

Loch Gergely – Szigetvári Andrea

Az elektroakusztikus zene története

A tananyag az elektroakusztikus zene történetét foglalja össze a 18. századi kezdetektől napjainkig.

Elektroakusztikus zenének olyan zenét nevezünk, melyeknek nemcsak rögzítéskor, továbbításakor és lejátszásakor, de létrehozásakor is elektroakusztikus berendezéseket alkalmaznak. A tananyag elsősorban azokkal a szerzőkkel és alkotásokkal foglalkozik, amelyek – kiaknázva az elektroakusztikus berendezések sajátos lehetőségeit – többé-kevésbé újraértelmezik a zene hagyományos fogalmát, azaz nem helyezhetőek el tökéletesen sem az európai klasszikus művészi zene, sem a nyugati populáris zene fogalmi keretei között.

A tananyag tárgyalja az elektroakusztikus zene kialakulásához szükséges technikai eszközök fejlődéstörténetét, valamint bemutatja az elektroakusztikus zene elméleti-esztétikai hátterét képző avantgárd zenei ideológiákat. Áttekintést ad a területen megjelenő különböző műfajokról, a jelentős zeneszerzőkről és műveikről. Tárgyalása időben a 18. századi elektrosztatikus hangszerektől a 21. századi laptop-zenekarokig, térben pedig az európai elektronikus stúdióktól az amerikai és japán elektroakusztikus zenei élet színtereig terjed.

Kulcsszavak: 20. századi zene, zenei avantgárd, hangrögzítés-technika, analóg szintetizátorok, digitális szintetizátorok, konkrét zene, elektronikus zene, akusztikus zene, interaktív zene, hangszintézis-technikák, számítógépes zenei központok, az elektroakusztikus zene társművészetei

BUDAPESTI KOMMUNIKÁCIÓS ÉS ÜZLETI FŐISKOLA



SZÉCHENYI TERV

Typotex Kiadó

2014

COPYRIGHT: © 2014-2019, Loch Gergely, Szigetvári Andrea, Budapesti Kommunikációs és Üzleti Főiskola

Creative Commons NonCommercial-NoDerivs 3.0 (CC BY-NC-ND 3.0)

A szerző nevének feltüntetése mellett nem kereskedelmi céllal szabadon másolható, terjeszthető, megjelentethető és előadható, de nem módosítható.

Lektorálta: Horváth Balázs

ISBN 978 963 279 205 7

Készült a [Typotex Kiadó](#) gondozásában

Felelős vezető: Votisky Zsuzsa

Készült a TÁMOP-4.1.2/A/1-11/1-2011-0010 számú, „Digitális és kollaboratív művészet” című projekt keretében.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszachenyiterv.gov.hu
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

TARTALOM

Bevezetés.....	6
1. A kezdetek	7
1.1. Az elektromosság felfedezése. 18. századi elektrosztatikus hangszerek ...	7
1.2. Az elektromos áram. Az elektromos távközlés 19. századi vadhajtása: az első elektrofon hangszer.....	10
Ellenőrző kérdések:	17
2. Az első szintetizátor, a Telharmonium.....	18
Ellenőrző kérdések:	24
3. A futurista mozgalom	25
Ellenőrző kérdések:	32
4. Arnold Schönberg és Edgard Varèse.....	33
4.1. Arnold Schönberg: Klangfarbenmelodie	33
4.2. Edgard Varèse: A hang felszabadítása.....	36
Ellenőrző kérdések:	39
5. A 20-as évek elektronikus hangszerei.....	40
5.1. Theremin	42
5.2. Ondes Martenot.....	44
5.3. Trautonium	47
Ellenőrző kérdések:	49
6. A konkrét zene	50
6.1. A hangrögzítés rövid története	50
6.2. A konkrét zene.....	54
6.2.1. A konkrét zene kezdetei, első darabjai.....	54
6.2.2. A konkrét zene fogalma, szemlélete	58
6.2.3. Schaeffer és Henry későbbi tevékenysége	59
Ellenőrző kérdések:	62
7. A Kölni Stúdió és Karlheinz Stockhausen.....	63
7.1. A WDR kölni stúdiója	63
7.2. Karlheinz Stockhausen munkássága a kölni stúdióban.....	66
7.3. Ligeti György: Artikulation	70
Ellenőrző kérdések:	71
8. Az amerikai és japán elektronikus zene kezdetei	72
8.1 A Barron-stúdió.....	72
8.2 Elektroakusztikus zene a Columbia és a Princeton Egyetemen.....	75

8.3 Japán	78
Ellenőrző kérdések:	80
9. Az európai elektroakusztikus zenei stúdiók kialakulása	81
9.1. A moduláris szintetizátorok kora	81
9.2. Olaszország	82
9.3. Lengyelország	83
9.4. Hollandia (Philips) és Németország (Siemens)	83
9.5. A BBC Radiophonic Workshop	85
9.6. Svédország	86
9.7. Magyarország	87
Ellenőrző kérdések:	88
10. Független zeneszerzők. Cage, Xenakis, Lucier és Reich	89
10.1. John Cage	89
10.1.1. Cage: William's Mix (1952)	90
10.2. Iannis Xenakis	91
10.2.1. Xenakis: <i>Pithoprakta</i> (1955–56)	93
10.2.2. Xenakis: <i>Diamorphoses</i> (1957)	93
10.2.3. Xenakis: <i>Concrète PH</i> (1958)	94
10.2.4. Az UPIC	94
10.3. Alvin Lucier	94
10.3.1. Lucier: <i>I am Sitting in a Room</i> (1955–56)	95
10.3.2. Lucier: <i>Music On A Long Thin Wire</i> (1977)	96
10.4. Steve Reich	97
10.4.1. Reich: <i>Come Out</i> (1966)	98
10.4.2. Reich: <i>Pendulum Music</i> (1968)	99
Ellenőrző kérdések:	100
11. A számítógépes zene kezdetei	101
11.1. Az Illiac Suite	101
11.2. Max Mathews és a közvetlen digitális szintézis: MUSIC N programnyelvek	103
11.3. Jean-Claude Risset: A számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusa	106
Ellenőrző kérdések:	113
12. Az első számítógépes zenei központok: CCRMA, IRCAM	114
12.1. CCRMA	114
12.2. IRCAM	119
Ellenőrző kérdések:	123
13. A számítógép hatása az elektronikus zenei gyakorlatra I. – Digitális szintézisteknikák és kompozíciók	124

<u>13.1. Szintézisteknikák.....</u>	<u>124</u>
13.1.1. Az additív szintézis	124
13.1.2. Szubtraktív szintézis	125
13.1.3. FM.....	125
13.1.4. Beszédszintézis	126
13.1.5. Fizikai modellezés.....	130
13.1.6 Granuláris szintézis	130
13.1.7 Egyéb technikák.....	131
<u>13.2. Korai, számítógéppel realizált kompozíciók</u>	<u>131</u>
<u>Ellenőrző kérdések:</u>	<u>136</u>
<u>14. A számítógép hatása az elektronikus zenei gyakorlatra II. – digitális vágás, digitális szintetizátorok, mintavevők és sequencerek</u>	<u>137</u>
14.1. A digitális audio munkaállomás (DAW)	137
14.2. A plugin-csomag egy példája, a <i>GRM Tools</i>	139
14.3. Szintetizátorok.....	141
14.4. Mintavevők, sequencerek.....	143
<u>Ellenőrző kérdések:</u>	<u>145</u>
<u>15. Élő elektronikus és interaktív zene. Az elektroakusztikus zene és a társzművészetek.....</u>	<u>146</u>
15.1. Bevezetés	146
15.2. Élő elektronikus zene	147
15.3. Interaktív zene	150
15.4. Az elektroakusztikus zene és a társzművészetek.....	155
15.5. Videopéldák	156
<u>Ellenőrző kérdések:</u>	<u>158</u>
<u>Bibliográfia</u>	<u>159</u>

Bevezetés

Az elektroakusztika az az ismeretkör, mely hangrezgések elektromos jelekké változtatásával, illetve elektromos jelek hangrezgésekké történő átalakításával kapcsolatos. A 21. századra a modern környezetben élő ember zeneélményének uralkodó kellékeivé váltak a hangrögzítés és távközlés elektromos eszközei, ezért az általunk hallott zenék többségéről elmondható, hogy megszólalásuk előtti létük egy vagy több szakaszát elektromos jelként töltik. Elektroakusztikus zenének ezzel szemben csak olyan zenét nevezünk, melyeknek nemcsak rögzítésekor, továbbításakor és lejátszásakor, de létrehozásakor is elektroakusztikus berendezéseket alkalmaznak.

Sőt, az elektroakusztikus zene kifejezést jellemzően ennél is szűkebb értelemben szokás használni, és ebben a szűkebb értelemben használjuk könyvünkben mi is: olyan alkotásokkal kapcsolatban, melyek – kiaknázva az elektroakusztikus berendezések sajátos lehetőségeit – többé-kevésbé újraértelmezik a zene hagyományos fogalmát, azaz nem helyezhetőek el tökéletesen sem az európai klasszikus művészi zene, sem a nyugati populáris zene fogalmi keretei között.

Ebből a meghatározásból következik az az ellentmondásos körülmény, hogy az elektroakusztikus zene történetének áttekintése nem korlátozódhat az elektroakusztikus berendezések használatával létrehozott zenékre. Azon forradalmi esztétikai elképzelések ugyanis, melyek a 20. század közepe óta az elektroakusztikus zenében találták meg megvalósulásuk és továbbfejlődésük legalkalmasabb közegét, részben már a 20. század első felében megszülettek olyan alkotók gondolataiban, akiknek művészi tevékenysége többnyire semmilyen kapcsolatban nem állt az elektromossággal – róluk szól a 3. és 4. fejezet. Mérnök kortársaik ugyanakkor olyan elektrofon hangszereket építettek, melyek – az általunk választott szűkebb értelemben – általában még nem alkalmasak elektroakusztikus zene létrehozására, technikátörténeti jelentőségük és érdekességük mégis megköveteli, hogy foglalkozzunk velük – erre az 1., 2. és 5. fejezetben kerül sor.

Elbeszélésünk tehát kezdetben két külön vágányon fut, egy esztétikain és egy technikátörténetin, s e két vágány csak a 6. fejezetben egyesül.

1. A kezdetek

1.1. Az elektromosság felfedezése. 18. századi elektrosztatikus hangszerek

Történetünk körülbelül 150 millió évvel a mai ember kialakulása előtt kezdődik, ekkor jelentek meg ugyanis a Földön a fenyőfélék. Ragacsos váladékuk, a gyanta kétféleképpen is fontos szerepet játszott a zenetörténetben: közvetlenül, illetve sokszoros áttétellel. Közvetlen szerepe a vonós hangszerek kialakulásában volt – a gyanta zsírmentesítő, tapadást segítő hatása nélkül a vonó nem működne –, áttételes befolyást pedig megkövesedett formája, a borostyánkő révén gyakorolt.

Az ókortól kezdve számtalanszor megfigyelték, hogy a borostyán – ógörög nevén elektron – megdörzsölése után magához vonzza a közvetlen környezetében lévő apró szemcséket, rostszálakat. William Gilbert (1544–1603) angol fizikus ezt a fajta vonzerőt *electricus*nak, azaz *borostyánkő-szerű*nek nevezte el. A vonzerőt okozó töltés számszerűsíthető egységeit 1894 óta nevezzük ugyanúgy, mint ahogy a görögök nevezték a borostyánkövet¹, 1897 óta pedig tudjuk róla, hogy ezek az egységek elemi részecskékkel azonosak.² Hogy ezek az elemi részecskék – az elektronok – pontosan micsodák, és mitől olyanok, amilyenek, azzal kapcsolatban ma is még csak feltételezéseink vannak, ez azonban nem akadályoz meg minket abban, hogy e részecskéket különféle gyakorlati célokra használjuk fel, köztük zenei célokra is.

Az elektromossággal kapcsolatos kísérletek, melyek a borostyánkő dörzsölésével kezdődtek, a 18. század végéig nem léptek ki a sztatikus – magyarul álló, tehát nem áramló – elektromosság köréből. Benjamin Franklin (1706–1790) amerikai polihisztor 1752-ben kísérletileg bizonyította, hogy a viharos égből lecsapó villámokat is ugyanolyan töltés okozza, mint amit dörzsöléssel előállított – s ezzel egyúttal a villámhárítót is feltalálta. Mivel Franklin muzsikus is volt – hegedűn, hárfán és gitáron játszott, komponált, valamint ő fejlesztette ki az üvegharmonikát –, nem meglepő, hogy elektromos kísérleteiben is szerepet adott a hangoknak. Az egyik demonstrációs eszköze három felfüggesztett csengőből és a közöttük függő két fémgolyóból áll – a golyók és a középső csengő elektromosan szigetelő zsinóron, míg a két szélső csengő vezető láncon lóg (1.1. ábra). Ha a középső csengőt elektromosan feltöltött testhez érintjük, a golyók elkezdenek ide-oda verődni a csengők között. A csilingelés addig tart, míg a középső

¹ Az elektron elnevezés George Johnstone Stoney (1826–1911) ír fizikustól származik.

² Joseph John Thompson (1856–1940) angol fizikus felfedezése nyomán.

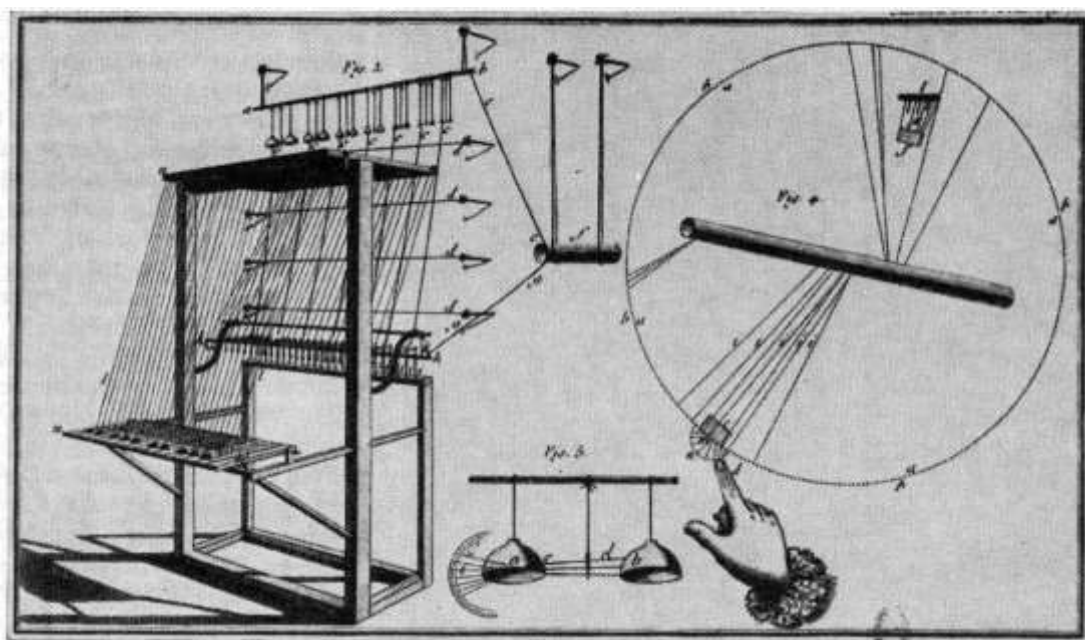
csengő összes töltéstöbblete el nem vezetődik a szélső csengőkön és az állványon keresztül, a golyók közvetítésével.



1.1. ábra: Benjamin Franklin csengője

Franklinnel egy időben az övéhez hasonló kísérleteket folytatott a cseh premontrei szerzetes, teológus és természettudós, Václav Prokop Diviš (1698–1765) is. Amerikai társától függetlenül ő is feltalálta a villámhárítót, és valamikor 1730 és 1762 között olyan hangszert épített, mely feltehetőleg hasonló elektrosztatikus elven működött, mint Franklin csengői – legalábbis részben. Az instrumentumot a *Denis d'or*, magyarul *Arany Dénes* névre keresztelte, utalva saját családnevére – a Dénes, a Denis és a Diviš egyaránt a Dionüszosz származékai. A hangszer fennmaradt ismertetéséből kiderül, hogy 790 elektromosan feltölthető húrja volt 14 regiszterbe csoportosítva, s hogy különféle húros hangszereket, sőt még fúvósokat is lehetett vele utánozni. A hangkeltés módja vagy módjai pontosan nem ismertek, azt ellenben tudjuk, hogy a tréfás hajlamú egyházfi egy titkos kallantyú segítségével áramütésekkel lepte meg a hangszer mindenkori gyanútlan játékosát.

A 18. század általános kíváncsisága az elektromosság iránt Jean-Baptiste Thillaie La Borde (1730–1777) francia jezsuita szerzetest és fizikust is magával ragadta. *Clavessin électrique*, azaz elektromos csembaló nevű hangszere, mely ma a párizsi Bibliothèque Nationale-ban található, két oktávban kromatikusan hangolt Franklin-csengőkből áll – tehát voltaképpen nem csembaló. Ez az első jól dokumentált elektrosztatikus hangszer, ismertetését maga a feltalálók tette közzé 1761-ben *Le clavessin électrique, avec une nouvelle théorie du mécanisme et des phénomènes de l'électricité* cím alatt. A műben La Borde találmánya hangját az orgonák tremoló-regiszteréhez hasonlítja, és beszámol arról, hogy a szikrák miatt milyen nagyszerű látványt nyújt szerkezete, mikor sötétben zenélnék rajta (1.2. ábra).



1.2. ábra: La Borde elektromos csembalója

A modern organológia a hangszereket a rezgések forrásai szerint csoportosítja. Diviš instrumentumában húrok rezegnek, ezért a kordofonok közé tartozik, La Borde hangszerében pedig csengők szólalnak meg, ezért az idiofonok közé soroljuk. Egyiket sem nevezhetjük elektrofonnak, mivel nem hoznak létre hangrezgésre alakítható elektromos rezgéseket. Szigorúan véve ezért nem is tartoznak elektroakusztikus történetünkhöz, csupán az elektromosság zenei alkalmazásának történetéhez.

E 18. századi kísérletekkel kapcsolatban mégis megfigyelhetünk két olyan vonást, mely a valódi elektrofon hangszerek történetét is végigkísérte. A Denis d'or egyik csodálatos tulajdonsága az volt, hogy számos más hangszer hangját tudta utánozni. Ez a részben vélt, részben valós kaméleonjelleg, ez a többi hangszert felülmúlni látszó képesség az oka, hogy az orgonát a hangszerek királynőjeként szokás emlegetni – és ebben rejlik az elektronikus hangkeltés egyik vonzereje is.

A másik vonás, mely egyaránt megfigyelhető Diviš és La Borde munkáinak leírásában, a technikai újdonságok iránti naiv lelkesedés, melynek indikátorai a bájos külsőségek: a „megrázó” tréfa és a látványos szikrák. Ahogy a sztatikus elektromosság körüli kísérletek a 18. században, úgy az elektroakusztikus zene eszközei is nagy technikai újdonságoknak számítottak a médium történetének minden korszakában. Az újdonságokat kísérő izgatottság és csodálat megkehlhetetlen tényezője a médiumban alkotott művek létrejöttének, s még inkább fogadtatásának.

1.2. Az elektromos áram. Az elektromos távközlés 19. századi vadhajtása: az első elektrofon hangszer

Elektrofon hangszerek nem létezhetnének folyamatos elektronáramlást biztosító eszközök, azaz áramforrások nélkül. Az első áramforrás a galvánelem volt – ez Luigi Galvani (1737–1798) olasz fizikus után kapta nevét, pedig valójában egy másik olasz fizikus, Alessandro Volta (1745–1827) találta fel 1800-ban. Volta megismerte Galvani állati elektromossággal kapcsolatos kísérletét és a kísérleti eredményekre adott magyarázatát – ezután építette az első galvánelemet abból a célból, hogy segítségével megcáfolja a Galvani-féle magyarázatot. Volta cáfolata sikerült, mindennapi életünkre azonban nagyobb hatása lett munkája melléktermékének, az áramforrásnak.

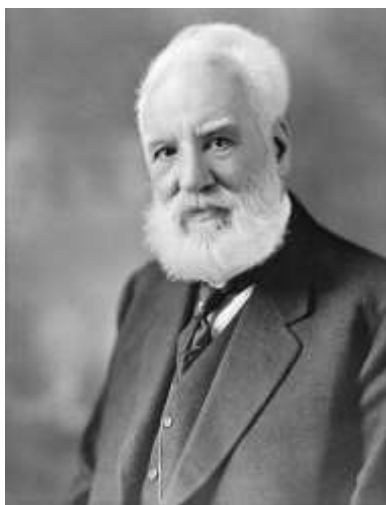
Míg a galvánelemek vegyi úton állítanak elő elektromosságot, addig a generátorok az elektromosság, mágnesesség és mozgás kapcsolatát használják fel áramtermelésre. Az első, gyakorlati célokra is használható generátort, a dinamót Jedlik Ányos (1800–1895) magyar bencés-rendi szerzetes és fizikus találta fel 1827-ben. Az 1880-as években kezdtek kiépülni az elektromos hálózatok, ezek áramellátását a kezdetektől máig túlnyomórészt generátorok biztosítják.

Hogy az emberi evolúció során a nyelv vagy a zenéé volt-e az elsőbbség, arról Darwin óta vitatkoznak a tudósok. Az azonban kétségtelen, hogy a modern ember mindennapi szükségleteinek rangsorában a nyelvi közlés megelőzi a zenét – ahogy ezt az elektromos áram kultúrtörténete is kiválóan illusztrálja. Az első elektroakusztikus zenei berendezések ugyanis a villamosított távközlés, azaz a távíró és a távbeszélő technológiáinak kifejlesztésekor, azok vadhajtás-szerű melléktermékeiként, illetve speciális alkalmazásaiként jöttek létre – egyetlen korai elektrofon hangszer kivételével, amely viszont a közvilágítás fejlesztésének mellékterméke volt.

Az elektromos távíró az áram mágneses hatására épít: ha a vezeték egyik végén változtatjuk az áramerősséget, a másik végén megmozdul az elektromágneses jelzőkészülék mutatója. Az első ilyen elven működő telegráfot Pável Lvovics Silling (1786–1837) német származású orosz diplomata készítette Szentpéterváron 1832-ben. Samuel Finley Breese Morse (1791–1872) amerikai festőművész ugyanebben az évben gondolt ki egy olyan távírót, mely a mutató mozgásait ceruza és papír segítségével rögzíti. Az 1830-as évek első felében több hasonló találmány született, mindegyiknek közös tulajdonsága, hogy a jeleket vizuálisan jeleníti meg, illetve, hogy azokat két állapot, a „van áram” és a „nincs áram” váltakoztatása által közvetíti.

Az utóbbi tulajdonság hátránya, hogy egy vezetéken egyszerre csak egy üzenetet lehet továbbítani. Ennek a hátránynak a leküzdésére dolgozta ki Alexander Graham Bell (1847–1922) amerikai feltaláló (1.3. ábra) azt a módszert, melyet az Egyesült Államok Szabadalmi Hivatala 1875. április 6-án regisztrált 161.739-es

szám alatt, *Improvement in Transmitters and Receivers for Electric Telegraphs* címen. Míg Morse rendszerében a jeleknek a „nincs áram”, az őket elválasztó szüneteknek pedig a „van áram” állapota felel meg, addig Bell módszere a jelet elektromos rezgésnek felelteti meg. Egy elektromágnes magához húz egy rugalmas fémnyelvet; a fémnyelv emiatt megszakítja az elektromágnest működtető áramkört; az elektromágnes emiatt elengedi a fémnyelvet; a fémnyelv, visszatérve kiindulási helyzetébe, újra zárja az áramkört – és a folyamat kezdődik előről (ugyanezen az elven működik az elektromos iskolacsengő, vagy a régebbi villamosok és autóbuszok berregője is). Az áramkör ekképp szabályos ütemben újra és újra megszakad, azaz periodikus elektromos rezgés áll elő – ennek frekvenciáját a fémnyelv hosszúsága és vastagsága határozza meg.



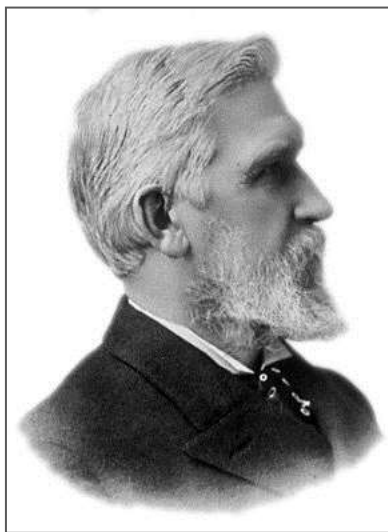
1.3. ábra: Alexander Graham Bell (1914–19. körül)

Bell adókészüléke több ilyen elektromechanikus oszcillátort alkalmaz, melyek mindegyikéhez külön jeladó billentyű tartozik, és mindegyik a többitől különböző frekvencián kezd rezegni, ha billentyűjét lenyomják. A vevőkészülék a rezonancia elvén működő szűrőkből áll – minden egyes szűrő csak egyetlenre reagál az adóállomás különböző frekvenciái közül, s csak annak hatására kezdi el mozgatni a hozzá kapcsolt írókart, amely a jeleket papírra rögzíti. Ahány oszcillátor és szűrő, annyi független csatornán lehet üzeneteket továbbítani egyazon vezetéken keresztül.³

Az 1870-es évek második felében Bell nagy riválisa a távírófejlesztés terén egy másik amerikai feltaláló, Elisha Gray (1835–1901) volt (1.4. ábra). Míg Bell imént ismertetett szabadalma a párhuzamos üzenettovábbítás problémájával kapcsolatos, addig Gray néhány hónappal később, 1875. július 27-én védettséget nyert találmánya azzal foglalkozik, hogyan lehet megszólaltatni az elektromechanikus oszcillátorokkal előállított távíró jeleket. Maguk az oszcillátorok az adóállomáson jól hallhatóan berregtek a fémnyelvek gyors ide-oda csapódásának

³ Számos modern távközlési eszköz működésének alapja a kommunikációs csatorna ehhez hasonló felosztása különböző frekvenciákra, ill. frekvenciasávokra.

