hagyományos kategóriákon kívül eső hangzásokat kreálni, melyek felszabadítják a percepciót a mechanikus-akusztikus hangszerkategóriák érzetétől. Ebben az esetben is működik azonban a forrás-hozzárendelés, a legújabb kutatások azt bizonyítják, hogy a multidimenzionális téranalízissel feltárt, elvileg folyamatos hangszínérzékelést is befolyásolja a kategorikus percepció. A hangszíndimenziók skálázásakor feltétlenül tekintettel kell kenni erre a jelenségre. Először el kell dönteni, hogy egy-egy skála egy kategórián belül marad-e, vagy átlépi a kategóriahatárokat. Amennyiben kategóriahatárokat lépünk át, és egyenlő nagyságú különbségeket kívánunk létrehozni, figyelembe kell venni, hogy az érzékelt különbségek lényegesen eltérhetnek a kategóriákon belül a kategóriák találkozásánál érzékelttől.

Hangszínskálák létrehozásakor még egy fontos pszichológiai tényrt szem előtt kell tartani, a relatív és abszolút megkülönböztetés jelenségét, melyet Harnad a kategorizációt és megismerést vizsgáló cikkében „megkülönböztetésnek” illetve „kategorizációnak”¹⁴¹ nevez. Ha valakinek egy ismeretlen, véletlenszerű alakzatot mutatunk, majd rögtön ezután ugyanazt vagy egy attól kissé eltérő formát, az alany képes lesz eldönteni, hogy a két alakzat ugyanolyan vagy különböző volt. Ez a relatív megkülönböztetés, amely az egyszerre illetve gyors egymásutánban bemutatott párok összehasonlításán alapul. A legkisebb különbséget, amit észlelni tudunk a páronkénti összehasonlítás során „éppen észrevehető különbségnek” (JND: just-noticeable-difference) nevezzük. Abszolút megkülönböztetésnek azt nevezzük, ha az alany képes elszigetelten bemutatott alakzatok között különbséget tenni. Kísérletek bizonyítják, hogy abszolút megkülönböztetéskor, azaz kategorizáláskor, az alakzatok között

¹⁴¹ Harnad, S. (2003)., 21. old.

lényegesen nagyobbak kell lenni a különbségnek, mint a JND. Arra is született bizonyíték, hogy azoknak az értékeknek a száma, melyek szerint kategorizálni tudjuk az elszigetelt objektumot egy dimenzió belül, $7(+2)$. Ha bármilyen dimenziót finomabban osztunk fel ennél, a kategorizációs hiba növekedést mutat. Ezt az általános szabályt fontos észben tartani hangszíndimenziók skálázásakor is.

III.2.3. A hangzásdimenziók formateremtő képessége

Az elektroakusztikus zenében a hangszíntér-dimenziók változásainak meghatározó szerepe van a zenei struktúra és forma érzékelése szempontjából. A dimenziók kiválasztásakor lényeges szempont, hogy az adott tulajdonság milyen mértékben járul hozzá a zenei szerkezet kialakításához. A hangszíndimenziók tanulmányozásához McAdams és Saariaho bevezették a „formateremtő dimenzió”¹⁴² fogalmát. McAdams szerint

„egy dimenzió akkor alkalmas formahordozásra, ha értékeinek konfigurációi visszakódolhatóak, szervezhetőek, felismerhetőek és összehasonlíthatóak más hasonló konfigurációkkal”¹⁴³.

Mivel a nyugati zenekultúrában az egyik legfőbb formateremtő elem a hangmagasság, McAdams és Saariaho a formahordozás kritériumait a hangmagasság-dimenzió hagyományos kezeléséből származó tapasztalatok alapján fogalmazták meg, mivel a több évezredes kondicionálás eredményeképpen egyszerűen lehet olyan hangmagasság-sorozatokat szerkeszteni, amely könnyen megjegyezhető és felismerhető, és variációi megkülönböztethetőek egymástól.

Elfogadva azt az álláspontot, miszerint a hangszíntér struktúrája radikálisan különbözik a hangmagasságétól, rendkívül fontos kiindulási pontnak tartom McAdams és Saariaho feltételrendszerét, hiszen kutatási eredményeik segítségével egy működő, elméleti szempontból jól feltárt modell szerint vizsgálható, hogy az egyes dimenziók relevánsak-e zenei szempontból, azaz a dimenziók változásai teljesítik-e a formahordozás feltételeit. Az egyes kritériumok érvényességének vizsgálata a hangszíndimenziók területén segít megfogalmazni a különbségeket, és újabb feltételek kialakítását.

¹⁴² McAdams, S. – Saariaho, K. (1985). 1.old.

¹⁴³ McAdams, S. (1989).

McAdams és Saariaho kritériumai közül négyet vizsgáltam az elektroakusztikus zenei dimenziók formateremtő képességének szempontjából:

- 1) a formahordozó elemek érzékelési szempontból diszkrét kategóriákba különíthetők

Az érzékelés szempontjából döntő, hogy egy dimenzió mentén jól elhatárolható pontokat lehessen egymástól megkülönböztetni. A diszkrét minőségek közötti távolságoknak nagyobbaknak kell lenniük a JND-nél. A használatban lévő hangmagasság-skálák legkisebb lépései általában többszöröse a még megkülönböztethető távolságnak. Az egyenletesen temperált 12 fokú rendszerben a félhang például hatszorosa a JND-nek.

A diszkrét pontok kialakításakor az egy dimenzión belül felhasznált lépések mennyisége is döntő jelentőségű. A hangmagasság-skálák azt mutatják, hogy ebben az esetben is működik a kategorizáció 7 (+-2) szabálya, hiszen a leggyakrabban használt skálák 5-12 lépést használnak egy oktávon belül. Az eddig feltárt hangszíndimenziók skálázásakor nem lehet oktávismétlés-szerű jelenségre számítani, de ritka a hangmagassághoz hasonló kiterjedésű hangszíndimenzió. A széles kiterjedésű dimenziók esetén szűkíthető és részekre osztható a regiszter. A szűkítést annak megfelelően kell elvégezni, hogy meddig terjed a hasznos információ a tengelyen. A hang felfutása esetén például bizonyos hossz elérése után a hallás nem hangszínként, hanem időbeni változásként, crescendóként érzékeli a dinamikaváltozást.

- 2) a figyelemnek közvetlenül a kategóriák minőségeire, a kategóriák közötti viszonylatokra vagy a viszonylatok kombinációira kell irányulnia

A dimenzión belül kiválasztott értékek közötti viszonyoknak tükröznie kell a percepció pszichoakusztikai tulajdonságait. Mesterséges kategóriák felállításakor egyes szintézistechikák paraméterei azt a látszatot keltik, hogy egyenletes változtatásukkal egyenletes hangszínskála értékeket lehet létrehozni. Ennek ellenkezőjére szélsőséges példa a frekvencia moduláció moduláló frekvencia paramétere. Az érték folyamatos növelése vagy csökkentése hektikus hangszínvariációkat kelt, skála kialakításához összetett matematikai összefüggésekre vagy hallásteresztékre kell támaszkodni.

Annak érdekében, hogy a figyelem elsősorban a hangszíndimenzió létrehozott skálára irányuljon, a csökkenteni kell a forrás-hozzárendelés befolyását. A hangszínek esetén a hangforrás kategorizálására és azonosítására törekvő hajlam nagyon erős, ezért fontos, hogy mesterséges kategóriák felállításakor ki tudjunk alakítani a mindennapi életünkben jelen lévő hangszíncsoportoktól (például hangszerek hangjai, tárgyak jól felismerhető zörejei, stb.) elvonatkoztatott minőségeket, mint például az érdeesség, nazáltság, hogy a diszkrét értékek tiszta, reprodukálható rendszerét tudjuk létrehozni.

- 3) az érzékelési kategóriák úgy rendeződnek, hogy a közöttük lévő viszony funkcionális, a különféle erősségű és típusú funkcionális viszonyoknak lehetővé kell tenniük feszültség és oldás felépítését

Az elektroakusztikus zene területén nem alakult ki olyan kifinomult funkciós elmélet, mint a tonális zenében. Felmerül a kérdés, egyáltalán léteznek-e funkciók a hangmagasság-alapú zenén kívül. A kérdés megválaszolásához nem az összhangzattanból ismert funkciókat (tonika, domináns, szubdomináns, stb.) kell alapul vennünk, hanem a funkció alapvető szerepét a zene érzékelésében.

A funkciók szerepe elvárások keltése, aminek alapján feszültség-oldás relációkat lehet létrehozni. Meyer szerint a tendenciák gátlása magyarázza a jelentések és az érzelmek keletkezését a zenében illetve a művészetben:

„A művészetben a tendencia (irányultság) gátlása meghatározóvá válik, mivel a tendencia és szükségszerű feloldása közötti viszony világos és félreérthetetlen.”¹⁴⁴

Meyer hangsúlyozza, hogy a fenti viszonyok szerinte csak referenciáktól mentes zenei folyamatok esetén működnek, és a hangszeres, hangmagasságon alapuló zenéből válogatja értekezése példáit. Ennek ellenére a kijelentés érvényes lehet az elektroakusztikus zenei hangzások, struktúrák működésére is, hiszen az ott használt hangzó alapanyag világos tendenciákkal rendelkezik.

Az elektroakusztikus zenében az elvárások szerepével, a feszültségek, oldások megjelenésével foglalkozó tanulmányok közül kiemelkedő fontosságúak Smalley¹⁴⁵, Lerdahl¹⁴⁶ és Roy¹⁴⁷ írásai. Smalley a spektrális változások keltette

¹⁴⁴ Meyer, L. B. (1961)., 23. old.

¹⁴⁵ Smalley, D. (1997).

¹⁴⁶ Lerdahl, F. (1987).

¹⁴⁷ Roy, S. (2003).

irányok kialakulását egyes funkciók elnevezéseit, Lerdahl a hangzásokban időbeni összefüggések nélkül is jelen lévő stabilitás- és feszültségviszonyait, Roy pedig az elektroakusztikus zenei funkciókészlet osztályozását tárgyalja.

Smalley szerint az elektroakusztikus zenében tapasztalt elvárások a környezeti és hangszeres hangok spektrális változásainak széleskörű ismeretén alapulnak. A hallgatás során megpróbáljuk előrelátni a spektrális változásokban rejlő tendenciákat, irányultságokat. A hangzások változásai, azaz spektrális mozgásai magukban hordozzák az őket létrehozó és fenntartó energiaváltozásokat, melyeket a percepció képes dekódolni. A tudatban keletkező energiavektorok különféle elvárásokat keltenek, azaz funkcióval rendelkeznek.

Lerdahl egy korábbi, Jackendoffal együtt végzett, a tonális zene strukturális viszonyait vizsgáló kutatásának¹⁴⁸ eredményeit terjesztette ki a hangszínekre. A két kutató a tonális zenében tonális prolongációs struktúrákat, azaz hangmagasság-stabilitás hierarchiákat alakított ki feszültség-oldás viszonyok fastruktúrába szervezésével. A hangszínek feszültségviszonyainak leírására Lerdahl bevezette a hangszín-konzonancia és -disszonancia fogalmát általánosítva az érzékelési konzonancia és disszonancia elméletét. Különböző hangszíndimenziók (mint például a fényesség, a vibrató, a felfutás, a harmonicitás) mentén határoz meg feszültebb-oldottabb, stabil-instabil, disszonáns-konzonáns szakaszokat. Véleménye szerint ezek az egyszerű funkciók levezethetők tisztán érzéki, a zenei összefüggésektől független minőségekre, így minden dimenzión belül kimutathatóak. Lerdahl a dimenziókon belül kijelöl egy ún. prototípust, amely a legoldottabb, leginkább ismert érzetet kelti, és amely oldást jelent a többi értékhez képest. A hangszíndimenziók skálázását a disszonancia mértékéhez igazítaná:

„[...] ha okfejtésem helyes, a hangszín-prolongációs struktúra csak akkor megvalósítható, ha a gondosan kiválasztott hangszínelemeket konzonancia és disszonancia szerint sorbaállító multidimenzionális térben rögzítjük.”

Lerdahl a funkciós viszonyokkal magyarázza, hogy a hangszíndimenziók lényegesen gyengébb strukturális szerkezetűek, mint a hangmagasság-skálák. A különböző erősségű oldáspontok hiánya miatt nem lehet belőlük modális hangszínskálákat kialakítani, és nem képesek jelentős modulációkra sem.

¹⁴⁸ Lerdahl, F. – Jackendoff, R. (1983).

Az egyes hangszíndimenziók gyenge formateremtő képessége nem jelenti azt, hogy a segítségükkel kialakított hangszín nem alkalmas zenei formák létrehozására. A tapasztalat azt mutatja, hogy jól felismerhető és transzformálható hangszínmotívumok létrehozásához több hangzásdimenzió egyidejű mozgására van szükség. Az egymással összefüggésben lévő időbeni mintázat-változások a hangszín-dimenziókon belül rendkívül összetett, organikusan változó érzeteket keltenek. A dimenziók feszültség-viszonyai erősítik és/vagy gyengítik egymást, ezáltal a különböző kombinációk komplex funkciós viszonylatokat teremtenek.

4) a kategóriáknak, a funkcionális viszonyoknak és a klasszifikációs rendszeren belüli elrendezésnek az agy és a világ létező struktúráját kell tükröznie, vagy pedig a hallgatók által megtanulhatónak kell lenniük

A kognícióval foglalkozó kutatók között állandó vita tárgya, melyik kategória veleszületett és melyik tanulható. Jelen tanulmány szempontjából ez a kérdés annyiban fontos, hogy a veleszületett vagy nagyon korán elsajátított kategóriák lényegesen erősebbek a tanultakénál. A kategóriák elsajátításának módját is két típusra lehet osztani: az irányítás nélküli (ösztönös) és az irányított tanulásra. Az ösztönös tanulás során rögzült kategóriákról is elmondható, hogy hatásuk erősebb az irányítással elsajátítottakétól. Jó példa erre a gyerekkorban, automatikusan végbemenő és a felnőttkori, intellektuális szabályok alapján végzett nyelvtanulás hatékonysága közötti különbség. Mivel a zenei oktatás a hangszínhallás fejlesztését nem preferálja, az elektroakusztikus zene kategóriáit jóval később kezdik tanulni a területtel foglalkozó zenészek. Ezért nehéz megállapítani, hogy a különféle kategóriák vajon azért nem rendelkeznek erőteljes formahordozással, mert később épültek be a tudatba, vagy azért, mert az emberi percepció nem tudja jól megkülönböztetni őket.

A hangmagasságok megkülönböztetéséről rendelkezésünkre álló tapasztalat mutatja, hogy a különböző kultúrákon nevelkedett alanyok más és más különbségeket tudnak felismerni, azaz a hangmagasság-dimenzió felosztásának érzékelése kulturálisan kódolt, tanult folyamat. Ugyanez érvényes a hangszín területén is. Egyszerű bizonyíték erre a különböző nyelvekben található magán- és mássalhangzók közötti eltérés. Pl. a magyar nyelv könnyedén megkülönbözteti az „o” és az „á” közé beékelődött „a” hangzót, míg ez más nyelven nevelkedettek számára komoly újratanulási folyamatot jelent.

A hangszíndimenzió-skálák értékeinek megkülönböztetése is tanulható. Saját tapasztalataim szerint jó eredményeket lehet elérni szisztematikusan kialakított hangszínmátrixok használatával. A tanult dimenziókat az elektroakusztikus zene elméleti és gyakorlati oktatásában is jól lehet alkalmazni. Hangszínmátrixok létrehozásakor pszichoakusztikai tesztek segítségével állandóan ellenőrizni kell, hogy az adott új minőség milyen mértékben különböztethető meg, ill. hogy az adott minőség megkülönböztethetősége fejleszthető-e.

III.3. A redukciók típusai

A dolgozatomban bevezetett redukált hangszíntér nem konkrét, lezárt, pontosan megfogalmazott paraméterekből kialakított konstrukció, hanem elvi strukturálási rendszer, melynek minden egyes gyakorlati megvalósítását, azaz minden egyes redukált hangszínteret, a felhasználónak kell létrehozni. Csak a korlátozások típusai kerülnek definiálásra, melyeket az előző pontokban tárgyalt szempontok – percepciós csomópontok, kategóriák, kategorikus percepció, dimenziók formateremtő képessége – figyelembevételével alakítottam ki.

III.3.1. A dimenziók fajtája

A II. fejezetben leírtakból kitűnik, hogy a hangzásdimenzióknak legalább két típusát lehet megkülönböztetni: 1) a kvantitatív dimenziókat, amelyek a hangzás jelformájából indulnak ki, és a spektrum matematikai elemzésének segítségével fogalmazzák meg a hangszínekre érvényes ismertetőjegyeket, 2) kvalitatív dimenziókat, melyek az ember által érzékelt minőségeket fogalmazzák meg. Vannak olyan dimenziók, melyek mindkét típusba beleillenek, mivel a jel matematikai elemzése alapján olyan értéket lehet hozzájuk rendelni, amely a percepció szerint is jól érthető tulajdonsághoz kötődik (például élesség, érdeesség, megütöttség).

A dimenziók típusának megválasztását nagyban befolyásolja, hogy milyen célra kívánjuk használni őket. A MPEG-7 által lefedett hangszíntérben (harmonikus és egyes ütött hangszerek) például a dimenziók teljes mértékben kvantitatívak, hiszen a jel formájából következtet a szoftver a hangzásosztályra, és ennek alapján csoportosítja a vizsgált zenét. Elektroakusztikus hangzások elemzéséhez tudásunk jelenlegi állása szerint ritkán elegendő a rendelkezésre álló kvantitatív akusztikai ismertetőjegy. Mivel közel 70 évvel a műfaj aktív művelésének kezdetei után is új területen mozgunk (azaz a felhasznált hangszínek nem részei a mindennapos zene- és hangkultúrának, és gyakran még mindig a meglepetés erejével hatnak), nincsenek hangszínosztály-elnevezések, amikre következtetni lehetne az adatok elemzéséből, így az akusztikus ismertetőjegyek kizárólagos használatával sok, a percepció szempontjából fontos tulajdonság elsikkad. A szemantikai dimenziók másrészt túl általánosoknak bizonyulhatnak, melyek segítségével sok mindent megtudhatunk a hangok forrásának természetéről vagy metaforikus kapcsolódásairól, de kevés gyakorlati tudnivalóhoz jutunk előállításuk, vezérelhetőségük szempontjából. Ezért

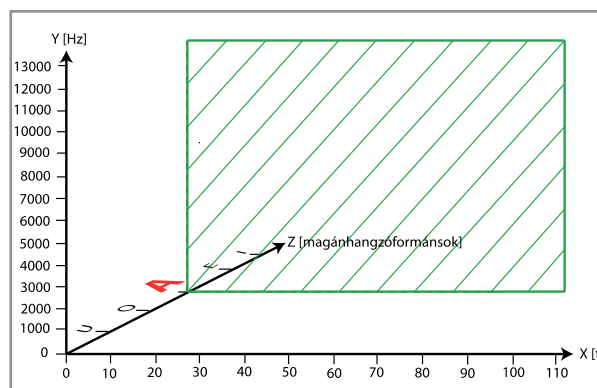
gyakran előfordul, hogy a hangzás minél teljesebb körű leírása érdekében keverednek a különböző típusú dimenziók, a száraz, csak kombinációkban értelmezhető fizikai adatoktól (például spektrális súlypont / spektrális kiterjedés / spektrális alak), a nagyon általános, érzelmi viszonyulásokat megfogalmazó jelzőkig (például félelmetes, megnyugtató). Analíziskor vagy komponáláskor a vizsgált hangszíntér leírására nagy valószínűséggel mindkét típusú dimenzióra szükség van, hogy minél plasztikusabban lehessen leírni a zenét, illetve minél hatékonyabb eszközök álljanak rendelkezésre az elképzelt zene realizációjához.

III.3.2. A dimenziók száma

A dimenziók mennyisége attól függ, hány jól elkülöníthető tulajdonság befolyásolja a zenei formát meghatározó hangzásváltozásokat, illetve hogy milyen irányokban történnek az elmozdulások. Ugyanazon hangszínek között is lehet különböző pályák bejárásával variációkat létrehozni.

III.3.3. Konstans és dinamikus hangzásdimenziók elkülönítése

A dimenziók számának redukálása természetesen nem zárja ki más hangszíndimenziók részvételét az adott hangszínminőség kialakításában. Amennyiben egy hangszínerzetet meghatározó dimenzió értékei állandóak maradnak, és nem befolyásolják a formai változásokat, a dimenzió passzívnak tekintendő.



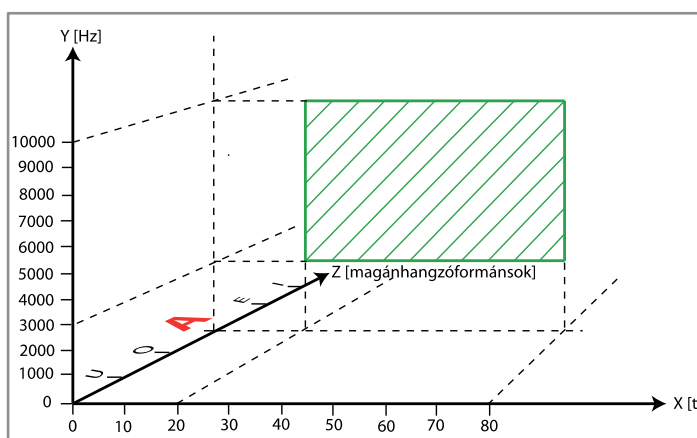
III-4a ábra

A III-4a ábrán vokális 'A' magánhangzó granulációval és aluláteresztő szűrővel történő átalakítását reprezentáló hangszíntér látható. Az x tengelyen a granulációt kialakító szemcsék követési sebessége (az érdesség érzete), az y tengelyen a szűrő töréspontja (a hangzás fényessége), a z tengelyen pedig a magánhangzóérzetért felelős formánsstruktúrák érzékelési skálája található. A

feltételezett zenei szituációban csak az x és az y tengely értékei változnak, a z tengely az 'A' magánhangzó pozícióján marad, így az aktív redukált hangszíntérnek az x és y tengely által kijelölt kétdimenziós mátrixot (zöld színnel jelölt téglalap) tekinthetjük, a formáns dimenzió passzív marad.

III.3.4. Dimenziók kiterjedése

Az egyes dimenziók kiterjedését korlátozni kell, amennyiben elkülöníthető szakaszuk mentén érzékelhető csak átalakulás, illetve ha percepciós törés található a dimenziók mentén. A III-4a. ábra a III-4b. ábra átskálázott változata, ahol az x és az y tengelynek csak egy-egy szakasza mentén változik a hangszín, azaz a képzeletbeli zenei szituációban csak a 20-80 msec között változik a szemcsék követési sebessége, és az aluláteresztő szűrő törésfrekvenciája 3000 Hz és 10000 Hz között változhat. A két hangszíntér összehasonlításából kiderül, hogy 1) az elsőben előfordulhatnak egészen gyors, alaphanggá összeolvadó követési távolságok is, ami a másodikban nem következik be a 20 msec alsó érték miatt, és 2) a második hangszíntér egészen magasan, fényesen szól, hiszen 3000 Hz-ig hiányoznak belőle az összetevők.

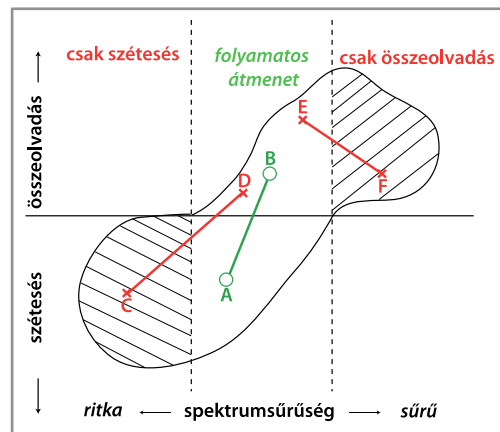


III-4b. ábra

McAdams-Saariaho zenei esettanulmánya¹⁴⁹ a percepciós kategória miatti törés következtében szükséges redukcióra példa. A cél folyamatos átmenet képzése volt akkord- és hangszínérzet között inharmonikus hangok esetében. A III-5. ábrán a vízszintes tengely a spektrum sűrűségét reprezentálja, a függőleges tengely pedig két, az összeolvadást befolyásoló hangzásdimenziót foglal össze, a vibrató mértékét és az amplitúdó-burkológörbe felfutásának gyorsaságát. Ritka spektrum esetén az összetevők olyan távol esnek egymástól, hogy a fúziót egyébként segítő paraméterek

¹⁴⁹ McAdams, S. – Saariaho, K. (1985).

sem képesek egyesítő hatásukat kifejezni (C hangzás). Ha nagyon sűrű a spektrum (szélső esetben fehérzaj), a fúzió ellenében ható paraméterek bármely értékénél összeolvadó spektrum keletkezik (F hangzás). Folyamatos átmenetet ezért csak a két szaggatott vonal közé eső, redukált hangszíntérben mozogva lehet elérni, például A és B hangzás között. A C és D hangzások közötti vonalon haladva C-től a szaggatott vonalig nem változik az akkordszerűség érzete, így a szaggatott vonalnál megtörik a folyamat. E és F hangzás között az E-től a szaggatott vonalig tartó folyamatosságot felváltja a konstans összeolvadás a szaggatott vonaltól az F hangig.



III-5. ábra

III.3.5. Lépések száma

A redukció következő állomása a folyamatos dimenzió diszkrét értékekre történő felosztása. A lépésekre bontás megkönnyíti az emlékezet számára a tájékozódást a dimenzióon belül. Ez természetesen nem zárja ki a folyamatos változásokat. McAdams szerint „a diszkrét elemek a struktúrát, a folyamatos variációk pedig az expresszivitást hordozzák”¹⁵⁰. A kifejezést előtérbe helyező, folyamatos, gesztus-szerű változások esetében is jó támpontot jelentenek a tájékozódást segítő referenciapontok.

A lépések száma illetve a köztük lévő távolság meghatározza, hogy a skála elemei között megkülönböztetést vagy kategóriaváltozást lehet érzékelni. Ezért a lépések számának meghatározásakor figyelembe kell venni, mekkora egy adott kategórián belül maradó regiszter.

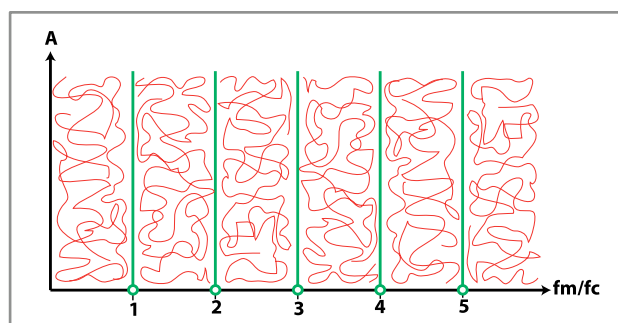
¹⁵⁰ McAdams, S. (1989), 4. old.

A lépések számának kialakításakor fontos kritérium, hogy az emberi memória hány értéket képes megjegyezni. Amint az már a III.2.3. pontban említésre került, kiindulásul ajánlott a kategorizáció 7(+2) szabályát alkalmazni.

III.3.6. Lépések közötti távolságok kialakítása

A skála értékeinek kijelölésekor figyelembe kell venni, hogy a dimenzió folyamatos vagy szakadásokkal rendelkezik. Folyamatos egy dimenzió, ha a tengely értékeinek bármilyen kicsi változtatása valamilyen irányban az érzetnek ugyanabba az irányba történő fokozatos elmozdulását eredményezi.

Szakadások akkor keletkeznek, ha egy dimenziót olyan szintézisteknika-paraméter változásának segítségével hozunk létre, amely egyes szakaszokban a dimenzió tulajdonságától eltérő elváltozásokat okoz. Egyes szintézisteknikák egyenletesen változó paraméterei korántsem biztosítanak folyamatos hangszínerzet-változást. Egyik legszélsőségebb és legnyilvánvalóbb példa erre a korábban már említett FM szintézis hordozó és moduláló frekvenciája közötti arány, melynek függvényében több dimenzió mentén változhat a hangszín. Amennyiben az arány egész számú többszörös, összeolvadó harmonikus hang keletkezik, melyek alaphangja a hordozó frekvencia. Egyszerű törtek esetén (pl. $1/2$, $5/4$, stb.) a hang harmonicitása megmarad, de az alapfrekvencia érzete megváltozik. Komplex törtek esetén a hangzás inharmonikussá válik, melynek összetevői lépésről lépésre más helyen jelentkeznek. Folyamatos hangszínerzet létrehozására elsősorban az egész számú többszörösök mentén haladva van esély. A III-6. ábra a szintézis paraméter érzékelési szakadozottságát ábrázolja. A piros színnel satírozott terület a kaotikusan változó érzeteket, a zöld vonalak pedig a folyamatosan fényesedő, szaggatott lépéseket szemléltetik.

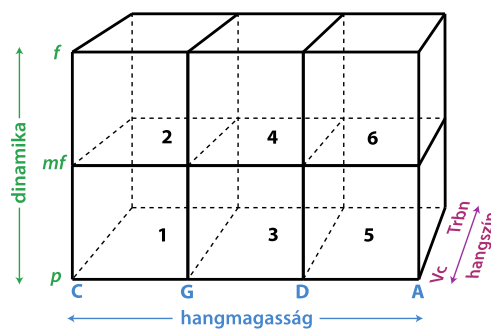


III-6. ábra

III.3.7. Percepció-szempon-tú áttérképezés

Az egyes dimenziókat az érzékelt hangzástulajdonságok határozzák meg, nem pedig a hangszintézis illetve -átalakítás paraméterek. Nemcsak az előző pontban bemutatott, rosszul megválasztott hangszintézis-paraméterek okozhatnak szakadozottságokat a dimenziókon belül, hanem a nem megfelelő áttérképezés is előidézhet kontrollálatlan helyzeteket. Az alábbi, Haken és társai által leírt példában¹⁵¹ az áttérképezés előtti állapot került rögzítésre. A kísérlet hagyományos hangszerek, jelen esetben cselló és harsona szintetizált verziói közötti interpolációk létrehozását vizsgálta multidimenziós hangszíntér alkalmazásával, melyet a III-7. ábra jelenít meg. A három paraméterre (hangmagasság, dinamika és hangszín) redukált hangszíntérben 24 szintetizált forráshangot helyeztek el: 2 hangszín (cselló, harsona) négy hangmagasságú (C, G, D, A) három különböző dinamikájú (p , mf , f) változatát. A hangszínteret hat, kocka formájában elképzelt al-hangszíntérből állították össze. Amint az a III-7. ábrán látszik, a forráshangok a kockák sarkaira kerültek a hangszíntérben. Mivel a forráshangok hanganalízis-adatok alapján működő additív szintézis eredményei, paramétereik megegyeznek a III-7. ábra 1-6. sorszámú kockáinak sarokpontjaihoz rendelt hangzásadatokkal.

A kockák belsejében elhelyezkedő hangzásokat a forráshangok paramétereinek megfelelő interpolációjával állították elő. Az 1. kocka közepén pl. egy Esz és E közötti hangmagasságú, a cselló és a harsona hangszíne között elhelyezkedő, pianónál kicsit hangosabb hangzást lehet elérni.



III-7. ábra

Mivel a kitűzött cél miatt a hangszíntér egyes lépései nem percepciók szempontok alapján, hanem a forráshangokat meghatározó szintézis-paraméterek matematikai átlagolásával jönnek létre, nem biztosított, hogy a hangzásdimenziók

¹⁵¹ Haken, L., Fitz, K., Christensen, P. (2007)

folyamatos vezérlésével folyamatos hangzásváltozások keletkeznek. A cikk szerzői erről a problémáról így írnak:

„Nagyon is lehetséges, hogy a hangszínvezérlő térben közel elhelyezkedő hangzások messzire esnek egymástól az érzékelési hangszíntérben, bár reméljük, hogy ez nem így lesz.”

A leírt kísérlet valószínűleg a hangszíntér előállításának első szakaszát mutatta be. A következő feladat a hangzásdimenziók hallás utáni áttérképezése folyamatos átmenetek előállítása érdekében.

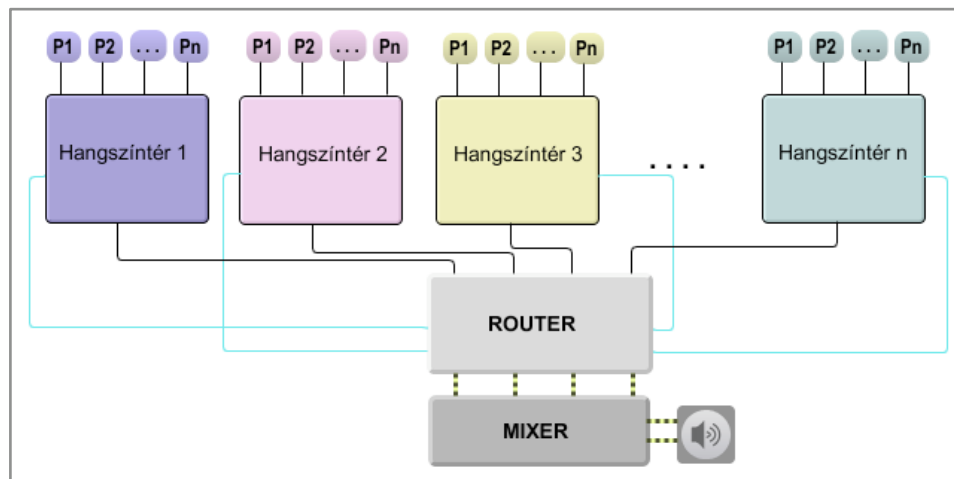
III.4. Redukált hangszíntér kialakítása

Redukált hangszíntér kialakítására szükség lehet hangszíndimenzió-alapú zene komponálásához, meglévő művek elemzéséhez és hallásfejlesztő példák készítéséhez. Mindhárom esetben létre kell hozni egy konstrukciót, ami leírja a hangszíntérben szereplő dimenziók tulajdonságait és a dimenzió-kombinációk viselkedését. A dimenziók természetének feltérképezéséhez támpontot nyújt kialakításukhoz felhasznált vagy elvileg felhasználható hangátalakító- illetve szintézis-technikák ismerete.

III.4.1. Hipotetikus redukált hangszíntér szerkezete

A hangszíntér-dimenziókat nem mindig lehet egy szintézis-technika segítségével meghatározni, ezért gyakran hibrid technikákra van szükség, ahol az algoritmusok összeköttetésben vannak egymással: egyes kimeneti jelek összeadódnak, mások egy következő technika bemeneti jelévé válnak.

A III-8. ábra több modulból összetett redukált hangszíntér elvi szerkezetét szemlélteti.



III-8. ábra

A Hangszíntér 1, 2, ..., n jelzésű modulok különböző hangszintézis- illetve hangátalakító-technikát reprezentálnak. A hozzájuk kapcsolódó paramétereket P1, P2, ..., Pn jelölés mutatja. A hangszínterek a „Router” modul segítségével kapcsolódnak egymáshoz: itt dől el, milyen sorrendben követik egymást, illetve milyen

párhuzamosságok alakulnak ki közöttük. A Router-ből a párhuzamos jelek arányát egy keverőben (Mixer modul) lehet beállítani, innen kerül a jel a digitális analóg átalakítóba.

Az egyes hangszintézis-paraméterek nem jelentenek automatikusan hangszíndimenziót. Gyakran előfordul, hogy egy hangszíndimenziót több paraméter együttes vezérlése alakít ki. Erre az esetre létre kell hozni olyan felületet, ahol ki lehet választani, melyik paraméterek működnek együtt. Az elvi konstrukció a paraméterek közös vezérlésére a mátrix, ahol be lehet beállítani, melyik vezérlő bemenet melyik szintézis-paramétert változtassa. A III-9. ábrán megjelenített mátrix x tengelyén a vezérlő adatok, y tengelyén pedig az egyes szintézis-technikákhoz tartozó paraméterek láthatóak. A különböző szintézis-technikákat más-más színek reprezentálják, a P1-Pn-ig terjedő gombok pedig a paramétereiket. A piros pontok jelzik, hogy melyik vezérlőadat melyik szintézis-paramétert irányítja. A transzformáció 1, 2, ..., n feliratok a paraméterek skálázására utalnak.

MATRIX	
kontroll adatok	
	In1 In2 ... In n
transzformáció_1	+ + + + + P1
transzformáció_2	+ + + + + P2
...	+ + + + + ...
transzformáció_n	+ + + + + Pn
transzformáció_1	+ + + + + P1
transzformáció_2	+ + + + + P2
...	+ + + + + ...
transzformáció_n	+ + + + + Pn
transzformáció_1	+ + + + + P1
transzformáció_2	+ + + + + P2
...	+ + + + + ...
transzformáció_n	+ + + + + Pn
.	+ + + + + .
.	+ + + + + .
.	+ + + + + .
transzformáció_1	+ + + + + P1
transzformáció_2	+ + + + + P2
...	+ + + + + ...
transzformáció_n	+ + + + + Pn

III-9. ábra

III.4.2. Hangszintézis- és hangátalakítás-technikák szerepe a hangzásdimenziók kialakításában

Digitális szintéziskor a hangot minták, azaz amplitúdóértékek sorozata határozza meg. A hang teljes reprezentációját természetesen maga a hullámforma jelenti, melyet mintákként rögzítünk a számítógépbe. A hullámforma önmagában azonban csak ritkán hordoz információt az érzékelt hangszínről, ezért a minták kiszámításához valamilyen szintézismódszerre vagy szintézistechnikára van szükség. A szintézistechnika hangok generálásához kialakított, részben a hangszeres, részben a vokális hangzások spektrumát vagy hangkeltését modellező stratégia, digitális szintézis esetén számítási folyamat vagy képlet, amelynek alapján a számítógép kiszámolja az összes hangminta értékét.