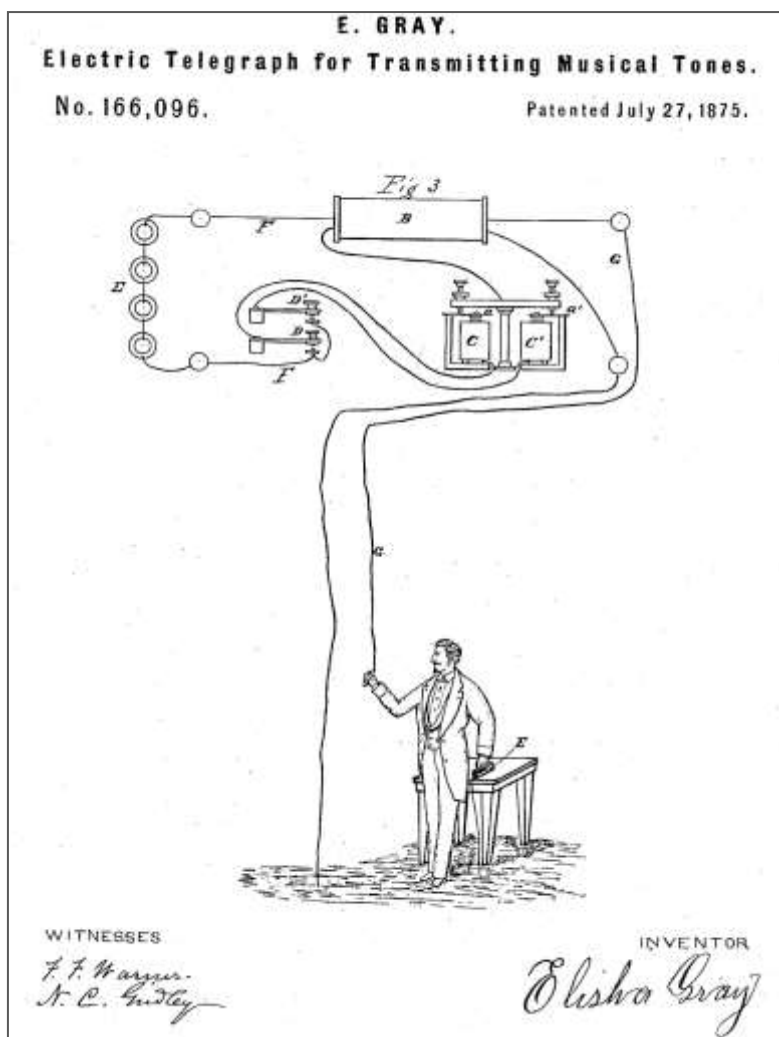
köszönhetően – a kérdés csak az volt, hogyan lehet a berregéssel megegyező frekvenciájú, nem hallható elektromos rezgést a vevő oldalán hallhatóvá alakítani.



1.4. ábra: Elisha Gray (1878)

Ez az elektroakusztika legalapvetőbb kérdése, s rá Gray az eszközeivel játszó-kísérletező unokaöccsének köszönhetően kapott választ. Ifjabb rokona az egyik kezével megfogta egy működő elektromechanikus oszcillátor kivezetését, a másik kezével pedig megsimogatott egy cinkbevonatú fürdőkádat – s a fürdőkád az oszcillátor frekvenciáján „dúdolni” kezdett. Gray említett szabadalma, mely a 166.095-ös számot és az *Electric Telegraph for Transmitting Musical Tones* címet viseli, szinte egy az egyben tükrözi ezt a kísérletet, és az eszköz kevésbé praktikus voltával megmosolyogtatóan érzékelteti a felfedezés örömet (1.5. ábra). A szabadalmi hivatal először vissza is utasította Gray védelmi kérelmét, mondván, nem láttak még olyan áramkört, amelynek élő ember lenne az egyik alkatrésze.

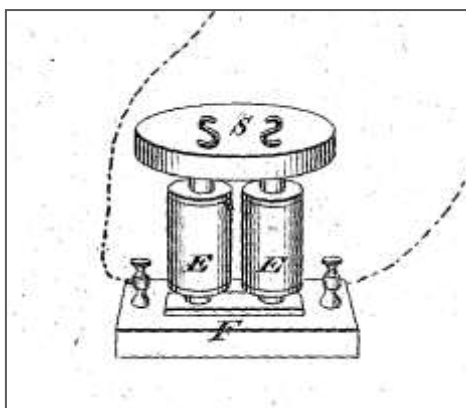
A szabadalmi leírásban a fürdőkádat az asztalon látható (E) földelt bádoghenger helyettesíti. Az elektromos rezgéseket a (C)+(a), és a tőle eltérően hangolt (C')+(a') elektromechanikus oszcillátorok adják, melyeket a (D) és (D') billentyűkkel lehet működésbe hozni. Ezen a hangkeltő eszközön tehát csupán kétféle hang egyidejű vagy egymás utáni megszólaltatása lehetséges – ebből is látható, hogy Gray ezen a ponton még nem gondolt zenei alkalmazásra, a cím *musical tone* elnevezése csupán a hangfrekvenciás periodikus rezgés szinonimája. Gray a leírás szerint abban látta készüléke hasznát, hogy általa az írott Morse-jelek megfelelő hosszúságú hangjelzésekkel helyettesíthetők – elgondolása a későbbiekben valóban gyakorlati alkalmazásra lelt. Ugyanakkor felvetette egy olyan alternatív jelrendszer ötletét is, melyben az egyes betűknek néhány hangból álló dallamok felelnek meg – ezt az ötletét a gyakorlat nem tudta hasznosítani.



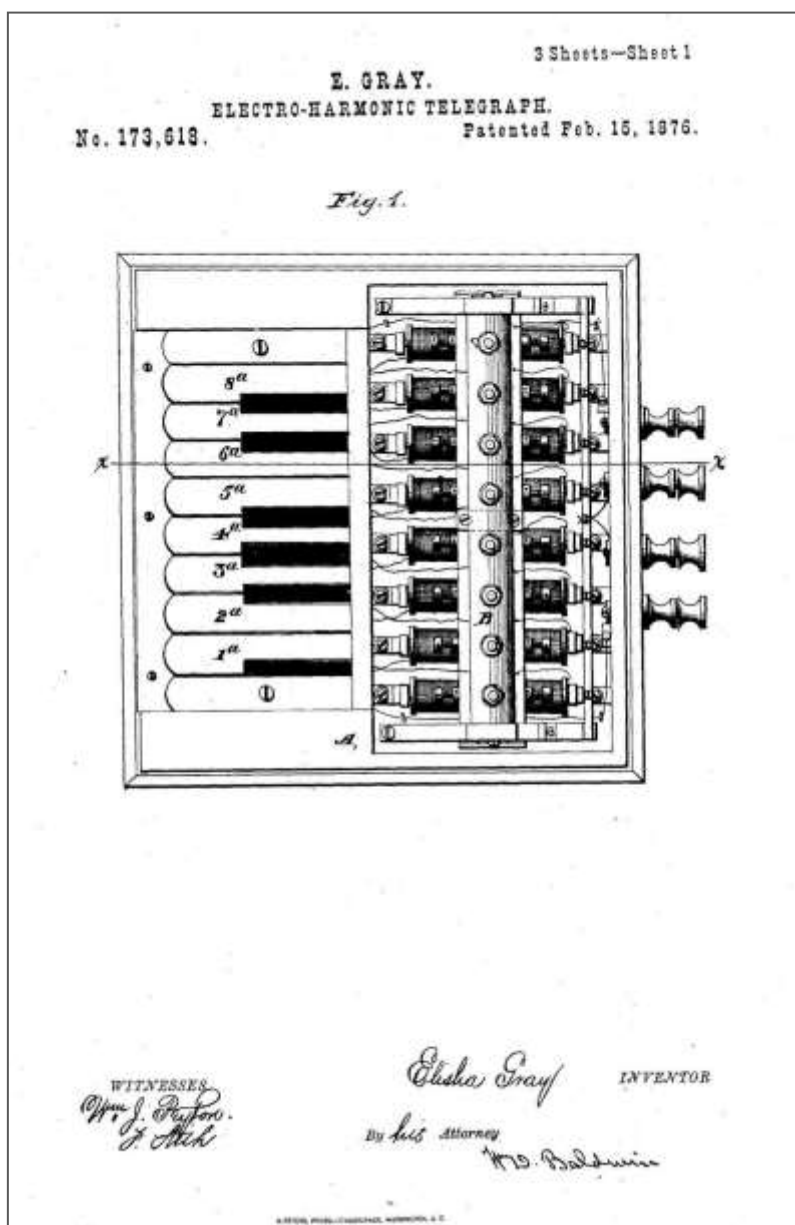
1.5. ábra: Illusztráció Elisha Gray első elektroakusztikai szabadalmából

Mivel a kérelmét először visszautasították, Gray az elgondolás fejlesztésébe kezdett. Rájött, hogy az üreges fémhengert nemcsak az áramkörbe kötött emberi kéz, hanem elektromágnesek is rezgésbe hozhatják. Így jött létre az őshangszóró (1.6. ábra), melynek elvén a ma legelterjedtebb papírmembrános hangszórók is működnek. Graynek először ezt az elgondolást sikerült szabadalmaztatnia 1875. július 27-én, 166.095-ös számon. Ezután mégis elfogadták az élő embert alkalmazó áramkör tervét, melyet így 166.096-os szám alatt regisztráltak – tehát a kezdetlegesebb ötlet kapta a magasabb számot.

Úgy tűnik, Grayben csak fél évvel később tudatosult, hogy a fenti találmány zenei célokra is használható. Az 1876. február 15-én, 173.618-as számon bejegyzett *electro-harmonic telegraph*, melyet a leírás *electrical organ*nak is nevez, az első tudatosan hangszerként elképzelt elektroakusztikus készülék. Az előző két szabadalomtól technikailag lényegében csak annyiban különbözik, hogy a zongoráéval azonos alakú és elrendezésű billentyűket használ, és egy oktáv terjedelmű diatonikus skála megszólaltatására képes, tehát nyolc oszcillátorral rendelkezik (1.7 ábra). Gray felhívja rá a figyelmet, hogy a megszólaltatható hangok száma az oszcillátorok szaporításával tetszőleges mértékben növelhető.



1.6. ábra: Gray őshangszórója a 166.095 számú szabadalomból
E = elektromágnesek, S = üreges fémhenger



1.7. ábra: Gray elektromos orgonájának szabadalmi leírása

A hangszert egy évvel később mutatták be a nyilvánosság előtt. 1877. április 5-én a következő hirdetés jelent meg az *Evening Star* című washingtoni napilapban: „Lincoln Hall. Telefon koncert. Zene átvitele telegráfon. Az amerikai tudomány diadala. [...] Az első nyilvános előadásra Elisha Gray professzor csodálatos telefonján Washingtonban hétfő este, április 9-én kerül sor. Zenei dallamokat adnak majd elő Philadelphiában, s a közönség Washingtonban tisztán fogja őket hallani.”

A kétszázharminc kilométeres távolságot áthidaló, történelmi jelentőségű mutatvány önmagában nem tudott kitölteni egy egész koncertműsort, ezért előtte és utána szólóénekesek és zongoristák klasszikus zenei számokat adtak elő. Gray találmányának bemutatásáról így adott hírt címlapján a washingtoni *National Republican* április 10-i száma:

„Az első rész végén a hangversenyzongora fedelét lecsukták, két fiatalember felemelte a telefon „vevő” berendezését és a zongorára helyezte, majd pedig egy kábelt csatlakoztattak hozzá, ekképp közvetlen összeköttetést teremtve az „adó” berendezéssel, melyet F. Boscovitz úr felügyelt a Western Union Telegraph Company philadelphiai irodájában.

Ezt követően egy telegráfkezelő jelent meg, és elfoglalta helyét a korábban említett kis asztalnál. Rögtön ezután egy magas, vékony, szakállas úriember lépett elő. Ez volt Gray professzor, a telefon feltalálója. A professzor kinyilvánította, hogy nem kívánja a telefont nagyszerű hangszerként beállítani, és ha bárki arra számít, hogy pompás zenét fog hallani, azt előre tájékoztatja, hogy csalódni fog. A maga területén kétségkívül zseniális professzorról nem állítható, hogy bővében volna a szónoki tehetségnek. Szétfolyó, összefüggéstelen és hibás nyelvezetű beszédében, melynek se fülét, se farkát meg nem találhattuk, a professzor arra vállalkozott, hogy tudományos alapossággal magyarázza el a telefonnal kapcsolatos sokféle dolgokat. Ezt a kínzást azonban túl sokáig nem folytathatta, mert a közönség türelmetlen lett, és csendesen hangot adott érzéseinek.

A professzor nem késlekedett a célzás tudomásul vételével, és bevezető gondolatainak lezárásaképpen a legnagyobb csöndet rendelte el. Ezután megkérte a telegráfkezelőt, tájékoztassa Boscovitz urat Philadelphiában, hogy minden készen áll, és hogy nekikezdhethet. Három vagy négy másodpercen belül a tágas terem minden részében hallhatóvá váltak a „Home, Sweet Home” első hangjai, a dallamot tökéletesen fel lehetett ismerni.

A legjobban úgy tudjuk leírni a telefon tegnap hallott zenéjét, hogy egy orgona hangjához hasonlítjuk, mely orgonán lassan, egy ujjal játszanak. A magasabb hangok meglehetősen gyöngék voltak. A közönség végig a legnagyobb csöndben maradt, és a végén hosszú és lelkes volt a taps. A program hátralévő számai a megadott sorrendben hangzottak el, mind ugyanolyan sikerrel, a következőképpen:

1. Home, Sweet Home,
2. Come Genil--Don Pasquale,
3. Then You'll Remember Me--(Bohemian Girl),
4. The Last Rose of Summer,
5. M'Appari, Romance--(Martha),
6. The Carnival of Venice.

A bemutató végén minden jelenlévő ítélete a leghízelgőbb volt e készülékről, melyet a modern idők legnagyobb találmányai közé sorolhatunk.”

A két újságrészletben feltűnő a *telefon* szó mai ember számára szokatlan használata: a kifejezés ekkor még általában jelentett hangok távolba juttatására képes készüléket, jelen esetben Gray fent leírt hangszerét. Nem volt még elég idő arra, hogy jelentése a beszédet közvetítő szerkezetre szűküljön le, mert az első ilyen eszközök szabadalmi leírásait csak egy évvel korábban adta le a hivatalban Elisha Gray és Graham Bell. Történetünkben betöltött későbbi jelentőségük miatt röviden ezekre is ki kell térnünk.

A két feltaláló egymástól függetlenül nyújtotta be a mai értelemben vett telefon technológiájának szabadalmi kérelmeit 1876 Valentin napján, február 14-én. Végül Bell leírása nyert védettséget (1876. március 7-én, 174,465-ös szám alatt) – egy elterjedt legenda szerint azért, mert Gray két órával később ért a hivatalba. Az amerikai jog azonban nem a kérelem leadásának sorrendjét, hanem a feltalálás elsőbbségét veszi figyelembe, s Bell győzelmének valódi oka jóval bonyolultabb és bizonytalanabb, mint a legendában.

A telefon egyetlen újdonsága a korábban ismertett találmányokhoz képest a levegő hangrezgéseinek – emberi hangnak, akusztikus hangszerek hangjának – elektromos rezgéssé alakítása, mai szóval a mikrofon beiktatása. Bell találmányának mikrofonja azon a felismerésen alapszik, hogy a fent bemutatott őshangszóró fordítva is működhet: nemcsak az elektromágnes okoz mechanikus rezgést a fémlemezben, hanem a fémlemez hangok által előidézett rezgései is létrehozhatnak elektromos rezgéseket az elektromágnesben, mely rezgések aztán a már ismert módon visszaalakíthatóak hanggá a vevő oldalán.

Ezzel szemben Gray mikrofonjában, az úgynevezett vízmikrofonban egy membránról lelógó pici fémrúd elektromosan vezető oldatba nyúlik; a membrán rezgései hatására a rúd hol kisebb, hol nagyobb mértékben merül bele az oldatba, gyorsan változtatva ezáltal az elektromos ellenállást, s létrehozva a hangrezgésnek megfelelő elektromos rezgést. A további fejlődés szempontjából az utóbbi megoldás bizonyult hasznosabbnak: Gray vízmikrofonjával azonos elven, az ellenállás rezgések okozta gyors ingadozásán alapszik Thomas Alva Edison szénmikrofonja, melyet a telefonokban az 1980-as évekig használtak.

A kétféle technológia tehát elvileg párhuzamosan is levédethető lett volna, Bell azonban még a leadás napján kiegészítő megjegyzéssel látta el a saját beadványát, melyben Grayéhez hasonló mikrofont írt le, mint eredeti elektromág-

neses mikrofonjának alternatíváját. Ez és néhány további körülmény felveti az ötletlopás gyanúját – ténye azonban máig nem bizonyított.

Ellenőrző kérdések:

1. Hogy működik a Franklin-csengő?
1. Mi a neve Jean-Baptiste Thillaie La Borde hangszerének?
2. Milyen távközlési eszközből fejlődött ki az első elektrofon hangszer?
3. Ki találta fel az első elektrofon hangszert?
4. Mire jött rá Elisha Gray az unokaöccse segítségével?

2. Az első szintetizátor, a Telharmonium

Az első elektroakusztikus koncert helyszínét, a Lincoln Hallt tíz évvel később már nem találtuk volna meg Washingtonban – az épület 1886-ban leégett. Hasonló sorsra jutott Elisha Gray hangszere is: az instrumentumnak a tíz évvel későbbi zeneélet dokumentumaiban már nem leljük nyomát. Ez azzal magyarázható, hogy nem volt közvetlen továbbfejlesztése – egyébként egyetlen későbbi, ma már klasszikusnak számító elektrofon hangszerben sem használtak a fent megismert-hez hasonló elektromechanikus oszcillátorokat.

Az *electro-harmonic telegraph* ugyanakkor fontos lépcsőfoka és katalizátora volt annak a technológiai fejlődésnek, amely a modern értelemben vett telefonkészülék és telefonhálózat kialakulásához vezetett – s közvetlenül ez utóbbiakkal összefüggésben született meg a zenetörténet második jól dokumentált elektrofon hangszere, Thaddeus Cahill (1867–1934) amerikai feltaláló legfontosabb alkotása, a *telharmonium*.



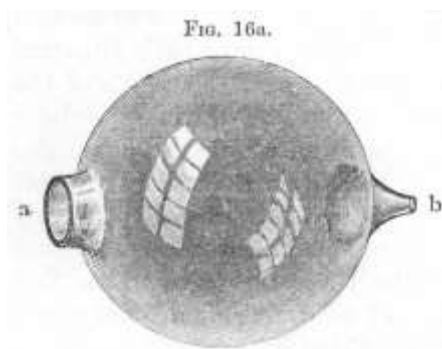
2.1. ábra: Thaddeus Cahill

Cahillt (2.1. ábra) gyerekkorától foglalkoztatta a technika. 13 éves kora körül telefonalkatrészeket rendelt a Bell társaságtól, hogy azokkal kísérletezzon, de kérését visszautasították. Különösen a zene átvitelének problémája érdekelte – a hangszerek hangja ekkor még csak nagyon gyengén és torzan szólt a telefonké-

szülékeken át. Az is foglalkoztatta, hogyan lehetne meghaladni az egyes hangszerek korlátait: jellemző, hogy 18 éves korában szerzett első szabadalma az orgonabillentyűkre szerelhető szélnyomás-szabályozó szelep volt, mellyel az egyes regiszterek szűkös dinamikai lehetőségeit kívánta bővíteni.

E szabadalom megszerzésének évében, 1885-ben már másodszor adták ki angol fordításban Hermann von Helmholtz (1821–1894) német orvos és fizikus *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, azaz *Értekezés a hangérzetekről, mint a zeneelmélet fiziológiai alapjáról* című művét, melynek német eredetije 1863-ban jelent meg.⁴

Helmholtz gömbölyű, szűk szájú edényekkel kísérletezett, melyeket ma Helmholtz-rezonátoroknak hívunk (2.2. ábra). Rájött, hogy minden ilyen edény csak egy, a térfogatával arányos rezgésszámú hangra rezonál, így a segítségével észlelhető a kérdéses hangmagasság jelenléte valamely összetett hangban. Helmholtz megfigyelte, hogy a hangvillát leszámítva valamennyi akusztikus hangszer összetett hangot produkál, s a bennük jelenlévő különböző, szinuszgörbe formájú részhangok rezgésszáma és erősségeik aránya határozza meg, hogy milyen hangszínt érzékelünk. A rezgő légoszlopok és húrok – s a húrok egy speciális fajtája, az emberi hangszalagok – esetében a részhangok rezgésszámai között egész számok arányai mutatkoznak, ezt harmonikus részhangsornak hívják. Az 1-es számnak megfelelő a legmélyebb részhang, más néven alaphang, ezt érzékeljük a legerősebben, s a kottafejek is az alaphangok magasságára utalnak.



2.2. ábra: Egy Helmholtz rezonátor

A hangvilla hangja az elképzelhető legsemlegesebb színű, lévén csak egyetlen részhangból áll. Helmholtz könyvében olyan kísérleti hangszerről számolt be, amelyben elektromágnesek egész számoknak megfelelő rezgésszám-arányú hangvillákat szólaltatnak meg, s a hangvillák közvetlen közelében a hangjuknak megfelelő méretű, azt fölerősítő rezonátorok vannak. A rezonátorok nyílásának kisebb-nagyobb mértékű eltakarásával vagy kinyitásával változtatni lehet a

⁴ A művet Alexander John Ellis fordította angolra, először 1875-ben; az 1885-ös fordítást jegyzetekkel is ellátta. Ellis alkotta meg az apró hangmagasság-különbségek mérését lehetővé tevő cent-rendszert is.

különböző hangok erejét, s ekképp a hangvillák összessége által létrehozott összetett hang színét. Helmholtz ezzel a kísérleti eszközzel az emberi beszéd magánhangzóit igyekezett utánozni, de lehet vele imitálni különféle hangszereket is: fuvolaszerű hangot kapunk, ha csak a két legmélyebb hangvillát erősítjük föl, klarinetszerűt, hogyha a páratlan számúakat, és oboaszerűt, hogyha mindet. Sőt, ezen a módon elméletileg bármely létező húros vagy fúvós hangszer hangját utánozni lehet – nem csoda hát, hogy Helmholtz könyve megtermékenyítőleg hatott a hangszerek tökéletesítésén gondolkozó Cahill fantáziájára.

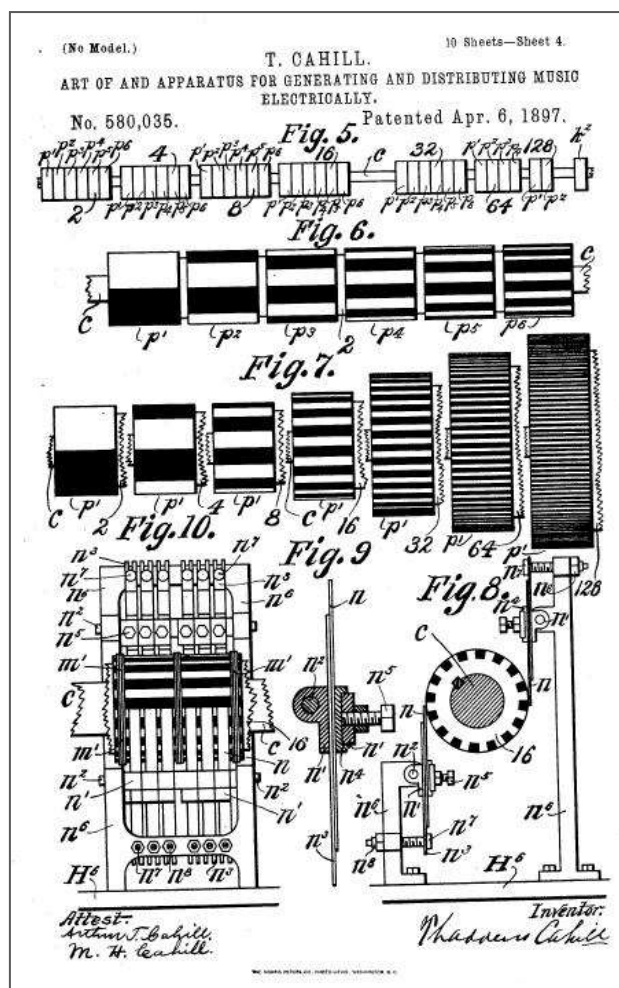
A másik megtermékenyítő forrás – mint arra korábban már utaltunk – a telefónia volt, annak is az elektronikus tömegműfiumként való alkalmazása, mely ma már ismeretlen. A rádió, a televízió és az internet őst, a telefonhírmondót a magyar Puskás Tivadar (1844–1893) szabadalmaztatta, és világelsőként indította el a szolgáltatást Budapesten, 1893. február 15-én.

Puskás ötlete amerikai és franciaországi tapasztalataiból táplálkozott. Párizsban 1878-tól részt vett a telefonhálózat kiépítésében, 1881-ben pedig, az Elektromosság Nemzetközi Kiállításán ő volt az egyik megvalósítója a párizsi operával létesített telefonikus összeköttetésnek, a világ első sztereó közvetítésének. Az 1880-1890-es évtized fordulójára a koncertek közvetítése meglehetősen gyakorivá vált az Egyesült Államokban, Angliában és Franciaországban, ám ezeket csak nyilvános termekben lehetett hallani – Puskás eredetisége az otthoni használat ötletében rejtett.

Thaddeus Cahill *telharmoniuma* voltaképpen Elisha Gray, Hermann von Helmholtz és Puskás Tivadar elgondolásainak szintézise:

- A telharmonium – mint Gray instrumentuma – először nem hangot, hanem a hangnak megfelelő elektromos jelet hoz létre. Cahill ezzel megoldotta azt a problémát, amely gyerekkorától foglalkoztatta: az akusztikus hangszereket tökéletlenül közvetítő szénmikrofont teljesen kiiktatta a rendszerből, s ezáltal torzításmentes zenét juttatott el a hallgatókhoz.
- A telharmonium hangszínét – mint Helmholtz kísérleti eszközét – egyszerű szinuszrezgések keverésével tetszőlegesen lehet szabályozni. Ezzel Cahill létrehozta az első modern értelemben vett szintetizátort, azaz az első olyan elektrofon hangszert, mely részhangokból mesterségesen *teszi össze*⁵ a komplex hangokat, és ezáltal különféle akusztikus hangszereket is képes imitálni.
- A telharmonium által keltett elektromos jel bármely telefon-előfizetőhöz eljuthat – mint Puskás telefonhírmondójának esetében.

⁵ A szintetizátor szó szerint összetevőt jelent.



2.3. ábra: A Cahill szabadalmi leírásának részlete

Cahill először 1895-ben adta be szabadalmi kérvényét a hangszerre, és építeni kezdte prototípusát, ekkor még *dynamophone* néven. A védettséget 1897-ben kapta meg. 1903-tól készült a második modell, melyet 1906-ban, New Yorkban helyeztek üzembe: a Broadwayen, a 39th Streeten megnyílt a Telharmonic Hall, a hangszer lakhelye, s a napi négy koncert kezdetben nagy tömegeket vonzott. A Broadway és az 5th Avenue mentén kiépített vezetékhálózaton át a zene éttermekbe, színházakba és magánlakásokba jutott el – az első polgári előfizető Mark Twain volt.

Az 1906. március 20-án tartott bemutató műsora a következő volt:

- Adagio Beethoven Op. 87-es, eredetileg két oboára és angolkültre írt triójából,
- Chopin: B-dúr és C-dúr mazurka,
- Rossini: Tell Vilmos-nyitány,
- Schumann: Álmodozás,
- Mascagni: Ratcliff-nyitány,
- Nevin: Narcissus,

- Bériot: 1. hegedűverseny (négykezes telharmonium-átiratban),
- Spohr: Hegedűduó, op. 39. no. 2. (négykezes telharmonium-átiratban).

Az 1907-es válság és a lankadó érdeklődés miatt a vállalkozás 1908-ban csődbe ment, s a Telharmonic Hallt bezárták. A sikertelenség oka részben az előadások minőségében is kereshető: a hangszer zongorabillentyűs manuáljain játszó muzsikusok a napi négy koncert mellett nem tudtak eleget gyakorolni. Cahill ugyan 1910-ben még egy harmadik modellt is elkészített, melyet a West 56th Streeten állítottak föl 1911-ben, és hangját a Carnegie Hallba is közvetítették, üzemeltetéséhez azonban már nem kapott elegendő támogatást. Mindhárom hangszert szétszerelték, legutoljára a prototípust, 1962-ben.

Mindhárom modell azonos sebességgel forgó hatalmas fémhengerekből állt, melyek egyes szelvényei egy harmonikus összetett hang egyes részhangjainak feleltek meg – egy ilyen henger látható a 2.4. ábrán a prototípusból.



2.4. ábra: A Telharmonium egyik fémhengere

A több mint 6 tonnás prototípusban egy hatalmas generátor elektromossága áramlott a forgó hengerekbe, melyekhez áramszedők kapcsolódtak. A kontaktus a henger kiemelkedő és besüllyesztett szakaszainak váltakozása szerint periodikusan megszakadt és újralétesült – így hasonló jel keletkezett, mint ami Gray elektromechanikus oszcillátoraiból származott. Ez a hangszórókban zúgó össze-

tett hangként jelent meg, amelyet a jel szűrésével igyekeztek közelíteni a hangvilláéhoz hasonló egyszerű hanghoz.

A második modell, mely – a játszóasztal (2.5. ábra) kivételével – a Telharmonic Hall pincéjében kapott helyet, 200 ezer dollárba került és 200 tonnát nyomott. Ez és a harmadik modell a szó szoros értelmében zenei erőművek voltak. Az egyes hengerszelvények ezekben már nem periodikus megszakítóként, hanem dinamóként működtek – a mai erőművek generátorainak alapelvén állítottak elő olyan váltóáramot, melynek frekvenciája az adott hang magasságának felelt meg. Voltaképpen a ma működő erőművek sem mások, mint primitív telharmoniumok, melyek meglehetősen egyhangú zenét, az 50 hertzes váltóáram kissé magas kontra G hangját állítják elő éjjel-nappal – egyes világítótestek még hallhatóvá is teszik ezt a számunkra.



2.5. ábra: A második Telharmonium kétszer három manuális játszóasztala

De nem kell az erőművekig távolodnunk a zenétől, hiszen ugyanezen az elven működnek az 1934-től létező Hammond orgonák is, melyekhez már nem kellenek több tonnás alkatrészek – hála Lee de Forest (1873–1961) amerikai feltaláló legfontosabb ötletének, az 1906-ban született audion elektroncsőnek, és az általa lehetővé tett jelerősítő kapcsolásoknak. A telharmonium óriási méretét, súlyát és költségeit az okozta, hogy az alapkoncepció kidolgozásakor még nem állt rendelkezésre elektronikai eszköz a jelek felerősítésére, így a teljes vevőhálózatot ellátni képes erősséget már rögtön a jel előállításakor el kellett érni.

Különös tény, hogy mikor megszületett ez az eszköz az elektroncső formájában, akkor sem lépett házasságra Cahill hangszerével, noha nagyon közeli kap-

csolatba került vele: De Forest az audion csővel működő kísérleti rádióadójával közvetítette a telharmonium hangját is – bár nem sokáig, mert a tengerészet távírássai panaszkodtak a csatornáikat zavaró zene miatt. Ám az mégsem jutott Lee de Forest eszébe, hogy Cahill hangszeróriását a töredékére zsugoríthatná a segítségével. Hogy az elektroncső két évtizeddel később hogyan forradalmasította az elektroakusztikát, arról az 5. fejezetben számolunk be részletesen.

A telharmonium egyik különlegessége volt, hogy nemcsak az egyenletesen temperált hangrendszerben, hanem a felhangsor hangköz-arányait használó tiszta hangrendszerben is lehetett rajta játszani. Ehhez csupán külön kellett bekapcsolni néhányat az összetett hangok felhangsorait létrehozó generátorok közül. Cahill megfigyelése szerint a tiszta hangközök elsősorban a lassú tételekben – például a fenti műsorban szereplő Beethoven-Adagióban – hangzottak jól, gyors tételekben kevésbé, és hosszú távú alkalmazásuk a desztillált víz ízéhez hasonló, túlzottan semleges érzetet keltett, szemben a temperált hangrendszer „forrásvíz”-jellegével.

Cahill másik megfigyelése az volt, hogy bárhogya is állítgatja a hangszínt meghatározó összetevők arányát, a hangszer hangjára mégis jellemző egyfajta állandóan jelenlévő jelleg, amelyet hosszabb távon nehéz tolerálni. Az elektronikus hangszintézis történetét a telharmoniumtól egészen a fejlett számítógépes szintézistechnikák megjelenéséig elkísérte az a – hol problémának, hol ihletforrásnak bizonyuló – körülmény, hogy a szintézishez használt eszközök, bár paramétereik változtathatóak, mégsem semlegesek, sajátos korlátaik rányomják bélyegüket a hangzó végeredményre.

Ellenőrző kérdések:

1. Ki az a német tudós, aki rájött, hogy a hangszíneket elsősorban a részhangok aránya határozza meg?
2. Ki az a magyar mérnök, aki kifejlesztette a telefonhírmondót?
3. Hogy hívták a telharmonium feltalálóját?
4. Mikor mutatták be a telharmoniumot először nyilvános koncerten?
5. Miért nyom több tonnát a telharmonium mindegyik változata?

3. A futurista mozgalom

A 20. század elejének zenetechikai újdonságait egyelőre félretesszük, hogy a kor néhány, történetünk szempontjából meghatározó eszméáramlatával foglalkozunk. Olyan gondolatokkal, melyek aztán a 20. század közepén léptek házasságra az elektronika eszközeivel, s termékeny kapcsolatuk az elektroakusztikus zene születéséhez vezetett.

A klasszikus európai zenekultúra hangzástartománya alapvetően két dimenzióval, a hangmagasság és az időtartam dimenzióival jellemezhető, melyek mellett alárendelt szerepet játszik a harmadik dimenzió, a hangszín. Ráadásul az egyes hangok ezen dimenziók kötött értékeihez kapcsolódnak: a hangmagasság esetében ez a zongora 88 billentyűjének megfelelő magasságértékeket jelent – ezeknek is elsősorban a középső tartományát –, a ritmusok esetében egy alap-üktetés kis egész számokkal – 2, 3, 4, esetleg 5 – kifejezhető többszöröseit és hányadosait, a hangszínek esetében pedig egyes hangszereket és ezek véges számú kombinációját. A fix értékek által meghatározott pontok között létező végtelen hangzáster – melyet érzékeltetnek például az emberi beszéd finom dallami, ritmikus és hangszínbeli átmenetei – a zenei kifejezés terén teljesen kihasználatlan maradt.

A zenei hangzástartomány egyes területeinek meghódításában 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 (3.1. ábra) fogalmazta meg Marinetti Futurista kiáltványa után két évvel, 1911-ben a Futurista zenészek kiáltványát (3.2. ábra), 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 a mesterek és professzorok, illusztris fogyatékosok állandósítják a tradíciót, és levernek minden erőfeszítést, ami a zenei terület kiszélesítésére vonatkozik.”⁶

⁶ Pratella, Balilla: Manifesto of Futurist Musician (1910)



3.1. ábra: Balilla Pratella



3.2. ábra: Pratella futurista zenei kiáltványának címlapja

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 és zeneszerző, Luigi Russolo (3.3. ábra) pontosította a célokat *A zajok művészete* c. írásában:

„A zenei hangoknak túl korlátozott a hangszíne. A legkomplikáltabb 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 felhasználni!”⁷



3.3. ábra: Luigi Russolo

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, 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:⁸

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.

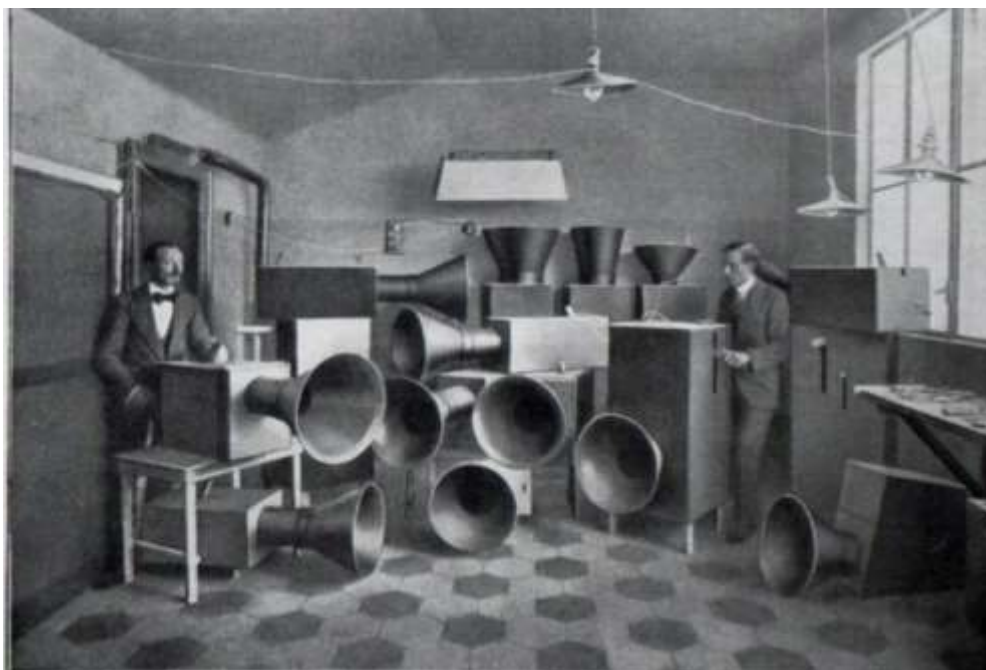
⁷ Russolo, Luigi: „The Art of Noises: Futurist Manifesto”. In C. Cox, D. Warner (szerk.): Audio Culture: Readings in Modern Music. New York: Continuum, 2008, 10–15. 11. o.

⁸ Id. m., 13. o.

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.”⁹

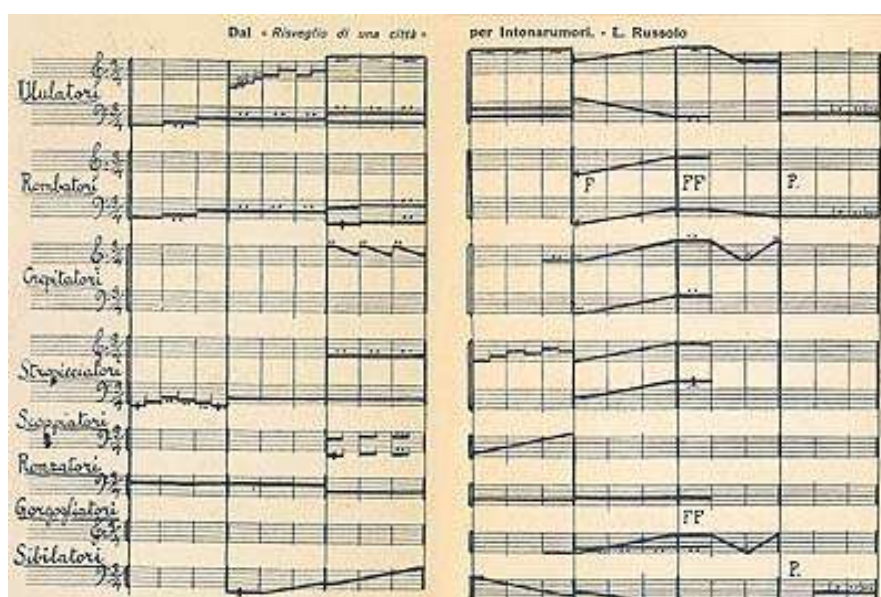


3.4. ábra: Intonarumori zenekara

⁹ Id. m., 14. old.

Pratella kiáltványait és Russolo esszéjét tették követték, a futurista zenészek létrehozták első hangszerüket, az intonarumorit (3.4. ábra). Az intonarumori (zajintonáló) egy fadoboz, melyhez fémtölcsér van erősítve. Belsejében bél vagy fémhúr és egy mozgásba hozható fém- vagy fakerék található, ami rezgésbe hozza a 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), Stroppicciatore (csiszatoló), Scoppiatore (repedő), Sibilatore (füttyölő), Gorgogliatore (bugyogó), Uluatore (huhogó), Ronzatore (zúmmogó).

Intonarumorik hangzása:		
Crepitatore:	Gorgogliatore:	Gracitadore01:
		
3.01_hang	3.02_hang	3.03_hang
Gracitadore02:	Ronzatore:	Uluatore:
		
3.04_hang	3.05_hang	3.06_hang



3.5. ábra: Részlet Russolo „A város ébredése” c. művének partitúrájából

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 szemcsésség mértékét, a hangmagasságot és a fényességet. Russolo fontos újításnak 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 vezérlésének hiányosságait, a 3.5. 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, így számos különböző nemzetiségű ember hallhatta a „jövő zenéjét”, köztük Edgard 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 (3.6. ábra) megírta, és a bakui kikötőben 1922. november 7-én, a nagy októberi szocialista forradalom ötödik évfordulóján elő is adták *Gyári szirénák szimfóniája* c. művét. A hatalmas kórusra, ködkürtökre, a teljes Szovjet Kaszpi-tengeri Flotillára, két üteg tüzérségi fegyverre, egy teljes, géppuskákat is felvonultató gyalogos ezredre, hidrolánokra és Baku összes gyári szirénájára írt mű fináléjában gőzgép füttyülte az Internacionálét és a Marseillaise-t zajos teherautók kíséretével. Egy második változat előadására egy évvel később, Moszkvában került sor (3.7. ábra). A műről a politikai áthallások ellenére elmondható, hogy teljes mértékben birtokba vette a hangzó teret.



3.6. ábra: Arsenij Avraamov egy koncertje előtt

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 még inkább eszmerendszerükben rejlik. A kiáltványokban és A zaj művészetében leírtak nyilvánvalóan megelőzik korukat nemcsak követeléseikkel, hanem az új hangszínek területén végzett elméleti feltáró munkájukkal is.



3.6. ábra: Avraamov Sziréna-szimfóniája második változatát vezényli egy moszkvai gyárépület tetejéről, 1923. november 7-én

Avraamov a gőzorgona működtetésére gőzmozdonyt használt, melynek szolamába az említett indulók zenéjén kívül a *Szimfónia* egyik változatában beleszólt a feleségének és szeretőjének zenei betűit is. Ezzel a hangszerrel teljesen azonos elven működnek a Mississippi folyón közlekedő gőzhajók orgonái is, példánkban egy ilyen hangszer hallható (3.1. video).



3.1. videó. Gőzorgona

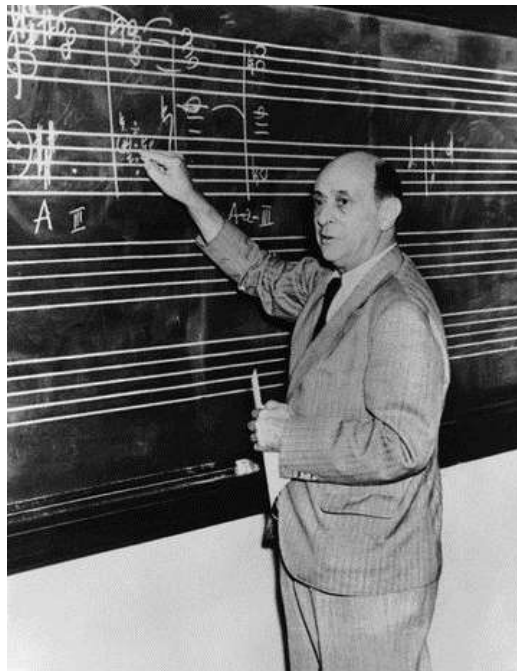
Ellenőrző kérdések:

1. Ki és mikor fogalmazta meg a futurista zenészek kiáltványát?
6. Kitől származik a *Zajok művészete* című írásmű?
7. Hogy hívták a futurista zenészek első hangszerét?
8. Soroljon fel hármat a kérdéses hangszer típusai közül!
9. Ki komponálta a *Gyári szirénák szimfóniája* című művet?

4. Arnold Schönberg és Edgard Varèse

A hangzáster teljesebb kihasználása felé nemcsak olyan radikális kezdeményezések mutattak, mint az olasz futuristák zajzenéje: klasszikus zenei gyökerekkel rendelkező komponisták életművében is megjelentek ilyen irányú törekvések a 20. század első felében. E komponisták közül Arnold Schönberg (1874–1951) osztrák, és Edgard Varèse (1883–1965) francia zeneszerző volt a legnagyobb hatással a későbbi generációkra, s történetünk későbbi fejleményeire.

4.1. Arnold Schönberg: Klangfarbenmelodie



4.1 ábra: Arnold Schönberg

Az egyik leghíresebb és szellemi befolyását tekintve máig legjelentősebb korai elmélet, ami a hangszín formateremtő alkalmazásáról szól, Arnold Schönberg (4.1. ábra) hangszíndallam (Klangfarbenmelodie) teóriája. Az 1911-ben kiadott Összhangzattan befejező oldalain 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...¹⁰

Schönberg sorainak meghatározó jelentőséget ad, hogy nem egyszerűen új hangszíneket keres, nem a megszokott, hangmagasság-központú 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.”¹¹

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; folyamatokat, melyek egymáshoz való viszonya pontosan olyan logika szerint működik, mint az a logika, ami a hangmagasság-dallamok esetében megelégedést biztosít számunkra.”¹²

Schönberg nemcsak elméletben fogalmazta meg forradalmi elképzeléseit. Már az Összhangzattan kiadása előtt, 1909-ben, az *Öt zenekari darab*, Op. 16 III. tételében kipróbálta, hogyan bővíthetők az összhangzások szervezhető hangszínterré. 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 hangsze-

¹⁰ Schönberg, A. (1978), 421. o. Schönberg, Arnold: *Theory of Harmony*, (trans. Roy E. Carter) Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1978. 421. o.

¹¹ I. h.

¹² I. h.

res 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.”

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, az akkordok változó hangmagasság-struktúrája és az akkordok egyes szólamaihoz variábilis módon hozzárendelt hangszerek együtthangzása irányítja. A két réteg egyes helyeken egymástól látszólag függetlenül, máshol szoros szinkronban változik.

A zeneszerző a különböző érdességi fokú, azaz különböző mértékben disszonáns akkordok egész skáláját használja a műben. Az ezek közötti váltásokat a kis lépésekre törekvő szólamvezetéssel, a hangszercsoportok közötti átmeneteket pedig nyolcadkotta értékű átlapolásokkal fedi el, s a hangszínek lassú egymásba mosásának más eszközeivel is él.

A tradicionális módszertől eltérően, ahol a hangmagasságok lényegesen gyakrabban változnak, mint a hangszerelés, itt gyakran 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 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: minden új harmóniának új hangszercsoport felel meg.

Schönberg a *Farben* után nem komponált több olyan darabot, melyben a hangszíndallamnak hasonlóan fontos szerepe lett volna – művével összefüggésben megfogalmazott gondolatait inkább az utókor hasznosította alkotótevékenységében.

Schönberg a hangszínek felé az európai klasszikus zene hagyománya felől közelített: az egyenletes hangolású 12 fokú skála, a metrikus ritmusértékek és a megszokott hangszerjárással megszólaltatott, hagyományos hangszerosztályok szolgáltatták a kiindulást. Minimálisra csökkent azonban a tonalitás érzete, s a hatás két fő dimenzió mentén váltakozik: hol az akkordszerűség, hol a színezet válik fontossá. Fordulópont ez a zenetörténetben, hiszen Schönberg a hangszíndimenziókból a feszültség és oldás funkcióit hozza létre anélkül, hogy szüksége lenne a hagyományos összhangzattan eszközeire, a konszonanciára és disszonanciára, s radikálisan új az az időszervezés is, mely ezekre a funkciókra épül.

4.2. Edgard Varèse: A hang felszabadítása



4.2 ábra: Edgard Varèse fiatalkori képe



4.3 ábra: Edgard Varèse

Edgard Varèse (4.2., 4.3. ábra) tinédzser kora óta újonnan létrehozandó elektronikus hangszerekről álmodott. Már neves zeneszerző volt, amikor támogatást, pénzt próbált szerezni elektronikus zenei stúdióra. Javaslatait sorozatosan elutasították, arra kényszerítve a szerzőt, hogy élete nagy részében konvencionális eszközökkel dolgozzon. A harmincas években oly mértékben frusztrálta az általa megálmodott elektronikus hangszerek hiánya, hogy abbahagyta a komponálást, és csak az '50-es években, az elektronikus stúdiók létrejötte után kezdett újra zenét írni. Ennek ellenére hangszeres műveiben, zenei írásaiban sikerült megteremtenie az elektroakusztikus zene esztétikai alapjait. Új fogalmakat vezetett be a zenei kompozícióba (pl. szervezett hang), és sűrűségekkel, az eredeti hangforrások felismerhetetlenné változtató, meglepő hangzásokkal operált. Szirénákat alkalmazott *Amériques* (1921) c. művében, hogy folyamatos hangmagasság-változásokat érjen el, és *Ionisation* (1931) című darabja volt az első mű a zenetörténetben, mely kizárólag ütőhangszerekre íródott.

Varèse nem egyszerűen új hangszínekre, hangmagasságokra, ritmusokra vágyott, s nem is egyszerűen 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.”¹³

Varèse zenei elképzeléseit nemcsak hangszeres, de még elektroakusztikus műveiből sem lehet teljességgel megismerni, hiszen igazából élete végén sem komponálhatott vágyainak hangszerén. Utolsó szerzői periódusában született ugyan két elektroakusztikus kompozíciója, a *Poème Electronique* és a *Déserts 3* interpolációja, melyeket elektronikus zenei stúdióban valósított meg, a rendelkezésre álló eszközökkel azonban messze nem volt elégedett. Varèse az analóg stúdiót felülmúló eszközökről, a számítógépekről hitte, hogy majd képesek lesznek vágyainak megfelelően vezérelni és formálni a hangzásokat.



4.4. ábra: Brüsszeli világkiállítás, Philips pavilon

¹³ Varèse, Edgard – Wen-Chung, Chou: „The Liberation of Sound”. In: Perspectives of New Music, Vol. 5., No. 1 (1966): 11–19. 11. o.

Amikor második hangszalag-kompozícióját, a *Poème Électronique*-t befejezte, már 75 éves volt. A *Poème Électronique* nem egyszerűen zenemű volt, hanem multimediális alkotás, amely a Philips pavilonban (4.4. ábra) valósult meg az 1958-as brüsszeli világkiállításon. Philips az ismert építész, Le Corbusier-t bízta meg, hogy egy filmet, fényeket, hangot és építészetet ötvöző művet hozzon létre.

Le Corbusier különböző művészekkel működött együtt a multimediális pavilon megvalósításában. Az építmény tervezési munkáit nagyrészt Iannis Xenakis görög mérnök és zeneszerző végezte, aki ekkoriban Le Corbusier építész-asszisztense volt. Xenakis *Metastaseis* című 1954-es zeneművében hiperbola alakzatokat használt, s ezek mintájára tervezte meg az építmény hajlított felületeit, amelyek miatt a pavilon a világkiállítás egyik legexcentrikusabb építményének bizonyult.

Varèse hangkompozíciója – melyet eredeti összművészeti kontextusából kiszakítva, önmagában is a *Poème Électronique* cím alatt ismerünk – 425 darab, a pavilon belső felületét borító hangszórón keresztül szólalt meg. A lejátszást automatizált kapcsolórendszerrel vezérelték, a hangok előre programozott útvonalakat jártak be – vízszintesen a hallgatóság körül és függőlegesen egyaránt. E rendszer segítségével olyan térbeli hatásokat lehetett elérni, melyekre az akkoriban használt egyszerűbb többcsatornás rendszerek nem voltak képesek.



4.5. ábra: Varèse *Poème Electronique* című művének előadása

Az előadás másik említésre méltó aspektusa a hang és a kép függetlensége, melyek szinkronizáció nélkül készültek. Bár minden előadás egyforma volt, a két fő komponens közötti viszonyt a véletlen eredményezte. Mivel a kiállítás végén a Philips pavilont lebontották, ma már nem lehet meghallgatni a művet eredetileg elképzelt formájában.

Ellenőrző kérdések:

1. Melyik zeneszerzőhöz kötődik a *Klangfarbenmelodie* fogalma?
10. Melyik műve példázza a *Klangfarbenmelodie* fogalmát?
11. Ki és mikor komponálta a zenetörténet első, kizárólag ütőhangszereket használó művét?
12. Hol, mikor és milyen épületben mutatták be a *Poème Electronique*-ot?
13. Ki tervezte a kérdéses épületet?