A szintézistechnikákat megvalósító algoritmusok változók segítségével képesek változatos végeredményeket generálni. Ezek a változók a szintézistechnika paraméterei (például frekvencia, amplitúdó, stb.), melyek lehetnek állandóak vagy időben változóak a hang lefolyása alatt. Az időben változó paramétereket vezérlő függvényeknek, egyes esetekben burkológörbéknek nevezzük. A hangátalakítás-technika hasonló a szintézistechnikához azzal a különbséggel, hogy további audió-felvételeket fogadó bemenettel rendelkezik. Az egyszerűség kedvéért a dolgozatban a továbbiakban a hangszintézis-technika kifejezés vonatkozik majd azokra az esetekre is, ahol audió-bemenetet alakít tovább a módszer.

Az elektroakusztikus zene megjelenése óta sok fajta hangszintézis- és hangátalakító-technikát fejlesztettek ki kutatók és zeneszerzők. Felmerülhet a kérdés, melyik technikát érdemes használni, melyik technika a legjobb. Erre nincs egyszerű válasz, mivel az egyes technikák egymástól eltérő hangzástulajdonságok kialakítását, vezérlését célzó elvi konstruktumok, melyek kiválasztása elsősorban a megoldandó feladattól és a felhasználó prioritásaitól függ.

Az ideális módszer az lenne, amely átlátható módon kezelhető interfész és a percepció szempontjából releváns paraméterek segítségével tenné lehetővé nagyon sokféle, finoman hangolható hangzás létrehozását. Egyelőre nem ismert olyan módszer, amely kielégíti ezeket a kívánalmakat. Azok a technikák, amelyek kifinomult hangszínvezérlést tesznek lehetővé, általában rendkívül nagy mennyiségű kontrolladat megadását igénylik. Az egyszerűen, kevés adattal kezelhető, mégis sokféle hangszínt biztosító technikák viszont gyakran csak durva, kiszámíthatatlan

vezérlést tesznek lehetővé.

A hangszintézistechnikák értékelésére születtek kritériumrendszerek, amelyek segítségével jól körül lehet írni, hogy az egyes technikák milyen mértékben alkalmasok speciális célokra. Dolgozatomban a hangszínterek kialakításához felhasznált hangszintézistechnikák értékeléséhez Jaffe¹⁵², Collins¹⁵³ és Castagne-Cadoz¹⁵⁴ kritériumrendszerei és a fejezet III.2 és III.3 pontjai alatt leírt aspektusok szolgáltak alapul. A technikákat a következő szempontok figyelembe vételével vizsgáltam:

- hangminőség: mennyire lehet a hallás számára is releváns információkban gazdag hangzásokat létrehozni a módszer segítségével,
- a létrehozható hangszíntér mérete: mekkora hangszínteret fed le, hány fajta hangosztályt képes előállítani,
- paraméterek viselkedése: mennyire flexibilisek, intuitívak a paraméterek, válhatnak-e közvetlenül érzékelési dimenzióvá,
- paraméterek folyamatossága: a paraméterek folyamatos változtatása az érzékelés számára folyamatos változást biztosít-e, vannak-e a kategorikus percepció szerinti választóvonalak,
- a renderelés hatékonysága: CPU terhelés.

Az alábbi felsorolás azokat a szintézistechnikákat részletezi a teljesség igénye nélkül, amelyeket saját munkáimban, elemzéseimben használtam fel redukált hangszínterek kialakításához. A magyarázó ábrák általam, MAX/MSP programmal megvalósított hangszínterek interfészei.

III.4.2.1. Hangfelvétel, -átalakítás

Az analóg korszak módszere, melyet először konkrét zenei művek létrehozására használtak. A módszert vezérlő paraméterek elsősorban hangfájlok időbeni viszonyait változtatják:

- sebesség: transzponálja a hangmagasságot és megváltoztatja az időtartamát
- lejátszás iránya: a hangfájlok hátulról előre játszhatóak

Az analóg módszerrel átalakított fájlok hangminősége nem változik, az átalakítás kimenetén a bementi minőséget kapjuk vissza. A hangosztályok

¹⁵² Jaffe, D. A. (1995), 76-87. old.

¹⁵³ Collins, N. (2010), 161. old.

¹⁵⁴ Castagne, N. – Cadoz C. (2003)

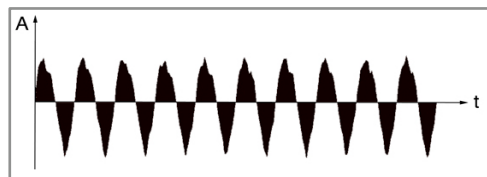
menyisége a magasra és mélyre történő, az időbeni lefolyást is megváltoztató transzpozíció jellegzetességeire korlátozódik.

A hangfájl tartalmától függően változhat a transzpozíció paraméter linearitása. Ritmikus struktúráknál magasra transzponáláskor felgyorsulhat annyira a ritmus, hogy az elemek összeolvadnak. Ilyenkor folyamatos paraméterállításnál kategóriaváltás következik be.

III.4.2.2. Hullámforma-ismétlés

A hullámforma-ismétlés a legtöbb szintetizátor alapvető módszere, melynek segítségével egyszerűen és hatékonyan lehet különböző gazdagságú spektrumokat létrehozni. A keletkezett hangok hangzása mesterséges, gépies, általában további átalakításra szolgál. Kijelenthető, hogy a technika leginkább arra alkalmas, hogy kiindulási jeleket szolgáltatson bonyolultabb szintézistechnikák számára.

A hullámforma-ismétlés akusztikai alapjául a periodikus hullámok működése szolgál. A kitartott, változatlan hangmagasságú és hangszínű zenei hangok jellemzője, hogy egymáshoz hasonló, ismétlődő periódusokból tevődnek össze.



III-10. ábra

A III-10. ábrán, a fuvola hangjának hullámforma-reprezentációján látható, hogy bár az ismétlődő hullámformák nagyon hasonlóak, nem teljesen egyformák. Ha a hullámok közül kiválasztunk egyet, és sokszor megismétljük, a fuvola hangszínéhez hasonló, de kimerevített, élettelen hangok kapunk. A hang frekvenciája és amplitúdója változtatható, a hangszínt a hullámforma kiválasztása után – a technika keretein belül maradván – már nem lehet befolyásolni.

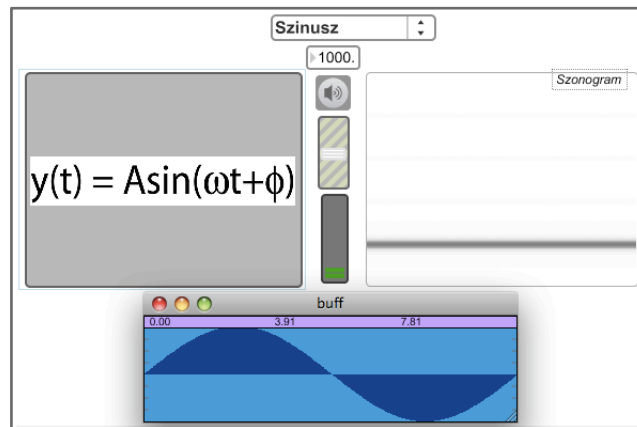
A szintézismódszer akkor a leghatékonyabb, ha az előre tárolt periódust táblázatból lehet kiolvasni. A táblázatba íráshoz különböző módszerek szerint kalkulálhatjuk a hullámformát, ami gyakran meghatározza, hogy a szintetizált hangok milyen hangszíndimenziók mentén változhatnak. A következő részben példák segítségével mutatjuk be, hogy az egyes módszerek hogyan befolyásolják a szintézistechnikával előállítható hangok halmazát. A III-11–III-14. ábrák a

hangszintézisteknika MAX/MSP programnyelvvél történő megvalósítását szemléltetik. Az interfész a bal oldali szürke felületbe ágyazva tartalmazza a hullámforma képletét vagy az algoritmus paramétereit, az alul hullámforma-táblázatba töltött hullám képét (buff feliratú felület), és a jobb oldali felületen a szintetizált hang szonogram-analízisét.

A hullámforma megadásának módjai:

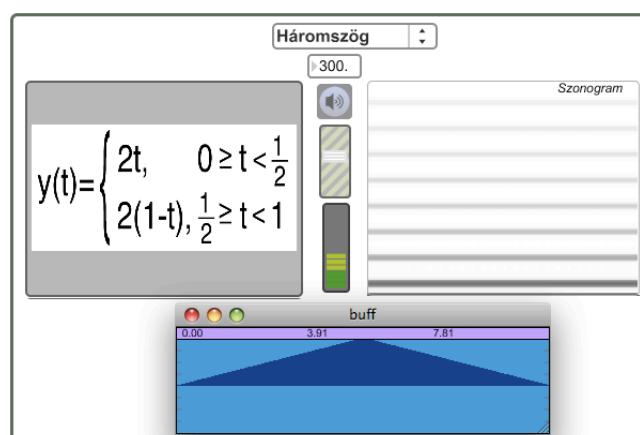
– egy- vagy többváltozós algoritmusok segítségével

A hullámformák leírhatóak matematikai függvények segítségével szinuszhullámok összegzésével vagy szakaszok definiálásával. A III-11. ábra egyszerű szinuszjel létrehozását mutatja be algoritmus segítségével.



III-11. ábra

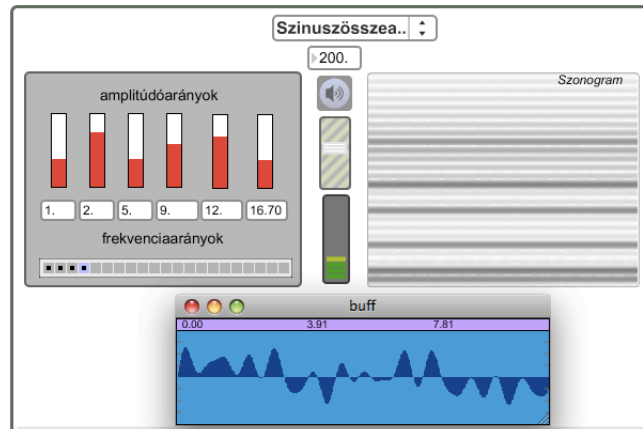
A III-12. ábra háromszögfüggvény alkalmazását mutatja be.



III-12. ábra

A III-13. ábrán látható interfész segítségével szinuszhullámok frekvenciaarányainak és amplitúdóinak megadásával lehet létrehozni különböző hullámformájú

periódusokat.

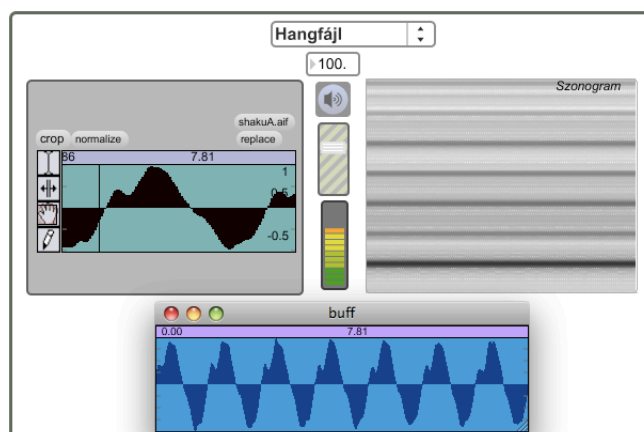


III-13. ábra

A példa 6 színuszösszetevőt tartalmaz, melyek paraméter-kombinációi nagy mennyiségű, egymáshoz képest folyamatosan változtatható hangszínű hangzás létrehozására alkalmasak. Ezzel a módszerrel – elegendő számú összetevő felhasználásával – elvileg bármilyen periodikus jel hullámformája modellezhető. Inharmonikus arányok esetén a modellként szolgáló hangzásoktól (például harang) eltérő eredményeket kapunk, mivel a periódus végén durva, átmenet nélküli szakadás képződik (hasonlóan a későbbiekben leírt III-15. ábrán látható hullámvonal szakadáshoz), melynek következtében magas frekvenciájú összetevők keletkeznek.

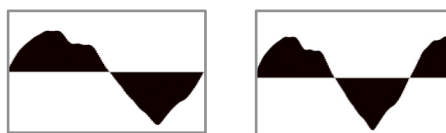
– mintavétellel

A módszer alkalmazásával hangfelvételtől izolálunk egy periódust, és mintáinak értékeit táblázatban tároljuk. A III-14. ábra a periódus elkülönítésére szolgáló programot ábrázolja. A baloldali mezőben hangvágó egység látható, melynek segítségével tetsztőlegesen lehet a hangfájlban navigálni, és kiválasztani a táblázatba töltendő hangfájlszakaszt.



III-14. ábra

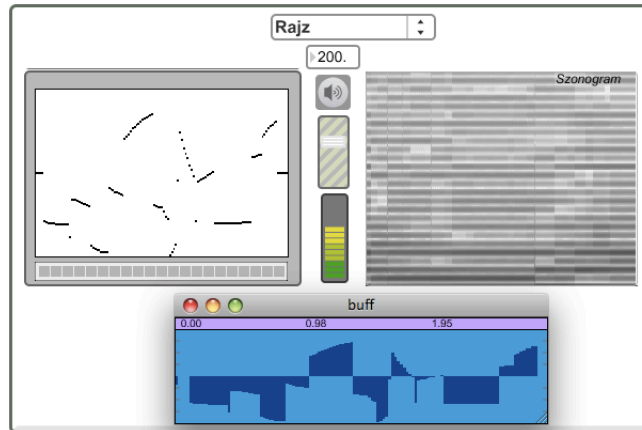
A módszer segítségével időben változó hangzás különböző állapotait (kitartott harmonikus, átmeneti zajos szakaszok, stb.) lehet modellezni, és belőlük hangszínteret építeni. A periódus izolálásának „hibája”, azaz ha nem pontosan zéruskereszteződéseknél vágjuk ki a periódust, kisebb-nagyobb mértékű zaj hozzáadását okozza (lásd III-15. ábra). A vágás helye és a zéruskereszteződés közötti távolság változtatásával folyamatos átmeneteket lehet létrehozni zajos és harmonikus hangok között. Az átmenetek nem lineárisak, kísérleti úton lehet tapasztalatot szerezni pontos működésükről.



III-15. ábra

– rajzolással

Megfelelő interfész segítségével a felhasználó megrajzolhatja a hullámformákat. A III-16. ábrán látható „rajztábla” 128 mintából álló periódus rajzolását teszi lehetővé. A felület segítségével improvizatív módon lehet vizsgálni a különböző hullámforma-típusok hangzásait. Empirikus módszerrel hangszínskálák is kialakíthatóak, hiszen a rajztábla alatti mezőbe elmenthetőek az egyes beállítások. Az ábrán látható, időben változó szonogram folyamatos rajzolás eredménye.



III-16. ábra

A hangszintézisteknika értékelése:

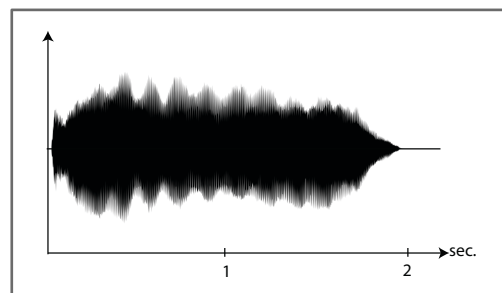
- hangminőség: egy-egy hang lefutása alatt változatlan spektrumú, ezért merev, gépies hangzás. Egyes rendszerekben egy hang lefutása alatt több hullámformát alkalmaznak egyiket a másikba úsztatva. Ezzel a módszerrel a szintézis még mindig nagyon hatékony marad, miközben a gépies hangszín gazdagabbá válik.
- a létrehozható hangszíntér mérete: elvileg végtelen mennyiségű spektrum generálására alkalmas, de az időben változó paraméterek által keltett jellegek nagy része nem modellezhető a technikával. Különböző formájú amplitúdó-burkológörbék alkalmazásával számos zenei gesztus (pengetés, ütés, stb.) létrehozható.
- a paraméterek viselkedése: a frekvencia és amplitúdó paraméterek mellett a hullámformákat létrehozó algoritmusok, módszerek paraméterei is változtathatóak. A szinuszhullámok összeadásához szükséges paraméterek mennyisége túl nagy ahhoz, hogy könnyen átlátható módon lehessen hangszínirányokat kidolgozni.
- paraméterek folyamatossága: a hullámformák beállításainak elmentése segíthet olyan paramétersor kidolgozásában és a beállítások segítségével elmentésében is, melynek beolvasásával intuitív, folyamatos hangszíndimenzió-változást lehet kelteni. Egyes általánosan alkalmazott hullámformák (például szinusz vagy fűrész) jellegzetes, jól ismert, egymástól lényegesen különböző hangszínnel rendelkeznek. Ezeknek a hullámformáknak a határainál kialakulhatnak érzékelési csomópontok (kategorikus percepció).
- a renderelés hatékonysága: a módszer rendkívül gazdaságos, hatékony, ezért alkalmazzák a legtöbb olcsó szintetizátorban illetve olyan rendszerek esetén is, ahol az összetettebb szintézishez szükségesek egyszerű jelek (szinusz, háromszög,

fűrész).

III.4.2.3. Additív szintézis

Az additív szintézis szinuszhullámok összeadásán alapuló szintézistechnika, amely Joseph Fourier felfedezésén alapul, miszerint minden periodikus jel felírható egy f_0 frekvencia és felharmonikusainak megfelelő frekvenciájú, különböző amplitúdójú szinuszok összegeként. Ennek megfelelően a szintézis során az összetevők frekvenciája, amplitúdója és hossza egymástól függetlenül változtatható.

A szintézisben részt vevő szinuszhullámok amplitúdója és frekvenciája változtatható az időben. A technika előnye, hogy a hangszín alapvető összetevőinek paraméterei teljes mértékben hozzáférhetőek, kontrollálhatóak, elméletileg bármilyen hangszín modellezhető a segítségével. A töréspontokkal meghatározott burkológörbék és a véletlenszerűen fluktuáló periodikus változások (tremoló, vibrató) definiálásához szükséges adatok mennyisége tetszőleges (összetett hangzások analíziséből nyert adatok reprodukálása esetén akár közelíthet a végtelenhez), a felhasználónak kell meghatároznia, milyen mértékű adatredukciót kíván használni. Mivel az akusztikus hangok szerkezete rendkívül összetett, jelentős kihívást jelent természetesnek ható hangzások létrehozása tisztán additív szintézissel.

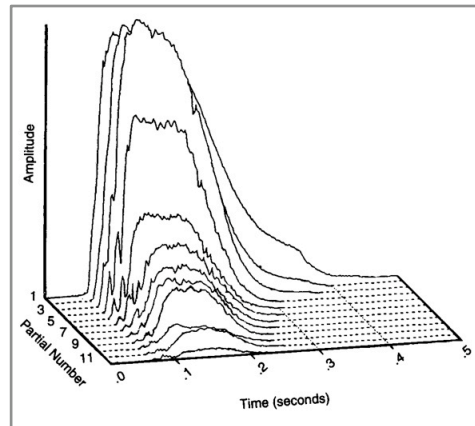


III-17. ábra

A III-17. ábrán 1.9 másodperc hosszú hegedűhang hullámformája látható, amely jól demonstrálja, hogy a hang amplitúdó-burkológörbéje lényegesen több töréspontot tartalmaz, mint az általánosított, 4 szakaszú ADSR görbe. A III-18. ábrán látható trombitahang szonogram-analíziséről leolvasható, hogy az összetevők is állandó mozgásban vannak, változásaik leírására ugyancsak nagy mennyiségű adatra van szükség.

Additív szintézistechnika használatakor elengedhetetlen annak meghatározása, milyen mennyiségű paramétert kell mozgatnia a hangszintézis-programnak, valamint

hogyan milyen adatkezelési stratégiákat kell kialakítani annak érdekében, hogy a paraméterek átlátható módon kezelhetőek legyenek. Ahány (szoftver- vagy hardver-) szintetizátor, annyi megoldás létezik, a Yamaha DX7 hat operátorának egyszerű párhuzamos összekötésétől a nagy analízis-reszintézis fázisvocoder szoftverekig, mint például az AudioSculpt.



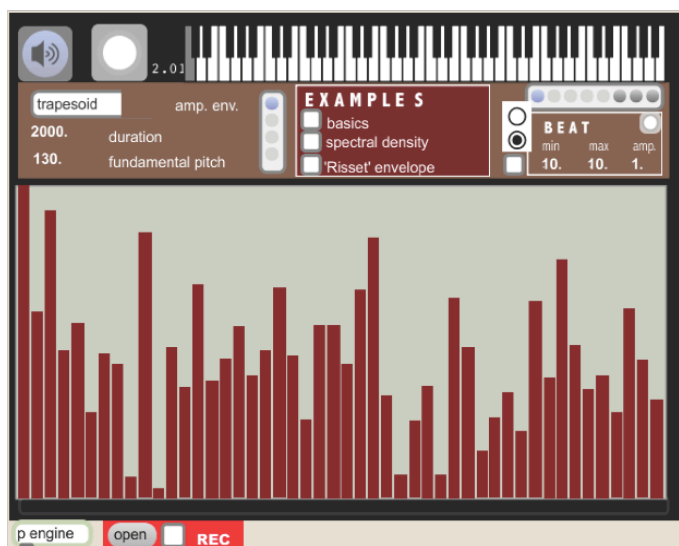
III-18. ábra¹⁵⁵

Additív szintézist alkalmazó hangszíntér-prototípusaim létrehozásához 48 összetevőt használtam 3x48 szinuszhullám összegezésével. A megfelelő lebegés (jitter) biztosítása érdekében minden összetevőt két szinuszhullámmal egészítettem ki. Minden összetevő frekvenciája, amplitúdója és hossza külön parametrizálható, az időbeni amplitúdóváltozásokat leíró burkológörbe-formák azonban egységesek.

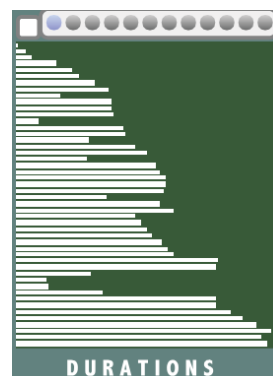
A szintézisprogramban külön-külön felületeken csoportosítottam a 48 jel amplitúdóit, frekvenciáit, hosszait, ami lehetővé teszi, hogy közösen lehessen vezérelni őket algoritmusok, grafikus felületek, egységes mentések segítségével. A III-19a ábra a program főablakát mutatja, ahol be lehet állítani a szintézis alapparamétereit az alaphangmagasságot, a hanghosszat, a burkológörbe típusát, a lebegés mértékét és a grafikus felület segítségével a 48 amplitúdó értéket.

Az egyes összetevők frekvenciáját külön ablakban lehet megadni az alaphangmagasság frekvencia-értékének arányszámaival. Az összetevők hosszúsága a főablakban megadott hanghossz szorzataival definiálható.

¹⁵⁵ Roads, C. (1996)., 141. old.



III-19a ábra



III-19b ábra

Külön grafikus kezelőfelület alkalmazásával is bevihetjük az adatokat, ilyenkor vizuális visszacsatolást is kaphatunk az összetevők időtartamairól (lásd III-19b ábra). Ez különösen jól működik ütött hangok esetén, amikor a hosszabb összetevők rezonanciaérzetet okoznak. A grafikus ábra segítségével jól megfigyelhető, hogy egyes anyagszerű hangzásoknak (például cserép, üveg, stb.) hol vannak rezonanciahelyei.

A burkológörbe típusától függően a hanghossz paraméter befolyásolhatja az összetevők összeolvadását illetve szétesését is. Ha a burkológörbe csúcspontja nem a hang elején van, a különböző hanghosszak miatt a csúcspontok eltolódhatnak, és a I.3.2.3. fejezetben bemutatott, Risset által már 1969-ben leírt jelenség jöhet létre.

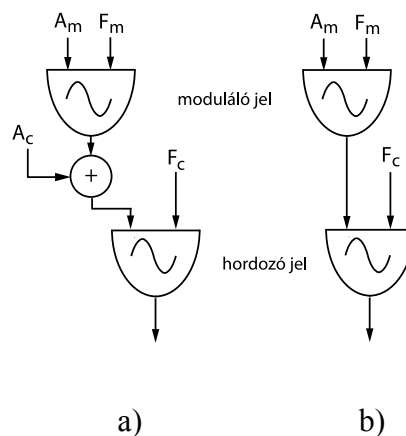
A hangszintézisteknika értékelése:

- hangminőség: elvileg bármilyen hang előállítható a technikával. A minőség az összetevők és a burkológörbék töréspontjainak számától függ. Elegendő mennyiségű adat és megfelelő analízis módszer használatával hangszerhangok tökéletes imitációi is előállíthatók segítségével. A III-19a ábrán megjelenített additív szintézis szoftverben 48-ra korlátozódik az összetevők száma, ami természetesen hatással van a hangminőségre is.
- a létrehozható hangszintér mérete: elvileg végtelen mennyiségű hangszín modellezhető, segítségével, ami magába foglalja az összes átmeneti állapotot, és az időben változó paramétereket is.

- a paraméterek viselkedése: elvileg a modellezni kívánt hangzás analiziséből nyert összes adat külön paraméterezhető. A nagy mennyiségű, akár a végtelenhez közelítő érték miatt szükség van adatredukciós illetve adatösszegző stratégiák kidolgozására annak érdekében, hogy releváns módon lehessen hangszíndimenziókat vezérelni.
- a paraméterek folyamatossága: a nagy mennyiségű paraméter miatt az adatredukció illetve adatösszegzés módja határozza meg, hogy mennyire válnak folyamatossá a hangzásdimenziók, és hogy kialakulnak-e érzékelési csomópontok.
- a renderelés hatékonysága: az összetettebb hangok komoly megterhelést jelenthetnek a számítógép processzora számára, ami jelenidejű szintézis esetén még mindig valós probléma. Az összetevők számának korlátozásával jóval hatékonyabbá tehető a szintézis.

III.4.2.4. Amplitúdómoduláció, ringmoduláció

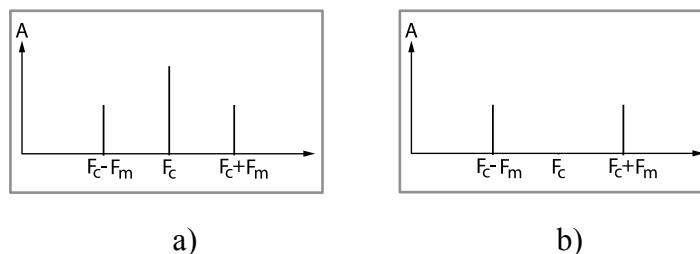
Az amplitúdómoduláció és a ringmoduláció viszonylag egyszerű szintézistechnikák, melyek fő erénye, hogy segítségükkel kevés kiindulási jel használatával jól kiszámítható, a kiindulási jeleknél összetettebb spektrumot lehet létrehozni. Mindkét módszer során az ún. hordozó jel amplitúdóját egy másik, moduláló jel változtatja. Amplitúdómoduláció esetén a hordozó jelet konstans amplitúdóértékhez adjuk (lásd III-20a ábra), ringmodulációkor pedig a moduláló jel maga válik a hordozó amplitúdójává (lásd III-20b ábra).



III-20. ábra

A két modulációkor hasonló spektrumok keletkeznek. Amennyiben egyszerű modulációt használunk, azaz a kiindulási jeleink szinuszhullámok, amplitúdómoduláció esetén a hordozó frekvencia (F_c) mellett egyenlő távolságra

negatív és pozitív irányban, $+Fm$ és $-Fm$ távolságra megjelenik egy-egy oldalfrekvencia (III-21a ábra). Ringmoduláció esetén Fc nem tagja a spektrumnak, ilyenkor csak két helyen, $Fc+Fm$ és $Fc-Fm$ frekvenciákon találhatók összetevők (III-21b ábra).



III-21. ábra

A III-20. ábráról leolvasható, hogy ha amplitúdómoduláció esetén $Ac=0$, ringmodulációt kapunk. Ac folyamatos változtatásával interpolálni lehet a két technika alkalmazásával létrehozott spektrum között. Fc és Fm távolsága egymástól meghatározza a keletkező hangszín típusát. Alapvetően három jelleg alakulhat ki:

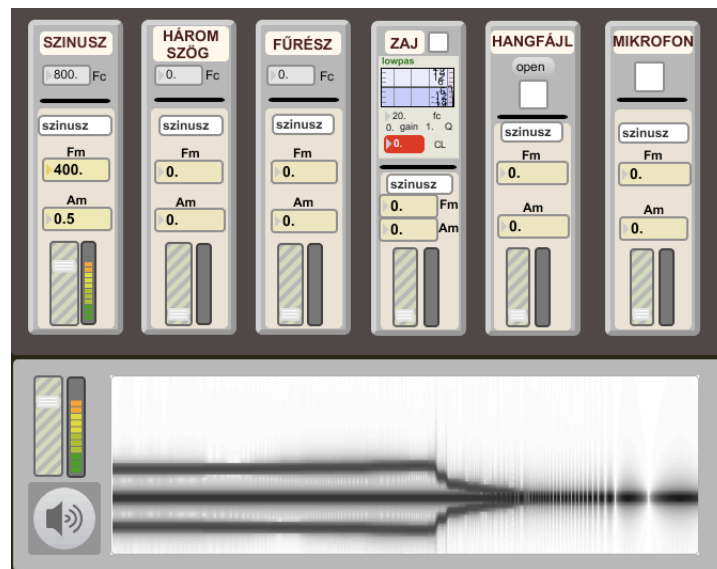
- a) ha $0 < Fm < \sim 20$ Hz lebegő, tremoláló, érdes hang, melynek alaphangmagassága megegyezik a hordozóéval,
- b) ha Fm és Fc aránya egész számú többszörösre utal, színezett harmonikus hang,
- c) ha Fm és Fc aránya nem utal egész számú többszörösre, inharmonikus, több magasságérzetet keltő hang.

Fm folyamatos módosításával a három minőség között nehezen kiszámítható módon váltakozik a hangszín, így ez a paraméter nem alkalmas folyamatos hangszínskála létrehozására.

Az amplitúdó- és a ringmoduláció szinuszhullámok használatával nagyon egyszerű spektrumokat eredményez. Összetett hangzások elérése érdekében legalább a hordozó jelnek bonyolultabb hangszínnel kell rendelkeznie. Komplex hordozójel modulációjakor minden összetevő mellett megjelennek a $F\ddot{o}-Fm$ és $F\ddot{o}+Fm$ ($F\ddot{o}$ =összetevő frekvenciája) távolságra elhelyezkedő oldalfrekvenciák. Ilyenkor is jellemző a háromféle spektrum létrejötte az Fc és Fm távolságának függvényében. A megsokszorozott oldalfrekvenciák – melyek között egyre kisebb a hangközérzet, ahogy a frekvencia növekszik – miatt c) esetben lényegesen komplexebb, az Fm mozgatásával állandóan változó, inharmonikus klaszterek alakulnak ki. A modulációnak ez a tulajdonsága jól felhasználható felvett hangok manipulálására. A spektrumba beékelődő oldalfrekvenciák mennyisége elegendő ahhoz, hogy már jól

érezhető változást okozzon a hang színezetében, azonban nem olyan nagy mértékű, hogy teljesen eltorzítsa, zajjá változtassa az eredeti hangot. Felvett hangok esetén az *AM* és *RM* közötti átmenet jól alkalmazható a kiindulási hang eredeti frekvenciáinak folyamatos kiiktatására (*RM*) illetve visszakeverésére (*AM*). *RM* alkalmazása esetén, amikor az eredeti frekvenciák hiányoznak a spektrumból, egészen el lehet távolodni a kiindulási hangszíntől.

A fenti megállapításokból kiindulva amplitúdómodulációt és ringmodulációt realizáló MAX/MSP program kialakításakor fontos szempont volt, hogy az alapparaméterek (F_c , F_m , A_m) kontrollálhatóságán túl meg lehessen határozni különböző tulajdonságú hordozó és moduláló jeleket. A III-22. ábrán látható vezérlőfelület 6 modulra oszlik, melyek 6 különböző hordozóhullámot kezelnek: szinusz-, háromszög- és fűrészhullámot, szűrővel kiegészített fehér zajt, beolvasható hangfájlokat és mikrofon bejövő jelét. Minden modulban 3 modulálój hullám, szinusz-, háromszög- és fűrészjel, közül lehet választani. Állítható a periodikus hordozójelek frekvenciája, a moduláló frekvencia és a modulálójel amplitúdója. Zaj, hangfájl és mikrofonjel esetében a bejövő jel összetevői válnak hordozójellé.



III-22. ábra

A III-22. ábrán az első modul működése figyelhető meg, ahol szinusz hordozót szinuszjel modulál. A szonogramon jobbról balra követhető, ahogyan időben változik a moduláló jel frekvenciája: először csak az amplitúdó változik (van-nincs), a hang lebeg, majd a sebesség növekedésével érdekessé válik, később pedig megjelenik a

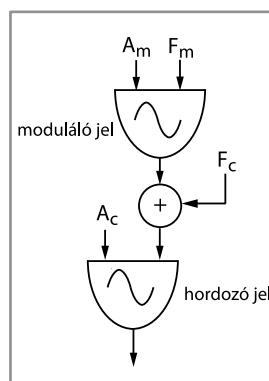
két oldalfrekvencia, melyek egy rövid növekedési illetve csökkenési szakasz után konstans értéket vesznek fel.

A hangszintézisteknika értékelése:

- hangminőség: kiindulási jelekként szinuszhullámokat alkalmazó *AM* és *RM* esetén csak nagyon egyszerű, zenei szempontból szinte értékelhetetlen spektrumok hozhatóak létre. Összetettebb jelek és/vagy többszörös moduláció esetén komplexebb hangzások is megvalósíthatóak, de ilyenkor is nehéz eltávolodni a jellegzetes, szinte mindig felismerhető *AM*, *RM* hangzásjellegtől.
- a létrehozható hangszíntér mérete: az *AM* és *RM* alkalmazásával korlátozott nagyságú elmozdulások hozhatóak létre a hangszíntérben. Csak általános jellegek (lebegés, harmonikus spektrum, inharmonikus spektrum) kialakítására illetve erősítésére alkalmas, erős, jól körülhatárolható tulajdonságokkal rendelkező hangosztályok szintetizálására nem használható.
- a paraméterek viselkedése: az *AM* és *FM* paramétereinek változása különböző érzeteket – lebegés, érdeesség, spektrumtelítődés – okoz. A lebegés-érdeesség tengelyen a moduláló frekvencia (*Fm*) változtatása közvetlen érzékelési dimenzió vezérlés. Magasabb moduláló frekvencia esetén konstans hullámok modulációjakor az *fm* paraméter változtatása erőteljes hangmagasság-glisszandót hoz létre. Összetett hangok modulációja esetén a paraméter alkalmas arra, hogy a jól ismert transzpozíció-hatás érzete nélkül toljuk el a hangzás frekvenciáit az egyes regiszterek között.
- a paraméterek folyamatossága: a lebegés-érdeesség kategórián belül folyamatos változást lehet létrehozni az *fm* mozgatásával, ami némileg megtörik a lebegés, érdeesség kategóriák határánál. Az oldalfrekvenciák megjelenése után az *fm* folyamatos változtatása nehezen kiszámítható harmonikus és inharmonikus spektrumok egymásutánját okozza, ami lehetetlenné teszi folyamatos változás kialakulását. Ilyenkor csak abban az esetben lehet a folyamatosság érzetéhez közelíteni, ha a modulálandó spektrum eleve inharmonikus vagy zajos tulajdonságokat mutat, így a moduláció nem okoz durva változásokat a harmonikus és az inharmonikus kategóriák között.
- a renderelés hatékonysága: a technika egyszerűsége miatt nem jelent megterhelést a számítógép processzora számára, nagyon gazdaságos.

III.4.2.5. Frekvenciamoduláció

FM szintéziskor egy egyszerű hullám – általában szinusz – frekvenciáját egy másik jel – általában szinusz – modulálja. Eredményként egy lényegesen összetettebb jel jön létre, mint a modulációban résztvevő hullámformák. A modulált jelet hordozó hullámnak, a modulálót pedig moduláló hullámnak nevezzük. Ahogyan a III-23. ábrán látható, frekvenciamoduláció keltéséhez a hordozó hullám frekvenciájához hozzá kell adni egy szinuszfüggvény szerint változó jel értékeit. A hordozó jel frekvenciájában a moduláló hullám által, annak amplitúdójának függvényében okozott frekvenciadeviáció (d) és a moduláló hullám frekvenciájának (f_m) ismeretében származtatható a modulációs index, $I = d/f_m$.

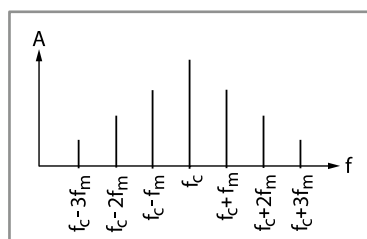


III-23. ábra

A frekvenciamoduláció következtében létrejövő spektrum úgy alakul ki, hogy a moduláló hullám erősödésével a hordozó hullám energiája szétoszlik a hordozó hullám két oldalán megjelenő oldalfrekvenciák között, melyekből annál több keletkezik, minél nagyobb a modulációs index. A modulált jel spektrumában az összetevők frekvenciái a

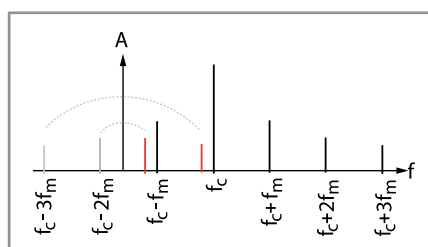
$$S = f_c \pm k f_m$$

képlet alapján számolhatók ki, ahol f_c a hordozó frekvencia, f_m a moduláló frekvencia, k az oldalfrekvencia sorszáma, amely mindig egész szám és maximális értéke a modulációs index függvénye (lásd III-24. ábra).