5. A 20-as évek elektronikus hangszerei

A *Grove* zenei lexikon 1940-es kiadása az elektronikus hangszereket bemutató szócikkében nem kevesebb, mint huszonegy instrumentumot említ, túlnyomó többségüket azonban csak felsorolásszerűen, ismertetés nélkül:

Aetherophon, Couplex Organ, Electrochord, Electronde, Electrone, Emicon, Hellertion, Klaviatur Sphaerophon, Magnetton, Ondes Musicales, Organova, Orgatron, Phototone, Pianotron, Radio-Synthetic Organ, Rangertone, Sphaerophon, Superpiano, Theremin, Trautonium, Wave Organ,

Mind a bőség, mind az ismertetések hiánya jól jellemzi a megelőző két évtizedet: az 1920-as és 30-as években számtalan, egymástól gyakran csak lényegtelen részletekben eltérő elektronikus hangszer született, ezért áttekinteni és egymástól megkülönböztetni őket egyrészt nem volt könnyű, másrészt nem is mindig volt érdemes. Ebben a fejezetben csak három olyan hangszert tárgyalunk részletesen a lexikon által felsoroltakból, melyek egyes tulajdonságaik révén kiemelkednek a többi közül: az 1920-ban feltalált theremint, az 1928-ban bemutatott ondes musicales-t (más néven ondes Martenot-t) és az 1930 körül kifejlesztett trautoniumot.

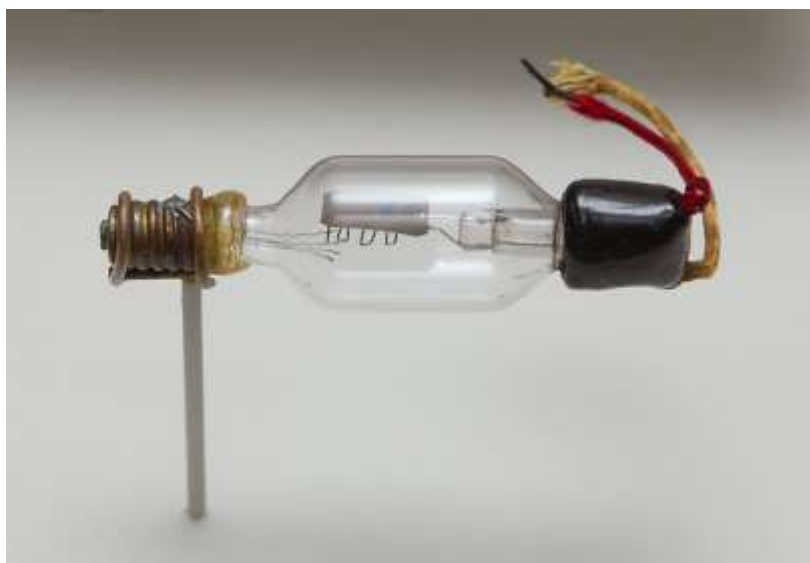
Az 1920-as évek hangszeráradatát az a találmány okozta, melyre az 1. fejezet végén már utaltunk: Lee de Forest (1873–1961; 5.2. ábra) 1906-os audion csöve, az elektroncső három kivezetésű változata, más néven a trióda. Az elektroncső egyszerűbb változata, a két kivezetésű dióda, melyet egy évvel korábban John Ambrose Fleming (1849–1945; 5.1. ábra) szabadalmaztatott, olyan, mint egy szelep: csak az egyik irányba engedi át az áramot. Lee de Forest triódája olyan, mint egy csap: az első két kivezetés között folyó áram (a csapon átfolyó „víz”) a harmadik kivezetésre kötött áram változásainak (a csapot szabályozó „kéz” mozgatainak) megfelelően ingadozik. Ha a „víz” áramlása erős, akkor a „kéz” mozgatait, legyenek bármilyen aprók, a „vízáram” nagy ingadozásokként tükrözi. A trióda tehát elektromos hullámok erősítésére használható (5.3. ábra).



5.1. ábra: John Ambrose Fleming



5.2. ábra: Lee de Forest



5.3. ábra: Audion cső 1906-ból

Az elektroncsövek azonban nemcsak erősítésre használhatók, hanem immár mechanikus alkatrész nélküli, tisztán elektronikus oszcillátorok előállítására is. Lee de Forest 1915-ben maga építette a trióda felhasználásával az első olyan hangszert, mely csak elektronikus oszcillátorokat tartalmazott, és az instrumentot *audion pianó*nak nevezte el.

Laurens Hammond (1895–1973) 1934-ben a trióda erősítő képessége segítségével megvalósította azt az elképzelést, amire az 1. fejezet végén szintén utaltunk már, és ami Lee de Forestnek még nem jutott eszébe: összezsugorította Cahill hatalmas telharmoniumát. Így született a hammond orgona, melyben épp-

úgy különböző frekvenciájú váltóáramot előállító generátorok működnek, mint a telharmoniumban, csak hogy annyira kicsik, hogy mind elférnek egy, a harmóniuméhoz hasonlító hangszertestben. Az általuk keltett gyenge áramot triódás áramkör erősíti fel annyira, hogy egy hangszórót működtetni tudjon. A Hammond-orgonák egyik különlegessége az 1940-es évektől beléjük épített Leslie-féle forgó hangszóró, mely a hangnak változtatható sebességű remegést (apró hangerő- és hangmagasság-ingadozást) kölcsönöz.

5.1. Theremin

Az 1920-ban feltalált theremin volt az első nagy feltűnést keltő elektroncsöves hangszer, az első, amelyet tömegtermelésben kezdtek gyártani, továbbá az első – és gyakorlatilag egyetlen – olyan zeneszerszám az emberiség történetében, amelyen anélkül kell játszani, hogy a zenész hozzáérne. A különös hangszer feltalálójának életrajza is különös regény, melyben a technika és művészet motívuma mellett a 20. század nemzetközi politikája is kiemelt szerepet kap.

Lev Szergejevics Tyermen (1896–1993; 5.4. ábra), nyugatiasított nevén Léon Theremin orosz feltaláló regényes életéből és zenén kívüli működéséből e könyv lapjain csak egyetlen jellemző mozzanatot emelünk ki. 1945 augusztusában a Szovjet Úttörőszövetség küldöttsége ajándékot adott át az Egyesült Államok moszkvai nagykövetének, barátságos gesztusként a háborús szövetséges felé. Az ajándék, az USA nagypecsétjének fából faragott mása hét évig, 1952-ig lógott a nagykövet irodájának falán. Azért csak eddig, mert egy rádiós szakember ebben az évben véletlenül furcsa rádióhullámokat észlelt, melyek az irodában folyó beszélgetéseket közvetítették, és melyek forrását az „ajándék” belsejében sikerült lokalizálni.

A trójai faló elvén elhelyezett poloska zseniálisan egyszerű konstrukciója Tyermen találmánya volt. Nem igényelt áramforrást és nem tartalmazott olyan elektronikus alkatrészeket, melyek meghibásodhattak volna, így elvileg az örökkévalóságig közvetíthetett volna a követségi irodából. A készülék nem állt egyébből, mint egy apró, májkrémes dobozra emlékeztető fémhengerből, és egy ehhez csatlakozó rúdantennából. Ahogyan Helmholtz rezonátora egy adott frekvenciájú hanghullámra, úgy a kis henger egy adott frekvenciájú rádióhullámra rezonált – egy ilyen rezgésszámú, távolról sugárzott rádióhullám működtette a lehallgatót. A henger fedele membránként funkcionált, a hangrezgéseknek megfelelően változtatva a henger elektromos tulajdonságait, miáltal a belül rezonáló hullám modulálódott. Az antenna szétsugározta a modulált rádiójelet, amit aztán egy rádióvevő készülékkel ismét hangrezgésekké lehetett alakítani.



5.4. ábra: Lev Szergejevics Tyermen a thereminen játszik (1927)

Az elektromossággal gyerekkora óta kísérletező, elektromérnök végzettségű Tyerment 1919-ben meghívta Abram Fedorovics Joffe orosz fizikus az egy évvel korábban alapított kutatóintézetébe. Tyermen különböző fizikai kísérleteket és méréseket végzett, többek között gázokkal kapcsolatban. Az egyik ilyen kísérlete során vette észre 1920-ban, hogy az általa épített, elektroncsöves hanggeneráló áramkörrel kiegészített mérőkészülék attól függően változtatja a hangmagasságát, hogy ő milyen közel tartja hozzá a kezét. Joffénak és a kollégáinak úgy mutatta be felfedezését, hogy a csellótanulmányai során elsajátított dallamokat játszotta el a készüléken. A játékmódból adódóan az egyes hangmagasságokat folyamatos glisszandó kötötte össze.

Az egyszólamú hangszer Tyermen hangerő-szabályozóval egészítette ki, mely a hangmagasságot változtató áramkörrel azonos elven működött. Az áramkör rúdantennára hasonlító alkatrésze valójában nem antenna volt, hanem egy kondenzátor egyik fele – úgynevezett fegyverzete –, míg másik fegyverzetét a játékos keze képezte, s közelítése-távolítása révén változott a kondenzátor kapacitása, ennek függvényében pedig az oszcillátor frekvenciája. Elisha Gray korai hangszóró-szabadalma óta ez volt az első olyan elektroakusztikus berendezés, amelyben az emberi test elektronikus alkatrészként működött.

A hangszernek Tyermen először az etherphone, majd a Tyermenvox nevet adta, s 1920 novemberében ő maga adta vele az első nyilvános koncertet Oroszországban. 1925-ben Németországba ment, itt az instrumentum Thereminvox néven vált ismertté. 1927-ben egy nyugat-európai turné után az Egyesült Államokba utazott, ahol a hangszer elnevezése *thereminné* egyszerűsödött.

Amerikai évei alatt Tyermen együttműködött az *American Negro Ballet Company* nevű táncársulattal, és ekkoriban fejlesztette ki terpsitone nevű hangszerét, mely nem csak a kéz, de a táncos egész testének mozgulatai függvényében szólaltatott meg különböző magasságú hangokat. Az egyes hangmagasságokat ennél a készüléknél nem kötötte össze glisszandó. A táncosoknak egy fémlemen állva kellett mozogniuk, ez helyettesítette a theremin „antennáját”. A hangerőt a táncmozdulatokkal nem lehetett befolyásolni.

Amerikában 1929-ben megkezdődött a hangszer sorozatgyártása: az RCA öt-száz darabot készített belőle. A feltaláló kifejlesztette hangszer fogólapos változatát is, mely játéktechnikájában és kinézetében a csellóra emlékeztetett. Egyetlen „húrja” elektromosan vezető szalag volt, ennek fogólaphoz nyomásával zárult az áramkör. Leopold Stokowski, a Philadelphia Orchestra vezető karmestere 1930-ban megkísérelte ezzel a hangszerrel megerősíteni a nagybőgő szólamot, de a zenészek tengeribetegsége panaszkodtak, ennek okozói a theremin és a nagybőgők hangjának találkozása során létrejövő, nagyon alacsony frekvenciájú különbségi hangok voltak.

Két cselló-típusú theremint írt elő Edgard Varèse 1932-34-es *Ecuatorialja*, egyike annak a több mint száz koncertdarabnak, melyben a hangszer valamelyik formája szerepelt. Harmincöt filmzenében is előfordul, köztük Alfred Hitchcock *Elbűvölve* (*Spellbound*) című 1945-ös filmjének Rózsa Miklós által komponált zenéjében.

Varèse reménykedett benne, hogy Tyermen segít neki a zenei álmai megvalósításához szükséges technika kifejlesztésével. Azonban csalódnia kellett, a feltaláló 1938-ban váratlanul visszautazott a Szovjetunióba. Itt hamarosan bebörtönlözték, és több kiváló orosz tudóshoz hasonlóan a Gulag egy kutatólaboratóriumába került, csak 1947-ben engedték szabadon. A fogságban fejlesztette ki a fent bemutatott lehallgató készüléket.

5.2. Ondes Martenot

A thereminnel lényegében azonos módon hozza létre a hangot, ám másféle játéktechnikai lehetőségeket kínál Maurice Martenot (1898–1890; 5.5. ábra) francia muzsikusi találmánya, az ondes Martenot (ejtsd: ond mártőno). Martenot Tyermennel közös vonása, hogy (zongora- és zeneszerzés-tanulmányai mellett) csellózni is tanult, és az ő egyszólamú elektronikus hangszer is képes volt a csellón és más vonós hangszereken könnyen megvalósítható glisszandó és vibrató kivitelére.

Az ondes Martenot 1928-as első változatai két egységből álltak. A hangmagasságot egy, a tokjába porszívóvezeték módjára visszatekeredő zsinór kihúzásával és visszaengedésével lehetett szabályozni, a zsinór végén gyűrű volt a jobb kéz hüvelykujja számára. A hangerőt és a hangindítás élességét a bal kéz határozta meg egy, a gázpedálhoz hasonlóan működő kallantyú lenyomásával.



5.5. ábra: Maurice Martenot és hangszere

Az első két változatot 1929-ben követő harmadikban a hangmagasságot szabályozó gyűrűs zsinór egy ál-zongorabillentyűzet fölé volt vízszintesen kifeszítve, és olyan hurkot alkotott, mely az álbillentyűzet két szélén elhelyezett csigákon fordult meg – tehát a zászlófelvonó zsinór elvén működött. Az 1930-as harmadik változat hagyományos zongorabillentyűzetet alkalmazott, így glisszandót nem tett lehetővé. A ma is használt 1933-as negyedik változat az első kettő és a harmadik típus szintézise, tehát egyaránt található rajta zongorabillentyűzet és gyűrűs zsinór. Az üvegből készült hangerőszabályzó billentyű és a regiszterkapcsolók egy kis fiókban kaptak helyet (5.6. ábra). A gyűrű mozgatasakor vagy a zongorabillentyűk lenyomásakor a hang még nem szólal meg, csak a hangerőszabályzó megbillentésekor.



5.6. Az ondes Martenot fiókja

További lényeges eltérés a thereminhez képest a hangszínszabályozás kifinomultsága. A *T, G, 8, N, C, O* és *g* jelekhez tartozó kapcsolókhoz különböző hullámformák tartoznak, a *D* betűkkel párosított számok alatti kapcsolók pedig különleges hangszórókat hoznak működésbe. Az ondes Martenot-hoz a hagyományosan kívül további háromféle, kiegészítőkkal ellátott hangszóró tartozik: az egyik egy kisméretű gonggal, a másik rezonánshúrokkal, a harmadik pedig zengető rugókkal van felszerelve – ezek mindegyike sajátos aurát kölcsönöz a hangnak.



5.7. Az ondes Martenot hangszórói

Az elektronikus hangszerek közül a 20. századi klasszikus zenében leginkább az ondes Martenot nyert polgárjogot, főképpen Franciaországban. Edgard Varèse 1918–21-es *Amériques* című művében eredetileg sziréna szerepelt, ám a szólam megnevezését a zeneszerző a darab 1928-as variánsában ondes Martenot-ra változtatta, s ugyanezt tette 1932–34-es *Ecuatorialja* theremin-szólamainak esetében is a mű 1950-es első kiadásakor. Az ondes Martenot-t ekkor már sokkal könnyebb volt beszerezni, mint a theremint, különösen annak csellószerű változatát.

Az ondes Martenot hallható többek között Arthur Honegger *Johanna a máglyán* című, 1938-as oratóriumában, és kiemelten fontos szerepet kap Messiaen két monumentális művében, az 1946–48-as *Turangalila-szimfóniában* és az 1975–83-as *Assisi Szent Ferenc* című operában – az utóbbi mű partitúrája három ondes Martenot-t ír elő. Egy hat ondes Martenot-ból álló együttest használ az 1937-es párizsi világkiállításra készült *Fête des belles eaux* (A szép vizek ünnepe), melynek *Oraison* szakaszát Messiaen négy évvel később a *Kvartett az idők végezetére* című művének egy tételeként hangszerelt újra.

5.3. Trautonium

Friedrich Trautwein (1888–1956; 5.8. ábra) német elektromérnök 1929 körül, a berlini Porosz Művészeti Akadémia alkalmazásában fejlesztette ki trautionium nevű hangszerét, melyen a fogólapos thereminhez hasonlóan kell játszani, azzal a különbséggel, hogy a fogólap vízszintesen fekszik, a szalagot pedig drót helyettesíti.



5.8. ábra: Friedrich Trautwein

Oskar Sala (1910–2002; 5.9. ábra) 1929-ben a berlini Akadémián Paul Hindemithnél (1895–1963) kezdett zeneszerzés- és zongora-tanulmányokat, és nyomon követte Trautwein kísérleteit. Sala, aki később fizikusi végzettséget is szerzett, a trautionium egyetlen virtuóza lett. 1930-ban Hindemith közreműködésével ő mutatta be a hangszert a nyilvánosságnak, és részt vett a hangszer továbbfejlesztésében. Kezdetben a Telefunkennel dolgozott együtt az instrumentum egyszerű, sorozatgyártott változata, a Volkstrautionium kidolgozásában. A vállalat kétszáz darabot készített belőle 1933 és 1935 között.

Sala dolgozta ki a hangszer legfejlettebb változatát, a mixtur-trautioniumot, melyet 1952-ben mutatott be (5.9. ábra). Ez a készülék két manuállal rendelkezik, ezáltal kétszólamú játékot tesz lehetővé. A hangerőt és a hangszínt módosító szűrők beállítását pedálok segítségével lehet szabályozni. A hangokhoz a karakterüket nagyban meghatározó, a hang felfutását és lecsengését jellemző úgynevezett burkológörbék adhatóak hozzá.

A legfontosabb többlet azonban, mely a mixtur-trautioniumot elődeitől és a korabeli más elektronikus hangszerektől megkülönbözteti, a szubharmonikusokból, azaz alhangokból álló összetett hangok létrehozásának lehetősége. Míg a rezgő húrokra és légoszlopokra jellemző harmonikus felhangsorban a részhangok az alaphang egész számú többszöröse, addig az alhangsor ennek éppen reciproka: az egyes összetevők a kiindulási hang egész számú hányadosai. Ez az akusztikus hangforrások esetében ismeretlen hangkeverék nem olvad egybe olyan módon, mint a felhangsor összetevői, inkább egyfajta akkord benyomását kelti. Két- vagy többféle, szubharmonikusokból álló összetett hang találkozása-kor a konszonancia és disszonancia érzetét másféle törvényszerűségek határozzák meg, mint a természetes harmonikus hangok esetében.



5.9. ábra: Oskar Sala és a mixtur-trautonium

Paul Hindemith *Des kleinen Elektromusikers Lieblinge* (A kis elektrozenész kedvencei) címmel 1930-ban hét trautonium-triót írt, 1931-ben pedig versenyművet komponált trautoniumra és vonószzenekarra. Alfred Hitchcock *The Birds* (Madarak) című, 1963-as filmjének készítésekor Oskar Salát kérte fel a mű hangeffektusainak elkészítésére: a filmben hallható „madárhangok” a mixtur-trautoniumon születtek. A hangszer szerepelt az 1950-es Bayreuthi Ünnepi Játékokon is, Richard Wagner Parsifaljának harangjait helyettesítették vele.

Ezek a harangok, melyek a grál-lovagok bevonulását az 1. és 3. felvonásban kísérik, az opera 1882-es ősbemutatója óta állandó problémát jelentettek. Igazi harangokat nem lehetett használni, mert ezek egyrészt elnyomják a többi hangszert, másrészt olyan nem-harmonikus részhangokat tartalmaznak, melyek zavaróan hathatnak. Az ősbemutatóra ezért zongoraszerű eszközt építettek a szükséges négy hangnak megfelelő négy húrcsoporttal, csoportonként öt-öt húrral. Ezt tam-tamokkal, gongokkal és staccato hangokat játszó tubával egészítették ki, ekképp igyekezve kikeverni a megfelelő hangzást.

A kísérletezés az opera egész interpretáció-történetében folytatódott és összekapcsolódott az elektronikus zene történetével is. A trautonium „bevetése” előtt már 20 évvel, 1931-ben megpróbálták elektronikus eszközökkel helyettesíteni a harangokat, akkor Jörg Mager (1880–1839) partiturophon nevű hangszerével. A fejezet elején olvasható listában felsoroltak közül Mager nevéhez fűződik a sphärophon, melyet 1921 és 1928 között fejlesztett ki, többek között mikrotonális (félhangnál kisebb hangközöket alkalmazó) zenei elképzeléseinek megvalósítása céljából.



5.10. ábra: Mixtur-trautonium

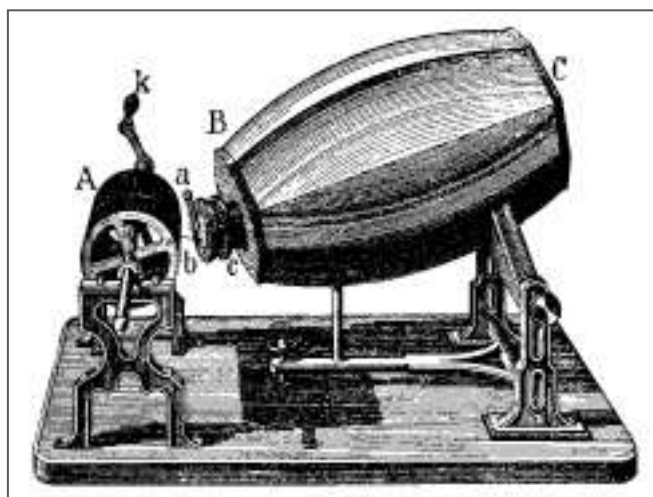
Ellenőrző kérdések:

1. Milyen elektronikai találmány tette lehetővé az 1920-as évek elektrofon hangszereinek kifejlesztését?
2. Ki és mikor találta fel a theremint?
3. Milyen különleges hangszórókat szokás az ondes Martenot-hoz kapcsolni?
4. Milyen különleges spektrumot lehet létrehozni a trautionumon a harmonikus felhangsoron kívül?
5. Ki volt a trautionium egyetlen virtuóza?

6. A konkrét zene

6.1. A hangrögzítés rövid története

A hang megörökítésének lehetősége az elektroakusztikus zene létrejöttének egyik legfontosabb előfeltétele volt. A hangrögzítés története Édouard-Léon Scott de Martinville (1817–1879) francia nyomdász és könyvkereskedő találmányával, az 1857-ben bejegyzett *phonograph*-fal kezdődött (6.1. ábra). Scott készüléke az emberi külső és középső fül működését utánozta: a hang rezgésbe hozta a gipsztölcsér alján lévő membránt, mely a hallócsontocskáknak megfelelő emeltyűk végén elhelyezett írót mozgatott. Az írón – melynek beiktatásával megszakadt az emberi hallószervvel mutatott analógia – egy lámpakorommal bevont papírhengeren mozgott, a hangrezgések látható nyomát hozva létre.



6.1. ábra: *Phonograph*

Az így létrejött rajzolatok, a történelem első hangképei a maguk korában csak a hullámok fizikájával kapcsolatos vizsgálatokat segíthették, lévén a készülék a hangok visszajátszását nem tette lehetővé. Párizsi archívumok megőrizték Scott 1860 körül készült néhány hangrajzát, s az ezeken rögzített hangok másfél évszázad néma lét után, 2008-ban meg is szólaltak, miután a Berkeley Lab munkatársai a papírokat beszkenelték és a hullámformákat számítógéppel lejátszották. Az egyiken feltehetőleg maga Scott énekl az *Au claire de la lune* kezdetű francia népdal első sorát, egy másikon pedig Tasso *Aminta* című pásztorjátékának elejét szavalja.



6.01. hang: Scott hangja 1860-ból, amint az Au clair de la lune-t énekli



6.02. hang: Scott hangja 1860-ból, amint Tasso versét szavalja

Scott felvételei 18 évvel előzték meg a visszajátszható hangrögzítés technikájának születését, Thomas Alva Edison (1847–1931) 1878-as szabadalmát, a hengeres fonográfot (6.2. ábra). Edison találmányától már egyenes út vezetett a hangrögzítés modern technikájáig. Edison barázdált hengereit 1888-ban követték Emile Berliner (1851–1929) német származású amerikai mérnök barázdált korongjai, a gramofonlemezek. Az 1920-as évekig a lemezfelvételek kizárólag mechanikai úton készültek, elektromosság használata nélkül: a barázdát vágó tűt maguk a hangforrásból származó rezgések mozgatták.



6.2. ábra: Edison-féle hengeres fonográf (1899 körül)

A rádiótechnika forradalmát lehetővé tevő elektroncsövek aztán az 1920-as évek közepére a hangrögzítés forradalmát is elhozták. A hangokat ettől az időtől kezdve már mikrofonokkal vették fel, s a vágótűt nem maga a hang, hanem az annak megfelelő elektromos rezgések hozták mozgásba. A mikrofonok érzékenysége és az elektronikus jelerősítés révén a felvételek sokkal hűbben adták vissza az eredeti hangzást, a rögzített tartomány a mély és a magas hangok irányába egyaránt jelentősen kitágult. A nagyobb barázdasűrűségű, alacsonyabb fordulatszámú, és ezért nagyobb játékidejű LP lemezt 1948-ban vezették be.

A rezgő elektromosság mágneses hatásait fémdróton rögzítő magnetofont (6.3. ábra) az 1890-es évek végén találták fel, ám ez a technológia csak az 1940-es és 50-es évek fordulójára fejlődött ki annyira, hogy a gyakorlatban is elfogadható eredménnyel lehessen használni.



6.3. ábra: Fémdróton rögzítő magnetofon (Webster-Chicago 228-1, 1951)

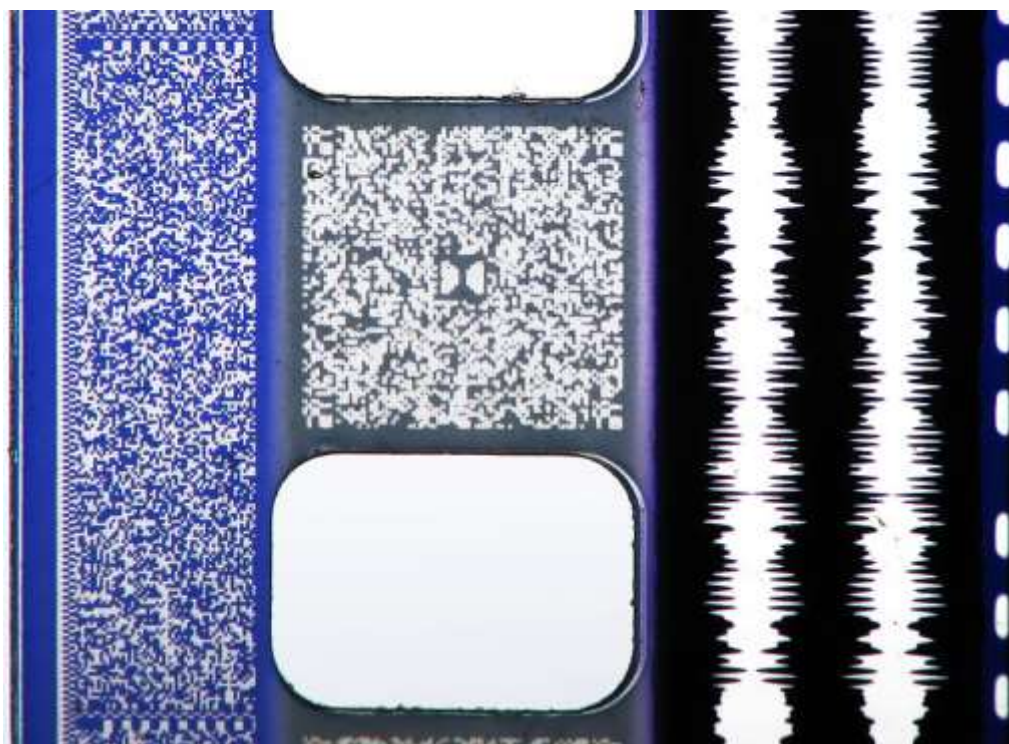
A drótos magnetofont hamarosan leelőzte a 30-as évek elején feltalált szalagos társa (6.4. ábra). A stúdiók az 1950-es évek elejétől kezdték alkalmazni a szalagos technikát, s a következő három évtizedben minden felvételt ennek segítségével készítettek – a hanglemezek gyártása is magnószalagra rögzített mesterfelvétel felhasználásával történt.



6.4. ábra: Mágneses szalagon rögzítő magnetofon

Az analóg, azaz a hanghullámok és a hordozóanyag felületén létrehozott hullámok analógiáján (megfelelésén) alapuló hangrögzítésnek a mechanikai és mágneses eljárások mellett harmadik útja is létezik: az optikai. Már Scott *phon-*

autographja is látható nyomokat hoz létre, a hangok visszajátszásra alkalmas technológia részévé azonban csak az 1910-es évek végén váltak az optikai jelek. A rádiócső feltalálója, Lee de Forest 1919-ben szabadalmaztatta a *phonofilm*et, mely filmszalagra fényképezett hullámformák alakjában őrzi meg a hangot, s a filmszalagon keresztülhaladó, s ezért vibráló fényt egy fényérzékeny alkatrész segítségével alakítják vissza hallható hullámokká. A technológiát mindmáig alkalmazzák a mozifilm-szalagok hangsávjában (6.5. ábra, a szalag jobb oldali harmada).



6.5. ábra: Filmszalag hangsávjai: jobb oldalon analóg hangjel, bal oldalon és középen digitális hangjelek.

A hangrögzítés digitális (azaz számokon alapuló) technikáját az 1980-as években fejlesztették ki. Lényege, hogy a felvevő berendezés másodpercenként több tízezer alkalommal megméri a hanghullámokat alkotó változó légnyomást, helyesebben a légnyomás szintjének megfelelő elektromos jel szintjét, és minden egyes mérési eredményt (angolul *sample*-t, azaz mintát) egy-egy szám formájában tárol el. Ezek a számok azután tovább másolhatóak a különböző elveken működő, sokféle adathordozó valamelyikére: CD-re, mágneslemezre – vagy éppen filmszalagra (a 6.5. ábrán látható filmszalag bal kétharmadán látható jelek a mintákat leíró számokat fekete és fehér pontok segítségével fejezi ki).

6.2. A konkrét zene

6.2.1. A konkrét zene kezdetei, első darabjai

Míg az 1-2. és 5. fejezetben a vezetékes távközlés, illetve a rádiócső egyes zene-történeti hatásairól írtunk, ebben a fejezetben a hangrögzítés zenei felhasználásának speciális módjairól számolunk be. A fejezet kulcsfigurája a francia mérnök, író és zeneszerző, Pierre Schaeffer (1910–1995; 6.6. ábra): az ő elméjében találkoztak az 1940-es évek végén a hangrögzítés eszközei a hangzástér kitágítását megcélzó szellemiséggel, melyről a 3. és 4. fejezetekben esett szó – s e találkozás által született meg könyvünk központi tárgya, az elektroakusztikus zene.



6.6. ábra: Pierre Schaeffer

Pierre Schaeffer gyerekkorában hegedűs apja és énekes anyja példáját szerette volna követni, szülei azonban eltanácsolták a zenei pályáról. Mérnöki végzettséget szerzett a rádióadás-technika területén, ám a zene és a hangok továbbra is foglalkoztatták – s ennek a kettősségnek – mint látni fogjuk – igen termékeny következményei lettek.

Schaeffer 1936-ban képzettségének megfelelően a Francia Rádióban helyezkedett el. Emellett széleskörű társadalmi, filozófiai és vallásos érdeklődése is

megmutatkozott: mint elkötelezett katolikus, 1938-ban keresztény regényt írt *Clothar Nicole* címen, 1940-ben pedig kulturális-politikai szervezetet alapított *La Jeune France* (A Fiatal Franciaország) néven. A szervezet szellemiségében az azonos nevű, 1936-ban alakult zenei társaság örököse volt – e korábbi egyesülést André Jolivet kezdeményezte, s az alapítók között maga Schaeffer és Olivier Messiaen is szerepelt. A zenei társaság humanista és misztikus felfogást képviselt a különböző avantgard irányzatokkal szemben, a politikai szervezet célja pedig a francia kulturális megújulás volt a német megszállás idején – míg a Vichy-kormányzat 1942-ben fel nem oszlatta.

Schaeffer 1942-ben a Francia Rádióon belül Jaques Coupeau színházi rendezővel megalapította a *Studio d'Essai*-t (később *Club d'Essai*; Kísérleti Stúdió, illetve Klub), mely a háború alatt a francia ellenállási mozgalom rádiós központja volt. A háború sötét napjaiban, 1943–44-ben szürreális költőiségű, nyolc egyórás epizódban sugárzott rádió-opera készült itt *La coquille à planètes* (kb. Bolygók héja) címmel, Schaeffer szövegére, Claude Arrieu zenéjével, prózai szereplőkkel, énekes szólistákkal és kórossal, a szimfonikus zenekarban négy ondes Martenot-val. A stúdióban ezen kívül még számos más hangjáték is készült, történetünk szempontjából azonban fontosabb, hogy Schaeffer itt alkotta az elektroakusztikus zene legelső kompozícióit 1948-ban, *Cinq études de bruits* (Öt zaj-etűd) címen. 1948. október 5-én mutatták be őket egy *Concert de bruit* (Zajkoncert) című rádióműsor keretében. A darabok a következők:

1. *Étude aux chemins de fer*, azaz vonat-etűd, mozdonyhangokkal és más vasúti zajokkal;
2. *Étude aux tourniquets*, azaz etűd forgatós-zenélő gyerekjátéokra (és ütőhangszerekre);
3. *Étude violette*, azaz lila etűd, zongorahangokkal;
4. *Étude noire*, azaz fekete etűd, zongorahangokkal;
5. *Étude pathétique*, azaz patetikus etűd, fazekak, hajók, harmonika és zongora hangja, valamint ének és beszéd felhasználásával.

Magnetofonokat csak 1951-től alkalmaztak a Francia Rádióban, így Schaeffer a zaj-etűdök idején még hanglemez-metsző és -lejátszó készülékeket használt a munkájához. Ezek segítségével vette fel hangalapanyagait (a zaj-etűdök zongorahangjait Pierre Boulez játszotta föl számára), melyeket azután az alábbi technikák segítségével dolgozott fel:

- **keverés**, azaz több hanganyag egyszerre történő megszólaltatása és az eredmény felvétele;
- **folymatos ismétlés** a lemezen önmagába visszatérő, úgynevezett zárt barázda kialakítása által; mai kifejezéssel *loop* (hurok) létrehozása;
- **sebességváltoztatás**, mely a hangmagasság változását is elkerülhetetlenül magával vonja;

- **rákmenet**, a felvétel hátulról előre történő lejátszása;
- **elhagyás**, mely segítségével beavatkozhatunk a hang „életébe”, apró változásaiiba. Leggyakrabban a hang első tizedmásodperceit, a hang felépülésének idejét szokás elhagyni, mert ez feltűnő változást idéz elő a hang karakterében.

Schaeffer stúdiójához 1949-ben csatlakozott Pierre Henry (1927–; 6.7. ábra), az első munkatárs, akinek zenei képzettsége volt. 1938 és 1948 között a párizsi Conservatoire-on tanult, Nadia Boulanger-től zongorát, Félix Passeronétól ütőhangszereket, Olivier Messiaentől pedig zeneelméletet.



6.7. ábra: Pierre Henry

Ahogy Schaeffer kreatív tevékenységének egyik alapja rádiós tapasztalata volt, úgy Henryé a film élménye. A korai hangosfilmek környezeti zajait a mai gyakorlattal szemben nem utólag, a stúdióban állították elő, hanem a kép felvételével egyszerre, a forgatás helyszínén. Henryra az így létrejövő hangsáv zajossága, eleven nyersessége volt nagy hatással, illetve az, hogy a hangban így megőrződött a forgatás eseményeinek lenyomata.

Henry és Schaeffer együttműködésének első és legfontosabb gyümölcse az 1949–1950-es *Symphonie pour un homme seul*. A címet, ha szigorúan meg akarunk felelni a francia zenei terminológiának, a *Szimfónia szóló-emberre* kifejezéssel magyarázhatjuk, de az eredeti szókapcsolat jelentéstartománya a *Szimfónia egy magányos ember számára* fordítást is lehetővé teszi, sőt Schaeffer alábbi megjegyzései a műről egyenesen megkövetelik:

„A magányos embernek saját magán belül kell megtalálnia a szimfóniáját, nem csak a zene elvont kigondolása által, de azáltal is, hogy ő maga válik saját hangszerévé. A magányos embernek sokkal több eszköz áll a rendelkezésére, mint a hangolt énekhang 12 fokú skálája. Kiabál, füttyöl, jár, dörömböl, nevet, sóhajtozik. Dobog a szíve, felgyorsul a légzése, szavakat formál, megszólít és szólítására mások felelnek. Semmi sem visszhangozza jobban a magányos kiáltást, mint a tömegek lármája.”

A mű 1950. március 18-án tartott bemutatója volt az első nyilvános elektroakusztikus zenei koncert. Ez a darab is hanglemezekre készült, így az eredeti változat 22 tételének előadása nem kis technikai problémát jelentett. Az 1951-es rádióadáshoz 11 tételes változatot készítettek, ezt alakította tovább Henry 1966-ban, létrehozva a ma közismert 12 tételes verziót:

1. *Prosopopée I*,
2. *Partita*,
3. *Valse*,
4. *Erotica*,
5. *Scherzo*,
6. *Collectif*,
7. *Prosopopée II*,
8. *Eroïca*,
9. *Apostrophe*,
10. *Intermezzo*,
11. *Cadence*,
12. *Strette*.

Az utolsó tételben Schaeffer leírásának megfelelően valóban a tömeg lármája felel az egyéni emberi hangra, mely a 2., 7. és 11. tételek kivételével az összes korábbi tételben feltűnt. A darab hőse a legtriviálisabb értelmezés szerint a férfihang tulajdonosa, aki köznapi értelemben nem magányos: női társának hangja is feltűnik vagy önmagában (mint a például a 4. tételben), vagy a férfihanggal párbeszédben (mint például a 6. tételben). Értelmes szavakat a 9. és a 10. tételekben hallani („absolument”, azaz teljes mértékben, illetve „puissante”, azaz erőteljes). A mű másik fontos hangzó alapanyagát a Pierre Henry által megszólaltatott preparált zongora (és néhány más ütőhangszer) szolgáltatta.

Az alapanyag feldolgozásában az Öt zaj-etűdnél sokkal jelentősebb szerep jut a sebességmódosításnak és a rákfordításnak – ezek a technikák főleg az emberi beszédhangok átalakításánál járnak feltűnő eredménnyel. A megfordított beszéd kísérteties értelmetlensége a 8. tételben, a felgyorsított emberi hang komikuma a 6. tételben kap fontos szerepet – ezek az eszközök későbbi gyakori alkalmazásuk révén mára talán elcsépeltnek hatnak, ám ebben a műben még újak és meglepőnek számítottak.

Figyelemre méltó a formálás kötődése a hagyományos zenei formákhoz. Ezt legjobban a 6. tétel illusztrálja, mely címének megfelelően valóban scherzo-formában áll: az elsőnek megszólaló anyag egy kontrasztáló középrész (trió) után pontosan megismétlődik.

6.2.2. A konkrét zene fogalma, szemlélete

Pierre Schaeffer 1951-ben megalapította a Francia Rádióon belül a *Groupe de Recherche de Musique Concrète* (Konkrét Zenei Kutatócsoport; GRMC) nevű intézményt, ennek következménye volt egy szalagos magnetofonokkal felszerelt új stúdió használatba vétele. 1953-ban elhagyta a GRMC-t, melyet 1958-ban az általánosabb vállalásokat kifejező *Groupe de Recherche Musicales* (Zenei Kutatócsoport; GRM) néven alakított újra.

1952-ben jelent meg addigi zenei tevékenységét összefoglaló könyve, az *À la Recherche d'une Musique Concrète* (A konkrét zene keresése). A Schaeffer által kitalált konkrét zene kifejezés (mellyel többek között az e fejezetben eddig felsorolt művek is jellemezhetőek) arra utal, hogy a zeneszerző konkrét, azaz „kézzelfogható”, közvetlenül megtapasztalható hanganyagból indul ki a komponáláskor, és azt direkt módon, áttételek nélkül alakítja tovább szervezett hangfolyamattá, kompozícióvá. Ez ellentétben áll egy hangszerekre vagy énekhangra komponáló szerző absztrakt zenei munkájával: ő indirekt módon, áttételesen alkot, lévén tevékenységének első eredménye nem a zene hangzó valósága, hanem egy vizuális jelsor, melyet egy elvont jelrendszer, a kottaírás szabályai szerint vet papírra.

Különösen éles az ellentét a *musique concrète* és a következő fejezetben tárgyalt német *elektronische Musik* szemlélete között. A német iskola, mivel a szerialista felfogást terjeszti ki a zene minden aspektusára (a hangszínekre is), az egyszerű elemekből felépített absztrakt szerkezet felől halad a komplex hang felé: a szerkezet megtervezése mindig megelőzi a hangzó valóságot. A francia iskola ellenben a hanggyűjtés, e játékos, kísérletező folyamat során először komplex hangokkal találkozik, melyeket aztán a kompozíció során absztrahál, többé-kevésbé eltávolít eredeti kontextusától és zenei szerkezetet épít belőle: a hangzó valóság mindig megelőzi a szerkezetet.

A konkrét zene hang-alapanyaga lehet bármely kereskedelmi célból készült zenei vagy szöveges hangfelvétel, illetve olyan, stúdióban vagy hétköznapi környezetben készített, tetszőleges hangokat tartalmazó felvétel, melyet kifejezetten a konkrét zenei alkotás céljára szántak. A párizsi iskola módszertani alapvetése egyáltalán nem zárja ki az elektronikusan generált, szintetikus hangok felhasználását sem, de mivel Schaeffer és Henry kezdetben túlnyomórészt akusztikus forrásból eredő hangokat használtak, a konkrét zene kifejezést ma is gyakran tévesen azonosítják a természetes hangok alkalmazásának gyakorlattával. Mint az előző bekezdésben írtuk, a fogalom lényege nem az alapanyagválasztással, hanem a szemléletmóddal, munkamódszerrel kapcsolatos.

A párizsi iskola másik fontos fogalma az *akuzmatikus zene*. Az *akuzmatikus* kifejezés Püthagorasz tanítványainak *akusmatikoi* nevű csoportjára utal: ők tanáruk előadását – annak pedagógiai előírása szerint – egy paraván mögül hallgatták, hogy a gesztusok és a mimika ne tereljük el a figyelmet a mondottakról. A szó ógörög töve, az *akousma*, az *akonein* (hallani) ige származéka, és hallási észlelést jelent – orvosi kifejezésként az auditív hallucinációk egy formájának elnevezésére is használják.

Az akuzmatikus zaj (*bruit acousmatique*) kifejezést először Jérôme Peignot zenei író használta a konkrét zenével kapcsolatban egy 1955-ös rádióadásban, arra utalva, hogy Püthagorasz iskolájához hasonlóan a hangok eredeti forrása a rádióban is elrejtőzik a hallgatók elől – csupán az a különbség, hogy a paravánt a közvetítés technikai eszközei helyettesítik.

Pierre Schaeffer zenei gondolkodásának legteljesebb összefoglalása az 1966-ban megjelent *Traité des Objets Musicaux* (Értekezés a zenei tárgyokról). A hangrögzítés és a rádiótechnika révén a legkülönbözőbb hangok (zene, beszéd, zörejek) szólalhatnak meg egy és ugyanazon hangszóróból, és Schaeffer szerint ez a tény a hangokat közös, osztatlan pályára helyezi, számukra egyenlő, elfogulatlan szemléletet követel. Ezt a szemléletet fejezi ki a hangtárgy fogalma, mely a megszólaló hangra, mint forrásától és megszólalásának körülményeitől különszakadt, saját jogán létező tüneményre tekint. Az akuzmatikus zene (*musique acousmatique*) kifejezést alapvetően Schaeffer is a fenti értelemben használja, ám azt kissé szűkíti: a technika „paravánja” szerinte nem csupán eltakarni hivatott a hangok forrását, hanem megszüntetni minden olyan képzettársítást is, mely a hangot megszólalása felvételtől kontextusához kötné.

Schaeffer szándéka szerint tehát a konkrét zenében megjelenő hangokat inkább elvont tulajdonságaik alapján, és nem az eredeti hangforrás mibenlétéhez, jellegéhez kapcsolódó képzettársítások szerint kell értékelni. Schaeffer fontos felismerése, hogy a hang elvont tulajdonságai nem azonosíthatóak fizikai paramétereivel (magasságok, hangerők, időtartamok), lévén az ember hallása ezen paraméterek összességére és azok változásaira rendkívül összetett és áttételes módon reagál. E felismerés nyomán Schaeffer saját magán vizsgálni kezdte az érzékelt hangzásminőségek jellege közötti különbségek mibenlétét és okait, a hangok osztályozásának észlelésen alapuló lehetőségeit, és ezáltal a későbbi pszichoakusztikai vizsgálatok alapkérdéseit fogalmazta meg.

6.2.3. Schaeffer és Henry későbbi tevékenysége

Schaeffer elméleti munkája, intézményszervezői és tanári tevékenysége (1968 és 1980 között a párizsi Conservatoire-on tanított) elvonta őt az alkotástól. Utolsó zeneileg igazán termékeny éve 1959 volt – ekkor keletkezett egyik legkiforrottabb műve, az *Etudes aux Objets* (Tárgy-etűdök). Az öt, egyenként 3 perc körüli időtartamú tanulmány mindegyike finom érzékkel alkotott hangtárgy-kollázs, mely a címekben közölt jellegek szerinti hangokat helyez egymás mellé:

1. *Objets exposés* ([ütésnek] kitett tárgyak),
2. *Objets étendus* (elnyújtott tárgyak),
3. *Objets multipliés* (megsokszorozott tárgyak),
4. *Objets liés* (kötött tárgyak),
5. *Objets rassemblés, ou strette* (egyesített tárgyak, avagy stretta).

Ez a mű – mint minden párizsi darab 1951 után – már szalagos magnetonokkal készült. A hang-átalakítási lehetőségek a magnó esetében lényegében megegyeznek a hanglemezes technikával kapcsolatban felsoroltakkal, ám egyszerűbben és gyorsabban kivitelezhetőek. A szalagok a lemezekkel szemben törölhetőek és újrahasználatúak, s egyazon szalagra a törlőfej kikapcsolásával, ismételt másolással több hangréteget is „fel lehet hordani”. Az elhagyás a lemeztű föl-le emelgetése helyett azáltal történik, hogy a magnószalagból ollóval vagy pengével egyszerűen kivágják a megfelelő szakaszt. A vágással különválasztott szakaszok tetszőleges sorrendben egymáshoz ragaszthatóak, a szakaszok közötti váltás észrevétlenné (kattanásmentessé) tehető átlós vágás segítségével. *Loopot* egy szalagdarab két végének egymáshoz ragasztásával lehet létrehozni.



6.8. ábra: *Phonogène*

A sebességmódosítások könnyebbé és differenciáltabbá tételére fejlesztették ki a *phonogène* nevű speciális magnetofont. Első generációja, a kromatikus *pho-*

nogène (6.8. ábra és 6.6. ábra, Schaeffer alakja alatt), a belé fűzött *loop*okat a kromatikus skála hangjainak megfelelő magasságba tudta transzponálni a megfelelő sebességfokozatokon történő lejátszás által. A második generációs glisszandó-*phonogène* folyamatos csúszásokat volt képes létrehozni a sebesség fokozatos változtatásával – ez az effektus figyelhető meg például Pierre Henry 1953-as *Voile d'Orphee* (Orfeusz fátyla) című művében, melyben a glisszandó Orfeusz fátylának felemelkedését hivatott megjeleníteni. (Ez a darab az *Orphée 53* című, Schaefferrel együtt komponált kísérleti opera átdolgozása). A harmadik generációs, úgynevezett univerzális *phonogène* 1963-as megjelenésével új fogás vált elérhetővé a szalaggal alkotó zenészek számára: a sebesség és hangmagasság egymástól független változtatása. Ezt egy henger alakú lejátszófej beiktatása tette lehetővé, mely maga is forog, és forgási sebessége a szalag sebességétől függetlenül változtatható.

Schaeffer 1959 után, élete hátralévő 36 évében csupán 3 művet komponált. Ez a konkrét zenétől való növekvő távolságtartásával is magyarázható: egy 1969-es interjúban félig tréfásan, félig komolyan a konkrét zene „balszerencsés feltalálójának” vallotta magát. Utolsó darabja az 1979-es *Bilude*, a *Wohltemperiertes Klavier* I. kötetéből való c-moll prelúdium önironikus átdolgozása. Komikusan hatnak a Bach-darabba furakodó, annak egyes ütemeit helyettesíteni próbáló zajok (köztük egy idézet Schaeffer saját Vonat-etűdjéből), s a klasszikus zenemű kontextusa rávilágít a konkrét zene eszközeinek veszélyes tulajdonságaira: az öncélúság és a banalitás könnyen előállítható minőségeire. Schaeffer utolsó művében megmutatkozó kritikus szemlélete elméleti munkáinak is értékes jellemzője.

Pierre Henry – Schaefferrel ellentétben – egész életében aktív maradt a konkrét zene területén. 1958-ig maradt a Francia Rádió kötelékében, s két évvel később Jean Baronnet-val megalapította Franciaország első magánstúdióját. Fölényes technikájának és burjánzó kreativitásának demonstrációja az imént szóba került Bach-mű címére utaló háromnegyed órás *Le microphone bien tempéré* (A jól temperált mikrofon) tizenhat tételben, 1950–52-ből. A mű jól példázza Henry vonzódását az erőteljes ritmika iránt, mely talán részint ütőhangszeres múltjára, részint a konkrét zenében gyakori, ritmikusan ismétlődő *loop*okra vezethető vissza.

Henry 1954-től együttműködött Maurice Béjart koreográfussal. Számos közös balettjük közül a legjelentősebbek a következők: *Haut-Voltage* (Magasfeszültség; 1956), *Le voyage* (Az utazás; 1962), *La reine verte* (A zöld királynő; 1963), *Variations pour une porte et un soupir* (Variációk egy ajtóra és egy sóhajra; 1963), *Messe pour le temps présent* (Mise a jelenkor számára; 1967) és *Nijinsky, clown de Dieu* (Nizsinszkij, Isten bohóca; 1971).

A felsorolásból kompozíciótechnikailag az ajtóra és sóhajra írott variációsor a legtanulságosabb. E 22 perces, 24 tételes művet az alapanyagok takarékos megválogatása és kombinációs lehetőségeik szisztematikus kiaknázása jellemzi. A címben szereplő ajtó nyikorgásain és az emberi légzéshangokon kívül Henry egy harmadik forrást is használt: a flexaton nevű idiofon hangszert, mely egy

hajlítható fémlemezéből és a két oldalához rögzített fém ütőnyelvekből áll. A nyelvek a hangszer rázásakor a fémlemezhez verődnek, mely a meghajlítása mértékétől függően alacsonyabb vagy magasabb hangot ad.

Henry alkotásában fontos inspiráló szerepük van az írott szövegeknek. Ihletadói között szerepel a Tibeti halottaskönyv (*Le voyage*, 1962; *Le Livre des morts égyptien*, 1986–88), János jelenései a Bibliából (*Apocalypse de Jean*, 1968), valamint Victor Hugo (*Dieu*, 1977; *Hugosymphonie*, 1985) és Jules Verne művei (*Comme une symphonie, envoi à Jules Verne*, 2005).

Ellenőrző kérdések:

1. Melyik évtizedben terjedt el a magnetofonok használata a stúdiókban?
2. Ki és mikor alapította a Francia Rádió kísérleti stúdióját?
3. Mi a címe Pierre Henryval közösen komponált több tételes művének?
4. Mit jelent a konkrét zene kifejezés?
5. Mit jelent az akusztikus zene fogalma?

7. A Kölni Stúdió és Karlheinz Stockhausen

A 1–2. és 5. fejezetben ismertetett hangszerek esetében a hangsúly a technikai újdonságokon volt, és ezek az újdonságok önmagukban még nem idéznek elő alapvető változást a zenéről való gondolkodásban. Nem véletlen, hogy Cage komoly kritikával illette a 20. század első felének hangszerkészítőit, zeneszerzőit és előadóit:

„Az elektromos hangszerek feltalálójának többsége a tizenharmadik és tizenkilencedik századi hangszereket próbálta utánózni, miként az első automobil tervezői is a szekeret másolták le. [...] Míg Theremin a hangszert alapvetően új képességekkel ruházta fel, addig Theremin hangszereinek játékosai minden tőlük telhetőt megtettek azért, hogy a hangszer úgy szóljon, mint valamelyik régi; [...] pajzsot vontak közénk és az új hangzási tapasztalatok közé.”¹⁴

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) elődje, a Radio d'Essay Párizsban és 1951-ben a Nyugatnémet 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.