III-24. ábra

Amennyiben a spektrumban a hordozó frekvenciához viszonyítva balra helyezkedő oldalfrekvenciák negatív értéket vesznek fel, fordított fázissal visszaverődnek, tükröződnek a 0 tengelyről. A visszaverődő frekvenciák az f_c és az f_m értékeitől függően egyrészt erősíthetik vagy gyengíthetik a visszaverődés nélkül létrejött összetevőket, másrészt hozzájárulhatnak új összetevők keletkezéséhez. A III-25. ábrán piros szín jelöli az elsődleges spektrumba ékelődő, visszaverődő összetevőket.



III-25. ábra

Az összetevők amplitúdóinak pontos kiszámítása bonyolult matematikai apparátust igényel (pl. egy sor Bessel függvényt), melyet Chowning részletesen tárgyal frekvenciamodulációról szóló írásaiban¹⁵⁶. Dolgozatomban az amplitúdóértékek ábrázolásakor és a spektrum megközelítő becslésekor abból a feltételezésből indultam ki, hogy legtöbbször a hordozófrekvencia amplitúdója a legnagyobb, és a körülötte kialakuló oldalfrekvenciák amplitúdója sorszámuk növekedésével csökken.

A frekvenciamoduláció sikerét a '70-es, '80-as években az a tulajdonsága okozta, hogy kis számú kiindulási jelből nagyon sok, temérdek kombinációban elrendezhető összetevőt tartalmazó spektrumot lehet létrehozni, valamint hogy a moduláló hullám időbeni változása a spektrum összetevőit közösen vezérelve természetes hatású, dinamikus hangzást okoz.

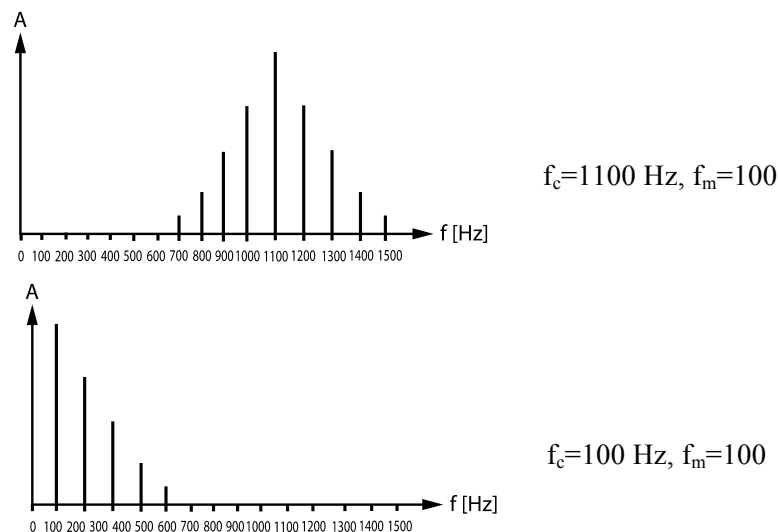
Egyszerű frekvenciamoduláció (1 hordozó és 1 moduláló szinuszjel) alkalmazásával is számos spektrumtípust lehet szintetizálni csupán 3 paraméter (hordozó frekvencia, moduláló frekvencia, modulációs index) segítségével. A két frekvenciaérték aránya az összetevők lehetséges frekvenciahelyeit jelöli ki a spektrumban, míg a modulációs index az összetevők maximális értékét, azaz a

¹⁵⁶ Chowning, J. M. (1973).

spektrum szélességét, kiterjedését definiálja. A két nagy osztályon – a harmonikus és az inharmonikus spektrumokon – belül számos hangzástípus létrehozható. Harmonikus spektrum akkor keletkezik, ha $f_c / f_m = N_1 / N_2$, ahol N_1 és N_2 egész számok. A hangzás alaphangja $f_0 = f_c / N_1 = f_m / N_2$.

A harmonikus hangzások alapesetei:

- ha $N_2 = 1$: minden felharmonikus jelen van a spektrumban, melynek alaphangja megegyezik a moduláló jel frekvenciájával. Ilyenkor N_1 értéke azt mutatja, milyen messze található az alaphangtól a legerőteljesebb rezonanciahely, azaz formáns a spektrumban (III-26. ábra),
- ha $N_2 = 2$: páros szám, a spektrum csak a páratlan felharmonikusokat tartalmazza,
- ha $N_2 = 3$: minden harmadik felharmonikus hiányozni fog a spektrumból,
- az egyre növekvő páratlan N_2 értékek egyre hiányosabb, „szellősebb” spektrumot fognak eredményezni.



III-26. ábra

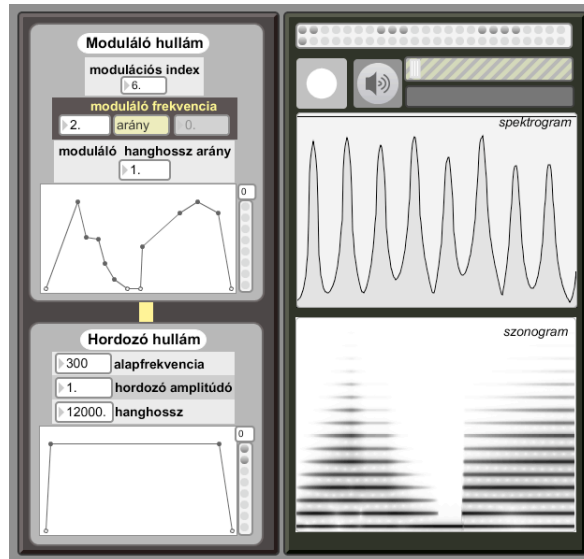
Inharmonikus spektrum jön létre, ha az f_c / f_m arány irracionális, azaz nem fejezhető ki két egész szám arányaként, például $\frac{f_c}{f_m} = \frac{1}{\sqrt{2}}$. A visszaverődő frekvenciák a tengely negatív oldaláról a pozitív oldalon megjelent összetevők közé esnek, és olyan spektrumot hoznak létre, melynek összetevői között nincs harmonikus kapcsolat.

Ha a hordozójel f_c alaphangja változik, a modulálójel f_m frekvenciáját is a változásokhoz kell igazítani, ha a megváltozott f_c esetén is ugyanannak a szerkezetű spektrumnak a megőrzése a cél. Előfordulhat olyan eset is, amikor f_m konstans, nem változik f_c arányaként, ilyenkor a spektrum és a hangszínezet változik a hordozó frekvencia függvényében.

A modulációs index a hangszín fényességére van nagy hatással. Minél nagyobb az érték, annál több oldalfrekvencia keletkezik, ami az esetek többségében azt okozza, hogy az egyre magasabb frekvenciák megjelenése miatt egyre fényesebb, élesebb a hangzás. Magas frekvenciájú hordozójelek esetében előfordulhat, hogy a modulációs index növekedésével az oldalfrekvenciák a mély összetevők felé is bővülnek, és az elsődleges érzet nem a fényesedés, hanem a mély frekvenciák megjelenése. A modulációs index időbeni változtatása egyszerű, hatékony eszköz időben változó spektrumok létrehozására. A modulációs indexet szabályozó burkológörbe természetessé teheti a hangzásokat, és segít egyes hangzásjellegek kialakításában (például magas frekvenciák megjelenése az amplitúdó növekedésével a rézfűvös hangokban).

Az egyszerű frekvenciamoduláció lehetőségei nagy mértékben bővíthetők, ha további szinuszjelekkel, további modulációkkal gazdagítjuk a szintézis folyamatát. Ilyenkor modulálhatunk egy hordozót több moduláló jellel, több hordozót egy moduláló jellel, összeadhatunk moduláló párokat (párhuzamos moduláció) vagy a hordozó moduláló oszcillátorát is modulálhatjuk (kaszkád moduláció), illetve visszacsatolásokat iktathatunk a folyamatba. Az összetett modulációk segítségével lényegesen finomabb részletességgel lehet kidolgozni az elérni kívánt spektrumot.

Frekvenciamoduláción alapuló hangszíntér prototípusok kidolgozásához egyszerű és összetett FM szintézisprogramok kerültek felhasználásra. A moduláris szoftvercsoport alapjául egyszerű FM szolgál, melynek vezérlő paraméterei a III-27. ábrán láthatóak a keletkező spektrumot ábrázoló spektrogrammal és szonogrammal együtt. A hangszíntér prototípusokhoz az egyszerű moduláción kívül párhuzamos és kaszkád modulációt valamint visszacsatolást is alkalmaztam.



III-27. ábra

A hangszintézisteknika értékelése:

- hangminőség: sokféle, sokszínű hangzás kreálható a technikával, természetes hangszerhangok többféle osztálya (ütős, fafúvós, rézfúvós, vokális hangok) is jól imitálható segítségével. A technika hátránya, hogy meglehetősen bonyolult a keletkező spektrum pontos vezérlése, mivel egy-egy paraméterrel nagy számú összetevőt kell egyszerre irányítani. Sok esetben (főleg egyszerű FM szintézis esetén) nehéz megszabadulni a technikára jellemző fémes és/vagy nazális jellegtől.
- a létrehozható hangszíntér mérete: nagyon sokféle hangzásosztály hozható létre frekvenciamodulációval. A hangszínek finomhangolása problémát okozhat, mivel az összetevők adatait kötött matematikai szabályok határozzák meg, így vannak olyan spektrumok, amelyeket nem lehet előállítani. Jellemző probléma, hogy a keletkező oldalfrekvenciák szimmetrikusan helyezkednek el a hordozófrekvencia körül, így nehézkes aszimmetrikus spektrumot létrehozni.
- a paraméterek viselkedése: a moduláció mértékét meghatározó modulációs index közvetlenül alkalmas a fényesség hangszíndimenzió vezérlésére. A visszacsatolás szabályozásával a zajos és a nem zajos textúrák között lehet átmenetet teremteni. Megfelelő skálázással mindkét paraméter intuitív módon kezelhető, élő játékban hatásosan alkalmazható.
- a paraméterek folyamatossága: A modulációs index értékének fokozatos változtatása folyamatos fényességváltozás-érzetet biztosít. A zajos és harmonikus textúrák közötti átmenetkor természetesen figyelembe kell venni a kategorikus percepció jelenségét, és ennek megfelelően kell áttérképezni a paramétereket. A

moduláló frekvencia és a hordozó frekvencia arányának változtatása csak akkor okoz skálaszerű érzetet, ha egész számú többszörös arányok mentén történik. Az arányszám két egész szám közötti (irracionális értékeket is érintő) folyamatos módosítása nagy mértékben váltakozó hangszíneket eredményez, nem alkalmas folyamatos skála létrehozására.

- a renderelés hatékonysága: a nagyon kis számú kiindulási jel miatt a technika nagyon gazdaságos, minimális mértékben terheli a számítógép CPU-ját.

III.4.2.6. Szubtraktív szintézis

A szubtraktív szintézis alapjául az a megfigyelés szolgál, hogy az emberi hang és a hangszerek működését két fő komponens határozza meg: összetevőkben gazdag forrásjel és az azt átalakító rezonátor. Megfelelő forrásjel alkalmazásával a rezonátor akusztikai tulajdonságainak változtatásával sokféle, egymástól jelentősen eltérő karakterű spektrumot lehet létrehozni. A technika elnevezése – szubtraktív, azaz kivonó – onnan származik, hogy a forrásjelből kivonásra kerülnek a nemkívánatos összetevők.

A szubtraktív szintézis eszköze a szűrő. Jól kontrollálható hangszíneket lehet létrehozni, ha jól kiválasztott forrásjelekhez megfelelő szűrőparaméter-beállítások társulnak. Forrásjelként összetevőkben gazdag jeleket tanácsos használni, hiszen kevés összetevő kevés választási lehetőséget szolgáltat a kivonáshoz illetve a kihangsúlyozáshoz. A leggyakrabban használt szintetikus forrásjelek:

- a fehérzaj (vagy annak közeli rokona, a rózsazaj): az összes hallható frekvenciájú összetevőt tartalmazó jel, ami kiváló kiindulási hang, hiszen minden szűrővel eredményesen lehet változtatni a hangzását, zajos és harmonikus hangok létrehozására is alkalmas. A rózsazajban a magas frekvenciájú összetevők energiája fokozatosan csökken (oktávonként 3 dB-t).
- impulzus sorozat: a spektrumtól függetlenül változtatható hangmagassággal rendelkező hangforrás.
- összetevőkben gazdag harmonikus jelek (pl. négyszög-, háromszög- vagy fűrészjel): kizárólag harmonikus összetevőket tartalmaznak, ezért konkrét hangmagassággal rendelkező hangzások kialakítására alkalmasak.

Természetesen bármilyen előre rögzített vagy élőben beérkező hang is jó alapanyag lehet szűréshez, amennyiben összetevőkben gazdag spektrummal rendelkezik.

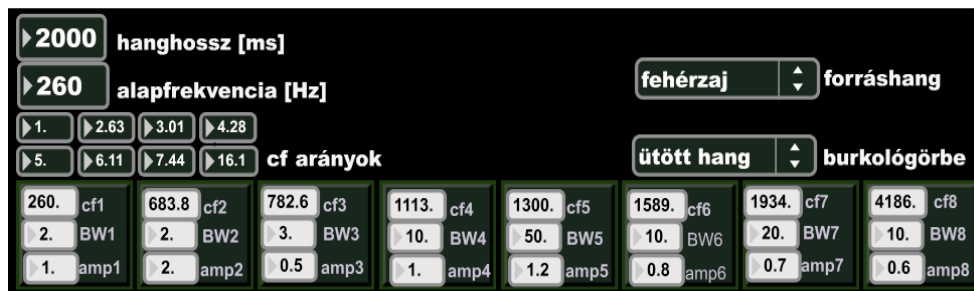
A leggyakrabban használt szűrőtípusok a következők:

- aluláteresztő szűrő: csak f_c töréspont frekvencia alatt enged át összetevőket
- feluláteresztő szűrő: csak f_c töréspont frekvencia felett enged át összetevőket
- sáváteresztő szűrő: f_c középponti frekvencia körül BW sávszélességben enged csak át összetevőket

A sáváteresztő szűrőket sorosan és párhuzamosan is össze lehet egymással kötni. Soros kötés esetén meredekebb lesz a szűrő, így jobban el lehet különíteni a kívánatos spektrumrészt. Párhuzamos összekötéssel az additív szintézis egy speciális esetét lehet modellezni, hiszen az eredmény ilyenkor az egymással összekapcsolt szűrők frekvenciaválaszainak összegzése, mellyel bonyolult szerkezetű spektrumokat lehet létrehozni. Az egyes sávszűrők rendelkeznek amplitúdóvezérléssel is, így befolyásolni lehet a keletkező spektrum összetevőinek arányait is.

A technika egyik előnye, hogy viszonylag kevés paraméter változtatásával vizsgálhatóak az összetevőkben rendkívül gazdag zajos hang (széles sávszélesség esetén) és a szinuszos összetételű (keskeny sávszélesség) közötti területek. Az egyes sávok amplitúdójának és sávszélességének független kezelésével egyszerűen alakíthatóak ki rezonanciahelyek. A módszer használatának problémája, hogy a szűrt jel amplitúdója nehezen kezelhető, összetett hangszínterek esetén a jelenidejű normalizálás nem mindig lehetséges, ami nehézséget jelenthet egyes hangszínek összehasonlításakor és élő játék esetén.

- sávzáró szűrő: f_c középponti frekvencia körül BW sávszélességben tilt összetevőket

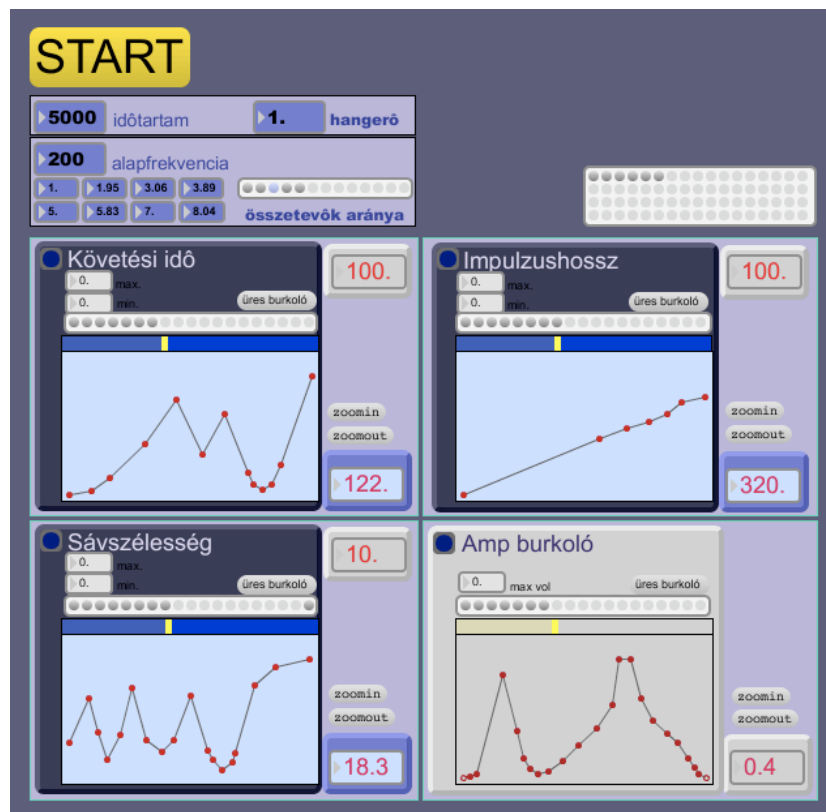


III-28. ábra

A szubtraktív szintézis lehetőségeit vizsgáló hangszíntér-prototípus létrehozásához 8 sávon működő ekvalizátort alkalmaztam. Forráshangként fehérzajt, fehérzajból kialakított impulzussort, harmonikus jeleket és különböző tulajdonságú, előre rögzített hangfájlokat használtam. A szubtraktív technikát realizáló

hangszintézis-szoftver kezelőfelülete a III-28. ábrán látható, melyen a következő hangzásparaméterek szabályozhatóak: forráshang típusa, hanghossz, alaphangmagasság, a szűrt sávok középfrekvenciájának aránya az alaphanghoz képest, a szűrt sávok sáv szélessége, a szűrt sávok amplitúdóaránya

A szintézisprogramot kiegészítettem egy olyan egységgel is, amely folyamatosan ismétli a szűrt impulzusokat. Ezzel egy kvázi granuláris szintetizátort sikerült a szűrés mellé iktatni, melynek segítségével jól vezérelhetően vizsgálhatóak a szemcsésség alapparamétereinek és a szűrés adatainak kombinációi is. Egyes paraméterekhez burkológörbét rendeltem, megteremtve annak a lehetőségét, hogy a hangszintéren belül vizsgáljam az együttes változások zenei tulajdonságait. A III-29. ábrán impulzussor szűrésére létrehozott 8 sávú ekvalizátor interfésze látható. Négy paramétert – az impulzusok követési idejét, az impulzusok hosszát, a szűrés sáv szélességét és az szűrt hang amplitúdóját – időben változó függvénnyel lehet vezérelni. A függvények kombinációival különböző irányokban lehet közlekedni a hangszintérben, és mozgalmas hangszínmotívumok alakíthatók ki.



III-29. ábra

A hangszintézisteknika értékelése:

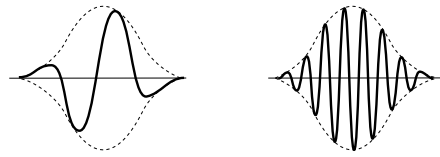
- hangminőség: nagyon sokféle hang létrehozható a segítségével annak függvényében, milyen forráshangokat és milyen szűrőket használunk. Mivel működése modellezi az emberi hang és számos hangszer megszólalásának módját, alkalmas ezek létrehozására is. A szűrés rezonanciáinak formálásával sokféle anyagszerűség (üveg, cserép, fa, stb.) modellezhető. A paraméterek időbeni változtatásával nagy mennyiségű összetevő mozgatható egyszerű módon, ami természetközeli hangzások keltésére is alkalmas.
- a létrehozható hangszintér mérete: mivel a párhuzamos sávszűrés (ekvalizátor) szélsőséges módja (nagyon sok sáv nagyon keskeny sáv szélességgel) az additív szintézis egyik formájának tekinthető, elvileg végtelen mennyiségű hangszín modellezhető segítségével. Az egyszerűbb szűrőkkel működő szintetizátorok és szoftverek természetesen korlátozzák a szintézisteknika lehetőségeit.
- a paraméterek viselkedése: a szűrés paramétereinek hatását egyszerű megérteni, érzékelni és vezérelni. A törésfrekvencia, a középfrekvencia, a sáv szélesség és a sávok amplitúdóaránya intuitív módon kezelhető.
- a paraméterek folyamatosága: a szűrés paramétereinek változtatása folyamatos érzetet biztosít, diszkrét pontjaikból egyszerűen lehet skálákat építeni.
- a renderelés hatékonysága: a szubtraktív szintézis már kis CPU kihasználtsággal is nagyon hatékonyan képes sok frekvencia-összetevőt mozgatni egyszerre. Az egyes frekvenciasávok független kezeléséhez összetett szűrőszervezetet kell létrehozni, amikor a szintézisben résztvevő szűrők száma és típusa határozza meg, milyen terhelést jelent a számítógép processzora számára a szintézis.

III.2.2.6. Granuláris szintézis

A granuláris szintézisteknika rövid „hangszemcséket” hoz létre, és kombinál időben nagyobb léptékű hangzási eseményekké. A szintézisteknika Gábor Dénes feltételezésén alapul, mely szerint bármilyen hang szintetizálható sok egyszerű hangzásszemcse megfelelő kombinációjával.

A szemcséket létre lehet hozni szintézissel, vagy el lehet különíteni előre felvett hangfájlokból. A hangszemcse különösen rugalmas reprezentációja a zenei hangnak, mivel elkülöníti a időalapú információt (időtartam, burkológörbe) a frekvenciaalapú információtól (a hullámforma alakja, azaz hangszíne és frekvenciája a szemcsén belül). A legegyszerűbb hangszemcse a Gauss-függvény burkológörbével

ellátott szinuszhullám. A III-30. ábrán a két egyforma hosszúságú, eltérő frekvenciájú szinuszhullámokból képzett hangszemcse látható.



III-30 ábra

A granuláris szintézis fő paraméterei:

- a szemcsét kitöltő hang hullámformája: a hullámforma determinálja a hangzás spektrumát, azaz a hangszín alapvető jellegét. Gyakorlatilag bármilyen jelet fel lehet használni granuláláshoz az egyszerű szinusztól, az időben változó, komplex hangzásokig, így rendkívül széles a létrehozható hangzások palettája.

A granulált hangzás fontos meghatározója, hogy az egyes szemcséket kitöltő hullámforma miként változik az időben. Alkalmazott módszerek:

- a hullámforma változatlan: „befagyasztott”, konstans hangzás keletkezik,
- a hullámforma a kiindulási hangzás lefolyását követve fokozatosan változik: az eredeti hangzás reprodukálása, ahol a szemcsék követési távolságától függően a hangmagasságtól függetlenül lehet a hangfájl tempóját változtatni,
- a szemcsékhez egyenként címezzük a hullámformákat: a hangzás mikroszkopikusan komponálható,
- a szemcsékhez véletlenszerűen rendelünk hullámformákat a felhasznált hangfájl felhasználható időtartamának kijelölésével: mozgó textúra keletkezik, melynek jellege a kiindulási hangfájl szakaszainak fele meg. Minél nagyobb a felhasználható időtartam, annál változatosabb a granulált textúra.
- szemcse hossza: meghatározza, hogy milyen mértékben érvényesül a szemcsét kitöltő jel hangmagassága és spektruma a granulált hangzásban. A szemcsék általában rövid, 1 és 200 ms közötti hosszal rendelkeznek. Az emberi fül számára ez a terület percepciók kategória határokat tartalmaz:
 - 2 ms-nál rövidebb időtartam esetén nem lehet érzékelni a szemcsét alkotó hullámforma hangmagasságát, az egyes szemcsék zajos kattanásként szólnak. A hosszúságtól függően változik a szemcse kattanásának színezete,
 - 5 ms körül elkezd kialakulni a hangmagasságérzet, ami ennél az értéknél még rendkívül bizonytalan,

- 25 ms felett egyre biztosabb hangmagasságérzet alakul ki.
A három határérték között elhelyezkedő területek átmenetet alkotnak a leírt állapotok között. Az egyes szemcsék hosszát lehet folyamatosan és véletlenszerűen is változtatni.
- a szemcsét kitöltő hang frekvenciája: megfelelő hosszúságú szemcsék esetén meghatározza a granulált hangzás hangmagasság-regiszterét.
A granuláris szintézis során bevett módszer a szemcsék transzpozíciója, melynek a gyakorlatban három fő módszere ismert:
 - minden szemcsét egyforma mértékben transzponálunk: hatása megegyezik az általános transzpozíció által okozott érzetekkel,
 - a szemcséket egyenként megcímezve, külön értékekre transzponáljuk: a hangmagasságviszonyok mikroszkopikusan komponálhatóak, létrehozhatóak így különböző skálákon alapuló „szemcsedallamok”,
 - a szemcséket véletlenszerűen transzponáljuk paraméter segítségével meghatározható minimális és maximális érték között: a szélső értékek beállításától függően apró elmozdulású remegésektől töredezett, mozgó textúrákig lehet eljutni.
- szemcsék sűrűsége, követési gyakorisága:
A szemcsék követési frekvenciája is fontos kategória határokat jelöl ki.
 - < 8 Hz: különálló megszólalások, nem alakul ki folyamatos hangzás,
 - 8-15 Hz: gyorsan ismétlődő, pergő hangsorozat,
 - 15-80 Hz: a szemcsét alkotó hanghullám tulajdonságaitól függően a terület fontos határvonal, ugyanis ez a paraméter határozza meg, hogy két egymást követő hang elkülönül egymástól vagy egy hangeseménnyé olvad össze,
 - > 80 Hz: a granulálás saját hangmagassága nagy mértékben befolyásolja a keletkező hangzás minőségét hasonlóan az amplitúdómoduláció által okozott spektrumváltozáshoz. Különösen akkor nyilvánvaló a hatás, ha a szemcsék hossza nagyon rövid, megközelíti vagy eléri a zajos kattánások területét. Hosszabb szemcsék esetén komplex, dús hangszövetek keletkeznek, melyek tulajdonságai a szemcsék paramétereitől függenek. A sűrűséget befolyásolja, hogy az adott szoftver hány szólamot képes egyszerre lejátszani.
- a szemcsék burkológörbéjének formája: a szemcsét kitöltő jel spektrumának változásait, a keletkező granuláris textúra érdekességét befolyásoló tényező.
A szemcséket körbevevő amplitúdó-burkológörbe alakja meghatározza, milyen

összetevők adódnak hozzá a szemcsét alkotó hullámforma spektrumához. Amennyiben a burkológörbe a szemcse kezdetekor és végződésekor is nulla értéket vesz fel, valamint alakja kerekded, folyamatos (lásd III-30. ábra), nem alakulnak ki hirtelen törések, így a spektrum nem tartalmaz sok, az eredeti hullámforma hangszínét eltorzító összetevőt. Négyszögletes, hirtelen változásokat tartalmazó burkológörbe zajos kopogásokkal tarkítja a granulált hangzást.

– a szemcsék lokalizációja: a szemcsék térbeni eloszlását befolyásolja.

Sztereo formátumban általában a jobb és bal oldal közötti panoráma paramétert jelenti, de lehetséges különböző mélység érzetet is generálni az egyes szemcsékhez. A megfelelő megoszlásérzet érdekében szemcsékként más értékekkel kell ellátni a panoráma paramétert.

A granuláris szintézis nagy hasonlóságot mutat az additív szintézissel a módszer általánossága és a vezérlés bonyolultsága tekintetében. A granuláris szintézis vezérléséhez is rengeteg adatra van szükség. Az elvileg szemcséről szemcsére változó paraméterek mennyisége miatt egy másodpercnyi hang létrehozása is komoly problémát jelentene, ha egyenként kellene megadni az adatokat. A granuláris szintézis esetében azonban könnyebb a kívánt hangzásérzetnek megfelelő hangszíneket kialakítani kis mennyiségű, általános tulajdonságokat leíró paraméterek segítségével. A számítógép megjelenésével lehetővé vált, hogy globális terminusok segítségével határozzuk meg a hangok karakterét, a szintézis algoritmus kiszámolja a részleteket, a szintézis szemcsékre lebontott paramétereit. Az általános paraméterek (például maximális szemcse-transzpozíció) jól kijelölik a percepció alapú tulajdonságokat is. Ha a granulárist szintézist ebből a szempontból hasonlítjuk össze az additív szintézissel, ahol szintén kezelhetetlennek tűnő mennyiséggel kell dolgozni, azt tapasztaljuk, hogy a granuláris szintézis kezelése egyszerűbb, mert a technika eleve tartalmaz adatkezelő (redukáló és összesítő) módszereket.

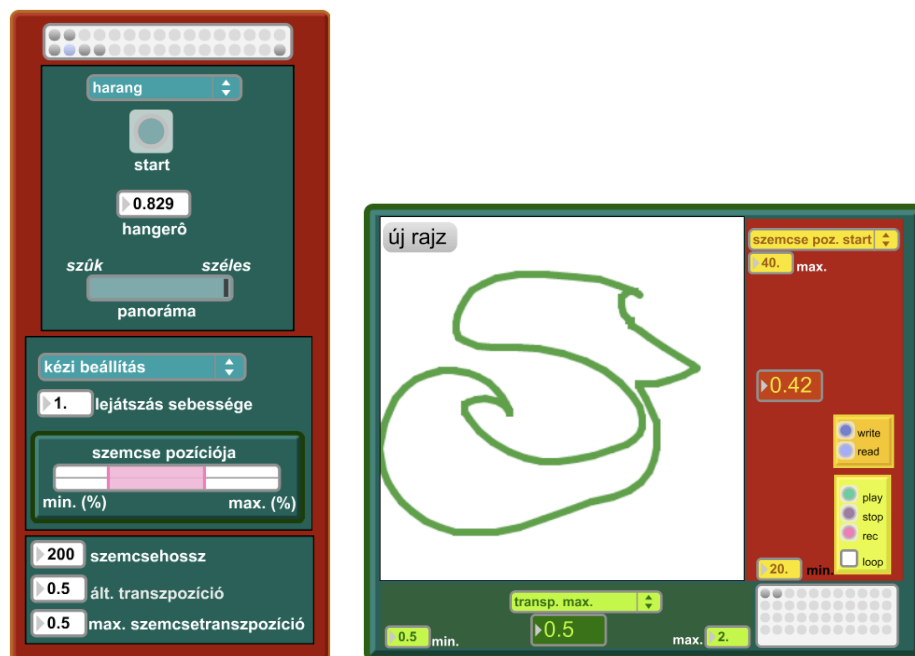
A granuláris szintézist alkalmazó hangszíntér-prototípusok realizálására létrehozott szoftver nyolc szólamban rétegzett szemcsékkel operál, és előre felvett hangfájlokat alkalmaz a szemcsék kitöltésére.

A III-31. ábrán látható interfész felső blokkjában lehet kiválasztani, hogy melyik hangfájlból, milyen hangerővel és milyen térbeni eloszlással válasszon szemcséket a szintetizátor. A középső blokkban lehet kiválasztani, hogy a szemcsék lejátszása folyamatos legyen, vagy a hangfájl valamelyik szakaszán belül véletlenszerűen kövessék egymást. A „lejátszás sebessége” paraméter a folyamatos

játékmód sebességét állítja be. A véletlenszerű lejátszáshoz grafikus vezérlőn („szemcse pozíciója”) lehet kijelölni, melyik szakaszt használjuk a hangfájlnak.

A legalsó blokkban lehet beállítani a szemcsehosszat, amely egyben meghatározza a követési távolságot is. Ugyanitt lehet vezérelni kétféle transzpozíció (általános és véletlenszerű) adatait is.

Az interfész tartalmaz egy kétdimenziós felületet is, melyen rajzolással lehet az időben változó paramétereket vezérelni, az egyes frázisokat rögzíteni és visszajátszani két hangszíndimenzió mentén. A felületen állítható a paraméter típusa valamint minimális és maximális szélsőértéke az x és az y tengelyen (lásd III-31. ábra).



III-31. ábra

A hangszintézisteknika értékelése:

- hangminőség: elvileg nagyon sokféle, információban gazdag hangzást lehet létrehozni granulálással. A hangok minősége nagyban függ a kiindulási jelek milyenségétől. A szintézisteknikára jellemző egyfajta remegő, gyorsan villódzó, érdes hangzás, melynek alapján könnyen azonosítható. Felületes paraméter-beállítások közhelyes hangzásklisék előfordulásához vezethetnek.
- a létrehozható hangszíntér mérete: mivel elvileg végtelen számú és karakterű spektrumot lehet használni kiindulásul, az eredményül kapott hangzások is elvileg végtelenül nagy hangszínteret fednek le. A granulálás paramétereire hangsúlyoznak egyes érzékelési jellegeket, mint pl. az érdesség-simaság, a

konstans-kaotikus, zajos-harmonikus dimenziókat.

- paraméterek viselkedése: a granulálás paramétereinek befolyása a hangzásra könnyen megérthető, jól tanulható. Egyes paraméterek (pl. szemcse hosszúsága, szemcsék követési távolsága) segítségével, megfelelő áttérképezéssel közvetlenül alkothatunk hangszínskálákat.
- paraméterek folyamatossága: a granuláris szintézis sok olyan paraméterrel rendelkezik, amely alkalmas folyamatos átmenetek képzésére és önmagában is képes hangszíndimenzióként működni. Ilyen például a szemcsehossz, a követési idő vagy a véletlenszerű transzpozícióhatár. Ezek a paraméterek rendelkeznek kategória-határokkal, melyeket figyelembe kell venni, ha folyamatos változások létrehozása a cél.
- a renderelés hatékonysága: a granuláris szintézis nagyon nagy számú szemcsét és vezérlő paramétert kezel egyszerre, ezért nagy megterhelést jelent a számítógép processzora számára. A szólamok és a vezérlő jelek számának csökkentésével lehet optimalizálni a CPU kihasználtságát.

IV. Redukált hangszínterek gyakorlati alkalmazásai

Az alábbi fejezetben a redukált hangszíntér két gyakorlati alkalmazását mutatom be: 1) John Chowning elektroakusztikus zeneművének mintaanalízisét és 2) saját, redukált hangszínterek vezérlésével realizált, interaktív zenei művem létrehozásának folyamatát.

IV.1. John Chowning: Turenas c. művének mintaanalízise a redukált hangszíntér terminológiájának használatával

John Chowning 1972-ben írt Turenas című műve az elektroakusztikus zeneirodalom klasszikus darabja. A Turenas cím a „natures” szó anagrammája, amely arra utal, hogy a szerző a természetes hangok területén végzett kutatásainak eredményeit kívánja kompozíciós célokra felhasználni. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy a cél már meglévő hangszerek hangjának számítógépes kiváltása lenne. A mű teljes egészében szintetikus hangzáskészlete – melyet Chowning az általa felfedezett frekvenciamoduláció technikával állított elő – különböző irányokban járja be a helyenként teljesen újszerű, máshol akusztikus hangszerekre emlékeztető hangzások közötti teret. Ezért elemzéséhez jól működő keretet biztosít a redukált hangszíntér fogalomköre.

A Turenas megírásával Chowning többek közt egy régi álmát, a hangzások hangszóróktól való függetlenítését is szerette volna valóra váltani:

„Az álmom arról szólt, hogy fizikai kényszerektől mentes, a realitástól szabad hangokat lehessen komponálni, amelyek ennek ellenére képesek hihető képzeteket kiváltani.”¹⁵⁷

A hangszíntér és a fizikai tér összekapcsolása felidézi Varèse gondolatait a Hang felszabadítása című előadássorozatából. Mintha a Turenas-szal Chowning nemcsak a saját, hanem Varèse álmát is valóra váltotta volna. A mű tanulmányozása alkalmat ad arra is, hogy elgondolkodjunk azon, egyenrangúsíthatóak-e az eddig elsődlegesnek és másodlagosnak nevezett zenei paraméterek, és kiterjeszthető-e Schönberg gondolata, miszerint „a hangmagasság a hangszínnel köszönhetően változik, s annak egyik dimenziója”¹⁵⁸, a hangzások térbeni mozgásaira is.

¹⁵⁷ Chowning, J. M. (2011), 10. old.

¹⁵⁸ Schönberg, A. (1978), 421. old.

A mű több olyan tulajdonsággal rendelkezik, ami miatt ideális alanya az új terminológián alapuló, elsősorban a hangszínváltozásokat figyelembe vevő mintaanalízisnek:

- a mű egyik legfontosabb, a szerző által is deklarált célja hangszín-transzformációk előállítása. Chowning ezt mondja a Curtis Roads-nak adott interjújában:

„Az FM egyik kompozíciós felhasználása a hangszín-transzformáció volt. Ez gyakran összekapcsolódott a térbeni mozgás irányításával. Ahogyan a hangok átszelték a teret, hangszín-transzformáción estek át.”¹⁵⁹

- a mű viszonylag egyszerű, könnyen átlátható keretek között zajlik. Az egyes dimenziók jól elkülönülnek, a hangszín-transzformációk világos irányokba mutatnak,
- a változatos hangszínpalettát jól körülhatárolt keretek között alakította ki a szerző koherens hangzást biztosítva darabjának. Az egyes hangszínelemek jól lokalizálhatóak a hangszíntérben, a közöttük lévő kapcsolatok egyértelműek,
- a szólamok száma korlátozott (2-3), és együttes belépéseik esetén világosan elkülönülnek egymástól. Az elektroakusztikus zenében gyakori jelenség, hogy az egyes szólamok összeolvadnak egymással nehezen felfejthető, új minőségeket alkotva. A Turenas-ban a hangok akusztikai tulajdonságaik miatt együtthangzaskor is megőrzik önazonosságukat, így egyszerűen átláthatóak a hangzástípusok és a közöttük létrejövő viszonylatok,
- a mű formai szakaszai összefüggést mutatnak a hangszínterek változásaival, mozgásaival, így a hangszínterek feltérképezése a formai analízis alapjául szolgálhat,
- a darabot formáló hangszíndimenziók változásai a legtöbb esetben világosan követhető feszültségmódosulásokat okoznak. A különböző hangszínek érzéki konszonancia- és disszonancia-viszonyai összefüggésbe hozhatóak a formát meghatározó feszültségek és oldások kialakulásával,
- hallás és spektrumanalízis segítségével jól visszafejthetőek a hangzások közötti technikai összefüggések, a keletkezés körülményei. Mivel a darab kizárólag FM szintézis felhasználásával készült, a módszer ismeretében a szerző jegyzetei nélkül is visszakereshetőek a szintézisparaméterek. Ezáltal a hangzásokat és az általuk

¹⁵⁹ Roads, C. (1985)

- kialakított szerkezetet nemcsak hallási úton lehet elemezni, hanem részletes „kottával”¹⁶⁰, objektív szintézisadatokkal is alá lehet támasztani,
- a darab kiválasztásakor fontos szempont volt, hogy Chowning hangszintézisen alapuló zeneszerzői módszere nem leszűkíti, hanem kitágítja a zene kereteit. A zenei paraméterek területét bővítve egyszerre alkalmazza a hagyományos terminológia által elsődlegesnek nevezett minőségeket (hangmagasság, ritmus, dinamika), a hangszíndimenziókat és a tér paramétereit a zenei forma kialakításához.