7.1. A WDR kölni stúdiója

A Kölni Rádió, azaz a Westdeutscher Rundfunk elektronikus zenei stúdióját 1951-ben alapította Herbert Eimert (1897–1972) zeneszerző, újságíró és rádiós szerkesztő (7.1. ábra), Robert Beyer (1901–1989) hangmérnök-zeneszerző és Werner Meyer-Eppler (1913–1955), az akusztika, a fonetika és az információ-elmélet szakembere.

¹⁴ Cage, John: A csend. Vál. Wilhelm András. Jelenkor Kiadó, Pécs, 1994, 7–8. o.



7.1. ábra: Herbert Eimert

A kölni stúdió a megalakulásától kezdve elhatárolta magát a párizsi konkrét zene módszerétől. A felhasználható hangforrások körét tiszta elektronikus forrásokra korlátozták, melyeket a szerializmusból származó, precíz kompozíciós módszerekkel vezéreltek. A kezdeti darabok szinte kizárólag szinuszhullámokból készültek, de a stúdióban rendelkezésre álltak még zajgenerátorok, ringmodulátorok, szűrők és zengetők is (7.2. ábra) – mindegyik eszköz közös vonása az volt, hogy a paraméterek teljes kontrollálását tette lehetővé.



7.2. ábra: A kölni stúdióban, az 1950-es években használatos analóg berendezések

A stúdió megalakulása után Gottfried Michael König (1926–; 7.3. ábra) zeneszerző volt az, aki elkezdte kialakítani a korai elektronikus zene nyelvezetét. Amellett, hogy hozzá kapcsolódtak a stúdióból kikerülő első jelentős darabok (pl. *Klangfiguren* [1955], *Essay* [1957–58], *Terminus 1* [1962]), technikai segítséget nyújtott a stúdióba érkező vendég-zeneszerzőknek, hogy el tudják sajátítani az új technológiát. Munkájának eredményeként a stúdió nemzetközi találkozóhellyé vált, olyan zeneszerzők és művészek, mint Ernst Krenek, Ligeti György, Franco Evangelisti, Cornelius Cardew, Mauricio Kagel és Nam June Paik éltek és dolgoztak Kölnben.



7.3. ábra: Gottfried Michael König

7.2. Karlheinz Stockhausen munkássága a kölni stúdióban

A stúdióhoz köthető legnagyobb hatású zeneszerző kétségtelenül Karlheinz Stockhausen volt (1928–2007; 7.4. ábra). Hála a zeneszerző által készített gondos dokumentációnak, a koncepciói és a hangzások tudatos szervezésére használt módszerei legkorábbi elektroakusztikus zenei munkáitól kezdve jól nyomon követhetők.



7.4. ábra: Karlheinz Stockhausen a kölni stúdióban, az 1950-es években

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 használja kiindulásul. A bonyolult matematikai sorok alapján kiszámolt és realizált inharmonikus „hangmixtúrák”-ból szériák alapján jön létre hangszín-kombinációk sokasága.

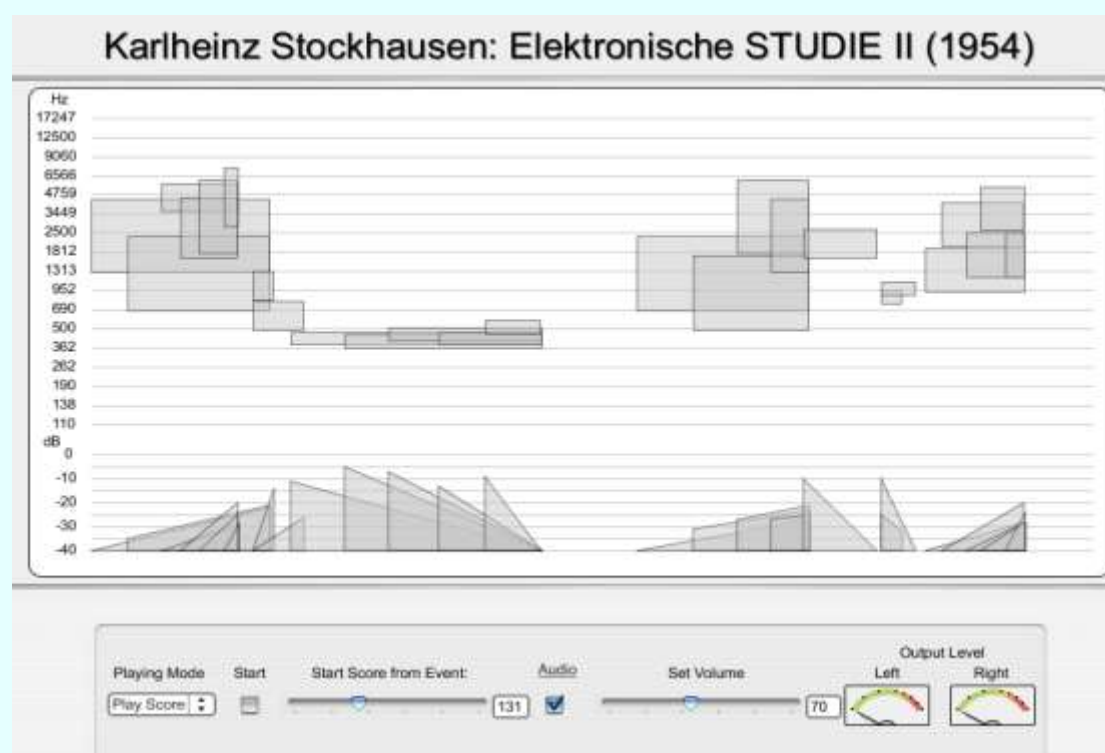
Stockhausen második elektronikus zenei kísérletében, a *STUDIE II*-ben a hanganyag különböző szélességű és sűrűségű zajsávokból tevődik össze. Mivel a szerzőnek nem állt rendelkezésére megfelelő felbontású szűrőpark, a színezett zajsávokat szinuszhullámok és zengetés segítségével realizálta.

Az egységes hangzás elérése céljából egyszerűsítette a frekvenciaarányokat: az egyes hangcsoportok 5 összetevőből állnak, melyek egymáshoz viszonyított aránya a mindig állandó, 5 huszonötödik gyökének 1., 2., 3. és 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. Attól függően, hogy az 5 huszonötödik gyökének melyik hatványát alkalmazzuk,

különböző szélességű, illetve sűrűségű klasztereket, vagy ahogyan Stockhausen nevezi, színezett zajsávokat kapunk.

A korlátozott számú szinuszhullámnak és a frekvenciaértékek közötti állandó aránynak köszönhetően a hangcsoportok nagyon hasonlóak egymáshoz, ezért azt az érzetet keltik, 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 élettél, zeneiséggel a virtuóz módon kezelt morfológiák, az amplitúdó görbék és az időbeni szervezés töltik meg őket. Mint a zajsávok összetevőinek számát és frekvenciaarányait, úgy ezt az aspektust is az 5-ös szám uralja: a szerző 5 féle dinamikai alakzatot használ, melyek erőteljesen befolyásolják a hangszínérzetet.

Interaktív példa! LINK: Hajdu_stockhausen-studie-II – [WIN](#), [OSX](#).



7.5. ábra: StudieII_MAX.png

A példa Stockhausen Studie II című darabjának rekonstrukciója, melyet Georg Hajdu készített MAX/MSP szoftver segítségével. A darab egyes elemeit le lehet játszani a mű eredeti sorrendjében követve a kottát, vagy a „Playing Mode” gomb segítségével be lehet állítani, hogy az események véletlenszerű sorrendben jelenjenek meg.

Stockhausen munkái oldották fel a tiszta elektronikára korlátozó dogmatikus kölni hozzáállást. Átjárást teremtett a francia konkrét és a német elektronikus

zene között, ám nem pusztán keverte a kétféle felfogást: hangszínskálái segítségével az 1955–56 között komponált *Gesang der Jünglinge* (Az ifjak éneke) című darabjában eljutott a szinuszhang és a komplex emberi beszéd közötti folyamatos összeköttetés megteremtéséig.

A szerző szerint a vokális hangzásoknak és az elektronikusan létrehozott hangoknak...

„...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.”¹⁵

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.”¹⁶

A szerző a vokális és szintetikus hangokból a hangszín, hangmagasság, hangerő, hanghosszúság, amplitúdó-burkológörbék, szövegérthetőség, tértengelyek mentén alakított ki skálákat, melyeket később szeriális technikával permutált.

A mű szövege, melyet fiúszoprán szólaltat meg, a Bibliából, Dániel könyve 3. fejezetéből való, és arról a három zsidó ifjúról szól, akik hitüknek köszönhetően a tüzes kemencében is sértetlenek maradtak.

Stockhausen 1959 és 1960 között készítette egyik legfontosabb elektroakusztikus kompozícióját, a *Kontaktét*. E negyven perces mű megalkotásának két évig tartó, nagyszabású vállalkozását hatalmas realizációs partitúra és napló dokumentálja. A darab két változatban készült el, az egyik verzió kizárólag elektronikus hangzásokat tartalmazó quadrofon szalagdarab, a másik pedig az elektronikus hangzásokhoz zongorát és ütőhangszereket is társít. A *Kontakte* elektronikus hangzásainak alapjául impulzusgenerátorral létrehozott hangok szolgáltak (az impulzusok sebességét folyamatosan lehetett változtatni 16 és 1/16 impulzus/másodperc között, az impulzusok hosszát pedig 0.0001 és 0.9

¹⁵ Stockhausen, Karlheinz: „Studie I. Electronic Music”. In: Booklet of Stockhausen Verlag, Stockhausen 3, Elektronische Musik 1952–1960. (1996), 135. o.

¹⁶ 3 Id. m., 153. o.

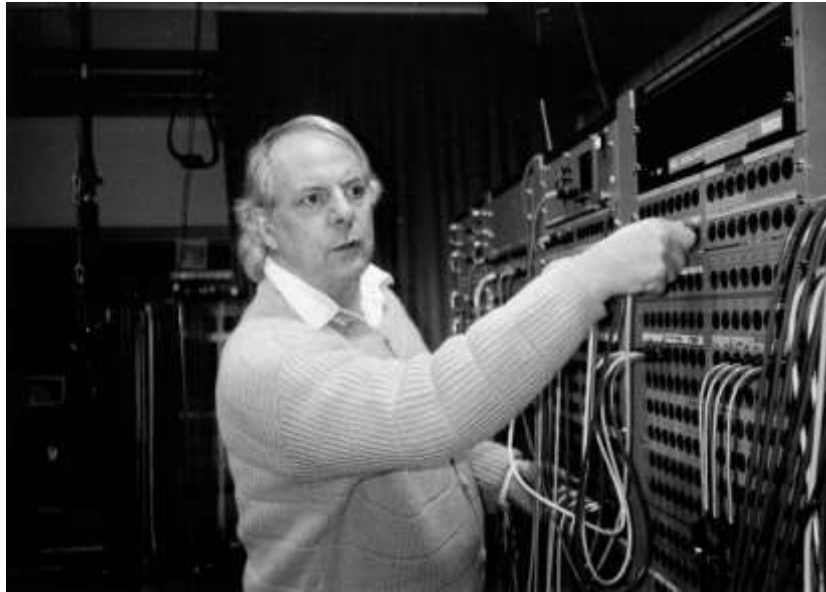
másodperc között). Az így keletkezett alapanyagot szűrőkkel lehetett tovább változtatni. Egyes hangzások forrásául szinuszgenerátor és négyszöggenerátor szolgált.

A műben hallható elektronikus hangok az impulzusok ritmikus szekvenciáinak változatos sebességmódosításaival és különféleképp történő zenetetésével jöttek létre. Az elektronikusan előállított hangszínek skálája tartalmaz meghatározott hangmagasságú és zajszerűbb hangokat (fém, bőr, fa hangforrásokat imitáló hangszínek), az egyes hangtípusok között pedig különböző átmenetek, találkozások és kereszteződések zajlanak – ezekre utal a darab címe.

A *Kontakte* Stockhausen azon kompozíciói közé tartozik, melyek a szerző *Momentform*, azaz pillanat-forma vagy most-forma nevű folyamatkoncepcióját alkalmazzák:

Az utóbbi években megjelentek olyan zenei formák a kompozíciókban, melyek eltávolodnak a drámai finálé formájától; nem vezetnek semmilyen csúcsponthoz, nincsenek bennük sem előre eltervezett, így kiszámítható csúcspontok, sem a jól ismert bevezető, felerősítő, átmeneti szakaszok és kadenciák, amelyek a teljes mű kifejlődésének görbéjéhez tartoznak; a moment forma közepes intenzitású – és állandó jelenléttel bíró – törekvés, hogy megőrizhető legyen a folyamatos csúcspontok sorozata a mű elejétől a végéig; formák, melyekben bármelyik pillanatban várható minimum vagy maximum, és melyben nem lehet előre kiszámítani a fejlődés irányát valamely adott ponttól; formák, melyekben valamely pillanat nem az idő átmeneti szakaszának egy darabja, nem a mért időtartam egy részecskéje, hanem ahol a „most”-ra, a mindenkori „most”-ra történő koncentráció függőleges metszeteket hoz létre, amelyek megtörik az idő vízszintes felfogását időtlenséghez vezetve.

Stockhausen a kölni stúdió berendezéseit a későbbi évtizedekben is használta, például 1977 és 2003 között írt hétrészes monstre-operaciklusa, a *Licht* elektronikus részeinek elkészítésekor (7.6. ábra).



7.6. ábra: Stockhausen a kölni stúdióban 1994-ben *Freitag aus Licht* című operájának munkái közben

7.3. Ligeti György: Artikulation

Stockhausen nagy hatással volt Ligeti Györgyre is, aki 1957-ben került a kölni rádióhoz külső munkatársként. A stúdióban három elektronikus kompozíciót készített, melyek közül egyet, az *Artikulation*-t tekintette valódi zeneműnek.

„Három darabon dolgoztam akkoriban, amelyek közül ma már csak az egyiküket, az *Artikulation* címűt vállalom. [...] Ez az egyetlen érvényes elektronikus darabom. A címe azt sugallja, hogy a zenét nyelvnek tekintem”.¹⁷

Az *Artikulation* magán hordozza Stockhausen *Gesang der Jünglinge* című művének hatását. Ligeti is kísérleteket végzett hangzók szintetikus előállítására. Ennek érdekében tanulmányozta a német fonetikát. Az előállított hangzók közül a szerző listát készített, melynek segítségével készítette el a végső kompozíciót. Az *Artikulation* célja olyan zene létrehozása volt, amely követi a beszéd artikulációját, aminek nem kell érthető szövegnek lennie, lehet akár madárcsicsergés is.

Ligeti kezdeti lelkesedése az elektronikus zene iránt hamarosan alábbhagyott, amikor rájött, hogy az új technika nagyban korlátozza zeneszerzői szabadságát.

„Annyira naiv voltam, hogy azt hittem, a szinuszhangból tényleg bármilyen zenét össze lehet állítani, és a zeneszerző teljesen szabadon

¹⁷ Eckhard Roelcke: Találkozások Ligeti Györggyel. Beszélgetőköny. Osiris Kiadó, 2005

járhat el. [...] Ami lehetségesnek tűnt, az a valóságban nagyon korlátozottan működött.”¹⁸

A stúdióban töltött évek azonban nem múltak el nyomtalanul. Az elektronikus zenei hatások Ligeti hangszeres zenéjében éltek tovább.

„Kölnben töltött időm talán legfontosabb eredménye az volt, hogy végighallgathattam az 50-es évek teljes új zenéjét, amiről addig nagyon kevés fogalmam volt. S ez óhatatlanul nagyon megemelte kompozíciós munkám technikai színvonalát. A stúdióban való munka teljesen új kompozíciós elgondolásokhoz vezetett.”¹⁹

Ellenőrző kérdések:

1. Ki és mikor alapította a WDR kölni stúdióját?
2. Mi különbözteti meg a korai német elektronikus zenét a francia konkrét zenétől?
3. Soroljon fel hármat Karlheinz Stockhausen elektroakusztikus művei közül!
4. Miben különbözik egymástól a *Kontakte* két változata?
5. Ligeti György melyik műve készült a kölni stúdióban?

¹⁸ I. m.

¹⁹ Várnai Péter: *Beszélgetések Ligeti Györggyel*. Zeneműkiadó, 1979;

8. Az amerikai és japán elektronikus zene kezdetei

8.1 A Barron-stúdió

Az Egyesült Államok elektroakusztikus zenei élete az európaival szemben nem intézményes keretek között, hanem magánszemélyek kezdeményezésére indult el. Ez a finanszírozás tekintetében ugyan hátrányt jelentett, a gondolkodásmód szempontjából azonban nagyobb szabadságot. Az amerikai zeneszerzők kimaradtak a francia és német zenei ideológia harcából, és értetlenül szemlélték azt.

Az elektroakusztikus zene első amerikai úttörői Louis Barron (1920–1989) és felesége, Bebe Barron (született Charlotte May Wind, 1925–2008) voltak (8.1. ábra). Louis a Minnesotai Egyetem diákjaként jazz-kritikákat írt, és zongorázni is tanult, a feleségével való közös munka során azonban inkább elektronikai ismereteinek látták nagy hasznát. Bebe a Minnesotai Egyetemen politológiai és zenei tanulmányokat folytatott. Az iskola elvégzése után Wallingford Rieger és Henry Cowell lett zeneszerzés tanára.



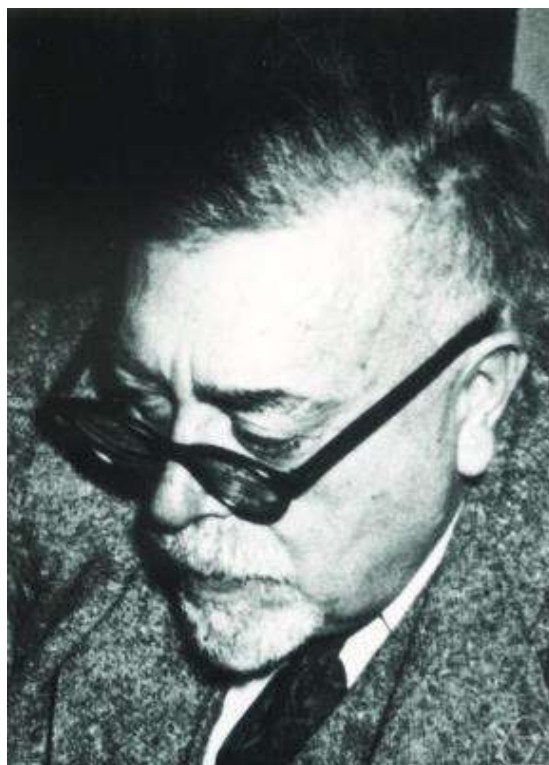
8.1. ábra: Louis és Bebe Barron

Az 1947-ben házasságot kötött pár 1948-ban New Yorkba költözött és ott stúdiót alapított különféle jellegű hangfelvételek számára, jelentős részben saját készítésű berendezésekkel. A vállalkozás jövedelmezőnek bizonyult, főképp mert

nem volt versenytársa. Kortárs írók (köztük Henry Miller, Tennessee Williams, Aldous Huxley és Anaïs Nin) saját műveik hangoskönyv-változatát készítették el a Barron-stúdióban, ezek hanglemezeként jelentek meg.

Családi ismeretségeknek köszönhetően kifejezetten Barronék számára gyártottak egy példányt az egyik első amerikai szalagos magnóból, a Stancil-Hoffmann-féle magnetofonból, melyhez a Minnesota Mining and Manufacturing Company (3M) legkorábban előállított magnószalagjait kezdhették el használni. Rövid ideig az övék volt az egyetlen stúdió az Egyesült Államokban, ahol ilyen eszközöket alkalmaztak.

Első elektroakusztikus művük a *Heavenly Menagerie* (Mennyei állatsereglet, 1950–52) volt, melynek készítésekor csupán Schaeffer és Henry hasonló jellegű tevékenységéről tudtak. A darab, mint későbbi kompozícióik is, tisztán elektronikus hangokat használt, ám merőben más módon keletkezett, mint a német elektronikus zene termékei. Barronék tevékenységüket alapvetően nem is zeneszerzőként fogták fel, ami azzal magyarázható, hogy kreativitásukat nem valamilyen kortárs zenei impulzus indította be, hanem egy újonnan született tudomány, a kibernetika.



8.2. ábra: Norbert Wiener

A kibernetika a visszacsatolásra épülő, önszabályozó rendszerek működését tanulmányozó tudomány, melynek előzményei egészen az antikvitásig nyúlnak vissza. Az élő szervezetek, az idegrendszer, különféle összetett gépek és az emberi társadalom visszacsatolási folyamatainak vizsgálata azonban csak a 20. század közepén vált önálló területté, és nyerte el nevét, mely a görög *kübernétész*,

azaz kormányos szóból származik. A tudományterület keresztapja és önállóságának megfogalmazója Norbert Wiener (1894–1964; 8.2. ábra) amerikai matematikus volt.

Louis és Bebe Barron kezébe került Wiener *Cybernetics: Or, Control and Communication in the Animal and the Machine* (Kibernetika, avagy szabályozás és kommunikáció az állatokban és a gépekben) című, 1948-as könyve, és döntő hatással volt rájuk. Louis a hangok előállítására kibernetikai áramköröket épített, melyek mindegyike egyfajta sajátos kis idegrendszerre hasonlított, és egy-egy önmagát ismétlő eseménysort állított elő. A pár úgy tekintett rájuk, mint primitív kis élőlények egyedeire, amelyeknek megvan a saját, önálló élete és halála. Működésükbe, „életfolyamataikba” sohasem avatkoztak bele, és ha egy áramkör tönkrement, többet nem kísérelték meg újjáépíteni.



8.3. ábra: A *Forbidden Planet* c. film plakátja

Az áramkörök hangjáról felvételt készítettek, és a különböző felvételeket összemásolták, két-háromrétegű anyagot hozva létre. Ilyen módon készítették a *Forbidden Planet* (Tiltott bolygó) című, 1957-es sci-fi film (8.3. ábra) zenéjét, a legelső tisztán elektroakusztikus filmzenét, melyben az egyes szereplőkhöz és helyszínekhez vezérmotívum-szerűen rendelték hozzá az egyes áramkörökből származó hanganyagokat. A zene újszerűségét jól jellemzi az a mozzanat, hogy a film stáblistájában az „electronic music by Louis and Bebe Barron” feliratot az utolsó pillanatban lecserélték az „electronic tonalities by Louis and Bebe Barron”

szövegre, ugyanis egy jogász attól tartott, hogy a zeneszerző-egyesület kifogásolni fogja a „music” szó használatát.

Barronék saját munkája mellett nagy jelentőségű John Cage-dzsel való együttműködésük, melyről a következő fejezetben szólunk részletesen. A házaspár 1970-ben elvált, de Louis 1989-es haláláig voltak közös munkáik. Bebe volt az 1984-ben alakult SEAMUS (Society for Electro-Acoustic Music in the United States) első titkára 1985 és 1987 között. 2000-ben, több mint egy évtizedes alkotói szünet után készítette el utolsó művét, a *Mixed Emotionst*, melyet bár számítógéppel komponált, hangzásvilága nagyon közel áll a *Forbidden Planet* analóg elektronikus filmzenéjéhez.

8.2 Elektroakusztikus zene a Columbia és a Princeton Egyetemen

Az amerikai elektroakusztikus zene másik két úttörője Otto Luening (1900–1996) és Vladimir Ussachevsky (1911–1990; 8.4. ábra). Mint nevük is érzékelteti, mindketten friss bevándorlók voltak. Luening második generációs, tehát már az Egyesült Államokban született, ám fiatal korában szoros kapcsolatban állt muzsikuszülei szülőhazájával, Németországgal. Zenei tanulmányait Münchenben kezdte, itt mutatkozott be fuvolaművészként 16 éves korában. Tanulmányai az I. világháború alatt Zürichben folytatódtak, itt magántanára volt Ferruccio Busoni, akinek Luening saját bevallása szerint hangszín-orientáltságát köszönhette.



8.4. ábra: Ussachevsky (balra) és Luening

Az orosz Ussachevsky Kínában született, közel a kínai-orosz határhoz. 1930-ban emigrált az Egyesült Államokba, a Pomona College-ben és az Eastman School of Musicban végezte zenei tanulmányait. Az orosz ortodox egyház közelségében nőtt fel, ennek folyamánaképpen hangszeres-vokális komponálásában a romantikus ortodox liturgikus zene stílusát követte, még 20 évvel az után is, hogy elektronikus zenével kezdett foglalkozni.

Luening 1944-ben a New York-i Columbia Egyetem zenetanára és az operaműhely vezető karmestere lett, nevéhez több világpremier, például Menotti *A médium*, illetve saját *Evangeline* című operájának bemutatója fűződik. Ussachevsky 1947-ben kezdett posztdoktorális munkát a Columbia Egyetemen, és hamarosan Luening zenetanár-kollégája, majd elektronikus zenei kísérleteinek partnere lett.

Az egyetem 1951-ben beszerezett néhány magnetofont saját koncertjeinek felvételére. Ezek használatát az iskola egy mérnökhallgatója, Peter Mauzey (1930–) mutatta meg a zeneszerzőknek, és egy zengető áramkört is épített a számukra. Luening és Ussachevsky kezdetben még állandó stúdióval sem rendelkezett: a berendezések állandó mozgásban voltak Ussachevsky kocsijának csomagtartójában. Először a vermonti Bennington College kocsiszínében, majd Henry Cowell zeneszerző nyaralójában, Ussachevsky nappalijában, és végül a híres karmester, Arturo Toscanini riverdale-i házában pincéjében találtak ideiglenes helyszínre. Több hónap után kaptak csak saját helyiséget a Columbia Egyetem zenei tanszékén – így alakult meg a *Columbia Tape Music Center* (1958-tól *Columbia-Princeton Electronic Music Center*).

Elektronikus hanggenerátorai kezdetben nem voltak. Luening visszaemlékezése szerint választót előtt álltak: vagy a természeti és városi környezet hangjaival, a metró zajaival, tüsszentéssel-köhögéssel és effélékkel kezdenek kísérletezni, vagy pedig a számukra könnyen elérhető, hagyományos akusztikus hangszerek hangjainak felhasználásával keresnek új lehetőségeket. Az utóbbi megoldást választották: Luening saját hangszerével, a fuvolával készített felvételeket, Ussachevsky pedig zongorahangokkal dolgozott, és mindketten a konkrét zene egyszerű fogásaival kezdték a hangszerhangokat átalakítani.

Első koncertjük 1952. május 9-én volt, ezt egy október 28-i, nagyobb szabású koncert követte a New York-i *Museum of Modern Arts*-ban. A második koncerten Ussachevsky zongorahangokat használó *Sonic Contours*-ra, és Luening három fuvolahangokból építkező műve, a *Fantasy in Space*, a *Low Speed* és az *Invention in Twelve Notes* hangzott el, csupa 1952-es darab. Luening, mint azt harmadik darabjának címe sejteti, dodekafon technikákat is alkalmazott. A hagyományos kompozíciós módszereken ugyanakkor túlmutat a közeli rezgésszámú fuvolahangok összemácsolásával létrehozott lebegés használata, illetve a harmonikus felhangoknak megfelelő magasságokba transzponált fuvolahangok keverése, tehát olyan akkordok létrehozása, melynek egyes hangjai egyetlen hanggá olvadnak össze, s az eredményezett hang színe az összetevők hangerő-arányától függ.

A második koncert áttörte a széles nyilvánosság ingerküszöbét: a két zeneszerző még az NBC reggeli televíziós műsorában, a *The Today Show*-ban is szerepelt, és ettől kezdve az elektronikus zene utazó nagyköveteiként működtek. Ezt szó szerint kell érteni: 1955-ben ösztöndíjas megbízást kaptak az európai elektronikus zene tanulmányozására, hogy azután egy, az Egyesült Államokban megalapítandó elektroakusztikus központ tervével álljanak elő. Több európai stúdió között a két leghíresebbet, a párizsi GRM-et és a kölni rádióstúdiót is meglátogatták, és tanulságos találkozásuk volt Pierre Schaefferrel, akinek felfogását Luening később „egy mérnök esztétikája”-ként jellemezte, illetve Herbert Eimerttel, aki sikertelenül próbálta megtéríteni őket a tisztán elektronikus zene számára.

Még 1955 folyamán hazatértek Amerikába, és érkezésüket nem lehetett volna jobban időzíteni. Épp ebben az évben mutatták be ugyanis a Radio Corporation of America (RCA) új szintetizátorát, Herbert Belar és Harry Olson alkotását, az első modern értelemben vett szintetizátort, mely komplex hangok létrehozásának, módosításának, lejátszásának és rögzítésének meglehetősen fejlett analóg eszközeit egyesítette magában. Bár az RCA vezetője, David Sarnoff a bemutatón Busoni gondolatait idézte a művész és a mérnök együttműködéséről, egymás céljainak megértéséről és az együtt haladásról, a hasznosítással kapcsolatos kezdeti fantáziákban mégis csupán az akusztikus hangszerek helyettesítése és a szórakoztató zene automatizált előállításának szerepelt.

Luening és Ussachevsky azonban azonnal felismerte a szintetizátorban rejlő valódi lehetőségeket. Lyukszalagra épülő vezérlésével, 12 független hanggenerátorával sokkal fejlettebb volt, mint a legtöbb elektroakusztikus készülék, amellyel Európában találkoztak. A berendezés felkeltette Milton Babbitt (1916–2011; 8.5. ábra) zeneszerző érdeklődését is. Mivel Babbitt a New Jersey-i Princeton Egyetemen tanított, Luening és Ussachevsky a tőlük elvárt és 1957-ben megírt javaslatban az alakítandó elektronikus zenei központot a Columbia és Princeton egyetemeken együttműködésében képzelték el. Így jött létre 1958-ban a *Columbia-Princeton Electronic Music Center*.

Az RCA először kölcsönadta számukra szintetizátorát, majd 1959-ben annak továbbfejlesztett változatát, az RCA Mark II-t adományozta nekik (8.5. ábra). Az új New York-i székhelyű elektronikus zenei központnak három helyisége volt, az egyik a szintetizátor számára (mely az egész helyiséget betöltötte), a másik kettő pedig hagyományos stúdióberendezések részére. Luening RCA szintetizátoros munkáját az 1957-es *Mathematics*, míg Ussachevskyét az 1958-as *Linear Contrasts* példázza.



8.5. ábra: Milton Babbitt az RCA Mark II szintetizátor vezérlőjénél

Lueninghez és Ussachevskyhez hasonlóan Babbitt is erősen kötődött a klasszikus zenei hagyományhoz, és ez a körülmény szerencsésen találkozott az RCA szintetizátor egy adottságával, mely számos erénye mellett fogyatéknak tekinthető: a hangszer az egyenletesen temperált 12 fokú skála hangjainak létrehozására tervezték. Bár a hangmagasság-tér ilyenfajta bezárása az elektroakusztikus zene történetében zsákutcának bizonyult, Babbitt a szintetizátoron igen fejlett műveket komponált, köztük az 1962–64-es *Ensembles for Synthesizer* és az 1963-as *Philomel*. Az utóbbi mű, a mitológiai Filoméla történetének feldolgozása, az elektronikus hangokat felvett és élő szoprán énekhanggal kombinálja.

Az élő előadók bevonásának és elektronikus hangokkal való kombinálásának gondolata már korábban is megjelent a princetoni műhelyben. Luening *Fantasy in Space* és Ussachevsky *Sonic Contours* című darabjainak anyagát a két szerző 1954-ben egyesítette és hozzá zenekari kíséretet írt – így jött létre a *Poem in Cycles and Bells*. Ugyanebben az évben keletkezett Varèse *Déserts* című műve, ebben azonban az elektronikus és zenekari szakaszok egymástól határozottan elkülönülnek. A *Poem in Cycles and Bells* az egyik legelső mű, ahol a kétféle forrásból származó hangok egyszerre, egymást kiegészítve és kísérve is megszólalnak.

8.3 Japán

Japánban az elektroakusztikus zene meghonosodásának technikai feltételét az 1946-ban alapított Tokyo Tsushin Kogyo KK (Tokyói Híradástechnikai Vállalat) jelenléte biztosította. A cég – miután 1954-ben licencet szerzett a tranzisztorgyártásra – Sony néven vált világszerte ismertté. 1950-ben kezdték gyártani „G-típusú” (G, mint *government*, azaz kormányzati) magnetofonjukat, mely hamarosan nemcsak a kormányzati hivatalokban, de az elektroakusztikus zenei műhelyekben is otthonra talált. Ezt követte 1951-ben a „H-típusú” magnó (H, mint *home*, azaz otthoni).

Ugyanebben az évben alakult a Jikken Kobo (ejtsd: dzsikken kobo), azaz Kísérleti Műhely, melynek Toru Takemitsu (1930–1996), Kuniharu Akiyama (1929–1996), Joji Yuasa (1929–), Kazuo Satoh (1926–), Hiroyoshi Suzuki (1931–) és Takahiro Sonoda (1928–) zeneszerzők is tagjai lettek. A Sony alapítói, Masaru Ibuka mérnök és Akito Morita fizikus tisztában voltak a magnó kreatív zenei alkalmazásának lehetőségeivel, ezért együttműködésre hívták a Jikken Kobót: a kísérleti műhelynek az akkori legfejlettebb magnótechnikát biztosították és demonstrációs zenéket vártak cserébe. Az együttműködés 1960-ig tartott, a stúdió ezután a Sogetsu Művészeti Központba került, ahol 1966-ig szolgálta ki a zeneszerzőket.

Az első japán szalagzenék Kuniharu Akiyama 1951-es művei, a *Toraware no Onna* (Bebörtönzött nő) és a *Piece B* voltak. Joji Yuasa az elektronikus zenét diavetítéssel kombinálta, a Sony erre a célra kifejlesztett készülékét egy 1955-ös koncerten mutatták be. Ezek a korai kísérletek nem keltettek különösebb visszhangot, aminek oka részben az lehetett, hogy a japán zenei életet ekkor még nem sikerült bekapcsolni Európa és Amerika elektroakusztikus kezdeményezéseinek áramába. A felsorolt zeneszerzők hallottak ugyan a *musique concrète*-ről, de 1957-ig az irányzat egyetlen zeneműve sem jutott el hozzájuk.



8.6. ábra: Toshiro Mayuzumi

Igaz, közvetve már korábban is találkozhattak a francia stílussal, Toshiro Mayuzumi (1929–1997; 8.6. ábra) révén. Ő párizsi tanulmányainak idején, 1952-ben hallotta Schaeffer egyik koncertjét, és a konkrét zene élményét *Les Ouvres pour musique concrète x, y, z* című három darabjában örököltette meg. A mű, melyet 1953. november 3-án sugárzott a JOQR, a Japán Kulturális Rádió, nagy meglepetést váltott ki Takemitsuból és más zeneszerzőkből. Ők a konkrét zenét valami sokkal rendszerezettebb, megtervezettebb dolognak képzeltek. Pedig Mayuzumi darabjai nem is voltak mind annyira „fésületlenek”, mint Schaefferéi: a sorozat „z” darabjának csellóanyagában a dodekafónia elemei is megjelennek. A tizenkétfokúság és a szeriális komponálás több más korai japán elektroakusztikus műben is szerepet kap.

A Japán Rádió Stúdiójában alkotott első művek német darabok mintájára készültek. Mayuzumi 1955-ös *Music for Sine Wave by Proportion of Prime Number* című darabja Stockhausen *Studie I*-ének mintáját követi, az 1956-os, Moroival együttműködésben készült *Shichi no Variation* (Hét variáció) pedig a *Studie II*-ét, azzal a különbséggel, hogy nem az 5-ös, hanem a 7-es számot teszi a konstrukció alapjává.

A Jikken Kobo és az NHK-stúdió által követett európai minták helyett Cage nyomdokába lépett Takehisa Kosugi (1938–; 8.7. ábra). Társulatával, a *Group Ongaku*val létrehozott élő, rögtönzött előadások a Fluxus csoport happeningjeivel rokonak: a figyelmet az esetleges zenei eredményről a létrehozás akciójára terelik. *Anima 7* című 1964-es műve például csupán arra szólítja az előadót, hogy tegyen bármit a lehető lelassabban.

Kosugi 1969-es *Catch-Wave* című darabjában is a létrehozás akciója, a fizikai történés válik hangsúlyossá: a színpadra vitt fogócska során két ultraszonikus (az emberi hallástartomány alatti) hangot kibocsátó szinuszgenerátor közeledik és távolodik egymástól, és közben egymást modulálva a hallástartományba eső hangokat hoznak létre.

1977-ben Kosugi az Egyesült Államokba emigrált, John Cage és David Tudor mellett a Cunningham Dance Company zenei munkatársa lett. Cage halála óta ő a társulat zenei vezetője.



8.7. ábra: Takehisa Kosugi

Ellenőrző kérdések:

1. Kik készítették a *Forbidden Planet* című film zenéjét?
2. Kik voltak a Columbia Tape Music Center alapítói?
3. Milyen hangokból építkeztek első műveik?
4. Melyik egyetemen tanított Milton Babbitt?
5. Mi volt az a korai analóg szintetizátor, amelyet a *Columbia-Princeton Electronic Music Center*ben használni kezdtek?

9. Az európai elektroakusztikus zenei stúdiók kialakulása

9.1. A moduláris szintetizátorok kora

Ebben a fejezetben olyan stúdiókról lesz szó, melyek – a svéd és a magyar stúdiók kivételével – még az 1950-es években alapultak. Ám mivel működésüket néhány év elteltével alapvetően befolyásolta egy fontos technikai újdonság, a moduláris szintetizátor megjelenése, előljáróban erről is szót kell ejtenünk.

Ahogy az elektroncső feltalálása az 1920-as évekre az elektrofon hangszerek első nagy generációjának megjelenéséhez vezetett, úgy idézte elő az 1954-ben kereskedelmi forgalomba került tranzisztor a második nagy generáció, a moduláris analóg szintetizátorok megjelenését az 1960-as években. Robert Moog [ejtsd: Móg] (1934–2005) és Donald Buchla (1937–) amerikai elektrotechnikusok egymástól függetlenül, körülbelül egyszerre fejlesztették ki 1963-ban, az előbbi New York, az utóbbi pedig California államban. A koncepció lényege, hogy a hanggenerálás és -átalakítás minden folyamatáért egy-egy elektronikus egység, azaz modul felel, s ezek tetszés szerint állíthatóak össze.

A modulok egymással elektromos feszültségértékek segítségével kommunikálnak, ezért ezeket a szintetizátorokat feszültségvezérelteknek is szokás nevezni. Például, ha az egyik modul feszültsége 3 Hz frekvenciájú szinuszhullám szerint ingadozik, és ezt a feszültséget rákötjük egy generátor modul hangmagasság-szabályozó bemenetére, 3 Hz-es vibratót kapunk, ha viszont a hangerő-szabályozó bemenetére kötjük rá, akkor 3 Hz-es hangerő-ingadozást. Ugyanezt a feszültséget egy szűrőmodulra kötve a szűrés valamely paramétere változik 3 Hz-es gyakorisággal. Az egyszerű modulok kombinációjával, hálózatokba kapcsolásával igen változatos hangfolyamatok hozhatóak létre.

A Moog-féle szintetizátor széles körű népszerűségét Wendy Carlos (szül. Walter Carlos, 1939) *Switched-On Bach* című 1968-as lemeze hozta meg. A Johann Sebastian Bach népszerű műveiből készült szintetizátor-átiratok elkészítése ekkor még sok stúdiómunkát jelentett, ugyanis a moduláris szintetizátorok kezdetben egyszólamúak voltak, a darabokat szólamonként kellett felvenni.

Az alább tárgyalt, 1950-es évek végén létrejött stúdiók az első években többnyire még csak egyszerű, egy-egy feladatot ellátni képes eszközökre – oszcillátorokra, szűrőkre, modulátorokra, zengetőkre és magnetofonokra – támaszkodhattak, és lehetőségeik köre ugrásszerűen kibővült a moduláris szintetizátorok megjelenésével.

9.2. Olaszország

Európában az elektroakusztikus stúdiók alapítása elsősorban rádiótársaságok és ipari cégek tevékenységéhez kötődött. A párizsi és kölni rádió példáját 1955-ben harmadikként az Olasz Rádió követte: Milánóban Luciano Berio (1925–2003; 9.1. ábra) és Bruno Maderna (1920–1973) zeneszerzők megalapították a RAI (*Radio Audizioni Italiane*) elektroakusztikus műhelyét, a *Studio di Fonologia Musicalét*. A stúdió azon alkotók alternatív munkahelye lett, akik kívül akartak maradni Párizs és Köln rivalizálásán.



9.1 ábra: Luciano Berio

Itt készült 1958 és 1959 között Berio egyik legnagyobb hatású műve, a *Thema (Omaggio a Joyce)*, amely James Joyce *Ulysses*ének egy felolvasott részletét használja alapanyagként. A mű Berio Umberto Ecoval közösen folytatott kutatásából nőtt ki, melynek célja a nyelvek hangzó anyagának különböző szempontok szerinti körüljárása volt, s mely a darabban az irodalmiság és a zeneiség határvidékén közlekedő forma létrejöttéhez vezetett. Berio később, 1974 és 1980 között az IRCAM munkatársa volt (ld. a 11. fejezetet), 1987-ben pedig Tempo Reale néven alapított elektronikus zenei kutatóközpontot Firenzében.

A milánói stúdióban készült 1957-ben a belga Henri Pousseur (1929–2009) *Scambi* című műve. A kompozíció a szalagzene merev rögzítettségének problémáját kísérli meg feloldani azáltal, hogy több felvételdarabból áll, melyeket többféleképpen lehet egymás után és egymásra helyezni.

Milánóban készült John Cage 1958-as *Fonata Mixe* is, mely a szerző egy milánói házigazdája, Fontana asszony után kapta címét. A voltaképpen mű nem a szalagon rögzített végeredményből, hanem a szalag elkészítésére vonatkozó instrukciókból áll, s a folyamat mindenkori eredményét a szerző bizonyos más műveivel való tetszőleges kombinációban is elő lehet adni. Cage olaszországi látogatása más szempontból is eredményesnek bizonyult: 1959-ben öt alkalommal szerepelt az

Olasz Televízió *Lascia o raddoppia* (Dupla vagy semmi) című vetélkedőjében, melyben gombaszakértői tudását csillogtatva megnyerte az 5 millió lírás fődíjat.

9.3. Lengyelország

Európa negyedik nagy elektroakusztikus stúdiója Varsóban nyílt 1957-ben. A *Studio Eksperymentalne Polskiego Radia* (A Lengyel Rádió Kísérleti Stúdiója) alapítója és 1985-ig vezetője Józef Patkowski (1929–2005), neves muzikológus és akusztikus volt. Társa, Krzysztof Szlifirski (1934–; 9.2. ábra) a technikai koncepció kidolgozásáért felelt, és 1998-tól 2004-ig ő is irányította a stúdió működését. Ugyan az elektronika már korábban is szerepet kapott Andrzej Markowski és Włodzimierz Kotoński film- és színházi zenéiben, melyek a Varsói Dokumentumfilm Stúdióban készültek, az elektroakusztikus zene korszaka igazán a Rádió stúdiójának alapításával kezdődött Lengyelországban. Az intézmény a kezdetektől összefonódott az 1956-ban indult Varsói Ősz kortárs zenei fesztivállal, s hozzá hasonlóan a keleti blokkban meglepően haladó szellemiséget képviselt.



9.2. ábra: Krzysztof Szlifirski (középen)

9.4. Hollandia (Philips) és Németország (Siemens)

Az 1950-es évek végén két európai elektronikai nagyvállalat is stúdiót nyitott: 1957-ben a holland Philips Eindhovenben és 1959-ben a német Siemens Münchenben.

Edgard Varèse az eindhoveni Philips Stúdióban komponálta *Poème électronique*-ját az 1958-as brüsszeli világkiállításra (ld. a 4. fejezetet). Tom Dissevelt (1921–1989) és Dick Raaymakers (1930–, álnevén Kid Baltan) – közös nevükön *The Electrosoniks* – itt készítették *Song of the Second Moon* című

számukat az 1950-es végén, melyet a magyar tévénezők az 1964-től sugárzott *Delta* című ismeretterjesztő műsor szignáljaként ismerhetnek.



9.3. ábra: Henk Badings

Az eindhoveni stúdió 1960-ban bezárt, berendezéseit elköltöztették, és *STEM* (*STudio voor Electronische Muziek*) néven új műhelyt alakítottak ki belőlük az Utrechti Egyetemen. A STEM-et 1960–1961-ben Henk Badings (1907–1987; 9.3. ábra) zeneszerző vezette, aki már az 1950-es évek elejétől foglalkozott elektronikus zenével a Delfti Műszaki Egyetem stúdiójában, első teljesen elektronikus darabja az 1956-os *Kain* című balettje. A műveiben többek között felhangokkal és mikrotonális skálákkal kísérletező komponista 1961-től 1977-ig akusztikát tanított az intézményben. 1964-től 1986-ig a Kölnben kezdett pályáját Hollandiában folytató Gottfried Michael Koenig volt a STEM vezetője.

1967 óta a stúdió *Instituut voor Sonologie* (szonológiai intézet) néven működik. 1986-ban újabb költözés történt, ezúttal Hágába, s az intézmény azóta a Hágai Királyi Konzervatórium részét képezi.

A Siemens müncheni stúdiója 1959-től 1966-ig működött, s végig Josef Anton Riedl (1927/29-; 9.4. ábra) volt a vezetője és meghatározó egyénisége. Riedl Carl Orff és Hermann Scherchen tanítványa volt, elektronikus zenei tájékozottságát részben Scherchen 1954-től működő gravesanói kísérleti magánstúdiójában szerezte.



9.4. ábra: Carl Orff (középen) és Josef Anton Riedl (jobb oldalt) a Siemens stúdiójában

9.5. A BBC Radiophonic Workshop

1958-ban jött létre és 1995-ig működött Londonban a *BBC Radiophonic Workshop*. Létrehozásának eredeti célja a British Broadcasting Corporation rádió- és tévéműsorainak hangeffektusokkal és újszerű kísérezéssel történő ellátása volt, alapítói többek között Desmond Briscoe (1925–2006) és Daphne Oram (1925–2003) voltak. A kontinensen működő társaival szemben ez a stúdió nem részesült kiemelt intézményi támogatásban, így elsődleges szerep jutott az egyéni kezdeményezéseknek. Itt készült például a *Doctor Who* tévésorozat első főcímműve 1963-ban, Ron Grainer (1922–1981) ausztrál komponista szerzeményét tisztán elektronikus eszközökkel Delia Derbyshire (1937–2001) valósította meg – ő 1960-tól több mint egy évtizeden át volt a stúdió munkatársa. Douglas Adams 1978-ban indult legendás rádiójáték-sorozatának, a később regényként is nagy sikerű *The Hitchhikers' Guide to the Galaxy*-nek is ebben az elektroakusztikus műhelyben készültek a hangeffektusai és zenéi, felelősük Paddy Kingsland (1974–) volt.

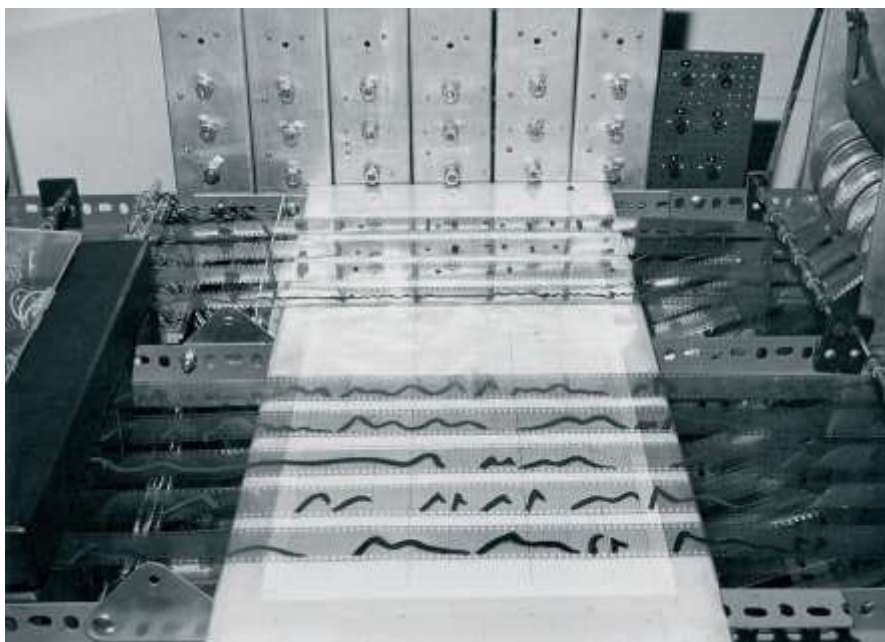
A Radiophonic Workshop első vezetője és legkiemelkedőbb egyénisége Daphne Oram volt (9.5. ábra). Pályáját 1942-ben a BBC stúdiótechnikusaként kezdte – ezt a munkahelyet a Royal College of Music helyett választotta, ahová pedig szintén felvették. Jean Giraudoux francia író 1929-es *Amphitryon 38* című drámájának BBC-féle TV-változatához tőle rendeltek kísérezést 1957-ben; a megrendelésnek egy szinuszgenerátor, egy magnetofon és néhány saját tervezésű szűrő segítségével tett eleget, ekképp megalkotva a BBC első elektroakusztikus zenei darabját.

Oram 1959-ben berendezte *Oramics Studios for Electronic Composition* nevű saját műhelyét egy volt komlószárító épületben. Egy 1962-ben elnyert ösztöndíj segítségével itt kezdte fejleszteni *Oramics* nevű szintetizátorát, mely – a mozgóképfilmek hangsávjához hasonlóan – átlátszó üveglapokra, illetve filmre feketével

festett alakzatok alapján generált hangokat (9.6. ábra). Az első így „megfestett” hangkompozíció az 1968-ban elkészült *Contrasts Essonic* volt. 1971-ben *An Individual Note of Music, Sound and Electronics* címmel egyéni filozófiával áthatott könyvet írt az elektroakusztikus zenéről.



9.5. ábra: Daphne Oram



9.6. ábra: Az Oramics

9.6. Svédország

A Svéd Rádió stúdiója (*Elektronmusikstudion*, röviden EMS) 1964-ben jött létre Stockholmban. Egyik alapítója és első vezetője (1975-ig) Knut Wiggen (1927–) norvég zeneszerző volt. 1967-ben kiépített számítógépes rendszerével rövid

ideig a világ legfejlettebb digitális elektroakusztikus stúdiójának számított. 1979 és 1989 között Lars Gunnar Bodin svéd komponista vezette a stúdiót, mely a Svéd Rádió régi épületéből 1985-ben költözött mai helyére, egy volt sörgárba. A stúdióban Maros Miklós (1943–) és Ungváry Tamás (1936–) magyar zeneszerzők az alkotómunka mellett tanárként is dolgoztak, egy másik magyar komponista, Rózmán Ákos (1939–2005) pedig 1971-es emigrációját követően részben itt, részben magánstúdiójában hozta létre a svédországi zeneéletben nagy elismerést kivívó elektroakusztikus életművét. A stúdiónak otthont adó épületben található az 1933-ban alapított *Fylkingen* kortárszenei központ és koncertterem is (9.7. ábra).



9.7. ábra: A stockholmi Münchenbryggeriet, egykor sörgár, ma többek között az Elektronmusikstudion és a Fylkingen otthona

9.7. Magyarország

Magyarországon a nyugati stúdiók megalakulásának idején a kultúrpolitika legjobb esetben is gyanakvással szemlélte az avantgard művészeti irányzatokat. Ezek híre csak hivatalosan el nem ismert forrásokból juthatott el néhányakhoz. Az egyik legfontosabb ilyen forrás egy zeneszerzéssel is foglalkozó röntgenorvos, Dr. Végh László volt; Stockhausen, Boulez vagy Cage egyébként jószerevével hozzáférhetetlen műveit és az elektronikus zene műfaját ő ismertette meg a művészeti magán összejövetelein résztvevőkkel.