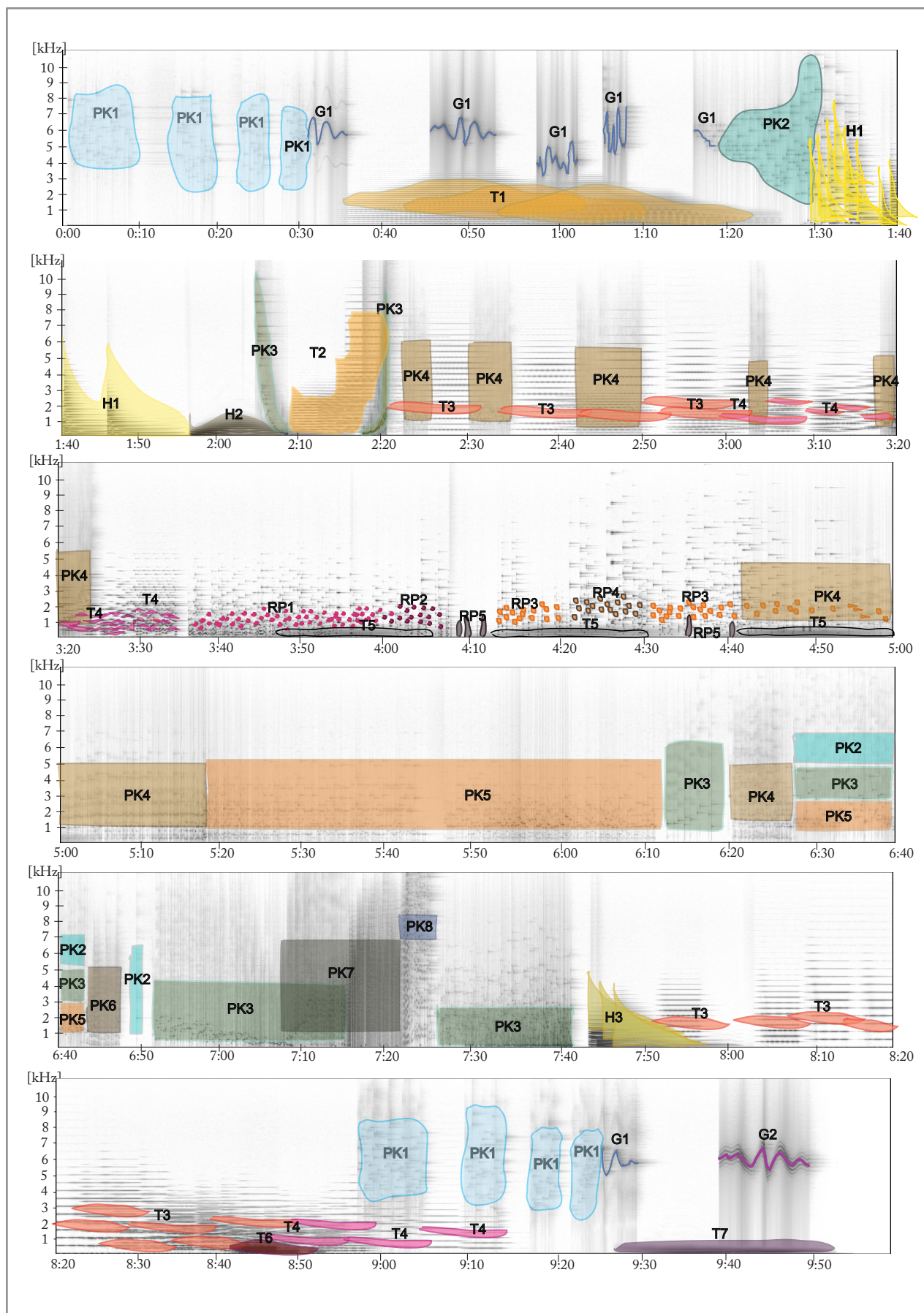
IV.1.1. A Turenas hangszíntérének vizsgálata

IV.1.1.1. A darabban előforduló hangzástípusok leírása

Az elemzés első lépéseként osztályoztam a műben előforduló hangzásokat. 25 hangzást különítettem el, melyeket 5 nagy csoportba osztottam. A IV-1. ábra a teljes mű szonogram-analízisét jeleníti meg színes mértani formákkal és betűjelekkel kiegészítve, melyek az egyes hangzástípusok elhelyezkedését mutatják az időtengelyen. A hangosztályok a következők:

1. PK (perkusszív) - rövid, egymást gyorsan követő, ütött hangok, melyeket gyakran hangszövetnek, hangfelhőszerű alakzatnak lehet érzékelni:
 - PK1: finom, magas, üveg/vízcsepp keverékére emlékeztető hangszövet,
 - PK2: kemény indítású, rezonáns, hangmagassággal rendelkező üvegszerű hangok, melyek hol textúraként, hol különálló hangokként viselkednek,
 - PK3: megütött fatest érzetét keltő, kemény kezdetű, majd konkrét hangmagasságú rezonanciával folytatódó hangok, melyek a megszólaló hang regiszterétől függően különböző ütőhangszerekre (xilofon, marimba, stb.) emlékeztetnek. A hangfolyam hol textúraként, hol különálló hangok együtteseként viselkedik,
 - PK4: megütött fatest érzetét keltő, kemény kezdetű, bizonytalan hangmagassággal rendelkező hangok,
 - PK5: megütött cserép és fa keverékének érzetét keltő, jól kivehető hangmagasságon rezonáló hangok,

¹⁶⁰Az elektronikus zenei analízis egyik problémája, hogy nincs kotta, mint ahogyan megszoktuk a klasszikus zene esetén, így nem látjuk a zene alapvető összetevőit. A helyzetet tovább nehezíti, hogy a hangszínnel operáló daraboknak nem a „hangjegy” a legkisebb összetevője, hanem a spektrumösszetevők.



IV-1. ábra

- PK6: zajos, fa érzetét keltő, kemény megütésű, bizonytalan magasságú hangok,
 - PK7: fémes, a fehérzajhoz közelítő spektrummal rendelkező impulzussorozat,
 - PK8: magasan szűrt, zajsáv spektrumú impulzussorozat.
2. G (granuláris) - rövid, gyorsan ismételt, folyamatos hangmagasság-skálákon elhelyezett hangok, melyek a rövid követési idő miatt szemcsés, granuláris folyamattá szerveződnek:
- G1: jól érzékelhető hangmagassággal rendelkező, glisszandáló, szemcsés folyamat.
 - G2: bizonytalan hangmagasságérzettel rendelkező, glisszandáló, zajosan szemcsés folyamat.
3. H (harangszerű ütött hangok) - megütött, változóan hosszú lecsengéssel bíró, harang- és gongszerű hangok:
- H1: közép és magas regiszterű, tágas spektrumú, fémes haranghangok, melyek spektruma a hang lecsengésével párhuzamosan elveszíti magas összetevőit.
 - H2: mély, gongszerű hangzás, melynek spektruma a hang megütése után fokozatosan fényesedik, majd körülbelül a hang felénél a folyamat megfordul, és a hang a lecsengéssel párhuzamosan elveszti magas összetevőit.
 - H3: közép-mély és mély, tömör spektrumú, mesterségesen hosszú lecsengésű, fémes, harangszerű hangok, melyek spektruma gongszerűen fényesedik a megütés után, majd a hang negyedétől a lecsengés vonalával párhuzamosan sötétedik.
4. T (tartott hangok) - hosszú felfutással, kitartási és lecsengési szakasszal rendelkező hangok, melyek egyenletesen temperált hangmagasságokon szólnak meg:
- T1: közép-mély és mély regiszterű, lassan lebegő, éles, nazális hangok, melyek fokozatosan úsznak be, és halnak el. A hangzások dinamikáját követi a spektrum fényességének, élességének változása. Három temperált hangmagasság szólal meg ezen a hangszínen: H, B, E.
 - T2: közép-magas regiszterű, enyhén nazális, néha fémes hangzások, melyek gyors felfutással, mintegy pengetve kezdődnek, lecsengésük viszont hosszú kitartás után, fokozatosan megy végbe (ami távol áll a pengetett húrok viselkedésétől). 4 temperált hangmagasság szólal meg ezen a hangszínen: f, fisz, c', a'.
 - T3: közép-mélytől a magas regiszterig terjedő, lüktetően pulzáló, lebegő, nazális hangok lassú beúszással és végződéssel. Egyenletesen temperált

hangmagasságokon kánonban játszanak 4, oktávonként megjelenő, 6 hangból álló hangmagasságsorozatot.

- T4: a T3 puhább, kerekesebb változata.
 - T5: mély, inharmonikus bűgás, lassú beúszással és elhalkulással. A hangzás összetevői nem olvadnak össze közös hanggá, de egyes hangmagasságok helyenként felsejlenek.
 - T6: mély, telt, fényes, harmonikus hang, amely a darab végi kánon mély hangzásaként jelentkezik. A regiszterváltás (kontra E) miatt a hangszín karaktere megváltozik, ezért került külön kategóriába.
 - T7: mély, statikus bűgás lassú beúszással és elhalkulással. Gépies, egyenes hang, melyben nem lehet érzékelhető hangmagasságot felfedezni.
5. RT (röviden tartott hangok): rövid, puha felfutású és rövid lecsengésű hangzások, melyek viszonylag gyors tempóban követik egymást, ezért helyenként némiképp emlékeztetnek a PK hangosztály által kialakított szövetek mozgásaira.
- RT1: puha, kerek, fuvolaszerű hangok egymásutánja a középregiszterben,
 - RT2: RT1 érdes, diszsonáns hangmagasságokkal kiegészített változata,
 - RT3: klarinetszerű, harmonikus hangok egymásutánja,
 - RT4: RT3 érdes, diszsonáns hangmagasságokkal kiegészített változata,
 - RT5: tömör, kissé nazális, mély, fagotszerű hangzás, amely csak egyesével, ritkán szólal meg, és elválik a többi RT hang csoportjától.

IV.1.1.2. A darab redukált hangszínterének dimenziói

A hangzástípusok kijelölése után megvizsgáltam, melyek azok a tulajdonságok, amelyek az egyes típusok közötti különbözőségek érzeteit hordozzák, és meghatároztam, melyek azok a hangszíndimenziók, amelyek relevánsak a darab hangszíntereinek változásai szempontjából. A cél az volt, hogy lehetőleg a teljes műre érvényes, annak minden hangzását lefedő listát alakítsak ki. Ez csak részben sikerült, mivel a darabban van két olyan minőség, amelyeket nem lehet teljes egészében azonos tulajdonságokkal leírni: a szöveteket és hangcsíkokat alkotó rövid hangok (PK és G hangzástípusok) és az önálló hangokként elkülönülő, gesztusként működő megszólalások (H, T és RT hangzástípusok).

A IV-2. ábrán látható táblázatban foglaltam össze a Turenas hangszíndimenzióit, az első oszlop a textúrákat létrehozó rövid hangokra, a második

az inkább gesztusként működő hangzásokra vonatkozik. Kiemeléssel jelöltem azt a két hangzástulajdonságot, ami eltérő a két csoport esetében.

	<i>textúra jellegű hangzások (A)</i>	<i>gesztus jellegű hangzások (B)</i>
01.	harmonikus-inharmonikus-zajos	harmonikus-inharmonikus-zajos
02.	puha-éles (sötét-fényes)	puha-éles (sötét-fényes)
03.	anyagszerűség (üveg-cserép-fa-fém-zaj)	páratlan (klarinét)-teljes spektrum
04.	spektrális flux	spektrális flux
05.	megütöttség (puha-kemény)	megütöttség (puha-kemény)
06.	lecsengés (rezonancia érzetének mértéke)	lecsengés (rezonancia érzetének mértéke)
07.	hangok követési sebessége	lebegés mértéke
08.	hangmagasság regisztere	hangmagasság regisztere
09.	hangmagasság lépéstávolsága	hangmagasság lépéstávolsága
10.	textúra-gesztus	textúra-gesztus
11.	zengetés mértéke	zengetés mértéke
12.	térmozgás dinamikája	térmozgás dinamikája

IV-2. ábra

Az elkülönített hangszíndimenziókat az egyes hangzástípusok profiljainak kialakítására, a Turenas hangszíntereinek jellemzésére, majd szerkezeti elemzésére használtam.

A hangszíndimenziók kialakításakor alkalmaztam akusztikai és szemantikai ismertetőjegyeket is. Ennek oka, hogy egyes tulajdonságok önmagukban, akusztikai ismertetőjegyként túl gyenge formateremtő képességgel bírtak, és az érzet jellemzéséhez túl sok gyenge dimenziót kellett volna megadni, ami miatt átláthatatlanná vált volna a leírást. Ezért egyes szemantikai dimenziók (például megütöttség mértéke vagy a harmonikus-zajos tengely) több akusztikai ismertetőjegy összegzésével fogalmazzák meg a kiválasztott érzetet. Amikor a hangzásdimenzió leírására rendelkezésre áll olyan akusztikai ismertetőjegy, melynek egyes értékei nyilvánvaló érzetekre utalnak (azaz egyszerre tekinthetők szemantikai meghatározásnak is), mint pl. a hangmagasság regisztere, ezeket használtam.

A szemantikai jellemzők két vagy több pólusúak attól függően, hogy a műben található érzetek közül melyeket tartottam lényegesnek egy tengelyen összefoglalni (két pólusú például a puha-éles, több pólusú az anyagszerűségeket meghatározó felsorolás a szinusz-üveg-cserép-fa-fém-zaj tengelyen).

Annak érdekében, hogy egymással összevethető profilokat, hangszíndimenzió-reprezentációkat lehessen létrehozni, az egyes dimenziókat egyforma hosszúságú

tengelyekre vetítettem, és a hangzástulajdonságok skálázására 0-100-ig terjedő számsort alkalmaztam. A lépésmagasságok beosztását az egyes dimenziók természetének megfelelően végeztem el. A szemantikai tulajdonságok esetén az érzetek közötti különbségekből hoztam létre egyenletes távolságokat. A számszerűsíthető jellegek esetén átskáláztam a darabban található minimum és maximum érték közötti területeket figyelembe véve, hogy az adott paramétert lineárisan vagy logaritmikusan érzékelhető.

A dimenziók definíciói

A továbbiakban leírom a IV-2. táblázatban felsorolt hangzásdimenziókat, és definiálom, mit jelentenek a jellemzésükhöz rendelt értékek.

1A, 1B: harmonikus-inharmonikus-zajos tengely

A dimenzió három minőséget érint:

- 1) a skála bal szélén az ún. "zenei" hang helyezkedik el, melynek jellemzője, hogy az összetevők egy hangmagasság-érzetté olvadnak össze,
- 2) a skála közepén az inharmonikus hangok foglalnak helyet, melyek sokszor több, bizonytalan hangmagassággal rendelkeznek,
- 3) a skála jobb szélén a hangmagasságérzetet nem keltő fehér zaj helyezkedik el.

A dimenzió egyes szakaszait többféle akusztikai paraméterrel is le lehet írni (például zéruskeresztezés, harmonicitás), a teljes skála jellemzéséhez azonban az egyes paramétereket összevonó, a létrejövő érzetet leíró szemantikai meghatározás a legpraktikusabb.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: harmonikus, egy nyilvánvaló hangmagassággal rendelkező hang
- 50: inharmonikus hang, ahol a hangmagasságok klaszterszerűek, nehezen kivehetőek
- 100: fehérzajra emlékeztető hangzások

2A, 2B: puha/sötét - éles/fényes tengely

A két tengely összevonása azt jelenti, hogy a műben a két minőség legtöbbször párhuzamosan változik. Az érzet a magas frekvenciák kiterjedésétől és egyes formánsok elhelyezkedésétől függ. Többféle akusztikai paraméter segítségével lehet leírni, ezért alkalmaztam itt is a szemantikai megfogalmazást.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: 200 Hz alatt elhelyezkedő összetevőkkel rendelkező spektrum
- 50: kiegyensúlyozott frekvenciaértékekkel rendelkező, feltűnő élességet nem okozó, formáns nélküli hangzás
- 100: túlnyomóan magas összetevőkkel és az élesség érzetét erősítő formánsokkal rendelkező hangzás

3A: anyagszerűség (szinusz-üveg-cserép-fa-fém-zaj)

A rövid, hangszövetet létrehozó hangok csoportjára vonatkozó dimenzió. Az anyagszerűségek kialakításához több, egymással összefüggő akusztikai paraméterre van szükség (például a hang hossza, a felfutás/lecsengés hossza, élesség, rezonanciák, stb.). Chowning Turenas című művében sok a „természetes” hangimitáció és a természetes hangzások közötti interpoláció. Az anyagszerűség tengelyen a műben megszólaltatott anyagok, hangszerek alapján jelöltem ki 6 pontot, amelyek olyan sorrendben követik egymást, hogy a darabban felfedezett interpolációk is megfelelő helyre kerülhessenek.

Skálaértékek (referenciapontok):

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| - 0: szinuszos hangok | - 60: fa érzetét keltő hangok |
| - 20: üvegszerű hangok | - 80: fémes hangzások |
| - 40: cserép érzetét keltő hangok | -100: fehérzaj |

3B: páratlan - egész sorszámú harmonikusokkal rendelkező spektrumok

A hosszabb, gesztus jellegű, harmonikus hangzásokhoz kapcsolódó dimenzió. Az ebbe a csoportba tartozó hangok esetén az anyagszerűség a klarinétszerű (páratlan sorszámú harmonikusokból álló hangzások) és az oboát valamint rézfűvós (összes harmonikust tartalmazó) hangszereket imitáló hangzásokra vonatkozik. A műben fontos szerep jut a két minőség közt képzett átmeneteknek, ami indokolja külön dimenzióként való szerepeltetésüket. A páratlan-összes összetevők arányát akusztikai ismertetőjeggyel is meg lehet határozni, ami megkönnyíti a skálázást.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: csak páratlan számú harmonikusokkal rendelkező spektrum
- 50: a páratlan számú harmonikusok amplitúdója kétszer akkora, mint a közéjük eső páros sorszámú harmonikusoké
- 100: az összes felharmonikus egyenlő amplitúdóval van jelen

4A, 4B: spektrális változás mértéke

Az FM szintézistechnika egyik legfontosabb erénye, hogy alkalmazásával egyszerűen lehet időben változó, dinamikus spektrumokat létrehozni. Chowning Jean-Claude Risset hatására ismerte fel, hogy sok hangszín karakterét nem a spektrumösszetevők egymáshoz viszonyított arányai, hanem azok időbeni változásai határozzák meg. A Turenasban, melynek egyik célja a természetesség megteremtése a hangszintézisben, nagy szerepet kap az egyes hangok során lezajló spektrális változás, ezért fontos ez a dimenzió. A változások pontos lefolyásának időzítése is nagyban befolyásolja a hangzások jellegét. A mű során két fő típust lehet megkülönböztetni: 1.) ütött hangok, ahol a spektrum a hang legelején, a megütéskor telített, majd a burkológörbe lecsengésével párhuzamosan összeszűkül, 2) ütött és lassan beúszó hangok, ahol a spektrum a hang közepe táján a legfényesebb. A spektrumtelítettség időbeni eloszlásának nem jelöltem ki külön tengelyt (elemzéskor külön fogok hivatkozni rá), jelen dimenzió csak a spektrális változás mértékét írja le. Mivel kvantitatív módon a dinamikus spektrum mozgásait is csak több akusztikai ismertetőjegy együttes alkalmazásával lehet leírni, ezt a dimenziót is az érzet alapján, kvalitatív módon értékeltem.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: a spektrum nem változik
- 50: a spektrum közepes mértékben változik
- 100: nagy, nyilvánvaló ingadozások (fényesedés, elsötétülés) a spektrumban

5A, 5B: megütöttség mértéke (kemény-puha)

A hang elejének amplitúdó- és spektrumváltozásai közösen befolyásolják, hogy egy hang indulását keményen koppanónak, puhán pukkanónak vagy lassan beúszónak érzékeljük. Chowning a Turenas-ban nagy gonddal formálta a hangok felfutási szakaszát. Az ütött hangokhoz például kétféle burkológörbét használt, melyeket a IV-3. ábra mutat. Az a) alakzat a kezdeti hirtelen, szinte derékszögű felfutási szakasz után egy rövid csillapítás után újra felfelé veszi útját, és csak ezután kezd el csillapodni, puhább ütött hangzást generálva. A b) forma hirtelen felfutása után rögtön exponenciális lecsengés következik, ami koppanóbb, csattanóbb hangot eredményez.



IV-3. ábra

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: 2 sec fölötti, lassú felfutás
- 30: határozott, de még nem ütött indítás
- 60: puhán megütött hang
- 100: keményen koppanó, csattanó kezdet

6A, 6B: lecsengés (hirtelen lezárás-rezonáns kicsengés)

A hang végének lecsengési ideje, a lecsengés görbéjének formája és a frekvencia változásai határozzák meg, milyen érzetet kelt egy-egy hang végződése. A műben ez a dimenzió is hozzájárul a hangzások változatosságához, a skála a hosszú, rezonáns végződésektől a hirtelen lezárásokig terjed.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: 2-3 sec körüli vagy azt meghaladó, lassú, egyenes, rezonancia érzetet nem okozó kiűzés
- 30: lassú rezonáns lecsengés
- 60: viszonylag gyors rezonáns lecsengés
- 100: hirtelen, gyors végződés

7A: hangok követési ideje

A Turenas hangfelhőit alkotó, rövid, ütött hangzások átlagos követési ideje fontos feszültségformáló dimenzió, amely részben meghatározza azt is, mennyire érezzük a folyamatot összefüggő textúrának, glisszandáló hangcsíknak vagy önálló gesztusokból álló hangsorozatnak. A műben a hangok követési idejének minimuma 23 msec (ami 43.5 Hz-et, azaz 43.5 másodpercenként ütést jelent). A 23-50 msec közötti értékek elég kicsik ahhoz, hogy helyenként szemcsés színezet jelenjen meg, melynek hatására folyamatnak, textúrának érzékeljük a hangok egymásutánját. A dimenzió átlagértéket jelent, mivel a követési idők a Turenasban hol egyenetlenek, hol pedig egyenletesek, aminek hatásait az elemzés során fogom tárgyalni, nem jelöltem ki rá külön dimenziót.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: 150 msec fölötti távolság
- 100: minimális távolság (23 msec)

7B: lebegés mértéke

A műben a kitartott hosszú hangok egyik feltűnő sajátossága hangról-hangra változó mértékű lebegésük, amely jelen esetben nem egyszerű amplitúdómodulációt jelent, hanem a modulációs index amplitúdó-modulált változását, ami periodikus hangszínváltozást okoz. Chowning fontos kutatási területe volt a hangok összeolvadását elősegítő paraméterváltozások vizsgálata. Ennek során ismerte fel, hogy az összetevők együttes, szinkronizált mozgásai nemcsak a harmonikusok fúziójához járulnak hozzá, hanem a sajátos, csak az adott hangzásra jellemző, egyedi tulajdonságok létrejöttében is nagy szerepük van. A darab lebegő hangzásai a '70-es évek FM hangszíneinek is ismert archetípusai.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: nincs lebegés, a hang sima, nincs benne periodikusan ismétlődő változás
- 50: közepes mértékű lebegés (a tempó 5-6 Hz körüli, a kitérés nem túl nagy)
- 100: gyors tempójú, nagy kitérésű periodikus változások

8A, 8B: hangmagasságok regisztere

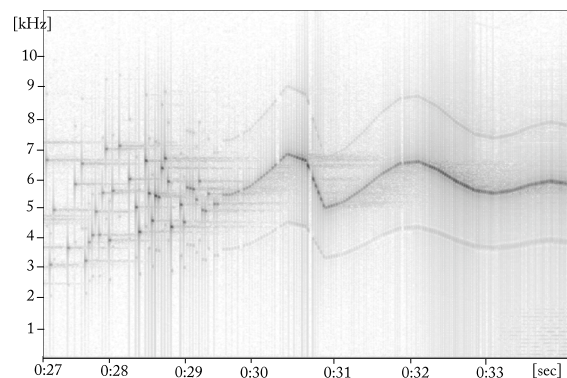
Függetlenül attól, hogy a hangmagasságnak van-e a hagyományos értelemben vett szervező szerepe a műben, fontos tájékozási pontot jelent a regiszter meghatározása. Harmonikus hangok során az alaphangot, zajok esetében a spektrális súlypontot vettem figyelembe.

Skálaértékek (referenciapontok):

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| - 0: 75 Hz és mélyebb | - 60: 1300 Hz |
| - 10: 120 Hz | - 70: 2100 Hz |
| - 20: 200 Hz | - 80: 3300 Hz |
| - 30: 320 Hz | - 90: 5411 Hz |
| - 40: 500 Hz | - 100: 9000 Hz és magasabb |
| - 50: 800 Hz | |

9A, 9B: hangmagasság maximális lépéstávolsága

A Turenas jellemző zenei frázisa a IV-4. szonogramján követhető folyamat, melynek során a szétszórt hangmagasságú, rövid hangokból álló hangfelhő glisszandáló, granuláris hangcsíkká alakul annak következtében, hogy az egymást követő hangmagasságértékek egyre kisebb lépésenként változnak. A maximális lépéstávolság meghatározza, hogy a textúra vagy a hangcsík érzet dominál a hangszínmotívumban.



IV-4. ábra

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: kitérés nélküli, egyenes hangcsík
- 50: az adott szakasz (hangtípus) hangmagasság-terjedelmének 50 %-a
- 100: az adott szakasz (hangtípus) hangmagasság-terjedelmének 100 %-a

10A, 10B: textúra-gesztus

A hangok osztályozása során szövetként és gesztusként működő hangzásokat különítettem el. A két kategória között nagy átfedés van, nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy egy-egy folyamatban a gesztusok vagy inkább a szövet-jelleg dominál. Ahogy Smalley írja:

„a legtöbb zene textúra és gesztus keveredése, vagy azért mert a figyelem ingázik közöttük, vagy azért, mert a kettő valamilyen együttműködő egyensúlyban létezik.”¹⁶¹

Smalley szerint el lehet különíteni gesztus-vezérelt és textúra-vezérelt zenei folyamatokat. Amikor inkább a gesztus energiaviszonyai által közvetített hajtóerő, a gesztus kontúrja vonja magára a figyelmet, gesztus-vezérelt hangzásról, amikor pedig sok kicsi esemény egy nagyobb folyamatba szerveződik, vagy egy egy nagyobb egység

¹⁶¹ Smalley, D. (1997), 117. o.

energiaváltozása lelassul, és előtérbe helyeződnek a belső részletek, mozgások, textúra-vezérelt folyamatról beszélhetünk.

A Turenas-ban a gesztusnak és a textúrának többféle keveredése van jelen: lehet hallani nyilvánvaló, egyszerű gesztusokat (például haranghangok), apró hangokból összeálló textúrákat, hosszú, hangszínlebegéssel rendelkező, belső szövetmintázatot kialakító lassú gesztusokat, ezért fontosnak tartottam a két minőség dimenzióként való szerepeltetését.

Skálaértékek, referenciapontok:

- 0: textúra
- 40: textúra által vezérelt gesztusok
- 60: gesztuson belüli textúrák
- 100: gesztus

11A, 11B: a zengetés mértéke

Ahhoz, hogy a hangzásokat a térben mozgatni lehessen, megfelelő méretű tereket kellett kialakítani. A közeledés-távolodás érzetét Chowning a zengetett és a zengetés nélküli hangok keverésének arányával és a Doppler-effektus alkalmazásával teremtette meg. Zengetett tereinek egészen speciális, szinte zajosan levegős hangzása a mű egyes részeinek különleges színezetet biztosít. A zengetés illetve a zenei folyamatoknak helyszínül szolgáló tér érzetét két akusztikai ismertetőjegy, a zengetés hossza és a zengetett és száraz hang aránya közösen alakítja.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: zengő tér
- 100: száraz tér

12A, 12B: a térmozgás dinamikája

A Turenas eredetileg négy csatornára írt, kvadrofón mű. A három dimenziós térben a szerző Lissajoux-ábrák mentén különböző sebességgel mozgatja a hangfolyamokat. A térmozgás dimenziói közé nem vettem fel az alakzatok formáját (azokra a további elemzésben térek ki), a dinamika dimenzióját a térmozgás kiterjedtsége és sebessége határozza meg.

Skálaértékek (referenciapontok):

- 0: nincs térmozgás
- 100: maximális térmozgás (legnagyobb kitérés és leggyorsabb tempó)

	PK1	PK2a	PK2b	PK3a	PK3b	PK4
harmonikus-inharm.-zajos	0	0	0	20-40	20-40	20
sötét-éles	50	60	60	10-70	10-70	50
szinusz-üveg-cserép-fa-fém-zaj	5	20	20	50	50	45
spektrális változás (min.-max.)	3	5	15	5	20	20
megütöttség (puha-kemény)	75	80	80	90	90	95
lecsengés (lassú-gyors)	100	85	80	90	90	100
hangok köv. ideje (lassú-gyors)	78	39-97	0	50-142	0-98	0-92
hangm. regisztere (mély-magas)	72-99	68-100	67	0-100	0-100	12-74
hangm. kilengése (min.-max.)	100	70	0	5	100	100
textúra-gesztus	20	30	100	50	40	20
zengetés mértéke (zengő-száraz)	0-10	10	10	60	60	20
térmozgás dinam. (min. max.)	90	85	0	80	30	60

	PK5	PK6	PK7	PK8	G1	G2
harmonikus-inharm.-zajos	45	75	100	80	10	55
sötét-éles	55	65	90	92	50	55
szinusz-üveg-cserép-fa-fém-zaj	45	70	100	80	20	20
spektrális változás (min.-max.)	30	30	5	5	0	0
megütöttség (puha-kemény)	100	100	80	85	75	80
lecsengés (lassú-gyors)	95	90	95	93	100	100
hangok köv. ideje (lassú-gyors)	0-67	0-51	57	51	92-98	95
hangm. regisztere (mély-magas)	20-78	12-22	16-95	24-45	79-100	88-93
hangm. kilengése (min.-max.)	100	100	10	20	2	2
textúra-gesztus	30	30	30	40	10	10
zengetés mértéke (zengő-száraz)	20-40	15	80	50	0	0
térmozgás dinam. (min. max.)	40	55	10	10	100	80

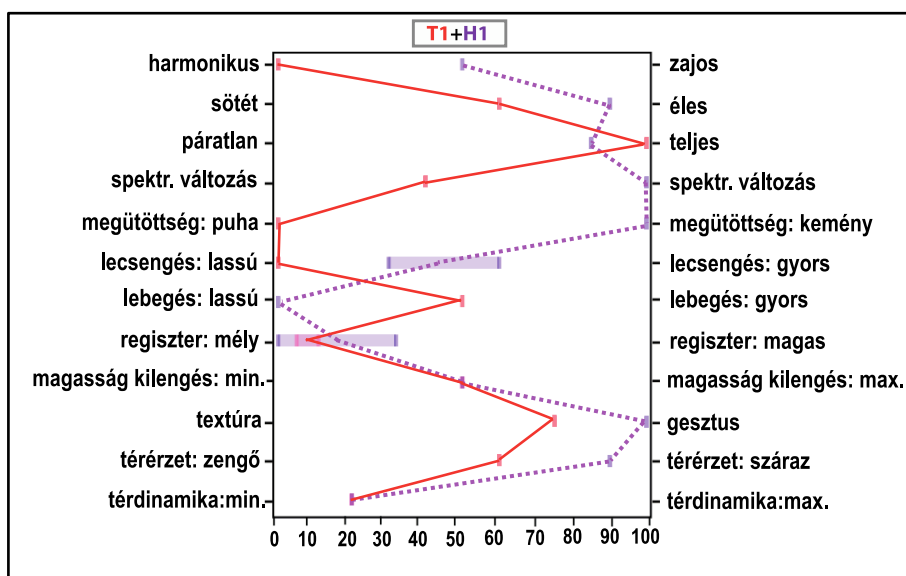
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
harmonikus-inharm.-zajos	0	0	0	0	30	20	20
sötét-éles	60	60	50	40	50	40	20
spektrum (páratlan-teljes)	100	100	100	100	x	100	x
spektrális változás (min.-max.)	40	30	30	20	60	20	60
megütöttség (puha-kemény)	0	60	40	40-50	0	50	30
lecsengés (lassú-gyors)	0	0	70	70-90	0	60	0
lebegés (lassú-gyors)	50	20	20-50	30	100	0	60
hangm. regisztere (mély-magas)	5-11	18-24	18-58	18-58	8	6	8
hangm. kilengése (min.-max.)	50	50	50	50	0	0	0
textúra-gesztus	75	100	90	70-90	85	90	85
zengetés mértéke (zengő-száraz)	60	40	50	40	30	30	20
térmozgás dinam. (min. max.)	20	20	40	40	0	0	0

	H1	H2	H3	RT1	RT2	RT3	RT4	RT5
harmonikus-inharm.-zajos	50	50	60	0	50	0	50	50
sötét-éles	90	30	60	40	60	60-80	70	40
spektrum (páratlan-teljes)	x	x	x	100	100	50	0	0
spektrális változás (min.-max.)	100	100	100	40	40	40	40	40
megütöttség (puha-kemény)	100	70	100	50	50	50	50	75
lecsengés (lassú-gyors)	30	30	30	90	90	90	90	90
lebegés (lassú-gyors)	0	80	30	0	10-50	0	10-50	0
hangm. regisztere (mély-magas)	0-32	6	10-18	18-58	18-58	18-58	18-58	18-58
hangm. kilengése (min.-max.)	50	50	0	100	100	100	100	100
textúra-gesztus	100	90	100	40-100	60-100	60-100	60-100	100
zengetés mértéke (zengő-száraz)	90	90	90	25	25	25	25	25
térmozgás dinam. (min. max.)	20	0	35	35	35	35	35	35

IV-5. ábra

IV.1.1.3. A Turenas hangzástípusainak elhelyezése a hangszíntérben

A IV-5. ábrán táblázat formájában listáztam a Turenas hangzástípusainak hangzásdimenzió-értékeit. A hangzástípusok kijelölésével referenciahelyeket hoztam létre a hangszíntérben, hogy a dimenzióértékek összevetése alapanyagot szolgáltatson a további elemzéshez. A táblázat adataiból jól látszik, hogy a dimenzióértékek egy hangzástípuson belül nem mindig írhatóak le egyetlen szám segítségével, gyakran van mozgás hangosztályokon belül is, ilyenkor két szélső értéket adtam meg. A legtöbb hangzástípuson belüli mozgás a hangmagasság és a ritmus esetén tapasztalható. A többi paraméter lassabban, a hangzástípusokkal összefüggésben módosul.



IV-6. ábra

A 12 hangzásdimenzió változásai, elmozdulásai mutatják, milyen irányokban járja be a szerző a hangzásteret. Az összes adatot együttesen feltüntető mátrix alapján feltérképezhető, hogy a dimenziók egyirányú (vagy éppen ellentétes) mozgásai hogyan változtatják a mű feszültségviszonyait, az egyes hangszín-folyamatok zenei funkcióit.

Az adatokat a táblázat alapján, bonyolultabb esetben a profilok vizualizációjának segítségével hasonlítottam össze, melyen egyszerűen láthatóvá lehet tenni az egyes hangzástípusok közötti különbségeket.

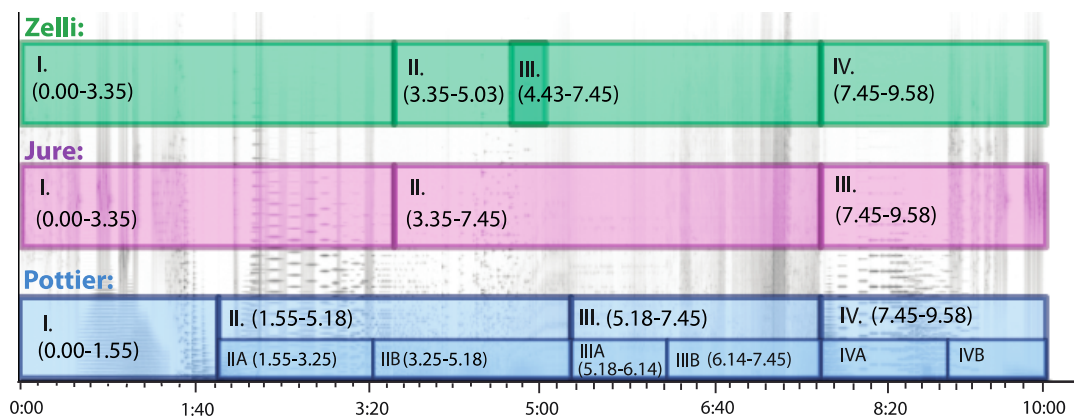
A IV-6. ábrán például a T1 = tartott hangok 1. típusának és a H1 = haranghangok 1. típusának profiljai láthatóak. A piros vonal a T1, a lila a H1 hangzás értékeit kapcsolja össze. A képről gyorsan leolvashatóak a két hangzás közötti

különbségek, és hogy az adott hangosztályokon belül melyik paraméter milyen kiterjedésű mozgást végez. A példán látható, hogy T1 harmonikus, nagyon lassú felfutással rendelkezik, H1 inharmonikus, keményen megütött. Míg T1 nagyon lassan úszik ki, H1 esetében a lecsengések különböző hosszakkal rendelkeznek a hangtípuson belül.

IV.1.2. A mű elemzése

IV.1.2.1. Szerkezet

Chowning Turenas című műve a számítógépes zene és a digitális hangszintézis kezdeti korszakának emblematikus darabja, amely máig érvényes problémákat vet fel, így számos elemzés és a darab rekonstrukcióját leíró cikk foglalkozik vele. A szakirodalomban fellelhető elemzések különböző szempontból vizsgálják a művet, Jure¹⁶² a Fibonacci sorozat kimutatására és az FM algoritmusok visszafejtésére koncentrál, Zelli¹⁶³ a térbeni mozgás problémáival foglalkozik, Pottier¹⁶⁴ átfogó elemzésében pedig a melodikus elemeket, a kánonokat emeli ki. Mindhárom analízis javaslatot tesz a formai részek elkülönítésére, érdekes módon azonban a három szerző megoldása nem egyforma. A IV-7. ábra a teljes mű szonogramján tünteti fel az egyes elemzők szerkezeti felosztásait. Teljes egyezés csak az utolsó szakasz kijelölésében mutatkozik, a részek száma, a második szakasz kezdete vagy a belső felosztás tekintetében eltérőek az eredmények. A kortárs zenei műfajoknak nincsenek kötött formai szabályai, amelyek alapján bármelyik felvetést hibásnak minősíthetnénk, gyakran az elemző szempontrendszerétől függ, hol jelöli ki a szakaszhatárokat.



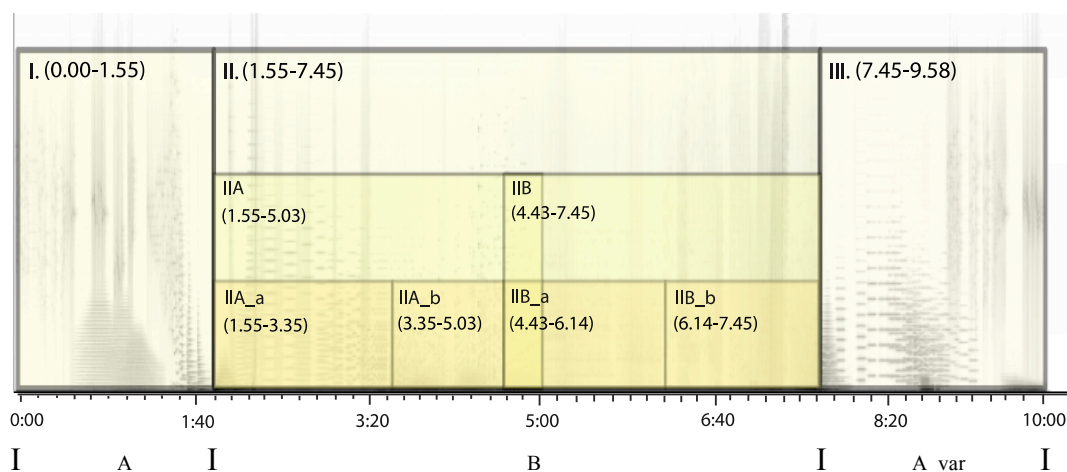
IV-7. ábra

¹⁶² Jure, L. (2004)

¹⁶³ Zelli, B. (2001)

¹⁶⁴ Pottier, L. (2004)

Elemzésemben a formát a zenei hangzáster összes dimenziójának segítségével kíséreltem meg leírni. A IV-8. ábrán látható, saját felosztásom három nagy szakaszt különít el, melynek leghosszabb, középső szakasza további két, szintén két szakaszból álló részre oszlik. Mivel az utolsó részben némi kiegészítéssel visszatér az első formai egység anyaga, szimmetrikus boltív- vagy hídforma rajzolódik ki A, B, A_var elemekkel.



IV-8. ábra

A mű első részének végződését annak alapján jelöltem ki, hogy mikor válik teljessé az alapanyagok bemutatása, azaz hogy elhangzott-e az összes hangzástípusra, hangszín-transzformációra illetve zenei motívumképzésre vonatkozó alapötlet. A második részben az alapanyagok különféle feldolgozásai, variációi követik egymást. A szakasz további osztásai az egyes variációk, transzformációk típusait határolják el egymástól. A harmadik rész az első szakasz alapanyagait és a második részben bemutatott hangmagasság-variációt, a kánont hozza vissza megteremtve a visszatérés, ismétlés érzetét.

IV.1.2.2. I. rész: az alapanyagok bemutatása

Az első részben 1'55"-ig a következő kiindulási anyagokat azonosítottam:

Hangzástípusok: 1) ütött hangokból álló hangfelhők, 2) granuláris hangcsíkok, 3) tartott, teljes spektrumú, nazális, erőteljesen lebegő hangok, 4) haranghangok.

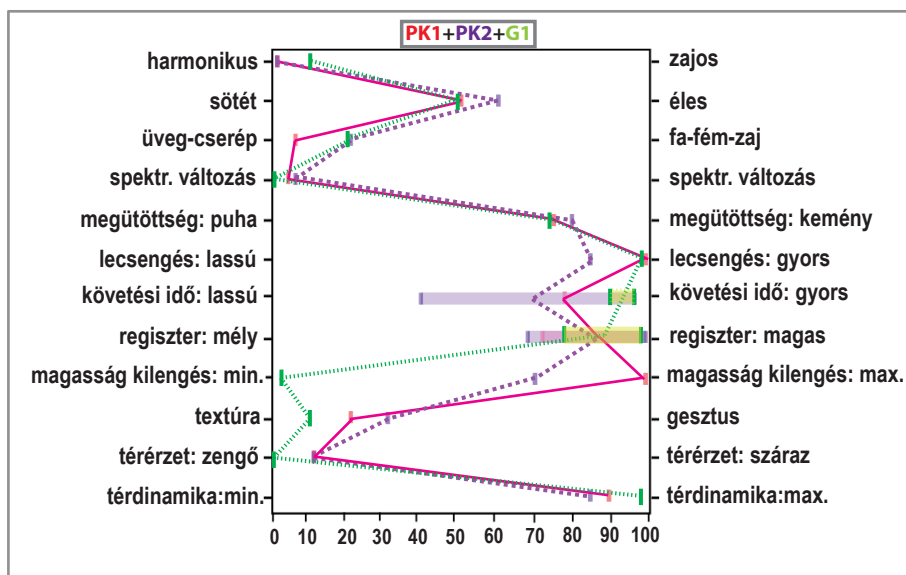
Hangszín-transzformációk: 1) hangfelhő hangcsíkká alakul, 2) hangcsík visszaalakul hangfelhővé 3) a hangfelhő üvegszerű, ütött hangjai haranghangokká alakulnak át.

Zenei motívumképzés: 1) térbeni mozgás matematikai formák szerint 2) ütött hangok véletlenszerű, nem temperált hangmagasságokon történő megszólaltatása,

3) tartott hangokból egyenletesen temperált hangmagasságokon megszólaló dallamvonal képzése.

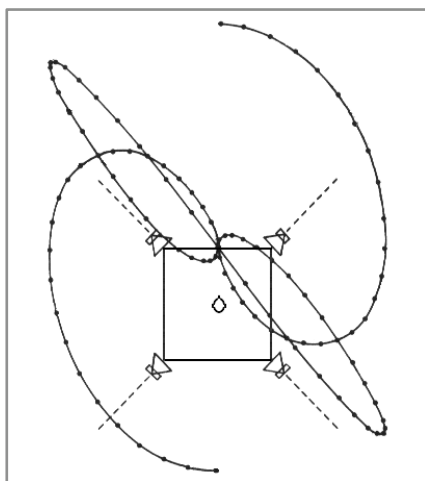
A darab halkan, magas, szinuszos jellegű, ütött hangok felhőivel indul, melyek hosszan zengetett térben, a fejünk felett köröket, majd különféle mértani formákat írnak le. A felhőt 2 oktávnyi terjedelemben szétterülő, véletlenszerű hangmagasságokon megszólaló, egymást nagyon gyorsan követő, apró üveghangok alkotják. A gyors tempó, a közös tér, az egyirányú mozgás textúrává simítja a külön-külön perkusszív gesztusként felcsendülő ütéseket. A fokozatosan rövidülő hangfelhők egyre rövidülő szünetekkel követik egymást, és lassan változtatva belső szerkezetüket, kissé mélyebb hangmagasság-tartományba ereszkednek. A negyedik megszólaláskor rövid átmenet alatt a hangmagasságok egy vonalba rendeződnek egybefüggő, glisszandáló hangcsíkot alkotva. A IV-9. ábra együtt mutatja meg a kezdeti hangfelhők és a belőlük keletkező hangcsíkok profiljait.

A PK1 hangfelhő profilját a piros, a G1 glisszandáló hangcsíkot pedig a zöld vonal követi. Látható, hogy a két vonal sok helyen nagyon közel van egymáshoz, jelentős távolságra csak a hangmagasság-kilengés dimenzióban kerülnek. Kisebb, de az érzet szempontjából fontos különbség még, hogy a hangcsík esetén gyorsabb a hangok követési sebessége. Kis elmozdulás tapasztalható még a harmonikus tengelyen is, a hangcsíkká összeolvadó granuláris folyamat zajosabbnak, kevésbé harmonikusnak hallatszik, mint az üveghang-felhők.



IV-9. ábra

A glisszandáló hangcsík a transzformáció után - az előző szakaszhoz hasonló, fokozatosan rövidülő szünetekkel elválasztva - háromszor ismétlődik, határozott hangmagasság- és térformákat rajzolva a levegőbe. Az eredetileg kvadrofón darab elején (majd később, a visszatérés során, a darab legvégén is) a legplasztikusabb a hangcsíkok mozgása, amint különböző, szélesen elterülő Lissajous-ábrákat hoznak létre. A IV-10. ábra jól prezentálja azt a tágasságot, amit a bejárt formák leírnak a Doppler-effektus és a zengetett-száraz hangzások megfelelő keverésével.



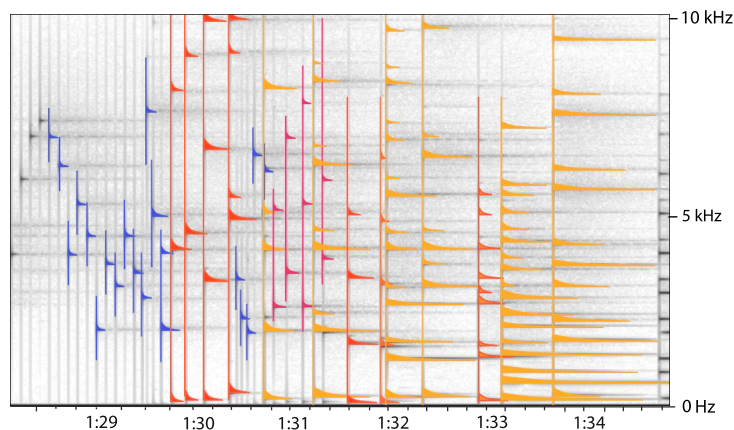
IV-10. ábra¹⁶⁵

A gyorsabb követési távolság, a zajosabb hangzás és az erőteljesebb térdinamika segítségével a halk kezdet után, növekvő energiájú, fokozatos feszültséget hozó szakasz következik, melynek hangzásait a 35. másodpercben megjelenő, a glisszandáló hangcsíkokkal hangmagasságban, térben és hangszínből is kontrasztáló hangzástípus egészíti ki. A 35. másodpercben beúszó, T1 elnevezésű, hosszú, nazálisan éles, tartott, lebegő hang profilját a IV-6. ábra piros vonala reprezentálja. A glisszandáló hangcsíkokhoz képest nagy távolságra, a mély regiszterben beúszó három hang (H, B, E) hatalmasra tágítja és ezáltal kijelöli azt a zenei teret, amelyben a mű a továbbiakban játszódni fog. A zenei tér ebben az esetben vonatkozik a hangmagasságra (mély-magas), a hangszíntávolságokra (pici, ütött szemcsék a hangfelhőkben vs. lassú, szinte méltóságos lebegés a kitartott hangban; mély, mégis éles és nazális hangszín vs. magas üvegszerű hangzások) és a térérzetre is (a tér alsó részében megszólaló, tartott vs. a még sztereóban, fejhallgatón is a fejünk

¹⁶⁵ Jure, L. (2004)

felett keringő hangcsíkok¹⁶⁶). A harmonikus tartott hangok kiűzésével egy időben jelenik meg az utolsó hangcsík, amely elvezet a bevezető szakaszt lezáró hangszíntertranszformációhoz: a hangcsík visszaváltozik hangfelhővé, ami fokozatosan lassulva inharmonikus, egyre hosszabb lecsengésű hangzásokkal bővül, és fényes, mélyülő, lassuló és növekvő hosszúságú haranghangokká alakul át. A IV-9. ábrán össze lehet hasonlítani PK1 és PK2 hangfelhőket is, hogy mennyivel és milyen irányba tolódott el a visszaalakuló hangfelhő a hangszíntérben. A PK2 profilját ábrázoló lila vonal segítségével leolvasható, hogy PK2 élesebb, kissé keményebb megütésű, hosszabb lecsengésű hangokból áll, a követési távolság változó (valójában lassul), a hangmagasság-regiszter mélyebbre tolódott, és a hangzást egyre inkább gesztusként lehet érzékelni.

A PK2 eltolása a kissé keményebb, kevésbé szövet jellegű hangzás felé előkészület a PK2 $\Rightarrow$ H1 transzformációra. Annak érdekében, hogy az átalakulás folyamatosnak hasson, kellett találni egy olyan területet a hangszíntérben, ahol a PK2 ütött hangjai és a H1-hez vezető kiindulási hangok hasonlóak, majdnem azonosak. A IV-11. ábrán az átmenet 5 másodpercének szonogram-analízise látható.



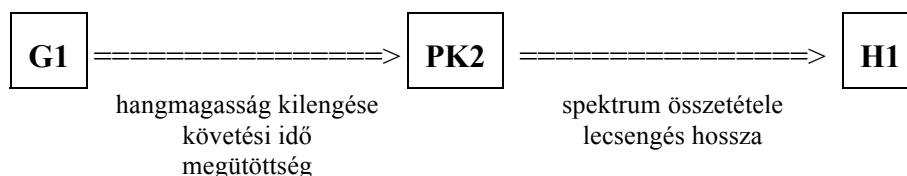
IV-11. ábra

Kék színnel a PK2, sárgával a H1 hangtípust jelöltem meg, hogy áttekinthetőbben lehessen követni, milyen dimenziók változása okozza a hangszínváltozást. A pirosához közeli színek az átmeneti hangokat jelölik. A legszembeötlőbb különbség a két hangtípus között összetevőik számában mutatkozik: PK2 szinuszos lecsengésű, míg H1 összetevőkben gazdag. Az átmeneti területen két

¹⁶⁶Alkalmam volt szabadtéren, egy hatalmas réten a csillagos ég alatt a szerző hangosításával, kvadrofón előadásban hallani a művet, az élmény feledhetetlen volt: a tartott hangok a mező síkjában hömpölyögtek, a hangfelhők és a hangcsíkok pedig valahol a csillagok táján csilingeltek.

változást lehet megfigyelni: 1) az összetevők számának gyarapodását és 2) a hangok lecsengésének nyúlását. A piros színnel jelölt (átmeneti) hangokon megfigyelhető, hogy a hangzások spektruma a rövid hangokon alakul át. Az időtartam rövidsége segíti a spektrumváltozás „elrejtését”, ugyanis bizonyos hosszúság alatt a fül nehezen tudja érzékelni a hang spektrumának színezetét. Amint a spektrum kiteljesedik, látható, hogy elkezdnek nyúlni a hangok, és a változás ezen a dimenzión folytatódik tovább.

A IV-12. ábra bemutatja a hangszín-transzformáció folyamatát G1-től H1-ig, ahol látható, hogyan változik meg PK2-nél a navigáció iránya a hangszíntérben. PK2 elágazási terület a hangszíntérben, ahonnan G1 és H1 felé is vezet út.



IV-12. ábra

A haranghangok spektrumának kialakulása után tovább folytatódik a lecsengés időtartamának változása és a folyamat lassulása, mellyel párhuzamosan a hangmagasságok mélyebb tartományba ereszkednek. A spektrum telítődésének emelkedő feszültségvonalát az ereszkedő hangmagasságok és a hang belső rezonanciájának érzete ellensúlyozza megteremve az oldást és a zárlatot az első szakasz végén úgy, hogy egyúttal további várakozás maradjon a hallgatóban.

IV.1.2.3. II. rész: variációk hangmagasság-, hangszín- és térmozgás-transzformációkra

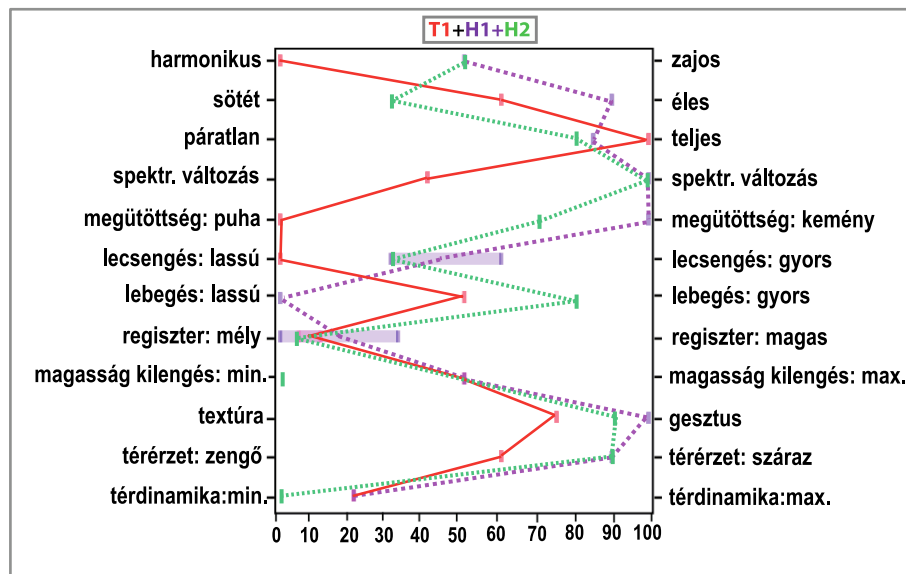
A második részben az alaphangzások és -motívumok feldolgozását, továbbfejlesztését hallhatjuk. Teljesen új anyag itt már nem jelenik meg, a zene valamilyen formában minden esetben kapcsolható az első részben hallottakhoz. A variáció kifejezés illik leginkább erre a részre, hiszen már bemutatott zenei motívumokat változtat a szerző. A variálás érinti az összes zenei tulajdonságot: a dallamot, a hangszíndimenziókat és a térmozgásokat.

A darab leghosszabb szerkezeti egysége további részekre osztható aszerint, hogy melyik zenei gondolatot viszi tovább a szerző. A IIA szakaszban a harmonikus, tartott hangok (T2, T3, T4, T5, RT1, RT2, RT3, RT4, RT5) dallam- és

hangszínvariációi vannak túlsúlyban, a IIB részben pedig kizárólag az ütött, zajos hangfelhők módosított változatai (PK2, PK3, PK4, PK5, PK6, PK7, PK8) szerepelnek.

IIA: tartott, harmonikus hangok transzformációi

A 2. részt a H2 gongszerű hang nyitja meg, amely vegyíti a T1 és H1 hangzások tulajdonságait. A IV-13. ábra T1, H1 és H2 profiljait mutatja be közös koordináta-rendszerben. A profilok összehasonlítása segítséget nyújt a három hangzás közötti hasonlóságok és különbségek feltárásában. A H2 spektrumösszetevőinek inharmonikus arányai megegyeznek a H1 harangokéval, H2 spektruma azonban sokkal kevesebb magas frekvenciát tartalmaz, mélyebbről is indul, ezért lényegesen sötétebb. H2 is ütött hang, azonban indulása jóval puhább, mint a H1 hangok kezdetei. A H2 spektrumának változása maximális, hasonlóan a H1 haranghangokhoz.

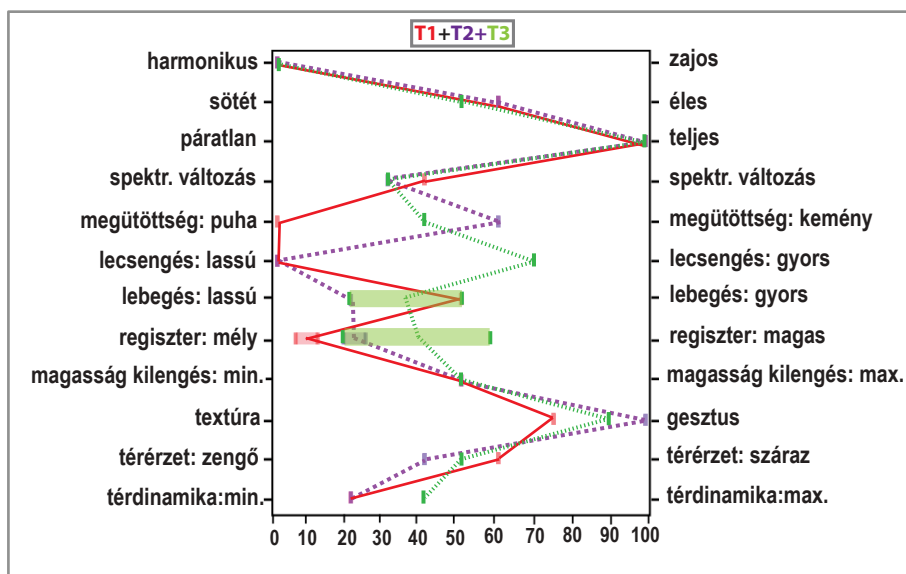


IV-13. ábra

A változás időbeni lefolyása azonban különböző: H1 esetén megütéskor az összes összetevő megszólal, és a lecsengéssel párhuzamosan sötétedik a hang; H2 mély szinuszhanggal kezdődik, a többi összetevő fokozatosan úszik be a hang közepéig, ahol a folyamat visszafordul (ezért érzékeljük gongszerűnek). A spektrum lassú felépülése miatt H2 lényegesen erőteljesebb, bár bizonytalanabb hangmagasságérzetet nyújt, mint H1. H2 és T1 spektrumának időbeni lefutása hasonlít egymáshoz, a lassú kinyílás érzete összekapcsolja a két hangot annak ellenére, hogy T1-ben a változás jóval kisebb, mint H2 esetén. T1 gazdag

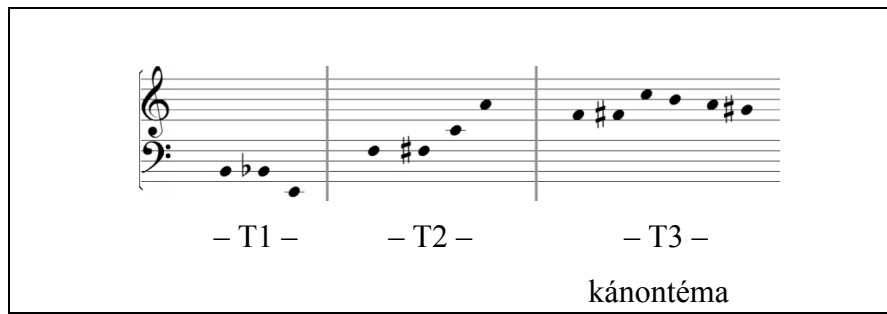
spektrummal (16 összetevő) kezdődik, ez fényesedik tovább (összesen 26 összetevőig, amit kb. 10 másodperc alatt ér el), míg H2 spektruma szinuszhangról indul, és 21 összetevőig szélesedik. H2, megőrizve a haranghangzás egyes tulajdonságait, elmozdul a tartott hangzások irányába (átveszi a T1 spektrumváltozásának kontúrját, puhul a kezdete, némi hangmagasságérzetre tesz szert).

Az átalakulási folyamat következő állomása T2, mely T1 spektrumarányaival rendelkezik, de felfutása H2 puha kezdetére emlékeztet. Spektruma egyáltalán nem változik a kitartási és a lecsengési szakasz alatt. Utolsó lépésként megérkezünk T3-hoz, amely középpuha kezdettel, lekerekített végződéssel rendelkező, harmonikus hang. A IV-14 ábra bemutatja a három tartott hang (T1, T2, T3) profilját. Itt látható, hogy T3 felfutása és lecsengése tér csak el nagy mértékben T2 -től, hangmagasságai és lebegésének mértéke nem pontszerű a profilon, hanem a dimenzió nagy részét lefedi. Az átmeneti szakasz itt véget ér, ettől kezdve T3 (majd T4) hangmagasság-dimenziója válik a változások mozgatórugójává.



IV-14. ábra

A IV-15. ábra kottapéldája szemlélteti, hogy T1, T2 és T3 milyen hangmagasság-motívumokon szólal meg. Látható, hogy T1 hangközeit T2 tükrözés után egy hanggal bővíti, T3 pedig oktáv-transzpozíció után 3 hangmagasság hozzáadásával fejleszti kánonszólamát.



IV-15. ábra

A IIA első, IIA_a felében a tartott hangok transzformációját hangfelhők megjelenései ellenpontoszzák. H2 lecsengése alatt jelenik meg PK3, ami a hangfelhőknek a teljes hangmagasság-skálát bejáró, fa-ütőhangszer színezetű változata. Első belépésekor a PK2==>H1 transzformáció ereszkedő mozgását imitálja, amint magas, xilofonszerű hangokról indulva marimbán és különféle ütött hangzásokon keresztül söpör végig mély dob hangzásokig. A gyors gesztus fordítva ismétlődik meg T2 motívumának végén, erősítve annak nyitó funkcióját. A felfüggesztett a' hang és a PK3 hangzásokon játszott, magasba törő motívum oldást vár, ami a T3 hang első f' hangján születik meg, ami után egy viszonylag nyugalmas, kiszámíthatóbb folyamat kezdődik: hosszú T3 hangokon induló kánon mozgalmas PK4 hangfelhőkkel kiegészítve.

A következő szakasz a két kontrasztáló anyag szembeállításával operál. Miközben a harmonikus hangzásokból felépül az egyre gyorsuló kánon a T3 motívumának különböző oktávokban való ismétlésével – a hangfelhők újabb variációi, beékelődve a hosszú hangok közé, sajátos feszültséget teremtenek. Közben a T3-at felváltják a sötétebb, egyenletes lebegéssel rendelkező T4 hangok. A IV-5. ábra táblázatában látható, hogy T4 nemcsak a hangszíntér sötétség-élesség és lebegés tengelyein tolódik el, hanem az egyértelmű gesztus érzet a textúra irányába mozdul, ugyanis a szakasz végére a melodikus anyag annyira felgyorsul, hogy a tempó és a lerövidült hangok a hangfelhőket alkotó rövid elemek mozgását kezdik sejtetni. Ennek következményei a IIA_b szakaszban lesznek hallhatóak, az első rész a felgyorsult kánonnal felfüggesztődik.

A IIA formai egység második, IIA_b része rövid szünet után T4-hez nagyon hasonló RP1 hangszínen kezdődik. A IV-5. táblázatból kiolvasható, hogy a két hangosztály egyforma spektrumú és élességű. A felfutás és lecsengés tengelyeken T4 szélső értékei megegyeznek RP1 adataival. Legnagyobb eltolódás a gesztus-

textúra dimenzión tapasztalható. Ha az adatokat összevetjük hallási tapasztalatainkkal, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy ezen a ponton is hangzástér-elágazáshoz értünk, ahol T4 megközelítőleg egyforma RP1-gyel. T4 a tartott hangzástípus transzformációjának végpontját érte el, amikor a kánon alatt felgyorsult. Ennek az állapotnak kissé felgyorsított verziójával (ezért a gesztus-textúra tengely eltolódása) indul RP1, és kezdi a IIA_b szakaszt, ahol a hangok megrövidülnek, és őrizve puha felfutásukat, lágy hangszínüket, gyors mozgásuk imitálja az első rész hangcsoportjait. A hangzástérben új dimenziókon megy végbe egy újabb variáció: a hangfelhők mozgását felvevő RP hangok folyamatosan alakulnak át harmonikus, teljes spektrumból fényesebb, harmonikus, páratlan összetevőjű spektrummá (RP1 $\Rightarrow$ RP3), miközben az átmenetek alatt inharmonikus verziók is megszólalnak (RP2, RP4, RP5). A szerző ebben a szakaszban folyamatosan változtatja az FM szintézis hordozófrekvenciája és moduláló frekvenciája közötti arányt 1:1 és 1:2 között. A két érték közötti területen három esetben jön létre harmonikus spektrum:

- 1) 1:1 $\Rightarrow$ harmonikus, teljes spektrum
- 2) 1:1.5 $\Rightarrow$ harmonikus, páratlan összetevőjű spektrum 1 oktávval mélyebben
- 3) 1:2 $\Rightarrow$ harmonikus, páratlan összetevőjű spektrum.

A többi arány különböző érdességű, inharmonikus spektrumokat generál.

A IV-16. ábra a moduláló frekvencia által létrehozott hangszínt-transzformációban résztvevő RP hangzástípusok (RP1, RP2, RP3, RP4, RP5) közös profilját mutatja be. A nem pontszerű, kiterjedéssel rendelkező sávok mutatják, hogy a darab IIA_b részében a hangszíntérnek melyik területét érintik a zenei variációk.

Leolvasható, hogy a következő tengelyeken történnek változások:

- 1) harmonikus-zajos: a teljesen harmonikustól az inharmonikus hangokig

Az f_c/f_m hányados változásával lassan távolodik a hangzás a harmonikus arányoktól először csak lebegés, később disszonáns érdesség, majd bizonytalan hangmagasság érzetet okozva.

- 2) sötét-éles: a tengely középső harmada

Az f_c/f_m hányados csökkenése táguló, így fényesedő spektrumot hoz létre.

- 3) páratlan - teljes spektrum: a teljes tengely

Az fc/fm harmonikus (egész számú többszörös) nyugvópontjai a teljes és páratlan összetevőjű spektrumokat érintik.

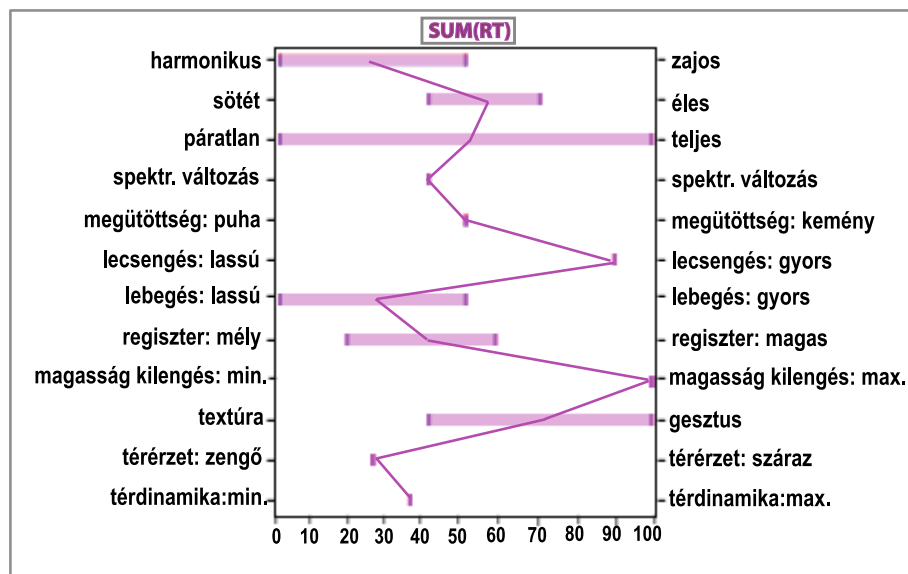
4) lebegés: lassútól középgyorsig

A lebegés érzete a harmonikus-inharmonikus eltolódás kezdeti szakaszának eredménye. Minél közelebb van fc/fm arány a harmonikus nyugvópontokhoz, annál lassabb a lebegés, távoli helyzetekben sűrű, érdes, disszonáns felületek keletkeznek.

5) hangmagasság-regiszter: középmélytől középmagasig

A regiszteren belül egyenletesen temperált hangmagasságokon véletlenszerű mozgások és dallamtöredékek alakulnak ki.

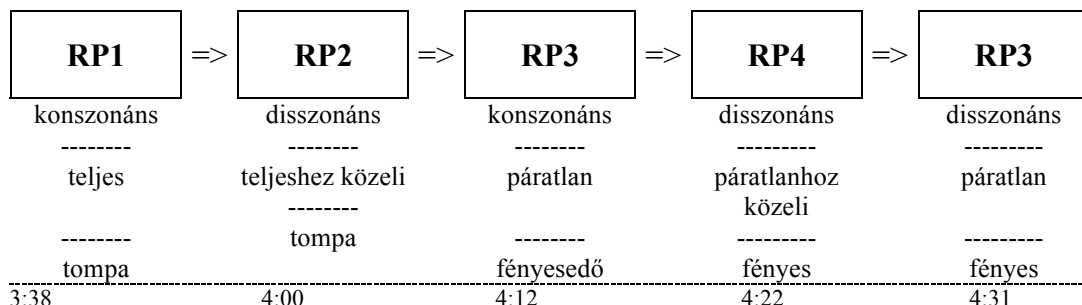
6) textúra-gesztus: a tiszta gesztustól a jól kivehető gesztusokat tartalmazó textúrákig terjed a dimenzió. A hangok követési idejének és hangmagasság-viszonylatainak függvényében helyenként PK hangfelhőkhöz közeli mozgások, máskor tisztán elkülönülő hangzások keletkeznek.



IV-16. ábra

A IV-17. ábra a IIA_b szakasz dimenzióin belüli változásokat az idő függvényében mutatja. A hangszíntér-eltolódások értékelése segít a funkciós viszonyok feltérképezésében is. Az RP1-ről RP2-re lépés disszonáns, oldást kívánó lépés, amit az ezt követő RP3 beteljesít, de az új, fényesebb, klarinétyszerű hangszín bevezetése egyúttal új kezdetet, nyitást is jelent. RP4 újra disszonáns és fényes hangzás, ami a transzformáció legfeszültebb pontja. RP3 második megjelenésekor

konszonáns és fényes, ami RP1-hez képest egy megemelkedett energiaszintű oldást jelent a folyamat végén, amit ellensúlyoz az ereszkedő, lassuló, gesztusszerű hangokból álló dallamszerkezet.



IV-17. ábra

Az RP1 és RP5 között zajló hangszín-transzformáció gyors mozgásait helyenként T5 mély, inharmonikus bűgása ellenpontoszza emlékeztetve a IIA_a szakasz tartott hang vs. hangfelhő kontrasztjaira. T5 utolsó megjelenése az RP hangszín-transzformáció végén segíti a formai szakasz lassú lezárását és az átvezetést a IIB szakaszba.

IIB: hangfelhők transzformációi

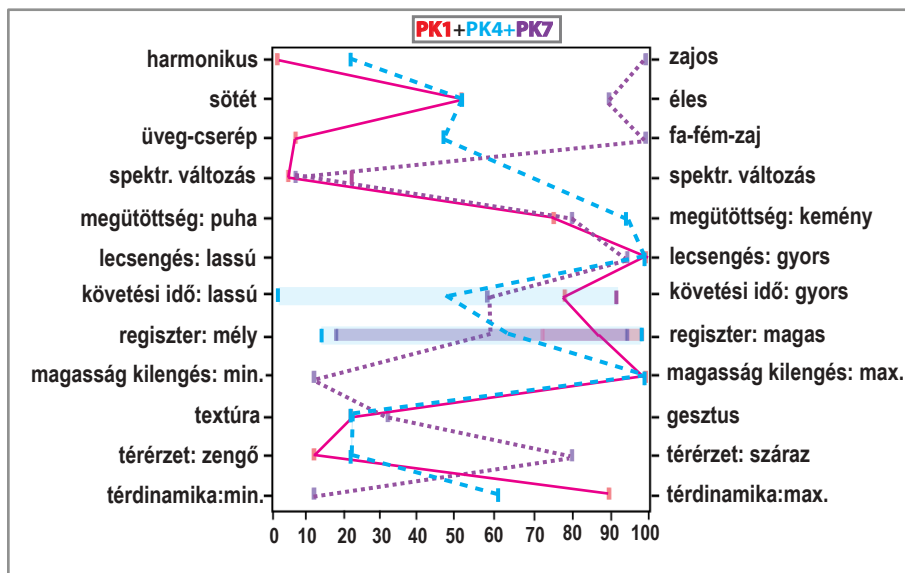
A Turenas szerkezeti ábráján (IV-8. ábra) látható, hogy IIA és IIB szakasz között nincs pontos határ, miközben IIA vége lassan elhalkul, a IIB kezdetét jelző PK4 hangfelhő fokozatosan beúszik. IIA-hoz hasonlóan IIB rész is további két egységből áll:

- IIB_a: nyugalmas, alig változó hangzástípusokat (PK4, PK5) felhasználó, különböző térformákat leíró, perkusszív improvizáció,
- IIB_b: a hangfelhők összes, sokszor szélsőségesen átalakított transzformációit (PK2-PK8) bemutató, dinamikus „dobolás”.

IIB_a részben a fa- (PK4) és cserépszerű (PK5), rövid, ütött hangok hangszínének és ritmikájának statikussága megteremti az alapot, hogy a figyelem elsősorban a térmozgásokra koncentráljon. PK4 indulásakor jobb és bal oldalról szól felváltva, majd mindkét oldal fokozatosan középre húzódik, miközben folyamatos hangmagasság- és hangerő-emelkedéssel párhuzamosan egyre közelebb kerül a hallgatóhoz. Az emelkedés és közeledés csúcspontján a hangszín PK5-re változik, miközben a hangok szétszóródnak a térben. Lassú távolodás kezdődik, a folyamat végét jelző csend előtt egészen messzire kerül a hangfelhő. A

rövid szünet után más típusú mozgás kezdődik, a térben szétszórt hangfelhőkből kiemelkedik egy-egy térformát leíró folyamat, melyek közül az egyik kört írt le, lelassul, és lezárja a szakaszt.

A IIB_b szakasz pár különálló perkusszív hang lassú dallamával kezdődik, majd gyors tempójú, határozott alaplüktetéssel rendelkező ritmusképlet alakul ki, amely többször visszatér különböző hangzástípusokon. Változatos anyagszerűségek jelennek meg hol egymás után, hol átfedésben: fát, bőrt, fémet idéző hangzások és ezek variációi. A szakaszban a hangfelhők összes változata szerepel, és az időben előrehaladva egyre feszültebb, egyre zajosabb verziók viszik tovább a ritmust. A legzajosabb hangzástípus, a PK7 eljut egészen a fehérzajig.



IV-18. ábra

A IV-18. ábrán látható, hogy a kék színnel jelzett PK4, ami IIB_b szakaszt indítja, igen nagy távolságra van a hangszíntérben PK7-től. Megfigyelhető, hogy a legnagyobb eltolódás a zajos, éles és a száraz térérzet irányába ment végbe. Ily módon a három dimenzió mindegyikén nagy mértékű feszültség-növekedés történt, emellett a hang itt a lehangosabb. Ki lehet jelenteni, hogy ez a darab legnagyobb érzéki disszonanciával rendelkező pontja.

A IV-18. ábrán az is látszik, hogy a darabot indító PK1-hez képest PK4 is inkább a feszültebb dimenzióértékek felé tolódott el.

A PK7-en tetőző folyamat a magas frekvenciák felé elmozduló, szűrt zajsávként ható PK8-on keresztül a mély regiszterben megszólaló PK3 hangzástípusú hangfelhőre érkezik, amely erős oldásként lezárja a II. szakaszt.

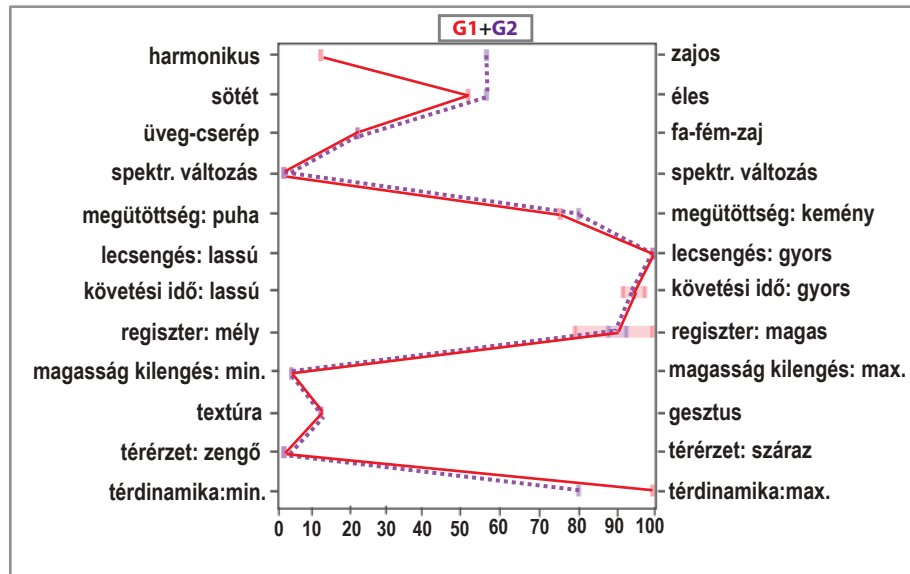
IV.1.2.4. III. rész: Visszatérés, coda

A III. rész visszatérés és összefoglalás, ahol a kezdő szakasz elemei kiegészülnek a IIA_a részben hallott kánon újabb variánsával. A záróblokkot a H3 haranghangok nyitják meg, amelyek az első rész végén megismert H1 harangok transzformáció. H3 sötétebb, és mélyebb hangmagasság-regiszterben szól, mint H1, de hangzása továbbra is harangszerű, és közeli rokonságot mutat H1-gyel. A három, ereszkedő hangmagasságon megszólaló H3 hang lecsengésével párhuzamosan megjelennek a T3 tartott hangzások. A T3 és T4 hangzástípusnak a III. részben szereplő hangmagasság-variációit a IV-19. ábra kottapéldája demonstrálja, és hasonlítja össze. Úgy, mint a IIA_a részben, itt is az I. szakasz T1 hangjain megszólaló, eredeti motívum alakul át: T1 hangmagasságainak tükörfordítása 1 oktáv + egy kvarttal magasabban szólal meg. A három bevezető hang után indul a kánon témája, ami az eredeti kánon téma (lásd IV-19. ábra) tükörfordításának tritónusszal magasabb transzpozíciója.



IV-19. ábra

A kánon nagy része most önállóan, hangfelhők kísérete nélkül szólal meg az átalakított téma felhasználásával háromszor ugyanabban az oktávban, majd kétszer egy oktávval mélyebben. Befejezésül a kánonhoz kapcsolódik a téma hangmagasságainak egyszólamú, ereszkedő felsorolása (az f hang kivételével), melynek kezdőhangja alatt csatlakoznak újra a magasban repkedő, kontrasztáló PK1 hangfelhők. Az I. részhez hasonlóan most is négyszer szólalnak meg egyre rövidülő szünetekkel, és a negyedik belépés átalakul G2 glisszandáló hangcsíkká. G2 nagyon hasonlít az I. részben megismert G1-hez, a IV-20. ábrán feltüntetett profiljaikon lehet látni, hogy G2 zajosabb és élesebb, valamint szemcséinek ütöttsége keményebb. Az agresszívebb, karcosabb hang szinte belevési a térbe az utolsó, egyre lassuló térformát, és T7 tömör, inharmonikus bűgásával együtt zárja a darabot.



IV-20. ábra

John Chowning Turenas című munkája a darab megírásáig sohasem tapasztalt virtuális hangzásterekbe kalauzolja a hallgatót. Annak ellenére, hogy a mű 40 éve keletkezett, és az elektroakusztikus zeneirodalom egyik meghatározó darabjává vált, kérdéses, hogy milyen mélységekig jutott el a zeneértő közönség Chowning zenei eszközeinek befogadása, megértése területén. A hangzásdimenziók mentén végbemenő mozgások feltárása a redukált hangszíntérben reményeim szerint hozzájárul, hogy a jövőben egyre több aspektusa táruljon fel a műnek.

IV.2. CT - valós idejű audiovizíó megvalósítása redukált hangszínterekben

A CT című darabban redukált hangszínterekből szerkesztett hangzástér valós idejű bejárása volt a célom annak érdekében, hogy egyforma illetve hasonló mozgókép-szekvenciákhoz minél nagyobb számú hangzáskombinációt tudjak társítani úgy, hogy a keletkező „audiovizíó” mindig más jelentés-tereket idézzon elő meghagyva a nézőknek/hallgatóknak, hogy maguk alakítsák ki saját értelmezéseiket.

A fejezetben leírásra kerül, hogy

- mitől működik együtt kép és hang az „audiovizíó”-ban,
- hogy melyek az interaktív zenei rendszereknek a CT projektre is vonatkozó jellemzői,
- a CT projekt kiindulási ötlete,
- a CT-t realizáló interaktív hangszer-szoftver,
- hogy hogyan valósulnak meg a zenei mozgások a CT redukált hangszíntereiben.

IV.2.1. Jelenidejű, interaktív zenei rendszer

Korábbi audiovizuális munkáimban a képhez állandó, előre komponált és rögzített elektroakusztikus zenét rendeltem. Ilyenkor a kompozíció illetve realizáció nem valós időben történik, a hangzásfolyamatok egymásra épülő, sorozatosan végzett műveletek eredményei, ahol a hangszíntér elemeit hallás után, sebészi pontossággal lehet létrehozni. Az ilyen típusú stúdiómunka nem követeli meg, hogy előre kijelölt hangzásparaméterek illetve hangszíndimenziók mentén haladjunk, a dimenziók között ugrálva, különböző átalakító- és szintézisteknikákhoz kötődő paraméterek változtatásával is ki lehet alakítani a kompozíció hangzásanyagát. Ez a ma már gazdag hagyománnyal rendelkező módszer rendkívül összetett, kifinomult variációs lehetőségeket, kiváló hangminőséget tesz lehetővé a szerzők számára, akiknek képzeletét nem korlátozza sem az idő, sem a számítógép teljesítőképessége.

Valós idejű kompozíció/improvizáció/realizáció esetén a legnagyobb kihívást az jelenti, hogy a hagyományos elektroakusztikus zenei stúdióban elérhető komplexitást olyan helyzetben hozzuk létre, ahol nem áll módunkban az időben egymás után végzett, többszörös átalakítás lehetősége, egy fizikai gesztushoz (egy időpillanathoz) egy hangprocesszálást végző művelet tartozhat. Ez az egy művelet természetesen magában foglalhatja több paraméter egyidejű változtatását is, azonban nincs mód hallgatás utáni javításra, kiigazításra, azonnal haladni kell tovább a

következő időpillanathoz tartozó műveletre. A vezérelhető paraméterek száma az alkalmazott szoftver és a számítógép teljesítményének függvénye. Ez, a manapság még mindig komoly korlátozást jelentő faktor, az idővel elhanyagolhatóvá válik majd a számítógépek gyorsulásával.

A hagyományos, nem jelen idejű módszerrel biztosítható komplexitást a valós idejű interaktív rendszerek közvetlen audió-visszacsatolást lehetővé tevő, összetett mozdulatokat, mozgásokat elektroakusztikus hangzásfolyamatokká alakító hangszerek segítségével próbálják megteremteni. Ezek a hangszerek jelenleg főleg egyedi szoftvereket jelentenek, ahol a felhasználó a saját elképzelései szerint alakítja ki a hangszer működését mind az előállítható hangzásokat, mind pedig a vezérléshez használt hardvereket és a hozzájuk tartozó mozdulat- és adatsorokat illetően.

Az interaktív rendszerek fejlődése során folyamatosan változott felépítésük és ezzel együtt folyamatábrájuk általános megfogalmazása. A '90-es évek kezdetétől gyakorló zeneszerzők írásain keresztül lehet nyomon követni, hogyan finomodott a definíció. A IV-21. ábra táblázat formájában foglalja össze, hogyan változtak a szerkezeti elemek három szerző egy-egy korszakot összefoglaló publikációjában.

	1992: Robert Rowe ¹⁶⁷	1998: Todd Winkler ¹⁶⁸	2006: Eduardo R. Miranda ¹⁶⁹
1.	Érzékelés	Emberi bemeneti jel, hangszerek	A rendszert vezérlő gesztusok
2.	Átalakítás	Hallgató számítógép	Gesztuselemző stratégiák
3.	Válasz	Interpretáció	Hangszintézis algoritmusok
4.		Számítógépes zeneszerzés	Áttérképezés
5.		Hanggenerálás	Visszacsatolás módjai

IV-21. ábra

A legújabb keletű Miranda leírása, aki öt fő szerkezeti elemet különít el:

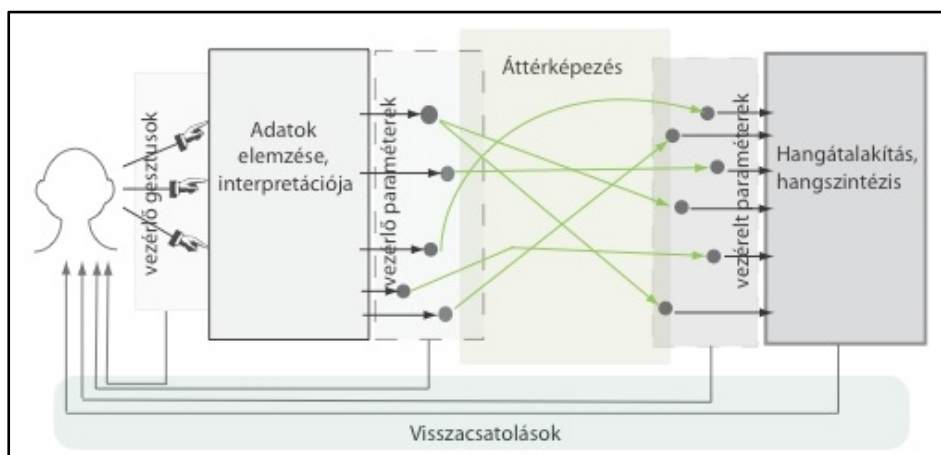
1. a rendszert vezérlő gesztusok
2. gesztuselemző stratégiák
3. hangszintézis, hangátalakító algoritmusok
4. áttérképezés
5. visszacsatolás módjai (audió, vizuális, taktilis)

A IV-22. ábrán látható, hogyan követik egymást, illetve hogyan függenek egymástól a rendszer egyes elemei.

¹⁶⁷ Rowe, R. (1992)

¹⁶⁸ Winkler, T. (1998)

¹⁶⁹ Miranda, E. R. – Wanderley, M. M. (2006)



IV-22. ábra

A rendszert vezérlő gesztusok elemzése után kialakul, mennyi és milyen terjedelmű adatsorok állnak rendelkezésre a hangszintézis és hangátalakítás vezérléséhez. A hangszintézis és hangátalakító algoritmusok szerkezete meghatározza, hány paraméter változtatható a hangelőállítás során. Az áttérképezés szabja meg, melyik vezérlő adatsor melyik szintézis-paraméterhez tartozik, és hogy annak melyik szakaszát (regiszterét) változtatja. A visszacsatolás módjának kiválasztása befolyásolja, hogy az előadó milyen módon érzékeli mozdulatainak eredményeit. A magától értetődő hallási visszacsatoláson kívül alkalmazható a vezérlő adatok vizuális megjelenítése és taktilis érzékelhetősége is.

A hangszintézis és -átalakító algoritmus és az áttérképezés megfelelő kialakításával jelenidőben vezérelhető redukált hangszíntereket lehet létrehozni.

IV.2.2. Kép és hang kölcsönös átértelmeződése

A CT című darab kísérlet arra, hogy térben mozgó képanimációt meghangosítva különböző jelentéstartalmakat generáljunk kihasználva, hogy a kép és hang képes átértelmezni és közösen kialakítani jelentéseket. A cél, hogy a két modalitás (hallás, látás) egymás mellé rendelésével új minőség keletkezzen, ne váljon külön az audio és a vízió, hanem „audiovízió”-ként közösen fejezzen ki valamely érzetet, hogy az együttműködésből hozzáadott érték szülessen. Ahogyan Michel Chion írja:

„a hozzáadott érték az a kifejező és informatív érték, amivel a hang az adott képet gazdagabbá teszi, még hozzá olyan ismerős és természetes érzést keltve, (...) hogy az a bizonyos információ már eleve benne volt a képben. A hozzáadott érték az, amely azt a

(téves) benyomást kelti, hogy a hang felesleges, hogy a hang egyszerűen csak megismétel egy tartalmat, azt a tartalmat, amit valójában a hang ad át, akár önállóan, akár a képtől való különbözőségével.”¹⁷⁰

Walter Murch szerint azokban a ritka esetekben, amikor valóban létrejön a két modalitás közös jelentést teremtő találkozása, speciális visszacsatolás jön létre. Ilyenkor a hangok hatására

„nem egyszerűen az változik meg, ahogy a néző a képet látja, hanem *konceptuális rezonancia* alakul ki a hang és a kép között: a hangtól másképp „látjuk” a képet, és ettől az új képtől már az eredeti hangot is eltérően „halljuk”, amitől viszont megint máshogy fogjuk fel a képet, amelytől ismét megváltozik a hangérzékelésünk, és így tovább.”¹⁷¹

A kép és hang megfelelő együttműködéséhez meg kell vizsgálni, milyen feltételei vannak a chion-i értelemben vett, hozzáadott értékkel rendelkező audiovizuális megteremtésének. Az első alapvető kérdés a szinkront érinti. Az audiovizuális fúzió széles körű alkalmazásának lehetőségét az emberi percepció egyik „furcsa” tulajdonsága, nevezetesen, hogy a vizuális történésekhez akár irracionális hangokat is képes hozzárendelni, amennyiben azok közel egy időben történnek. Chion ezt a jelenséget szinkrézisnek nevezi, melyet a következő módon definiál:

„spontán és ellenállhatatlan, minden logikát nélkülöző mentális fúzió, amely a kép és a hang között történik, amikor azok pontosan egy időben mennek végbe”¹⁷²

A szinkrézis akkor is működik, ha véletlenszerű audio és vizuális események találkoznak egymással. Ebben az esetben azok az audiovizuális kombinációk válnak hangsúlyossá, amelyek között létrejön a szinkrézis, így erősítik egymást. Ebből következik, hogy mind a hang-, mind pedig a képsáv eredeti szerkezete megváltozhat a hangsúlyos helyek kialakulásának függvényében.

A szinkrézis megértéséhez fontos támpontot biztosítanak a multiszenzoros vagy multimodális integrációt, azaz a különböző érzékszervek funkcionális együttműködését leíró kutatási eredmények. A külső világ észleléséhez agyunk több forrásból nyer érzékelési információt, melyek különböző modalitásokból (látás, hallás, tapintás, szaglás, stb.) származnak. Annak érdekében, hogy koherens, erőteljes, biztos érzet keletkezzen, a különböző forrásoknak hatékonyan kell fuzionálni. Ezt a

¹⁷⁰ Chion, M. (1994), 5. old

¹⁷¹ Murch, W. (1994), XXII. old.

¹⁷² Chion, M. (1994), 63. old

fúziót nevezzük multiszenzoros illetve multimodális integrációnak, melyről Barry E. Stein és M. Alex Meredith meghatározó jelentőségű, *Az érzékek egybeolvadása* című, 1993-ban publikált könyve közöl fontos információkat. Neurofiziológia kísérleteik alapján három általános, a multiszenzoros integrációt befolyásoló szabályt fogalmaztak meg¹⁷³:

- 1) a tér-szabály: a multiszenzoriális integráció valószínűbb vagy erősebb, amikor az érzet kialakulásában résztvevő egyszensoros ingerek nagyjából ugyanarról a helyről érkeznek,
- 2) az idő-szabály: a multiszenzoros integráció valószínűbb vagy erősebb, amikor az érzet kialakulásában részt vevő egyszensoros ingerek nagyjából ugyanabban az időben jelentkezők,
- 3) a fordított hatékonyság szabály: a multiszenzoros integráció valószínűbb vagy erősebb, amikor az érzet kialakulásában résztvevő egyszensoros ingerek izolált állapotban viszonylag gyenge válaszokat ébresztenek.

Mivel a multiszenzoros jelek egyidejűleg keletkeznek fizikai eseményekből, a fenti szabályok azt jelentik, hogy időbeni szinkron és térbeni egyezés esetén a jeleket nagy valószínűséggel egy esemény produkálta, így ezeknek egy érzetté kell egyesülniük, valamint hogy minél bizonytalanabbak önmagukban az egyes modalitásokból származó érzetek, annál inkább függ a kialakuló érzet a multiszenzoros integrációtól. Más kutatások (például McGurk-effektus) azt is kimutatták, hogy ilyen esetben az egyes modalitások bizonytalanságának mértéke meghatározza, milyen mértékben vesznek részt az érzet, a végső jelentés kialakításában.

A szinkrézis illetve multiszenzoros integráció az emberi érzékelés rendkívül erős tulajdonsága, ami azt eredményezi, hogy a valóságtól teljesen eltérő hangokat is probléma nélkül társítunk képekhez, és egészen irreális kép-hang kapcsolódásokat is audiovizuális eseményekként élünk át. A kép és hang reasszociációjának lehetősége az, amire a filmhang művészete épül. Ennek köszönhetően lehet távolságot iktatni a kép és hang közé, amelyek ezáltal nemcsak egyszerű leírásai lehetnek egymásnak, hanem metaforisztikus kapcsolatba is kerülhetnek. Chion szerint „minél jobban eltávolítjuk a jelölőt (hang) a jelölt tárgytól (kép), annál nagyobb a metaforikus

¹⁷³ Wikipédia szócikk: Multimodal integration. [http://en.wikipedia.org/wiki/Multimodal_integration]

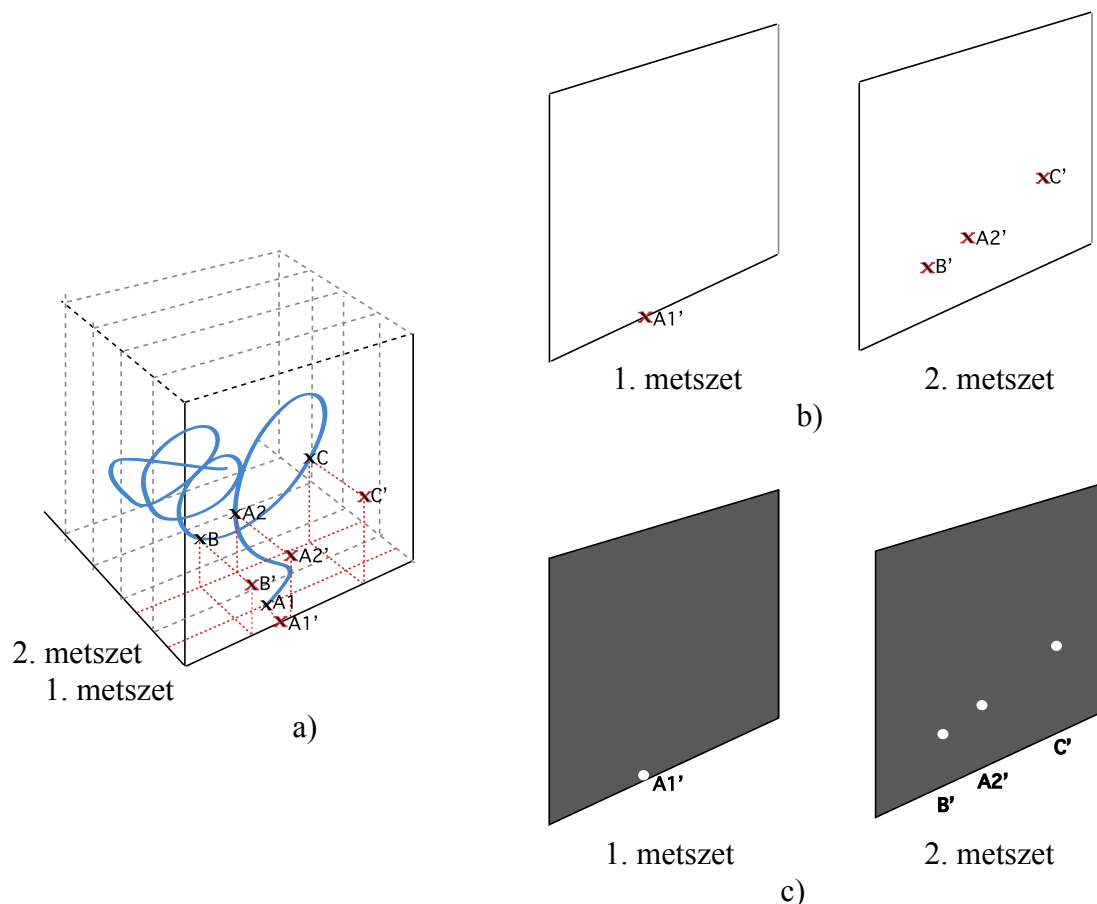
távolság, ami által gyarapodik a hozzáadott érték”¹⁷⁴.

A kép és hang különböző mértékű absztrakciójával és látszólag össze nem illő egymáshoz rendelésével eltérő jelentéseket, zenei és képi funkciókat, feszültségeket és oldásokat lehet konstruálni. Ennek kimerítő vizsgálatához nagy számú kombinációra van szükség, melyek létrehozására praktikus megoldást jelenthet a videó mozgásainak valós időben történő hanggá alakítása, azaz szonifikációja jelenidejű interaktív rendszer felhasználásával. Egy ilyen rendszer szíve, mozgatója az organikus, információban gazdag hangzásokat generáló „hangmotor”, amely a vezérlő jel (jelen esetben videó) mozgásaira adekvát módon reagál, alkalmazkodva a multiszenzoros integrációt befolyásoló szabályokhoz. A vezérlő jel topográfiájának megfelelő leképezést kell létrehozni a hangzástérben, azaz elmozdulásra az egyik modalitásban (például vizualitás) elmozdulással kell reagálni a másikban (például hang). Fontos kíváncsi vagyok még a CT projekt szempontjából, hogy mindeközben a hangzástérben minél több irányban lehessen közlekedni megtartva a kapcsolatot a videó mozgásaival. A folyamatos dimenziókkal rendelkező redukált hangszíntér különösen megfelel erre a célra, hiszen 1) a redukció alkalmas a dimenziók váltogatására, integrálására, így módon különböző méretű és irányú hangszínterek kialakítására, 2) a dimenziók skálázásának segítségével különböző regisztereket, eltérő felbontású területeket lehet felhasználni, 3) megfelelő áttérképezéssel nagy számú kombináció hozható létre, így nagy méretű hangszíntérben lehet rugalmasan közlekedni, 4) a szintézis-paraméterek és a vezérlő-paraméterek összekötése megteremti a kapcsolatot a modalitások között.

IV.2.3. CT - Projektleírás

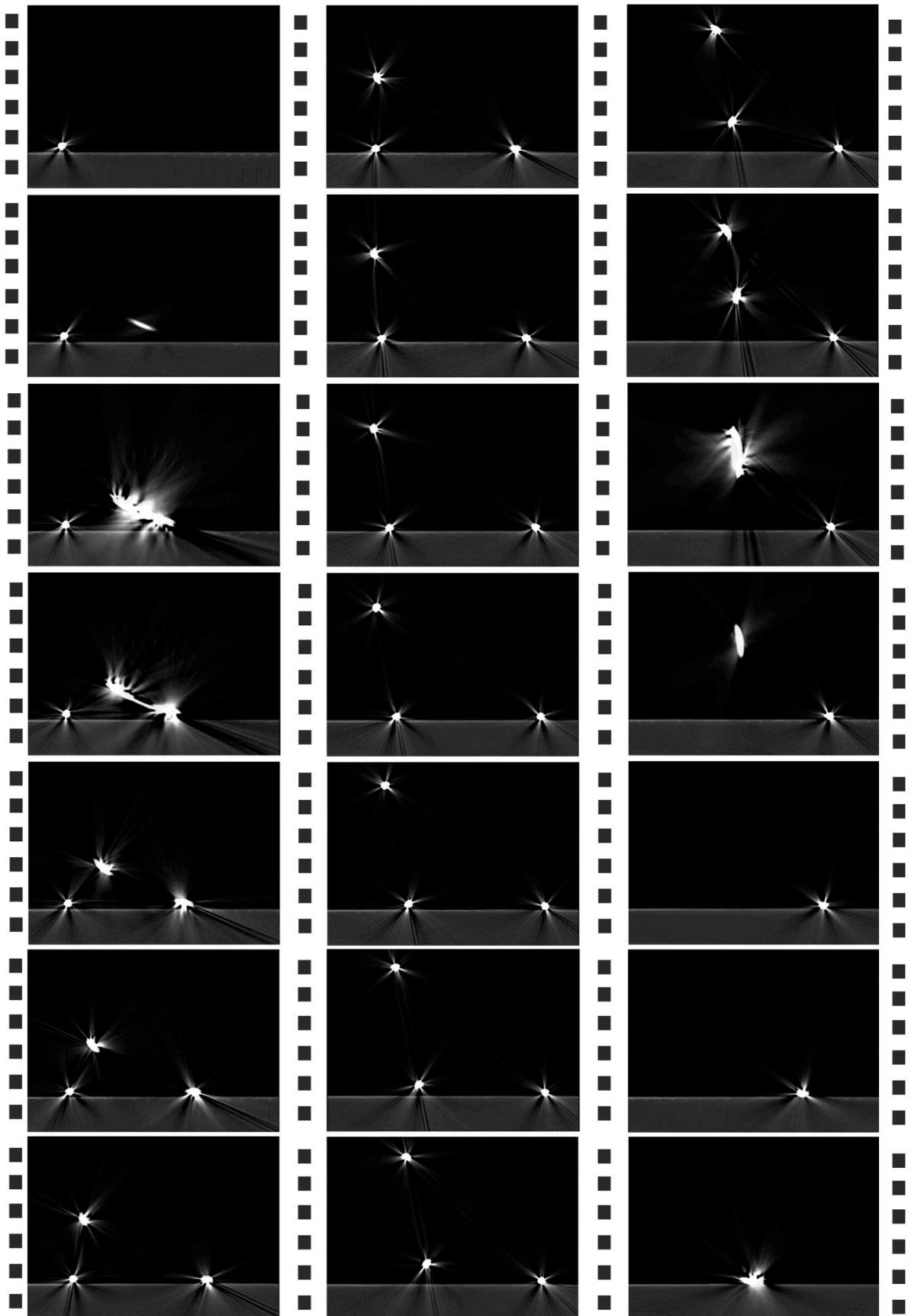
A CT kiindulási alapjául Gyenes Zsolt médiaművész 1,5 perc hosszú (2394 képkocka) komputertomográf animációja szolgál. A komputertomográfia orvosi leképezési módszer, a radiológiai diagnosztika egyik ága. A tomográfia szó a szeletelésre utal, a felvételeken a vizsgálat tárgya képzeletbeli szeletekre bontva látható, így az eljárás segítségével feltérképezhető a vizsgált tárgy térbeli szerkezete. Az egészségügyben használt komputertomográf rendeltetésszerű használata esetén a vizsgált tárgy az emberi test. Gyenes Zsolt nem rendeltetésszerűen használta a komputertomográfot, amikor fémdrótokat helyezett bele, hogy a kapott szeletek fotóit mozgókép-framekként használva animációt készítsen.

¹⁷⁴ Chion, M. (1994), 5. old.



IV-23. ábra

A IV-23. ábrán nyomon követhető, hogyan alakulnak ki a drót metszeteinek fotóiból az animáció képkockái: az a) rajzon látható a drót elhelyezkedése a tomográfban, ahol a piros szaggatott vonalak két metszetet jelölnek ki. A b) ábrán a két metszet külön szerepel, az első metszeten egy pont, a másodikon három pont képe jelenik meg a kivágatban. A c) ábra a végső eredményt imitálja, ahol fekete háttéren, fénylő világos pontok formájában látszanak a drót metszetei. A IV-24. ábra 21 képkockát mutat be a felhasznált animációból, ahol 5 képkockákként követik egymást a kiragadott képek.



IV-24. ábra

Az eredményül kapott videón fényes pontok mozognak a térben, melyek maguk körül forogva különböző pályákat írnak le, és gyorsuláskor, egymással történő találkozásukkor megnyúlnak, megváltoztatják alakjukat. A pontok száma, sebessége, iránya változó. A képsoroknak nincs konkrét jelentése, értelme, Rorschach-tesztszerűen működnek, ahol az expresszivitás minőségei és a jelentések az őket szemlélő alany szubjektív érzetei szerint változnak. A hangászfolyamatoknak és a zenének az a szerepe, hogy eszközként szolgáljanak az animáció jelentéseinek irányításához a pszichológiai térben. Mivel mindkét modalitás (a kép és a zene) absztrakt, így önmagukban gyenge, többértelmű jelentéssel bírnak. A kétféle információ találkozásából még mindig izgalmasan többértelmű, de a jelentéstérnek egy bizonyos szakaszára „irányított” minőség keletkezik, melynek végső interpretációját a nézőnek/hallgatónak kell elvégezni.

Ugyanannak a vizuális gesztusnak különböző hangzó leképezéseit interaktív zenei rendszer biztosítja, melyek paramétereit az előadó változtatja valós időben. A darab előadásához redukált multidimenzionális hangzástér készült, mely lehetővé teszi a különböző hangászfolyamatok és zenei kifejezések közötti navigációt a videóból kinyert adatok segítségével.

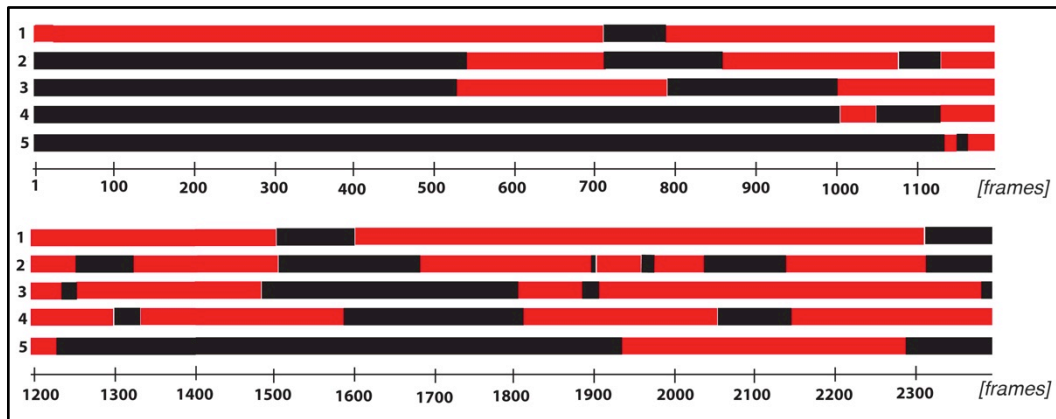
IV.2.4. A CT-t realizáló interaktív hangszer leírása

A hangszer egyes elemeit a IV.2.1. fejezetben tárgyalt, az interaktív rendszerek általános szerkezetét bemutató leírás szerint részletezem.

1) A rendszert vezérlő gesztusok

A szoros szinkron biztosítása érdekében a zenét a komputertomográf metszeteiből készített animáció vezérli. Az irányítás módjának megtervezéséhez el kellett dönteni, milyen képelemek kapjanak szerepet a zenei áttérképezésben. Ennek érdekében először a videón szereplő fényes pontok mennyiségét és pályáját kellett megvizsgálni. Amint az a IV-24. ábrán látható, a legkülönbözőbb helyzetek fordulnak elő, van, amikor egyáltalán nincs esemény, van amikor csak egy-két pont van jelen a képen, ritkábban előfordul, hogy lényegesen több, akár 12 a pontok száma. A célom az volt, hogy minden pályához egy zenei szólamot rendeljek, amihez a 12 pálya túl soknak bizonyult. Ezért a pontok közös mozgásai alapján korlátoztam a figyelembe veendő pályák számát, aminek eredményeképpen 5 mozgást / öt szólamot jelöltem ki. A IV-25. ábra az öt pálya eseményeinek „kottáját” mutatja be, ahol látható, mely képkockák tartalmazznak az adott

sorszámú pályákon mozgásokat. A vízszintes tengelyen látható a 2394 képkocka, a függőleges tengelyen az öt pálya, ahol piros szín jelzi az aktív szakaszokat.



IV-25. ábra

A „kotta” azért volt szükséges, mert a videó képkockái különböző módokon kerülnek lejátszásra az előadás során, ezért az előadónak, aki irányított improvizációt mutat be, tudnia kell, melyik szakaszon hány szólamot lehet vezérelni, mikor lépnek be és mikor szűnnek meg az egyes pontok mozgásai. A videót a következő módszerekkel lehet lejátszani:

- előlről végig az eredeti sorrendben és sebességgel,
- kézi vezérléssel előre illetve visszafelé egyenként léptetve a képkockákat,
- különböző kezdőpontú, terjedelmű és sebességű loop-ok segítségével,
- különböző kezdőpontú, terjedelmű és sebességű, irányított véletlen folyamatok segítségével.

A IV-26. ábrán a videó lejátszását vezérlő program interfésze látható, innen le lehet olvasni, hogy a megfelelő sorszámú képkocka előhívásával a képsorokat a következő paraméterek segítségével lehet irányítani: start/stop (teljes lejátszás), loop be/kikapcsolása, loop sebessége, loop iránya, loop kezdő képkockája, loop terjedelme, véletlen-generátor be/kikapcsolása, véletlen-generálás tempója, véletlen-generálás kezdő értéke, véletlen-generálás terjedelme.

A loop és véletlen folyamatok paramétereit külső MIDI vezérlővel lehet változtatni, így a videót jelen időben lehet szerkeszteni, aminek következtében a másfél percnyi eredeti animációból kiindulva lényegesen hosszabb, változatos anyag hozható létre.



IV-26. ábra

Az előadó gesztusai a zenét csak áttételes módon befolyásolják, mivel a hangásfolyamatok közvetlen vezérlését a videóban szereplő pontok mozgásai végzik. A vezérlés módszerétől függően a mozgást lehet közvetlenül frame-ről frame-re kontroller segítségével változtatni (például a potenciométer elmozdulása folyamatosan növeli és/vagy csökkenti a lejátszott frame-k sorszámát), vagy meg lehet adni a mozgás általános szabályait (például frame-k lejátszási sebessége és a lejátszható frame-k sorszámainak terjedelme).

2) Gesztuselemző stratégiák

A pontok (illetve egyes esetekben pontegyüttesek) mozgásainak adatait két lépésben határoztam meg:

– fényes pontok helyzetének (x, y koordináták) meghatározása képkockánként:

Minden képkockában meghatározásra kerültek a sötét mezőben található fényes alakzatok koordinátái Jitter programnyelven írt szoftver segítségével, melyeket szöveges fájlban rögzítettem. A IV-27. ábrán az elemzés adatait tartalmazó szöveges fájl két részlete olvasható. Az első oszlopban található érték mindkét esetben a képkocka sorszámát jelenti, ezután a képben tartózkodó pontok x és y koordinátái következnek pályánként. Ha az x és y koordináta értéke 0, az azt jelenti, hogy az adott pályán nem tartózkodik fényes pont. Az első pálya értékeit a 2., 3. oszlop, a másodikét a 4. és 5. oszlop, a harmadikét a 6., 7. oszlop, a negyedikét a 8., 9. oszlop, az ötödikét pedig a 10., 11. oszlop tartalmazza. Az a) számoszlopok az 1-10. sorszámú képkockák adatait mutatják: kiolvasható, hogy az első két frame sötét, a 3-10. framek pedig csak az első pályán tartalmaznak mozgó alakzatot.

a) 01 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
02 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
03 429.074 443.331 0 0 0 0 0 0 0 0
04 395.779 438.490 0 0 0 0 0 0 0 0
05 395.750 438.788 0 0 0 0 0 0 0 0
06 395.941 437.483 0 0 0 0 0 0 0 0
07 395.867 437.666 0 0 0 0 0 0 0 0
08 401.966 439.956 0 0 0 0 0 0 0 0
09 400.496 440.550 0 0 0 0 0 0 0 0
10 408.507 440.757 0 0 0 0 0 0 0 0

IV-27a ábra

A b) számoszlopok a 709-717. képkockák adatait mutatják be. Látható, hogy ezeken a képkockákon 2 fényes pont helyezkedik el, melyek az első és a harmadik pályán mozognak.

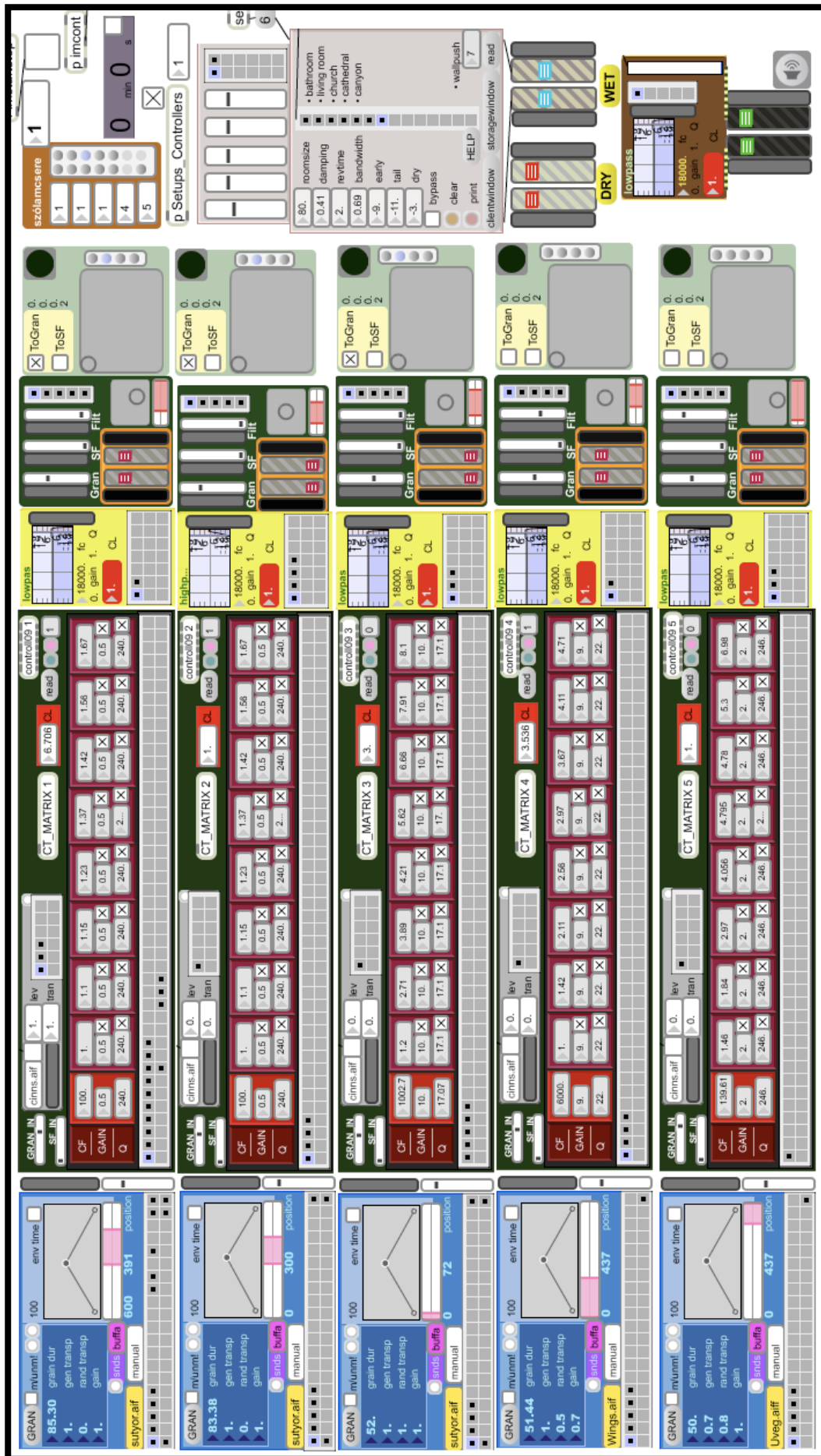
b) 709 326.360 286.494 0 0 510.724 445.278 0 0 0 0
710 327.939 287.859 0 0 509.780 447.057 0 0 0 0
711 328.178 287.731 0 0 509.797 447.161 0 0 0 0
712 329.707 285.136 0 0 509.060 446.137 0 0 0 0
713 329.743 285.252 0 0 509.015 446.298 0 0 0 0
714 330.988 286.421 0 0 505.064 445.122 0 0 0 0
715 331.251 285.989 0 0 504.835 445.096 0 0 0 0
716 332.092 284.113 0 0 502.754 443.659 0 0 0 0
717 331.974 283.675 0 0 502.392 443.890 0 0 0 0

IV-27b ábra

– az egyes pályákon mozgó pontok sebessége:

A pontok elhelyezkedése mellett sebességük is szerepet játszik a hangzásfolyamatok vezérlésében. Mivel a videó lejátszását irányító véletlenszerű folyamatok az egymást követő képkockák bármilyen kombinációját lehetővé teszik, a sebességet jelen időben, az egymást követő képkockák alapján számolja ki a szoftver. Tekintve, hogy a frame-ek között mindig egyenlő hosszúságú idő telik el, ezt egységnyi-nek vehetjük, és ekkor a $v=s/t$ képlet alapján a sebességet megkapjuk, ha kiszámoljuk két koordináta-pont egymástól való távolságát a Pitagorasz-tétel segítségével.

A videó elemzése után pályánként 3 adat, összesen 15 paraméter áll rendelkezésre a zene vezérlésére: $x_1, y_1, v_1, x_2, y_2, v_2, x_3, y_3, v_3, x_4, y_4, v_4, x_5, y_5, v_5$.

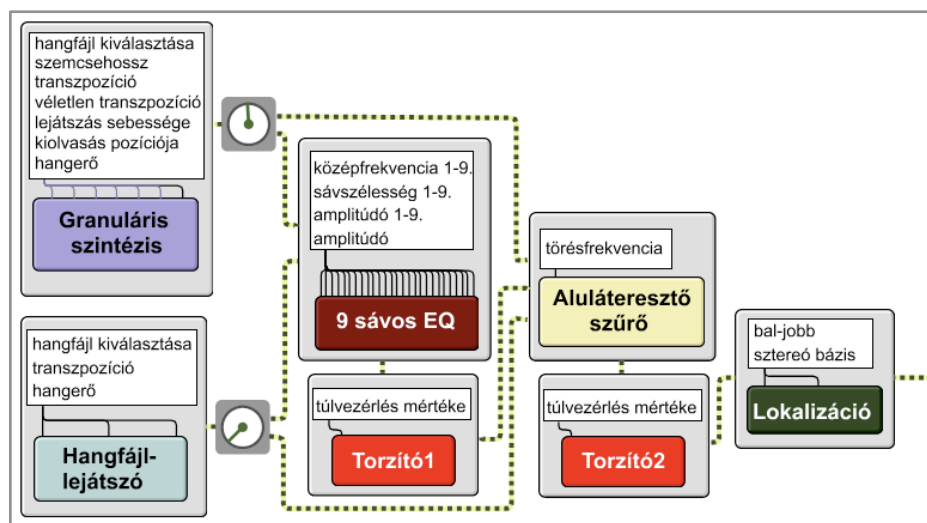


IV-28. ábra

3) Hangszintézis, hangátalakító algoritmusok

Az öt szólamot öt egyforma hanggeneráló-lánc állítja elő, melyekben különböző technikákkal lehet hangokat szintetizálni illetve átalakítani. Az IV-28. ábrán látható a MAX/MSP programnyelv segítségével írt hangelőállító szoftver interfésze, melyen világosan elválnak egymástól öt egyforma „csík” formájában az öt szólam. Az egyes szólamokon belül elkülönülő egységek a hangszintézis és hangátalakító modulok, melyek paraméterei számdobozok és más kontrollerek (potenciométer, 2D-s csúszka, burkológörbe, stb.) segítségével állíthatók. Minden egységen belül külön el lehet menteni a vezérlő paraméterek értékeit, így a beállítások különböző összekapcsolásaival nagy mennyiségű hangzáskombinációt lehet létrehozni.

A IV-29. ábra egy szólam szerkezetét mutatja be, amely a III.4.1. fejezetben a III-8. ábrán bemutatott redukált hangszintér modell szerint egymással összeköttetésben lévő modulokból tevődik össze. Az ábra feltünteti a CT-ben alkalmazott hangátalakító és hangszintetizáló egységeket, a hozzájuk csatlakozó paramétereket és a hangelőállítás lehetséges útvonalait. Az ábráról leolvasható, hogy a CT realizálásához hangfájl-lejátszás, granuláris szintézis, szubtraktív szintézis és torzítás szükséges, melyeket szólamonként összesen 43 paraméter segítségével lehet vezérelni. Ezentúl a szólamok hangereje keverésükkor külön vezérelhető (5 paraméter), és az összekevert hangzás után található még egy aluláteresztő szűrő (1 paraméter) és egy zengető (7 paraméter), így összesen $43 \times 5 + 5 + 1 + 7 = 228$ paramétert kell kezelni a darab előadásakor.



IV-29. ábra

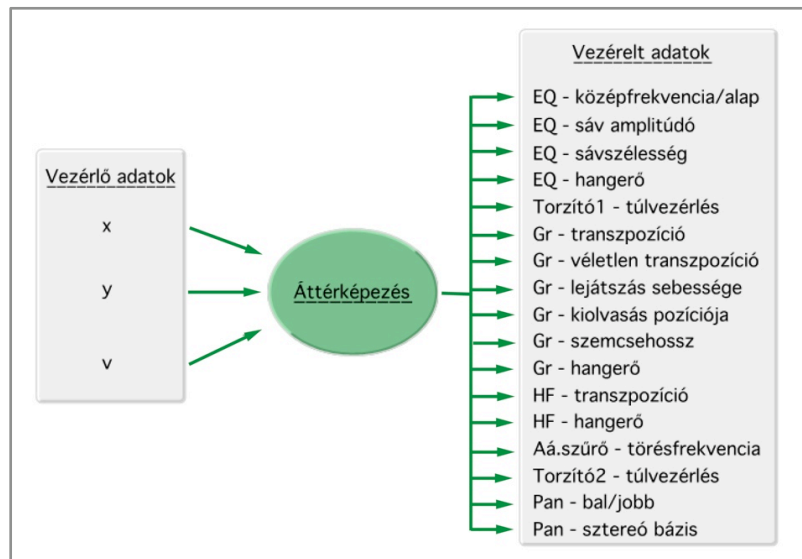
4) Áttérképezés

A hangelőállító rendszer beállításainak segítségével előállított és elmentett hangzások kiindulásul szolgálnak a vezérlő-paraméterek változtatása által indukált hangmozgásokhoz. A vezérlő-paraméterek változásait a rendszert vezérlő „gesztusok”, a komputertomográf animációban szereplő pontok mozgásai okozzák. Az animáció elemzéséből kapott adatokat szölamonként egy-egy mátrix segítségével lehet áttérképezni a hangparaméterek változtatására. Nem minden hangparaméter szerepel önállóan a mozgások vezérlésében. Egyes paraméterek csak az általános, kiindulási hangszín beállítását alakítják, mint például a granuáris szintetizátor vagy a hangfájl-lejátszó fájlbetöltése. Másokat együttesen lehet vezérelni, mint például a 9 sávós EQ sáv szélességeit és az egyes sávok amplitúdóit. Ilyenkor, amint az a IV-28. ábráról is leolvasható, kapcsoló segítségével beállítható, mely paraméterek mozognak együtt a „mester”-paraméterrel, és mely paraméterek maradnak állandóak a mozgás során. Az ábrán rögzített beállítás esetén minden paraméter mellett egy-egy x szerepel, ami azt jelenti, hogy az ekvalizátor összes frekvenciasávjának sáv szélessége és amplitúdója együttesen mozog a „mester”-paraméterrel.

Az áttérképezés kialakításakor az első lépés azoknak a hangparamétereknek a kiválasztása volt, amelyek potenciálisan részt vehetnek a hangmozgások kialakításában. A IV-30. ábra tartalmazza azoknak a paramétereknek a listáját, amelyeket a vezérlő adatok (x, y, v) irányíthatnak. Látható a listából, hogy a valós időben egymástól függetlenül vezérelhető paraméterek száma szölamonként elvileg 17, ami lényegesen kevesebb, mint a kiindulási hangszint kialakító 43 paraméter.

Az áttérképezés a CT esetében két művelet elvégzését jelenti:

- meg kell határozni, melyik vezérlő-paraméter melyik hangelőállító paramétert irányítja,
- ki kell jelölni, hogy az adott paraméter milyen tartományban mozogjon.



IV-30. ábra

A CT-t realizáló szoftverben minden szólamhoz tartozik egy mátrix, amely végrehajtja az áttérképezést. A IV-31. ábra az 1. szólamhoz rendelt mátrixot jeleníti meg. A vezérlő videó-paraméterek az 1, 2, 3, 4 számozású oszlopokhoz, a hangzásparaméterek pedig a különböző rövidítésekkel elnevezett (pl. cf, gain, Q, stb.) sorokhoz tartoznak. Az egyes oszlopokhoz a következő videó-paraméterek tartoznak: 1 = x koordináta, 2 = y koordináta, 3 = pont mérete (ez a paraméter ebben a verzióban nem vesz részt), 4 = sebesség.

Az oszlopok és sorok közötti eligazodást 4x17-es rácsforma segíti. Ennek metszéseinél piros pontok jelzik, hogy az adott vezérlő-paraméterek melyik hangzásparamétert szabályozzák. A zöld és piros számdobozok végzik a paraméterértékek skálázását, azaz meghatározzák, hogy a vezérlő gesztusokból érkező értékek milyen hangparaméter-tartományt fednek le. A zöld számdobozok határozzák meg, hogy mettől meddig terjedő értékeket vesz a rendszer figyelembe, a piros számdobozokban pedig be lehet állítani a minimális és a maximális értéket. Az ábráról kiolvasható például, hogy az itt megjelenített beállításban az y (2) tengelyen való mozgás vezérli a granuláris szintézis szemcsehosszát (GR_graindur). Ebben az esetben a 250. és 440. pixel közötti elmozdulás 10-150 ms-nyi szemcsehossz-változást generál. Az ábrán az is látszik, hogy egy vezérlő-paraméterhez (oszlophoz) több egyidejű hangparaméter is tartozhat. Az előző példában leírt szemcsehossz-változással párhuzamosan módosul az aluláteresztő szűrő törésfrekvenciája 10000 és 2000 Hz között valamint a torzítás mértéke 2-szeres és 1-szeres túlvezérlés között.



IV-31. ábra

A mátrix a rendszer „közlekedési irányítója”, segítségével a paraméterek nagyon nagy számú variációját lehet létrehozni. Egy-egy oszlophoz 2^{17} variáció tartozik, ami 3 hasznos oszlop esetén $(2^{17})^3 = 2.251.799.813.685.248$ variációt jelent. Ha ehhez hozzávesszük a lehetséges átskálázások mennyiségét, látható, hogy a lehetőségek száma gyakorlati szempontból a végtelenhez közelít.

A mátrix állapotait, a „forgalomterelést” és az átskálázásokat az ablak bal felső sarkában található beállításmentő-doboz segítségével lehet elmenteni. A dobozban látható 10 fekete pötty 10 különböző beállítást jelent.

A dinamikus vezérlőparaméterek kiválasztásával és a megfelelő áttérképezéssel erősíteni lehet a hangszíndimenziók formateremtő képességét (lásd III.3.3. fejezet). Több hangzásparaméter közös, szinkronban történő mozgatásával könnyen azonosítható, az emlékezetbe gyorsan beépülő, ezáltal jól felismerhető hangszínmotívumokat lehet létrehozni.

5) Visszacsatolást biztosító csatornák (audio, vizuális, taktilis)

A CT előadását megkönnyíti, hogy a videó mozgása vezérli a legtöbb hangszínpamétert, így a hallás mellett a látás természetes módon segíti a tájékozódást jelen idejű realizáció közben. A vizuális visszacsatolást nem csak a

videó biztosítja, a paraméterek mozgatása követhető mind a videó, mind a hanggeneráló program interfészén számdobozokon és potenciométereken egyaránt. Míg ezek az eszközök főleg a programban való tájékozódást, az egyes paraméterértékek pozicionálását és a program működésének ellenőrzését szolgálják, addig a kép és hang közös, audiovizuális érzékelésének komoly szerepe van a kreatív reakciók kialakulásában, s nagyban befolyásolja az irányított improvizáció megvalósulását.

A szólamok arányainak beállítását és a zengetés paramétereit a videó mozgásától független MIDI-vezérlő segítségével végzi az előadó. Mivel az audiovízió irányítása teljes mértékben lefoglalja a látást, fontos, hogy jól tapintható potenciométerek álljanak rendelkezésre az 5 csatorna és a zengetés keveréséhez.

IV.2.5. Hangszíntereken belüli mozgások kialakítása

A IV-29. ábrán, a darab hangmoduljának szerkezeti rajzán látható, hogy a CT két meghatározó szintézistechnikája a granuláris és a szubtraktív szintézis, melyek kiindulási hangjai nem szintetizált hangok (szinusz és/vagy fehérzaj), hanem hangfájlok. Ez azt jelenti, hogy mindkét modul bemenetére lehet komplex forráshangokat küldeni, melyek saját területeket foglalnak el a hangszíntérben. A forráshangoknak lehetnek olyan dimenziói, amelyek nem változnak, megőrizve a hangzás egyes jellegzetességeit, és lesznek olyanok, amelyeket ebből az alaphelyzetből mozdít el a CT hangszintézis-modulja. Az eredmény az eredeti hangfájl hangzásdimenzióinak és a szintézistechnika által irányított hangzásdimenzióknak ötvözte lesz, ahol az arányoktól függően kialakulhat valamiféle egyensúly, de dominálhat a kiindulási hang vagy a szintézistechnika is. A CT hangszintézis-modulja kimenetén megjelenő hangzások konstans hangszövetek, melyek belső struktúrája a kiindulási fájlok illetve a granuláris szintézis által indukált mozgás mintázatát tükrözik. Az képi animációhoz kapcsolódó, valódi mozgást ezen hangszövetek egyes dimenzióinak változtatásával lehet elérni. A dimenzió-mozgások (amennyiben elég erősek) bevésoódnak az emlékezetbe, és ismétléseik, átalakulásaik, feszültségviszonyaik segítenek a zenei forma és szerkezet megértésében.

A CT hangszíntérének kialakítása tehát három fázisban történik:

- 1) kiindulási hangok = nem jelenidőben előkészített fájlok halmaza,
- 2) CT hangmodulja által feldolgozott, statikus hangszövetek,

- 3) dinamikus hangszövet: a videó vezérlőadatai által a redukált hangszíntérben mozgatott hangzások.

Mindhárom fázis elláthatja saját, új hangzásérzettel a kialakuló hangot, illetve az egyes dimenziók skálaértékein ugrálva, csúszkálva különböző funkciós érzeteket generálhat. A kiindulási hangok, a szintézistechnikákat beállító statikus paraméterek és a videó mozgását követő változó paraméterek konfigurációjától függően rengeteg változat létrehozható. A CT-t realizáló szoftver nemcsak egy darabra érvényes, hanem „work in progress”, amelynek különböző változatai újabb és újabb művek létrehozásában működhetnek közre.

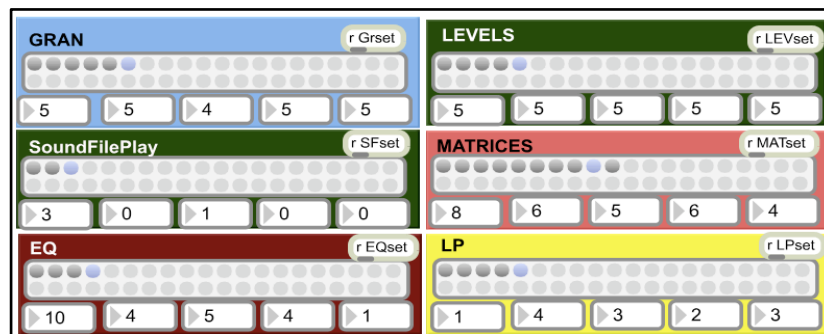
A CT hangelőállító szoftver interfészén (lásd IV-28. ábra) látható, hogy a program moduláris, és minden modul beállításait egymástól függetlenül lehet elmenteni. Egy-egy blokk beállítása meghatározza a kiválasztott hangszíndimenziókon való elhelyezkedést, azaz a hangszíntér egy részét, a mozgó adatok esetében a mozgás terjedelmét. Az aktuális darab hangszíntereinek elmentéséhez, azaz a teljes hangszíntér változatainak rögzítéséhez egységbe kell tudni szervezni a modulok beállításait. Élő előadáskor nincs mód modulonként állítani a paramétereket, mivel az előadó a videó mozgatásával vezérli az éppen előhívott hangszíntér változásait, arra van csak idő, hogy a hangszínterek változását előhívjuk a számítógép adott billentyűjének lenyomásával. A jelenlegi verzió 14 számú beállítást, azaz 14 egymástól kisebb-nagyobb mértékben eltérő hangszínteret tartalmaz. A hangszínterek komponálása technikai szempontból annak szervezése, hogy egy-egy, az összes paraméterértéket reprezentáló beállítás sorszámhoz hozzá tudjuk rendelni az egyes modulok mentéseit. A munkának ez a része zenei szempontból nagyon izgalmas, hiszen ekkor mozdul meg a hangzástér, és a videó mozgásaira a hangszíntereket a paraméterekkel tologatva lehet komponálni.

A beállítások szervezése összetett munka, átlátásához különböző szintű „vezérlőtáblák” szükségesek. A IV-32. ábra a végső 14 beállításhoz kapcsolt, komplex beállításokat jelentő értékeket összefoglaló mártixot prezentálja.

0	GR	SF	EQ	LEV	MAT	LP
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	1
3	1	1	1	1	3	1
4	1	1	1	1	4	1
5	2	1	1	1	5	1
6	2	1	1	1	5	1
7	2	1	1	1	5	1
8	3	1	2	2	6	2
9	4	1	3	3	7	3
10	5	0	3	4	8	4
11	5	0	3	4	8	4
12	5	0	3	4	8	4
13	6	3	4	5	9	5
14	6	3	4	5	9	5

IV-32 ábra

Az első, szürke színű oszlopban sorakozó 14 érték a 14 hangszíntér hívószáma. Az egyes beállításokkal egy sorban az egyes hangszintézis-modulok és mátrixok 5 szólamot összefoglaló beállításai szerepelnek, amelyek a IV-33. ábrán látható „al-vezérlőtáblán” osztódnak tovább. Látható, hogy a fő-vezérlőtábla 14. sora aktív (kékesszürke szín jelzi a kiválasztást). A GR oszlophoz (ami a IV-33. ábrán a GRAN, azaz a granuláris szintézis modult jelenti) a 6-os szám tartozik. A IV-33. ábrán a GRAN modul 6. pöttye szürkés-kék, tehát ez a beállítás hívódott elő, amihez 5 érték (5 5 4 5 5) kapcsolódik. Ez az 5 érték a IV-28. ábrán látható interfész Granuláris moduljaiba (1-5. szólamig) érkezik be.



IV-33. ábra

Összesen 30 (szólamonként 6) modulhoz tartozó beállítást kell összefogni, és a modulokon belüli beállítások is rengeteg paraméter-konfiguráció elmentésére alkalmasak. A nagy számú adat lehetőséget nyújt komplex, információban gazdag, állandó változásban lévő, „organikus” hangzások létrehozására, a moduláris, hangszíndimenziókra lebontott szerkezet pedig biztosítja a szervezhetőséget a hangszínterekben belül.

A CT hangszintézismoduljai meghatározzák, milyen dimenziókat lehet időben változóvá tenni, azaz milyen hangzástulajdonságok segítségével lehet mozgás benyomását keltetni. Az időben változó dimenziók keltette érzetek végtelenül sokféle hangzáshoz adódhatnak a kiindulási fájlok függvényében, melyek erősítik vagy gyengítik működésüket. A mozgó hangzásdimenziók kialakulása esetenként egy, máskor több, egyidőben működő hangszintézismodul paraméter-változásainak eredménye.

A hangszínterek komponálásának procedúráját a továbbiakban egy egyszerű példán mutatom be. A folyamat végigvezet a kiindulási fájlról a statikus hangszöveten keresztül a dimenziók mozgásáig (lásd Hang01-Hang04 hangpéldákat). A példában felhasznált redukált hangszintér kialakításakor 10 dimenziót vettem figyelembe. Az alábbi lista a felsoroláson túl részletezi, milyen szintézis-paraméterek befolyásolják az egyes hangzásdimenziók kialakulását:

- 1) harmonikus-zajos: a kiindulási fájl kiolvasásának helyzetétől, a granuláris szemcsék követési idejétől, a szűrés mértékétől és a torzítástól függő dimenzió.
- 2) hangmagasság regisztere: a kiindulási fájl kiolvasásának helyzete, a transzpozíció, a granuláris szemcsék követési ideje és a szűrés mértéke befolyásolja.
- 3) sötét-fényes: a sávszűrés, a granuláris szintézis transzpozíciója és hangmagasság-kitérése valamint a torzítás mértéke van rá hatással.
- 4) tompa-kemény: elsősorban a torzítás mértékétől függ. A gitártorzítókhoz hasonlóan a jel túlvezérlése telíti, fényesíti a spektrumot, és keményebb, agresszívebb hatást biztosít még a mély frekvenciákon is.
- 5) sima-szemcsés-érdes: a granuláris szintézis paramétereinek (szemcsehossz/követési idő, hangmagasság-kitérés) és a torzítás mértékének függvénye
- 6) hangszövet belső tempója: a granuláris szintézis szemcsehosszátlól és a szemcsék követési idejétől függ.
- 7) textúra-gesztus: a granuláris szintézis követési idejének és a mozgó dimenzió-változások időviszonyainak függvénye.
- 8) térmozgások dinamikája: a szemcsék térbeni szétosztása és a bal-jobb oldali panoráma vezérlése befolyásolja.
- 9) beszédszerű-csicsergő-repedő: a szintézis-paraméterek együttes hatására létrejövő, forrásérzetet leíró dimenzió.

10) békés-agresszív: a szintézis-paraméterek együttes hatására létrejövő, érzelmi reakciót kifejező szemantikai dimenzió.

A fenti felsorolás különböző típusú dimenziókat tartalmaz. Van akusztikai ismertetőjegy (pl. hangmagasság regisztere), több akusztikai paraméter által keltett szemantikai összefoglaló fogalom (pl. sima-szemcsés-érdes) vagy általános érzelmi választ leíró jelző. Közös platformon való szerepeltetésük módot ad arra is, hogy vizsgáljuk, hogy az akusztikai ismertetőjegyekhez közel álló dimenziók hogyan befolyásolják az érzelmi hatásokat.

A dimenziókat 1-100-ig terjedő skálán értékeltem elemezve a 1) kiindulási fájlt, 2) a belőle létrehozott statikus hangszövetet és 3) két, a hangszíntérben egymástól eltolt dinamikus hangszövetet. Az értékelés eredménye táblázat formájában a IV-34. ábrán, összehasonlító profilok alakjában pedig a IV-36-IV-38-ig terjedő ábrákon látható. A hangzások szonogram analízisét a IV-35. ábra jeleníti meg.

	Kiindulási fájl	Statikus hangszövet	Dinamikus hangszövet01	Dinamikus hangszövet02
<i>harmonikus-zajos</i>	50	70	60	90
<i>hangm. regisztere (mély-magas)</i>	30-70	20-70	60-100	0-90
<i>sötét-fényes</i>	60	40	60-80	30-80
<i>tompa-kemény</i>	40	60	20-40	20-90
<i>sima-szemcsés-érdes</i>	30	70	30-60	50-90
<i>belső tempó: (lassú-gyors)</i>	30	80	50-100	0-100
<i>textúra-gesztus</i>	65	20	10-40	10-100
<i>térmozgások dinam. (min.max.)</i>	0	30	60	90
<i>beszédszerű-csicsergő-repedő</i>	0	20	40-60	20-100
<i>békés-izgatott-agresszív</i>	50	30	40	50-90

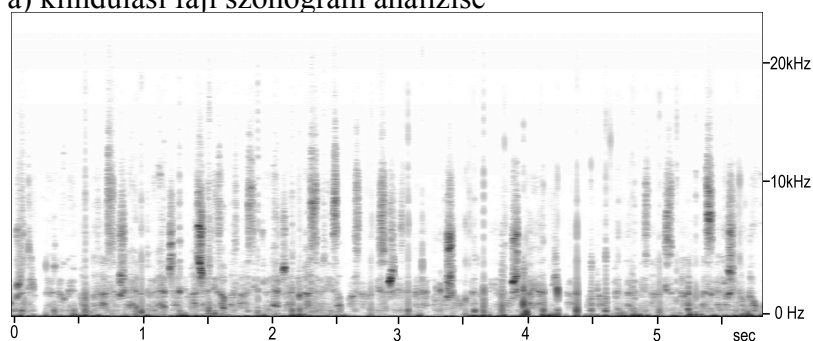
IV-34. ábra

A kiindulási hang a Hang01 hangpéldán hallható, előre rögzített és átalakított női suttogás. A hang az átalakítás után is megőrizte beszédszerűségét, de jóval gyorsabb, mint a normális emberi beszéd, a szöveg érthetetlen. Az a) jelzésű szonogramon látszik, hogy egyenletes gyors tempó mellett a beszédre jellemző szünetek és dinamikai kiugrások jellemzik. Spektruma a suttogásnak megfelelően zajos, a mély tartományban egyenletesen oszlik meg az energia 0 és 2000 Hz között, a magasabb tartományokban időnként jelenik meg az s és sz hangzó-szerű zajsáv.

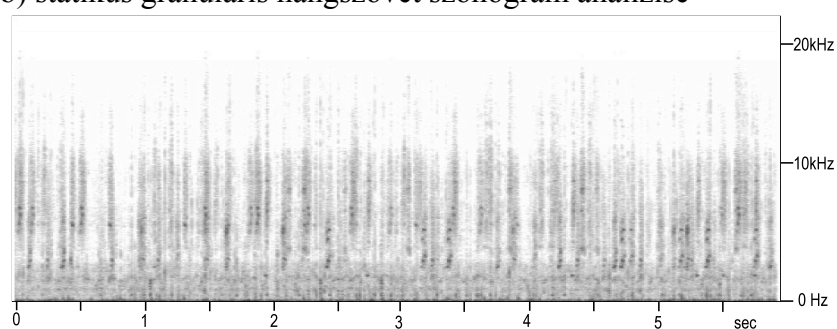
A statikus hangszövet (Hang02) granuláris szintézis eredménye, amely 83 ms hosszú és 41 ms követési idejű szemcséket hoz létre véletlenszerűen váltogatva a kiindulási hangfájl középső harmadából. A granulálást aluláteresztett szűrés követi 10000 Hz törésfrekvenciánál. Az IV-35. ábra a) és b) szonogram analíziseit

összehasonlítva látható, hogy a kiinduláshoz képest sűrű, egyenletes szemcsék jelentek meg a hangzásban.

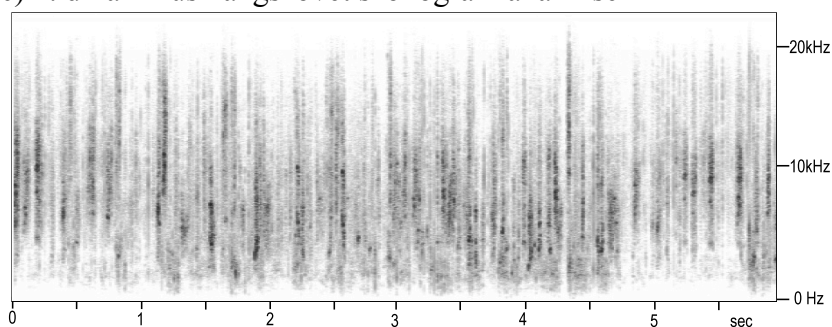
a) kiindulási fájl szonogram analízise



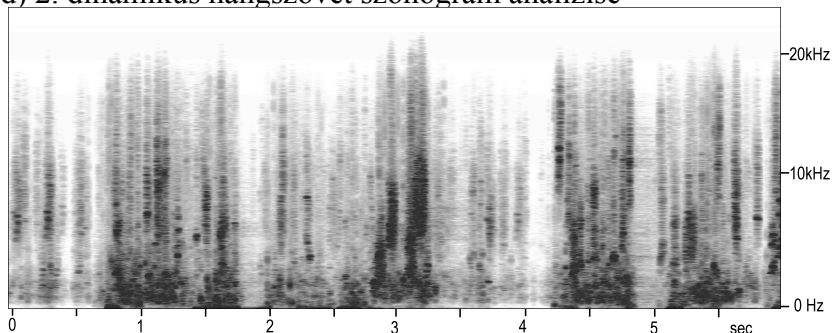
b) statikus granulás hangszövet szonogram analízise



c) 1. dinamikus hangszövet szonogram analízise



d) 2. dinamikus hangszövet szonogram analízise

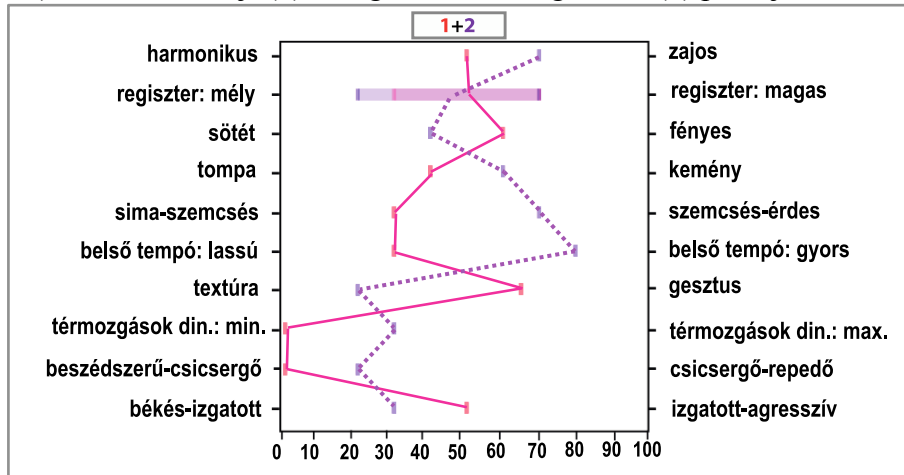


IV-35. ábra

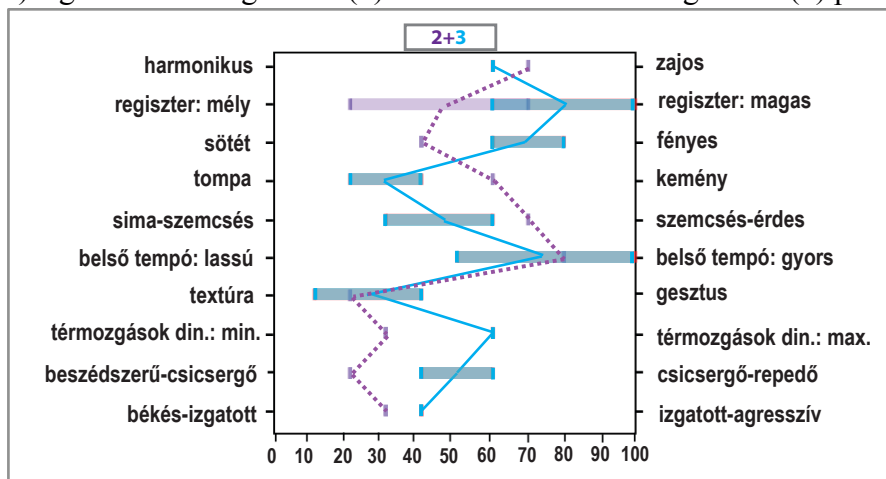
A spektrum szerkezete a mély és magas frekvenciák megoszlásának szempontjából hasonló azzal különbséggel, hogy lényegesen telítettebb a mély

frekvenciasáv és többször és kiegyenlítettebb módon jelennek meg a magas zajsávok, amelyek 10000 Hz fölött kisebb intenzitásúak.

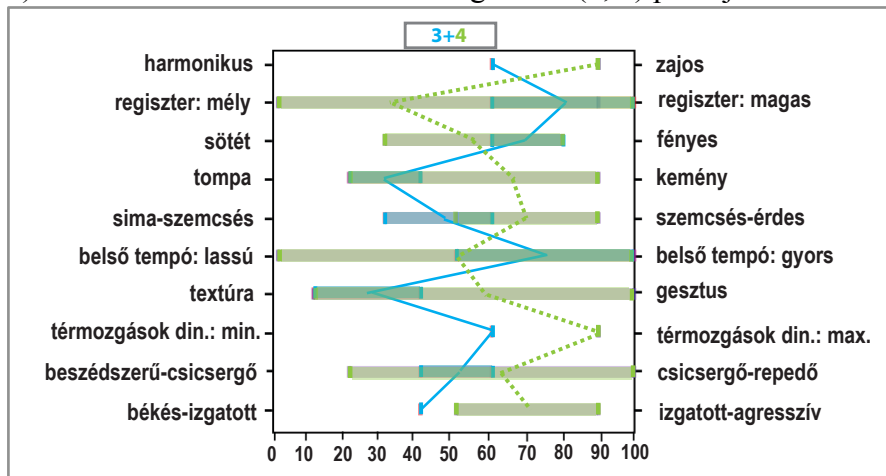
a) a kiindulási fájl (1) és a granuláris hangszövet (2) profilja



b) a granuláris hangszövet (2) és az 1. dinamikus hangszövet (3) profilja



c) az 1. és a második dinamikus hangszövet (3, 4) profilja



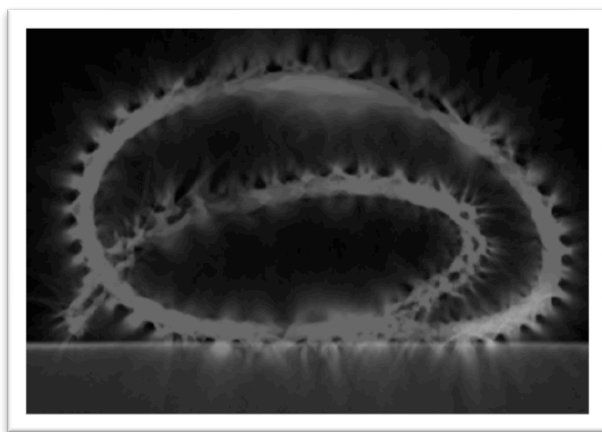
IV-36. ábra

A IV-36a ábráról leolvasható, hogy milyen érzékelési dimenziók változtak a granulálás és szűrés hatására. A hangszövet zajosabb, amit az magyaráz, hogy gyakrabban jelennek meg a zajsávok. Regisztere mélyül és sötétebbnek hat, mivel a mély frekvenciák átlagértéke magasabb, és 10000 Hz felett alig van összetevő. Ennek ellenére keményebbnek érzékeljük a granuláris hangszövetet, ami annak tudható be, hogy a sűrűbben megjelenő szemcsék nagy része zajos, kissé koppanó. Evidens, hogy a granulálás hatására gyorsabbnak lehet hallani a belső tempót, ezáltal erősödik a textúraszerű érzet a gesztusérzet rovására.

A granulálás a sztereó mezőben térben és időben egyenletesen osztja el a monó kiindulási hangot, ezért növekedett a térmozgás dinamikája.

Valamelyest csökkent a beszédszerű hatás, de még nyilvánvalóan érzékelhető a kiindulási hang emberi hang eredete. A kiindulási fájl emberi hangsúlyai izgatottságot sugallnak, a granulálás egyenletessége miatt az új hangzás békésebbnek tűnik.

Mindkét dinamikus fájlt hasonló, véletlenszerű mozgásokat végző videóvezérlés segítségével hoztam létre. Az első 500 frame az a tartomány, ahol csak egy pályán mozog folyamatosan fényes pont (lásd IV-25. ábra), ez meghatározza a véletlen értékek terjedelmét. A IV-37. ábra a pontok összes lehetséges pozícióját egy képen mutatja be, melyen látszik, hogy ezen a szakaszon két ellipszist rajzol ki a fénypont pályája.



IV-37. ábra

A hasznos információ a vízszintes tengelyen a 100. és 600., a függőleges tengelyen pedig a 220. és 440. frame között helyezkedik el. A követési idő, az offset és a lépéstávolság értékeinek változtatásával különböző tempókban lehet ugrálni vagy folyamatos mozgást végezni a két pálya pontjai között. Az offset és a terjedelem

paraméterek együttesen határozzák meg, melyik szakaszból válogat a szoftver, a terjedelem és a lépéstávolság együttes függvénye pedig a sebesség.

Az 1. sz. dinamikus hangszövet (Video01) létrehozásához a véletlenszerű mozgásokat a következő szintézis-paraméterekre térképeztem át a IV-31. ábrán bemutatott mátrix segítségével:

- vízszintes (x) tengely:
 - szemcsék kiolvasásának pozíciója: a vízszintes tengely értékei meghatározzák, hogy a hangfájl melyik szakaszából olvasson ki szemcséket a szoftver. A kiolvasás helyének állandó változtatása biztosítja, hogy a keletkező hang állandó változásban lesz
 - panoráma: lineáris kapcsolatot teremt a videó és a hangzaskép bal és jobb oldala között
- függőleges (y) tengely:
 - szemcsék hossza+követési távolsága: a pontok emelkedése a szemcsék rövidülését eredményezi 200 ms maximális értékről 10 ms minimális értékre
 - aluláteresztő szűrő törésfrekvenciája: a pontok süllyedése a törésfrekvencia 1 kHz-ről 18 kHz-re történő emelkedését okozza.
- sebesség (v): ebben a hangszíntérben nincs szerepe

A IV-35. ábra c) szonogram analízisén követhető, milyen változásokat okozott a hangzás spektrumában az említett paraméterek mozgása. A spektrum felfelé tolódott, nagyobbak a dinamikai különbségek, és a szemcsék hossza nem egyforma. Az érzet profilját a IV-36b ábrán tudjuk összehasonlítani az előző, statikus hangzás profiljával. A hangot kevésbé zajosnak hallani, hangmagasság-regisztere és fényessége is magasabb értékekre tolódott, ennek ellenére nem olyan kemény, mint a statikus fájl. Az érdesség felől a szemcsésebb, simább tartományba mozdul a hangzás, ahol a belső tempó a középértéktől a leggyorsabbig váltakozik. Kis mértékben változó az is, hogy mennyire textúraszerű az érzet. A térmozgások lényegesen dinamikusabbak, hiszen a térben egyenletes szétosztott szemcsék mozgása különböző sebességgel változik a bal-jobb oldalon, melyet hangszínváltozás is követ. A hatás egyre kevésbé emlékeztet az emberi beszédre, inkább csicsergő, a térben könnyedén repkedő madár- vagy rovarszerű élőlényre lehet asszociálni.

A 2. sz. dinamikus hangszövet (Video02) az 1. sz. dinamikus hangszövet paramétereinek kiegészítésével és változtatásával tolódik el a hangszíntérben. A két fájl hangzásában sok a hasonlóság, de a változás elég markáns ahhoz, hogy az új

motívumokat az előző zenei transzformációinak, hangszín-transzpozícióinak lehessen nevezni. Az áttérképezés adatai:

- vízszintes (x) tengely: ugyanaz, mint az 1 sz. fájl esetében
- függőleges tengely:
 - szemcsék hossza+követési távolsága: ugyanaz, mint az 1 sz. fájl esetében
 - aluláteresztő szűrő: a pontok süllyedése a törésfrekvencia 0 kHz-ről 1 kHz-re történő emelkedését okozza
 - sebesség: a torzítást befolyásolja 0 és 20 érték között. 0 esetén nincs hangerő, elhallgat a hang, 1 esetén az eredeti hangerővel, torzítás nélkül szól a hang. 1-10-ig az átlagos hangerő erősödik, és a spektrum fényesedik, telítődik keményedik, 10-20-ig a hangerő nem változik tovább, a spektrum tovább keményedik, és zajossá válik.

A IV-35d ábrán prezentált szonogram nagy elváltozásokat mutat. A spektrumban erőteljes mély frekvenciák, a teljes frekvenciatengelyt lefedő zajsávok és jelentős dinamikai különbségek (csendek és zajos fortissimók) jelentek meg. Ennek oka, hogy az 1 kHz-nél aluláteresztővel megszűrt zajsávot a torzítás magas frekvenciájú zajos összetevőkkel egészíti ki. Ennek következtében, ahogyan az a profil képén (lásd IV-36c ábra) látható, a hangzás zajossá válik, és kitölti a teljes a hangmagasság-regisztert. A többi dimenziók is szélsőséges értékeket vesznek fel, a hangzás jellemzője a sok hirtelen változás, mely a mély frekvenciákkal dúsitott zajoknak és a változásoknak köszönhetően izgatott, agresszív hatást kelt. Az 1. sz. dinamikus hangszöveggel összevetve a hangzás jóval nehezebb, helyenként szinte „ragadós”.

A négy fájlban bemutatott hangzásmotívumok, zenei mozgások között különböző átmenetek alakíthatóak ki, így a hangszínterek megfelelő beállításával és a videóanyag mozgatásával egymással összefüggő hangszín-dallamokat lehet létrehozni, melyek alkalmasak zenei forma létrehozására.

A CT című műből további részletek a Video03 példán hallhatóak, láthatóak.

A hangszer létrehozása – azaz a szoftver megírása – és a hangszínterek kialakítása – azaz a paraméterek elmentése, magasabb szintű egységekbe szervezése – bonyolult folyamat. A befektetett munka célja az élő interpretáció lehetőségének megteremtése olyan környezetben, ami a hagyományos elektroakusztikus zenei stúdiómunkához hasonlóan összetett eredményt képes produkálni. A darab elkészítésének és többszöri előadásának tapasztalata, hogy redukált hangszínterek

komplex vezérlésével a külső, motorikus mozgásrendszer bevonása új szintre emeli az elektronikus zenei realizáció és vele együtt a komponálás lehetőségeit egyesítve a nem jelenidejű stúdiómunka komplexitását az élő mozgás organikusságával. A hangszer lehetővé teszi más művészeti ágak bevonásával új műfajok kialakítását. A CT esetében az animáció és a zene közötti közvetlen kapcsolat biztosította a szinkrézis tudatos irányítását, és a hangbeállítások különböző változatainak segítségével a különböző jelentésterületek irányába mutató metaforikus távolságok kialakítását. Igazi audiovizuó keletkezett, ahol a mozgókép nem különül el, hanem a mű integráns szölamaként funkcionál. A hangszer kialakításának és kezelésének tanulási folyamata tudatos szintre hozta a hangszíndimenziók irányításának módszereit, amivel reményem szerint hozzá tudok járulni az elektroakusztikus zene elméletének fejlődéséhez.

VI. Összegzés, következtetések

A hangszíntér világosan érzékelhető struktúrával rendelkezik. A XX. század eleje óta a zeneszerzés, a zeneelmélet, az akusztika és a pszichoakusztika foglalkozik a szerkezet feltárásával, a tulajdonságok percepció alapú rendszerezésével. Az eddig elvégzett munka alapján nem lehet végleges kutatási eredményekről, lezárt elméletről beszélni. A hangzásdimenziók leírása, szerepük meghatározása a zenei forma kialakításában nagy valószínűséggel még sokáig tárgya lesz az új zenei kutatásoknak. Ennek ellenére születtek meghatározó felfedezések, technológiai újítások, korszakalkotó művek, melyekről fontos időről időre helyzetjelentést készíteni, hogy ki lehessen jelölni a további irányokat.

A hangszíntér struktúrája radikálisan különbözik a hangmagasságétól. A teret alkotó hangszín-dimenziók többségére érvényes, hogy nem végesek, nem rendelkeznek csomópontokkal, a különböző erősségű oldáspontok hiánya miatt nem lehet belőlük modális hangszínskálákat kialakítani, és nem képesek jelentős modulációkra sem. A hangszíndimenziók formateremtő képessége ezért lényegesen kisebb mértékű, mint a hangmagasságé. A hagyományos, diszkrét pontokon alapuló zenei gyakorlat nem alkalmazható a hangszín kezeléséhez, a formateremtő képesség növeléséhez nem elég a hangszíntér egy dimenziója mentén bonyolult struktúrákat létrehozni.

Jól felismerhető és transzformálható hangszínmotívumok létrehozásához több hangzásdimenzió egyidejű változására van szükség. Az egymással összefüggésben lévő időbeni mintázat-változások a hangszíndimenziókon belül rendkívül összetett, organikusan változó érzeteket keltenek. A hangzások belső szerkezetének időbeni változásai biztosítják, hogy a természetes hangok esetén megszokott, komplex információtömeg stimulálja a hallást, melynek eredményeképpen az új, addig sohasem hallott hangok is természetesnek hassanak. Zenei forma létrehozásához a dimenziók csoportos mozgatásának művészetét kell elsajátítani.

A hangzásdimenziók leírására szolgáló ismertetőjegyek mennyisége folyamatosan bővül. Egyelőre nincs végleges, fizikai paraméterekkel vagy verbalizáció segítségével megfogalmazott szabvány, pedig a közös nyelv kialakítása alapvető feladat a hangszínalapú zene elméletének megfogalmazásához. Az első

próbálkozás, az MPEG-7 szabvány, ígéretes kiindulás, bővíthető struktúrája további kiegészítésekre vár.

A dimenziók meghatározására különböző módszerek léteznek. Vannak, amelyeket pontos fizikai értékekkel, másokat szemantikai ismertetőjegyekkel illetve mindkettővel lehet jellemezni. Az akusztikai ismertetőjegyek segítségével precíz, egyértelmű hangzástulajdonságot (például spektrális súlypont) lehet megfogalmazni, ami azonban nagyon sokfajta hangszíntre vonatkozhat. Az ilyen típusú ismertetőjegyből gyakran kezelhetetlenül sokra van szükség a hangzás egyértelmű leírására. Egyedi, speciális hangzástulajdonságok általános megfogalmazásához (például fémes) szükség van a szemantikai ismertetőjegyekre is. A dimenziótípusok együttes alkalmazása jó módszer lehet a komplex érzetek tanulmányozására.

A hangszíntér elemeinek hatékony realizációjához jelenleg elengedhetetlen a hangátalakítás- és hangszíntézis-technikák pontos ismerete. Az egyes technikák segítségével különböző akusztikai, matematikai modellek szerint lehet hangzásjeleket létrehozni, melyeket változtatható paraméterek vezérlésével lehet irányítani. A színtézistechnikák nem minden esetben feleltethetők meg közvetlenül hangzásdimenzióknak. Kezelésükhöz tisztában kell lenni, hogy az egyes módszerek milyen hangszíndimenziók milyen irányú mozgására alkalmasak leginkább.

A hangszíntér nem véges és nem egyenletes, a dimenziók nem azonos szerkezetű folytonosságok. Némelyek a hangmagassághoz hasonlóan, egyenletesen módosulnak, másokban csomópontok, sűrűsödések, ritkulások és töréspontok alakulnak ki. Ennek következménye, hogy az egyes hangzások között nincs tetszőleges irányú átjárás, a hangzástér egyenletes skálázása csak a percepció által kijelölt struktúra figyelembevételével lehetséges.

A kutatások jelenlegi állapota szerint a hangszíntér elvileg végtelen. Összetett hangzások esetén egyelőre gondolatban sem sikerül olyan dimenzióhalmazt, koordináta-együttest képezni, amely a hangszíntérnek csak egy pontját határozná meg. Minden hangszíntípushoz más dimenzió-együttes tartozik, nem lehet minden hangot ugyanazzal a hangszíntérrel definiálni. Annak érdekében, hogy a végtelen hangszíntérben tájékozódni lehessen, és hogy a különböző hangzástípusokhoz a megfelelő dimenzió-együttesek társuljanak, elengedhetetlen a végtelen hangszíntér elvi és gyakorlati redukciója.

A redukált hangszíntér korlátozott számú és kiterjedésű érzékelési hangdimenziót tartalmazó hangszínmátrix. Azok a dimenziók vesznek benne részt

aktívan, amelyek befolyásolják a zenei formát meghatározó hangzások változásait. A redukció érinti a dimenziók számát, kiterjedését, az áttérképezés függvényét és a dimenzió belüli diszkrét lépések mennyiségét.

A redukált hangszintér fogalmi apparátusa jól használható a gyakorlatban a hangszint formateremtő elemként alkalmazó zeneművek analíziséhez. Az egyes hangszíndimenziók elkülönítésével és skálázásával hozzáférhetővé tehetőek a gyakran kísérleti, intuitív módon kialakított hangzó alapanyagok. A megfelelő adatkezelés és a vizualizáció segítségével módszeresen össze lehet hasonlítani a műveket felépítő hangszíneket, így az eddiginél részletesebben feltárható a hangszín-transzformációk szerepe a zenei forma kialakulásában.

Ideális méretű, intelligensen vezérelhető hangzásdimenziókkal rendelkező hangszintézis- és hangátalakító motorok megújíthatják, magasabb szintre emelhetik az elektroakusztikus realizáció és komponálás módját. A redukált hangszintér jó kiindulás tetszőlegesen kombinálható, percepció-alapú moduláris zenei szerkezetek kialakítására. Segítségével komplex interaktív zenei rendszerek alakíthatóak ki, melyek egyesítik a nem jelenidejű elektronikus zenei stúdiók által kínált módszer összetettségét, pontosságát a gesztusvezérlés organikusságával és a közvetlen audio-visszacsatolás élményével.

Hangzásdimenziókkal komponáló zeneszerzők számára nagy kihívás, hogy a feladat nem csupán a zene alkotórészeinek mozgatása, hanem a hangszer (az alkotórészek kombinációja) megalkotása is. Általános rendszerek híján a kompozíció, a mű fontos részét képezi az egyedi instrumentum, manapság leggyakrabban szoftver formájában, melyben a szerző az elképzelt darab kritériumainak megfelelően alakítja ki az előállítható hangzásokat és a vezérlő mozdulatokat, adatsorokat. Ez a feltétel részben felszabadító, részben korlátozó hatással bír. Felszabadító, hiszen segítségével megvalósítható a varèse-i álom, miszerint a „kifejezés új médiumai alávetik magukat a gondolat minden kifejeződésének, és lépést tartanak a gondolatokkal”¹⁷⁵. A korlátozást az jelenti, hogy a zeneszerzőnek birtokában kell lenni a zenével egyébként nem feltétlenül összefüggésbe hozható képességeknek, tudásnak (például programozás, matematika, fizika), hogy képes legyen önállóan megalkotni hangszerét. Lehet, hogy el kell fogadni, hogy az új típusú zene új típusú alkotót feltételez, aki felvállalja a nehezebb, komplexebb ismeretanyag megszerzését. Az is elképzelhető

¹⁷⁵ Varèse, E. – Wen-Chung, C. (1966), 18. old.

azonban, hogy a jövőben – a hangszíntér részletesebb feltárásával – eljön az az idő, amikor a hangzásdimenziókat is a hagyományos zenekarhoz hasonlóan lehet majd hangszerelni, és a zeneszerzőnek „csak” a dimenzióértékek időbeni szervezése lesz a feladata. Ennek feltétele, hogy kialakuljanak olyan általános rendszerek, ahol nem hangszintézistechnikák paramétereivel, hanem közvetlenül, hangzásdimenzió-modulokkal lehet majd a hangszínt formateremtő dimenzióként kezelő zeneműveket komponálni és realizálni.

Bibliográfia

Beauchamp, J. W. (2007)

Beauchamp, James W.: „Analysis and Synthesis of Musical Instrumental Sounds”. In: James W. Beauchamp (szerk.): *Analysis and Synthesis, and Perception of Musical Sounds, The Sound of Music*. New York: Springer Science+Business Media, 2007. 1-89.

Bernard, J. W. (2006)

Bernard, Jonathan W.: „Varèse's Space, Varèse's Time”. In: Felix Meyer, Heidy Zimmermann (szerk.): *Edgard Varèse Composer Sound Sculptor Visionary*, Basel: Paul Sacher Foundation, 2006. 149-155.

Bismarck, G. (1974)

Bismarck, G. von: „Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes”. In: *Acustica* 30 (1974): 146-159.

Blasdel, C. Y. – Kamisangô Y. (1988).

Blasdel, C. Y. – Kamisangô Y. (1988): *The Shakuhachi*. Tokyo: Ongaku No Tomo Sha Corp., 1988.

Burkhart, C. (1973)

Burkhart, Charles: „Schoenberg's Farben: An Analysis of Op. 16, No. 3”. *Perspectives of New Music* Vol. 12, No. 1-2, (1973-74): 141-172.

Cage, J. (1994).

Cage, John: *A csend*. Jelenkor Kiadó Kft., Pécs, 1994.

Campbell, M. – Greated C. (2001)

Campbell, Murray – Greated Clive: *The Musician's Guide to Acoustics*. Oxford University Press 2001.

Castagne, N. – Cadoz C. (2003)

Castagne, Nicolas – Cadoz, Claude: „10 Criteria for Evaluating Physical Modelling Schemes for Music Creation”. In: *Proceedings of the 6th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFX-03)*, London: September 8-11, 2003. [<http://www.elec.qmul.ac.uk/dafx03/proceedings/pdfs/dafx62.pdf>] Letöltve 2010. augusztus 14.

Chion, M. (1994)

Chion, Michel: *Audio-Vision: Sound On Screen*. New York: Columbia University Press, 1994.

Choi, I. Y., Yoon, S. Y., Kim S. W., Sung K-M. (2002).

Choi, In Yong - Yoon, Sung Yong - Kim, Se Woong - Sung, Keong-Mo: „Influence of inharmonicity on the tone of a piano”. In *Proceedings of Forum Acusticum Sevilla 2002*. [<http://www.sea-acustica.es/Sevilla02/mus01009.pdf>] Letöltve: 2011.november 5.

Chowning, J. M. (1973)

Chowning, John, M.: „The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation”. *Journal of the AES*, 21, (1973.) 526-534.

Chowning, J. M. (2008)

-----: „Fifty Years of Computer Music: Ideas of the Past Speak to the Future”. In: R. Kronland-Martinet – S. Ystad - K. Jensen (szerk.): *Computer Music Modeling and Retrieval. Sense of Sounds*. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 1-10.

Chowning, J. M. (2011)

-----: „Turenas: the realization of a dream”. Előadás a Journées d'Informatique Musicale-n. Université de Saint-Etienne, 2011. május 25-27. [http://jim.afim-asso.org/jim11/html/actes/05_johnturenas2b.pdf] Letöltve: 2012. március 5.

Clarke, E. F. (2005)

Clarke, Eric. F.: *The Ways of Listening. An Ecological Approach to the Perception*. Oxford: Oxford University Press, 2005.

Collins, N. (2010)

Collins, Nick: *Introduction to Computer Music*. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

Cornicello, A. (2000)

Cornicello, Anthony: *Timbral Organization in Tristan Murail's Désintégration and Rituals by Anthony Cornicello*. PhD disszertáció, Brandeis University, 2000. [<http://www.anthonycornicello.com/DissIndex.htm>] Letöltve: 2011. június 10.

Donnadieu, S. (2007)

Donnadieu, Sophie: „Mental Representations of the Timbre of Complex Sounds”. In: James W. Beauchamp (szerk.): *Analysis and Synthesis, and Perception of Musical Sounds, The Sound of Music*. New York: Springer Science+Business Media, 2007. 272-319.

Fastl, H. – Zwicker E. (2007).

Fastl, Hugo — Zwicker Eberhard: *Psychoacoustics. Facts and Models*. Berlin:

Springer-Verlag, 2007.

Faure, A. (2000)

Faure, Anne: *Des sons aux mots: Comment parle-t-on du timbre musical?* PhD disszertáció. Ecoles des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 2000.
[<http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/14/05/21/ANNEX/Soutenance-13-12-00.pdf>] Letöltve: 2012. június 12.

Grey, J. M. (1977)

Grey, John M.: „Multidimensional perceptual scaling of musical timbres”. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 61., No. 5., (1977. május), 1270-1277.

Harnad, S. (1987)

Harnad, Stevan: „Psychophysical and cognitive aspects of categorical perception: A critical overview”. In: S. Harnad (szerk:) *Categorical Perception: The Groundwork of Cognition*. New York: Cambridge University Press, 1987.
[<http://cogprints.org/1571/0/harnad87.cpreview.html>] Letöltve: 2008.szeptember 20.

Harnad, S. (2003)

-----: „To Cognize is to Categorize: Cognition is Categorization”. *Paper presented at UQÀM Summer Institute in Cognitive Categorisation*, 2003.
[<http://users.ecs.soton.ac.uk/harnad/Temp/catconf.html>] Letöltve: 2004. szeptember 20.

Jaffe, D. A. (1995)

Jaffe, David A.: „Ten Criteria for Evaluating Synthesis Techniques.” In: *Computer Music Journal* Vol 19, No. 1, Spring, (1995.): 76-87.

Johnstone, B.(1994)

Johnstone, Bob: „Wave of the Future”. In: *Wired Issue 2.03* (1994 március).
[<http://www.wired.com/wired/archive/2.03/waveguides.html>] Letöltve:2012. január 3.

Jure, L. (2004)

Jure, Luis: „Escuchando Turenas de John Chowning”. In: *Musicas al Sur - Número 1 - Enero* 2004 [<http://www.eumus.edu.uy/revista/nro1/jure.html>] Letöltve: 2012. január 23.

Landy, L. (2007)

Landy, Leigh: *Understanding the Art of Sound Organization*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2007.

Lerdahl, F. – Jackendoff, R. (1983)

Lerdahl, Fred – Jackendoff, Ray: *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge: MIT Press, 1983.

Lerdahl, F. (1987)

Lerdahl, Fred: „Timbral hierarches”. In: *Contemporary Music Review* Vol. 2 (1987): 135-160.

McAdams, S. (1984)

McAdams, Stephen: *Spectral fusion, spectral parsing and the formation of auditory images*. PhD disszertáció, Stanford University, 1984.
[<https://ccrma.stanford.edu/files/papers/stanm22.pdf>] Letöltve: 2011. július 2.

McAdams, S. (1989)

-----: „Psychological constraints on form-bearing dimensions in music”. In: *Contemporary Music Review*, Vol. 4, no. 1 (1989): 181-198.
[<http://articles.ircam.fr/textes/McAdams89a/>] Letöltve: 2009. március 22.

McAdams, S. (1993)

-----: „Recognition of auditory sources and events”. In: S. McAdams - E. Bigand (szerk.): *Thinking in sound: The cognitive psychology of human audition*. Oxford: Oxford University Press, 1993. 146-198.

McAdams, S. (1999)

-----: „Perspectives on the Contribution of Timbre to the Musical Structure”. In: *Computer Music Journal*, Vol. 23. No. 3, (1999): 85-102. old.
[<http://www.jstor.org/stable/3681242>] Letöltve: 2011. szeptember 27.

McAdams, S. – Saariaho, K. (1985).

McAdams, Stephen – Saariaho, Kaija: „Qualities and Functions of Musical Timbre”. In: *Proceedings of the 1985 ICMC*. 367-374.

McAdams, S., Windberg, S., Donnadieu, S., De Soete, G., Krimphoff, J. (1995)

McAdams, S., Windberg, S., Donnadieu, S., De Soete, G., Krimphoff, J.: „Perceptual scaling of synthesized musical timbres: common dimensions, specificities, and latent subject classes”.
[<http://articles.ircam.fr/textes/McAdams95a/>] Letöltve: 2010. december 5.

MacCallum, J. – Einbond A. (2007)

MacCallum, John – Einbond A: „Real-time Analysis of Sensory Dissonance”. In: R. Kronland-Martinet - S. Ystad - K. Jensen (szerk.): *Computer Music Modeling and Retrieval. Sense of Sounds*. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 203-211.

Martinez, J. M. (2004)

Martinez, José. M. (szerk.): „MPEG-7 Overview. International Organisation for Standardisation ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Pictures and Audio”. [http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm#E12E46]

Letöltve: 2012. január 5.

Mathews, M. V. (1995)

Mathews, Max V.: „The Digital Computer as a Musical Instrument”. In: *Booklet of WERGO CD 2033-2 Computer Music Currents 13. The Historical CD of Digital Sound Synthesis*. Mainz: Schott Wergo Music Media GmbH, 1995.

Meyer, L. B. (1961)

Meyer, Leonard B.: *Emotion and Meaning in Music*. Chicago: The University of Chicago Press, 1961.

Miranda, E. R. (2002)

Miranda, Eduardo R.: *Computer sound design: synthesis techniques and programming*. Oxford: Focal Press, 2002.

Miranda, E. R. – Wanderley, M. M. (2006)

Miranda, Eduardo R. – Wanderley, Marcelo M.: *New Digital Musical Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard*. Middleton: A-R Editions, Inc., 2006.

Murch, W. (1994)

Murch, Walter: „Foreword”. In: M. Chion: *Audio-Vision: Sound on Screen*. New York: Columbia University Press, 1994. VII-XXIV.

Palombini, C. (1993)

Palombini, Carlos: *Pierre Schaeffer's Typo-Morphology of Sonic Objects*. PhD disszertáció. University of Durham, UK, 1993. [http://etheses.dur.ac.uk/1191/] Letöltve: 2011. március 12.

Pedersen, T. H. (2008)

Pedersen, Torben Holm: *The Semantic Space of Sounds. Lexicon of Sound-Describing Words - Version 1*, DELTA, Denmark. 2008.
[http://www.madebydelta.com/imported/senselab/The_Semantic_Spaces_of_Sounds.pdf] Letöltve: 2012. március 20.

Peeters, G. (2004)

Peeters, Geoffroy: „A large set of audio features for sound description (similarity and classification) in the CUIDADO project”. In: *CUIDADO I.S.T. Project Report*

2004. Paris: IRCAM, 2004. [http://recherche.ircam.fr/equipes/analyse-synthese/peeters/ARTICLES/Peeters_2003_cuidadoaudiofeatures.pdf] Letöltve 2011. április 5.

Pottier, L. (2004)

Pottier, Laurent: Analyse de Turenas, In: Michel de Maule (szerk.): *John Chowning. Portraits Polychromes*, Paris : INA-GRM, 2004.

Pratella, B. (1910)

Pratella, Balilla: Manifesto of Futurist Musician. (1910)

[<http://www.unknown.nu/futurism/musicians.html>] Letöltve: 2011. augusztus 16.

Quackenbush, S. – Lindsay, A. (2001)

Quackenbush, Schuyler – Lindsay, Adam: „Overview of MPEG-7 Audio”

[http://amalia.img.lx.it.pt/~fp/cav/Additional_material/MPEG7_Audio_overview_1.pdf] Letöltve 2012. május 2.

Richardson, C. (2005)

Richardson, Coleen: Edgard Varèse and the Visual Avant-Garde: A Comparative Study of Intégrales and Works of Art by Marcel Duchamp. DMA disszertáció. University of Cincinnati, 2005.

[http://etd.ohiolink.edu/view.cgi?acc_num=ucin1123684300] Letöltve: 2010. december 1.

Rioux V., McAdams S., Susini P., Peeters G. (2002).

Rioux V., McAdams S., Susini P., Peeters G.: WP2.1.3 Psychoacoustic Timbre Descriptors. Projektbeszámoló, IRCAM 2002.

[http://recherche.ircam.fr/projects/cuidado/wg/management/deliverables/IRCAM_WP215_M2.pdf] Letöltve: 2011. március 10.

Risset, J.-C. (1995)

Risset, Jean-Claude: „Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds”. In: *Booklet of WERGO CD 2033-2 Computer Music Currents 13. The Historical CD of Digital Sound Synthesis*. Mainz: Schott Wergo Music Media GmbH, 1995.

Risset, J.-C. (2003)

-----: „Computer Music: Why?” In: *Internet Proceedings of Composers' Forum Austin*

[http://www.utexas.edu/cola/insts/france-ut/_files/pdf/resources/risset.pdf] Letöltve 2012. január 7.

Risset, J.-C. (2004)

-----: „The Liberation of Sound, Art-Science and the Digital Domain: Contacts With Edgar Varèse”. In *Contemporary Music Review* Vol. 23, No. 2, (2004. június): 27-54.

[<http://www.scribd.com/doc/26071168/The-Liberation-of-Sound-Contacts-With-Edgar-Varese-Jean-Claude-Risset>] Letöltve 2010. január 28.

Roads, C. (1985)

Roads, Curtis: „John Chowning On Composition”. In: W. Kaufmann (szerk.): *Composers and the Computer*. Inc. 95 First St. Los Altos, CA., 1985. 17-25.

[<http://www.o-art.org/history/LongDur/Chowning.html>] Letöltve: 2010. május 3.

Roads, C. (1996)

-----: *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, Massachusetts: MIT, 1996.

Rodet, X. - Schwartz, D. (2007)

Rodet, Xavier - Schwartz, Diemo: „Spectral Envelopes and Additive + Residual Analysis Synthesis”. In: James W. Beauchamp (szerk.): *Analysis and Synthesis, and Perception of Musical Sounds, The Sound of Music*. New York: Springer Science+Business Media, 2007. 175-227. old.

Roy, S. (2003)

Roy, Stéphane: *L'analyse des musiques électroacoustiques: Modèles et propositions*. Paris: L'Harmattan, Univers Musical, 2003.

Rowe, R. (1992).

Rowe, Robert: *Interactive Music Systems: Machine Listening and Composing*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1992.

Russolo, L. (2008).

Russolo, Luigi: „The Art of Noises: Futurist Manifesto”. In C. Cox, D. Warner (szerk.): *Audio Culture: Readings in Modern Music*. New York: Continuum, 2008, 10-15.

Saggini, V. (2004)

Saggini, Valerio: *Intonarumori*.

[<http://www.thereminvox.com/article/articleview/116.html>]. Letöltve: 2011. szeptember 10.

Schönberg, A. (1952)

Schönberg, Arnold: Five Pieces for Orchestra. [Score] Peters, Frankfurt, 1952.

Schönberg, A. (1975)

Schönberg, Arnold: „Anton Webern: Klangfarbenmelodie”. In: A. Schönberg:

Style and Idea. London: Faber&Faber, 1975. 484-486.

Schönberg, A. (1978)

-----: *Theory of Harmony*, (trans. Roy E. Carter) Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1978.

Sethares, W. A. (1995)

Sethares, William A.: *Tuning, timbre, spectrum, scale*. London: Springer Verlag, 2005.

Shepard, R. N. (1964)

Shepard, R. N : „Circularity in Judgements of Relative Pitch”. *Journal of Acoustic Society America* 36/12, (1964):2346-2353.

Smalley, D. (1997)

Smalley, Denis: „Spectromorphology: explaining sound-shapes”. In: *Organised Sound* 2(2), (1997): 107–126.

Smalley, D. (2007)

-----: „Space-form and the acousmatic image”. In: *Organised Sound* 12(1), (2007): 35-58.

Solomon, L. N. (1959)

Solomon, Lawrence N.: „Search for Physical Correlates to Psychological Dimensions of Sounds”. In: *Journal of Acoustical Society of America*. Volume 31, Issue 4, (1959): 492-497.

Stockhausen, K. (1996)

Stockhausen, Karlheinz: „Studie I. Electronic Music”. In: *Booklet of Stockhausen Verlag Stockhasuen 3, Elektronische Musik 1952-1960*. (1996)

Strawn, J. (1978)

Strawn, John: „The Intégrales of Edgard Varèse Space, Mass, Element, Form”. In: *Perstectives of New Music*, Vol. 17, No. 1 (1978), 138-160.

Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S. (2011)

Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S.: „Psychological measurement for sound description end evaluation”. [<http://mt.music.mcgill.ca/mpcl/publications/susini-lemaitre-mcadams-2011>] Letöltve: 2012.március 12.

Tenney, J. (1988)

Tenney, James: *A History of 'Consonance' and 'Dissonance'*. New York: Excelsior Music Pub., 1988.

Terhardt, E. (2000).

Terhardt, Ernst: „Research on Audiocommunication”. [<http://www.mmk.e-technik.tu-muenchen.de/persons/ter.html>] Letöltve: 2011. december 12.

Topolski, J. (2008)

Topolski, Jan: *Gérarda Griseya interpretacja muzyki spektralnej*. PhD disszertáció Uniwersytet Warszawski, 2008.

Varèse, E., – Wen-Chung, C. (1966)

Varèse, Edgard – Wen-Chung, Chou: „The Liberation of Sound”. In: *Perspectives of New Music*, Vol. 5., No. 1 (1966): 11-19. [<http://www.jstore.org/stable/832385>] Letöltve: 2010. november 5.

Wen-Chung, C. (1966)

Wen-Chung, Chou: „Varèse: A Sketch of the Man and His Music”. In: *The Musical Quarterly*, Vol. 52, No. 2 (1966): 151-170.
[<http://www.scribd.com/doc/26065226/Varese-A-Sketch-of-the-Man-and-His-Music-Author-s-Chou-Wen-Chung>] Letöltve: 2010. november 5.

Wessel, D. (1978)

Wessel, David: „Timbre Space as a Musical Control Structure”. In: *Rapport IRCAM* 12/78, 1978.

Windsor, W. L. (1995).

Windsor, William Luke: *A Perceptual Approach to the Description and Analysis of Acousmatic Music*. PhD disszertáció City University, Sheffield, 1995.
[<http://www.personal.leeds.ac.uk/~muswllw/pubs/lwthesis.html>] Letöltve: 2010. július 7.

Winkler, T. (1998)

Winkler, Todd: *Composing Interactive Music – Techniques and Ideas Using Max*. Cambridge, MA/London, England: The MIT Press, 1998.

Wishart, T. (1996)

Wishart, Trevor: *On Sonic Art*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers. 1996.

Yaafé-audio features

Yaafé-audio features extraction [<http://yaafé.sourceforge.net>] Letöltve: 2012. január 15.

Zelli, B. (2001)

Zelli, Bijan: *Reale und virtuelle Räume in der Computermusik. Theorien, Systeme, Analysen*. PhD disszertáció. Fachbereich 1 Kommunikations- und Geschichts-

wissenschaften der Technischen Universität Berlin, 2001.

[opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2001/299/pdf/zelli_bijan.pdf] Letöltve:
2012.május 10.

Függelék: hang- és videófájlokat tartalmazó adat CD

Hang01: CT egy szólamú szakasz kiindulási hangja, női suttogás

Hang02: CT: statikus granuláris hangszövet

Video01: CT: dinamikus granuláris hangszövet 1 videóvezérléssel.

Video02: CT: dinamikus granuláris hangszövet 2. videóvezérléssel

Video03: CT: részletek a műből