A Magyar Hanglemezzgyártó Vállalat stúdiójában folytatott szórványos kísérletek és Eötvös Péter 1970-ben itt készült *Tűcsökgzene* című műve után az elektroakusztikus zene fő színtere a Magyar Rádió 1974-ben alakult Elektroakusztikus zenei stúdiója lett. A műhely 2007-es megszűnéséig Horváth István hangmérnök volt állandó munkatársa. Vezetője Decsényi János (1974–1995), majd Szigeti István (1995-től) lett. Az első itt készült mű Victor Máté *Viszkozitások* című 1975-ös

darabja volt. A magyar elektroakusztikus zene egyik úttörő figurája Patachich Iván (1922–1993), aki a Zeneakadémia zeneszerzés szakának elvégzése után 1976–77-ben az utrechti *Instituut voor Sonologie*-ben tanult, és 35 éven át a MAFILM zenei vezetőjeként működött – a MAFILM a Hanglemezgyártó Vállalathoz hasonlóan szintén korai elektroakusztikus kísérletek színhelye volt. A hazai elektronikus zene másik nagy elődfigurája Pongrácz Zoltán (1912–2007), aki elektroakusztikus ismereteit szintén Utrechtben szerezte. 1975 és 1995 között volt a Zeneművészeti Főiskola elektronikus zeneszerzés tanára, s ismereteit *Az elektronikus zene* című, 1980-ban megjelent könyvében foglalta össze.

Az elektronikus zene fontos szerepet játszik más magyar zeneszerzők, köztük Dubrovay László, Jeney Zoltán és Vidovszky László életművében is.

Ellenőrző kérdések:

1. Ki volt az a két elektrotechnikus, akik párhuzamosan fejlesztették ki az első moduláris szintetizátorokat?
2. Kik és mikor alapították a RAI milánói stúdióját?
3. Ki volt az utrechti STEM vezetője 1964 és 1986 között?
4. Mi az *oramics*?
5. Mektől meddig működött a Magyar Rádió elektroakusztikus zenei stúdiója?

10. Független zeneszerzők. Cage, Xenakis, Lucier és Reich

Ebben a fejezetben olyan zeneszerzők kaptak helyet, akiknek a tevékenysége nem köthető szorosan valamely stúdióhoz vagy csoporthoz.

10.1. John Cage

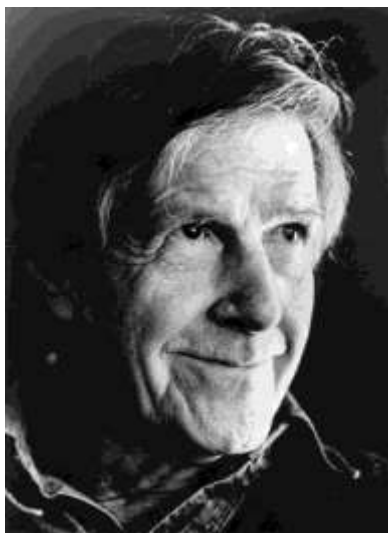
John Cage (1912–1992; 10.1. ábra) a XX. század egyik legnagyobb hatású zenei gondolkodója. Posztavantgard szellemiségű művei, írásai és lényge erős befolyást gyakoroltak a 20. század második felének zenekultúrájára. Pályáját festőművészként kezdte, de 19 éves korától zeneszerzést is tanult és 20 éves korától komponált. Korai műveiben Schönberg dodekafóniáját egyesítette egy saját maga által létrehozott, 25 hangból álló sorozattal.

1937-től Seattle-ben a Cornish School of the Arts táncművészeti akadémián tanított és zongorakísérőként működött. Itt találkozott először Merce Cunningham tánckoreográfussal, neki köszönhetően Cage számos művét koreográfiával együtt mutatták be. A tánc révén a ritmus Cage érdeklődésének középpontjába került, így mindinkább az ütős zene felé fordult. Sokat kísérletezett új hangzásbeli hatások kifejlesztésével. 1939-ben komponálta *First Construction (in Metal)* című művét ütős szextetre, ebben először kapcsolt egybe különböző időszinteket: az egyes szólamok eltérő léptékű időskálákon haladnak egymás mellett.

Az elsők között kezdett elektronikus berendezéseket avantgard zenéhez használni; 1939-ben írta *Imaginary Landscape no. 1* című művét, amelyben egy zongora, egy cimbalom és egy rádió szolgáltatja a zenét.

1949-es európai utazását követően visszatért New Yorkba, ahol találkozott Morton Feldman zeneszerzővel. Feldman inspirálta számos művét, s ő ismertette meg David Tudor zongoraművésszel, aki számára 1951-ben *Music of Changes* című művét komponálta.

Az 1940-es években figyelme a csend esztétikai értéke felé fordult, ezért összegyűjtött írásait is Csend címen jelentette meg a következő évtizedben. 1948-ban fogalmazódott meg benne először egy csendre épülő kompozíció gondolata, ezt *4'33"* címen 1952-ben készítette el. A mű négy perc harminchárom másodpercnyi szünetből áll, három tételre osztva, de tetszőlegesen megválasztott más időtartammal is előadható.



10.1. ábra: John Cage

A Cunningham balett társulatának írott *Sixteen Dances* (1950–51) volt az első olyan darabja, amelyben a kompozíció eltávolodik az anyagi valóságtól – tehát a hangok mérhető precíz paramétereitől – és a véletlen jut döntő szerephez. A *Music of Changes*ben a szólószongorán játszandó zenei anyag a hangmagasság, ritmus, tempó és dinamika véletlenszerű kiválasztásával jön létre – a véletlen generálása hasonló módszerrel történik, mint amelyet az ősi kínai jóskönyv, a *Ji Csing* (Változások könyve) használatakor szokás alkalmazni.

Különböző események hangfelvételeiből 1952-ben állította össze *Williams Mix* című darabját – így az USA-ban az elsők között használt mágnesszalagot kompozíciós célra.

1967-ben megjelent összegyűjtött írásainak második kötete *A Year from Monday* címen, amelyben kifejtette, hogy egyre kevésbé érdekli a komponálás. Ennek ellenére életének hátralevő 25 évében aktív komponista maradt. 1987-től kezdve műveinek címét az előadók száma szerint adta (*Two, Two², Two³...*). Ezekben a kompozíciókban a hangok időtartamát zárójelben közölte.

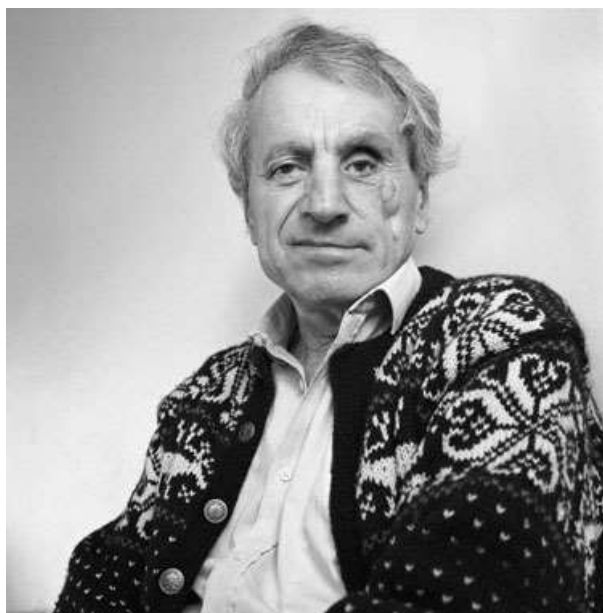
10.1.1. Cage: William's Mix (1952)

A *Music for Magnetic Tape Project* 1951-ben indult John Cage, Earle Brown, Christian Wolff, David Tudor és Morton Feldman részvételével, és 1954-ig tartott. A legfontosabb mű, ami a csoport nevéhez fűződik, Cage *William's Mix* című darabja. A kompozíció előre rögzített hangok százait használta a Barron könyvtárból. Ezeket aprólékosan lejegyzett kotta előírásai szerint rendezték el – e kotta nemcsak azt határozta meg, mikor kell bizonyos kategóriákba tartozó hangzásokat használni, hanem azt is, hogyan kell a hangokat elkülöníteni és összevágni. A mű elkészítése 9 hónapos intenzív munkát igényelt Cage-től, Browntól és Tudortól. Bár az eredmény egy átlagos hallgató számára nem sokban különbözött a Párizsban vagy Kölnben létrejött daraboktól, radikális kompozíciós és filozófiai kihívást jelentett ezeknek az iskoláknak.

10.2. Iannis Xenakis

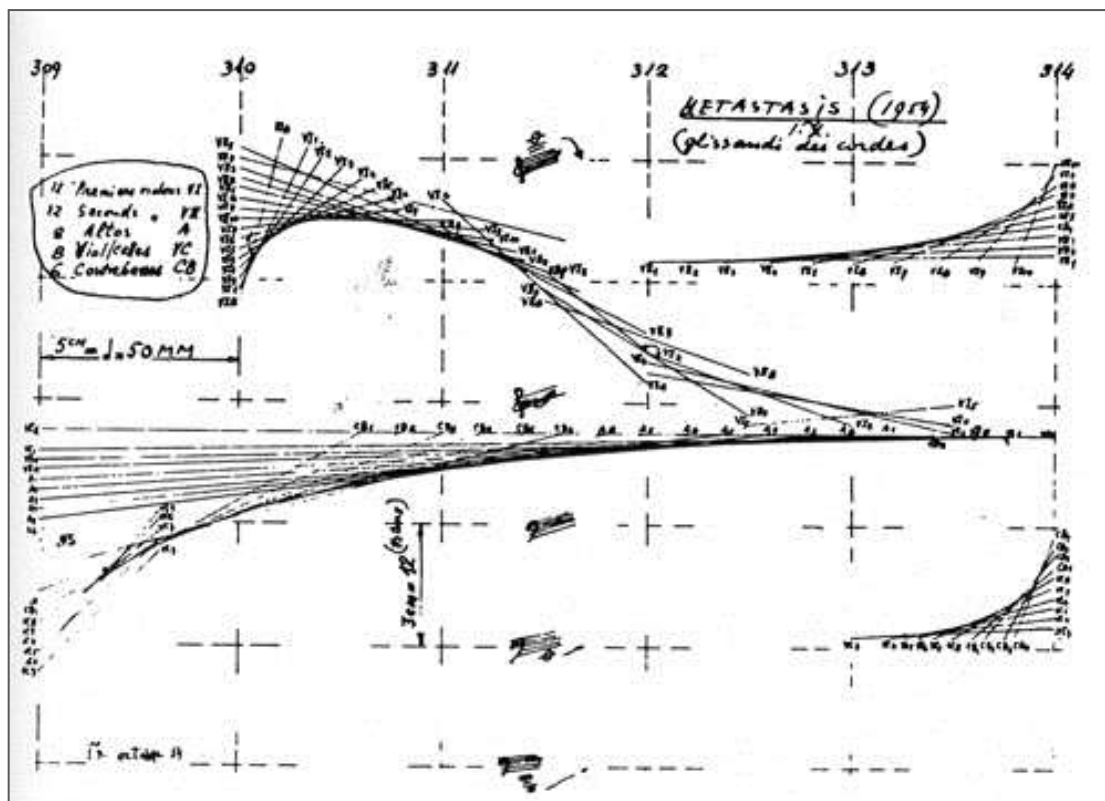
Iannis Xenakis (1922–2001; 10.2. ábra) görög zeneszerző érdeklődése gyerekkorától kezdve egyszerre fordult a természettudományok és a zene felé. 12–13 évesen zongoratanulmányai mellett csillagászati könyveket olvasott, matematikával és archeológiával is foglalkozott. 16 évesen kezdte meg az Athéni Műszaki Egyetemen mérnöki tanulmányait, itt matematikát, fizikát, jogot és antik irodalmat hallgatott, miközben összhangzat és ellenponttani stúdiumokat is folytatott.

1940-ben a II. világháború elérte Görögországot, ezért műszaki egyetemi tanulmányait félbe kellett szakítania, diplomáját csak hét évvel később kapta meg. Ez alatt az idő alatt részt vett a kommunista ellenálló mozgalomban a megszálló német csapatokkal szemben, és gyakran szereplője volt tüntetéseknek – súlyos fejsérülését is egy ilyen tüntetés alkalmával szerezte.



10.2. ábra: Iannis Xenakis

1947-ben Párizsba szökött. Itt mérnöki diplomájának köszönhetően Le Corbusier-nél, az ekkor már világhírű építésznél kezdett dolgozni. Le Corbusier és az építészeti munka hatására kezdett Xenakis a zenében vizuális szemléletmódot alkalmazni és felhasználni az tervezőmunka matematikai eszköztárát. Jól szemlélteti ezt *Metastaseis* című darabja, melynek tömeges glisszandóit eredetileg ugyanazon a milliméterpapíron ábrázolta, amelyet épületek szerkezetének rajzolására használt. Mint arról a 4. fejezetben már szót ejtettünk, a *Metastaseis* glisszandóinak hiperbolikus képét (10.3. ábra) Xenakis később a Philips pavilon falgörbületeihez használta fel.



10.3. ábra: Iannis Xenakis *Metastaseis* című darabjának vázlata

A háború alatti tüntetések élménye mély hatással volt Xenakis kreatív gondolkodására. Az élményről és az azzal kapcsolatos természettudományos asszociációiról Xenakis *Formalized Music* című, 1971-es könyvében így számol be:

„Mindannyian ismerjük a több tucat, több száz, több ezer emberből álló politikai tömeg hangzó jelenségét. Az emberáradat egy jelszót skandál egyenletes ritmusban. Aztán egy másik jelszó kezdődik a tüntetés elejéről és szétterjed a tömeg vége felé felváltva az előzőt. Az átmenet hulláma így végighalad a tömeg elejétől a végéig. A lárma megtölti a várost és az emberi hangok és a ritmus ereje eléri tetőpontját. Ez vadságában is gyönyörű és nagy erejű esemény. Ezután következik a tüntetők és az ellenség megütközése. Az utolsó jelszó egyenletes ritmusa kaotikus kiáltások hatalmas klaszterében tör ki, ami szintén fokozatosan terjed szét a tüntető tömeg utolsó soráig. Mindehhez képzeljük még hozzá tucatnyi gépfegyver ropogását és a golyók füttyülését, amint központoszák a zűrzavart. A tömeg ekkor hirtelen szétszóródik, és hangzó és látható pokol után jön a megrázó nyugalom, tele kétségbeeséssel, porral és halállal. Az ilyen események statisztikai törvényei, függetlenül a politikai vagy erkölcsi összefüggésektől... a teljes rendtől a totális rendezetlenségbe vezető folyamatos vagy kirobbanó átmenetek szabályai. Ezek a stochasztikus törvények.”

A tüntető tömeg hangzásának leírása mellett Xenakis kitér azokra a természeti jelenségekre is, amelyek stochasztikus szabályokat követnek, mint pl. az eső vagy a jégeső kopogása kemény felületen, vagy a kabócák ciripelése a nyári mezőn. Ezek a hangzó események ezernyi elszigetelt hangból tevődnek össze, s a hangok sokasága – összességében érzékelve – új hangzáseseményt alkot. Az így keletkező hangzástömb az időben plasztikusan változik, tagolódik az adott rendszer belső természettani törvényeit követve.

Természeti hangok:		
Eső:	Békák:	Hússütés
		
10.01_hang	10.02_hang	10.03_hang

Xenakis tehát a szerialistákhoz hasonlóan intellektuális-rationális megközelítésű, ám elutasítja a szerIALIZMUST, és az absztrakt matematika törvényeit választja rendezőelvéül. A stochasztikus törvények használata volt a legfontosabb jellemzője Xenakis első érett kompozícióinak, a *Metastaseis* (1953–54) és a *Pithoprakta* (1955–56) című daraboknak.

10.2.1. Xenakis: *Pithoprakta* (1955–56)

A mű 50 hangszerre íródott: 46 vonósra, 2 harsonára, 1 xilofonra és 1 fadobra. A szerző a fent említett matematikai törvényszerűségeket alkalmazva érte el, hogy a nagyszámú szólam a teljes hangtartományban sűrű, mozgásban lévő, organikus hangfelhőt teremtsen.

A vonós glisszandók tömeges mozgása és a rézfúvók rendezetlensége, amint azt Xenakis írja, a gázok kinetikus elméletével hozható összefüggésbe – az elmélet szerint a gázok hőmérséklete molekuláinak egymástól független mozgásából származtatható. Xenakis párhuzamot von a gázmolekulák térbeni mozgása és a vonós hangszerek hangmagasság skálán történő mozgása között. A darab kavargó mozgásának konstruálásához a szerző a „molekulákat” egy elképzelt hőmérsékleti és nyomásszekvencia segítségével irányította. Ennek eredménye olyan zene, melyben nem lehet meghatározni elkülönülő szólamokat, azonban az általuk generált hangmassza alakja világos.

10.2.2. Xenakis: *Diamorphoses* (1957)

A *Pithoprakta* ugyan kizárólag akusztikus hangszereket használ, koncepcióját azonban Xenakis átörököltette elektroakusztikus darabjaiba – ezek sorában a legelső a Pierre Schaeffer párizsi stúdiójában komponált *Diamorphoses*. A mű –

Xenakis ekkoriban keletkezett instrumentális darabjaihoz hasonlóan – hangfelhő-technikát alkalmaz, lassan fejlődő, fehérzajszerűen sűrű hangtömegekkel operál, melyek belső részletei állandó változásban vannak. Alapanyagként a szerző sugárhajtóművek és autóütközések hangjait, földrengéseffektusokat és egyéb erős zajhatásokat, valamint ezek ellentétéként áttetsző, magas haranghangokat használt.

10.2.3. Xenakis: *Concrète PH* (1958)

Az 1958-as brüsszeli világkiállítás számára Xenakis nemcsak épületet tervezett. A kiállításra komponálta *Concrète PH* című elektroakusztikus művét is, melyet a Philips pavilon rendezvényközi szüneteiben játszottak. A darab címe egyrészt Pierre Henryra, a konkrét zene egyik legfontosabb figurájára, másrészt az építmény alakzataira (parabola-hiperbola) utal. Alapanyagul izzó faszén hangja szolgált, melyet a szerző különféle konkrétzenei manipulációk segítségével alakított át.

10.2.4. Az UPIC

Az UPIC (Unité Polyagogique Informatique CEMAMu) nevű eszközt Xenakis 1977-ben fejlesztette ki a Centre d'Etudes de Mathématique et Automatique Musicales (CEMAMu) nevet viselő, 1966-ban Párizsban általa alapított kutató-műhelyben. Az UPIC egy számítógéphez csatlakoztatott digitális rajztábla: a rajta megrajzolt alakzatokat a számítógép hullámformaként értelmezi, s az így létrehozott hangokból úgy lehet zenei folyamatot alkotni, hogy ugyanezen a táblán megrajzoljuk a „kottát”. Mint az ötvonalas kotta esetében, vonalaink függőleges elrendezése a hangmagassággal, vízszintes elrendezése pedig az idővel korrelál, csak hogy rögzített hangmagasság-értékek nélkül, így tetszőleges glisszándókat, mikrohangközöket és sűrű clustereket hozhatunk létre. Ezzel az eszközzel készült Xenakis *Mycènes Alpha* című 1978-as műve.

10.3. Alvin Lucier

Alvin Lucier (10.4. ábra) 1931-ben Nashua városban született New Hampshire államban. 1962 és 1969 között Brandeisben tanított, az egyetem kamarakórusát vezette, mely leginkább kortárs zenét adott elő. 1970 óta tanít a Wesleyan Egyetemen, melynek jelenleg is professzora. Alvin Lucier úttörőnek tekinthető a zeneszerzés és a zenei előadás több területén; ilyenek az előadók fizikai mozgásainak notációja, az agyhullámok élő előadásban történő felhasználása, vizuális képek generálása hangokból, a teremakusztika zenei célokra való alkalmazása. Munkái hanginstallációk, valamint olyan szólóhangszerekre, kamarazenekarokra és nagyzenekarra írott művek, melyekben az egyszerű hangok közeli hangozásával a hanghullámok elkezdenek mozogni, forogni a térben.



10.4. ábra: Alvin Lucier

10.3.1. Lucier: *I am Sitting in a Room* (1955–56)

„Ülök egy szobában, egy másikban, mint amelyben Önök tartózkodnak. Rögzítem a beszédhangomat, és visszajátsszom a szobába újra és újra, egészen addig, ameddig a szoba rezonáns frekvenciái annyira felerősítik önmagukat, hogy a beszédem – talán a ritmus kivételével – szétesik. Amit hallani fognak, azok a szoba természetes rezonáns frekvenciái, melyeket a beszédhang tagol. Eme tevékenységemet nem annyira egy fizikai tény demonstrálásának tartom, mint inkább olyan módszernek, mely beszédem egyenetlenségeinek kisimítását szolgálja.”

Ez Alvin Lucier *I am Sitting in a Room* (Ülök egy szobában) című darabjának szövege magyar fordításban. A szöveg hiánytalanul leírja, mit csinál a szerző a mű negyven perce alatt – ugyanakkor ennek felolvasása szolgál a mű kiinduló hangzóanyagaként is. Lucier, beszédhibájából adódóan, egyes pontokon valóban

hadar és dadog – ezen egyenetlenségek kisimítása a szoba rezonanciája segítségével egyfajta terápiás folyamatnak is tekinthető.

E folyamat alatt a helyiség rezonáns frekvenciáitól eltérő rezgésszámú hangok fokozatosan eltűnnek, a vele egyező rezgésszámúak pedig felerősödnek. A beszéd tagolt elemei egybemosódnak, a szöveg érthetatlenné válik, ugyanakkor felszínre kerülnek a beszédhangok egyes rejtett tulajdonságai.

A rögzített verziókat a végleges felvételen a létrejöttük sorrendjében illesztik egymás után. Minden egyes verzió újabb lépcsőfok a szöveg érthetatlenné válásában. Ami valaha ismerős szó volt, végül például háromhangú fütyülő motívummá válik; ami valaha egyszerű kijelentés volt, érdekes, tonalitással rendelkező dallamrészletté alakul át. A verziók egymásutánja körülbelül 40 perc időtartamú művet ad ki – e 40 perc folyamán a hallott szöveg jelentése fokozatosan áttolódik a nyelv területéről a zene területére.

Alvin Lucier volt az első olyan zeneszerző, aki felfedezte, hogy egy építészeti tér másra is szolgálhat, minthogy hangszerek megszólalását segítse elő: maga is lehet hangszer. Bizonyos, hogy ő volt az első, aki meghatározó művet alapozott erre a felismerésre.

A darab különösen személyes Lucier beszédproblémája miatt, amely egyben a darab ritmikai meghatározójává is válik. Mell Tillis, egy dadogó sorstárs arról számol be, hogy a zene felszabadítja, mivel abban a pillanatban, ahogy elkezd énekelni, elmúlik a dadogása. Lucier tovább megy: esetében a dadogás nem egyszerűen elmúlik, hanem hibajellegét fokozatosan elvesztve a zene értékes alkotóelemévé, egyedi „verbális dobolássá” alakul át.

10.3.2. Lucier: *Music On A Long Thin Wire* (1977)

A darab egy huzalra íródott, melynek hosszát a szerző minden újabb megvalósítás alkalmával növelte. „Egy rövid huzal laboratóriumi kísérletnek tűnne, de ha hangszoborként képzeljük el, be kell kábeleznünk a tér teljes hosszát.” A darab „kottája” instrukcióegyüttes az előadónak, akinek ki kell feszítenie egy huzalt az előadóterem teljes hosszában, fahidakra feszítve azt mindkét végén (10.5. ábra). A huzal végeit egy szinuszoszcillátorra kötött erősítő kimenetébe kell csatlakoztatni. El kell helyezni egy mágneset úgy, hogy a huzal a két pólusa között haladjon. Amikor a huzal elektromossá válik, a rajta keresztül folyó áram interakcióba lép a mágneses mezővel. A fahidákhoz erősített mikrofonok felfogják a rezgéseket. A huzalon áthaladó áramot az előadó szabályozza különböző hangzó jelenségeket generálva.

Lucier szerint a darab létrejöttének motiválója „az érdeklődés a költészet azon típusa iránt, melyet tudománynak szoktunk hinni”. Másutt így írja le ugyan ezt a szemléletet: „Mindig azt gondoltam, hogy a világban kétféle ember létezik, költők és praktikus emberek, és míg a praktikus emberek irányítják a világot, a költőknek látomásaik vannak róla... Most jöttem rá, hogy nincs is különbség a tudomány és a művészet között.”

A darab érdekessége még, hogy a hallgató látja is azt, amit hall. Az előadónak ugyanis úgy kell megvilágítania a teret, hogy a huzal mozgásai jól láthatóak legyenek.



10.5. ábra: Lucier *A Music on a Long Thin Wire* egy megvalósítása

10.4. Steve Reich

Steve Reich (10.6. ábra) 1936-ban született New Yorkban. 1958-tól 1961-ig a Julliard School of Music hallgatója volt, majd 1963-ban Darius Milhaud és Luciano Berio irányításával doktorált a Mills College-on. 1970-ben az accrai University of Ghanán ütőhangszeres játékot tanult. 1973–1974-ben a kaliforniai American Society for Eastern Arts in Seattle and Berkeleyn balinéz és gamelán zenével foglalkozott. 1976–1977-ben az ősi héber kantillációt tanulmányozta New Yorkban és Jeruzsálemben.

Reich az úgynevezett minimalista vagy repetitív zene egyik legnevesebb képviselője. Ezt az új műfajt és elméleti-ideológiai alapját három másik amerikai komponistával, Philip Glass-szal, La Monte Younggal és Terry Riley-jel teremtette meg a hatvanas években. Habár együtt szokták emlegetni őket, mindegyikük egyéni zenei világot hozott létre. Reich folyamatzenének nevezte el muzsikáját, amelynek lényegét először 1968-ban fejtette ki *A zene, mint folyamat*²⁰ című esszéjében. Ez egyesek szerint a XX. század egyik legnagyobb hatású zeneelméleti írása. Első műveivel az 1960-as évek közepén hívta fel magára a figyelmet, majd 1966-ban saját együttest alapított, amellyel évtizedekig járta a világot.

²⁰ Reich, Steve: „Music as a Gradual Process” = Paul Hillier ed.: *Writings on Music, 1965–2000*. Oxford, New York: Oxford University Press, 2002.

1990-ben *Different Trains* című műve elnyerte a legjobb kortárs kompozíciónak járó Grammy-díjat. 1999-ben *Music for 18 Musicians* című alkotásáért ismét Grammy-díjat kapott.



10.6. ábra: Steve Reich

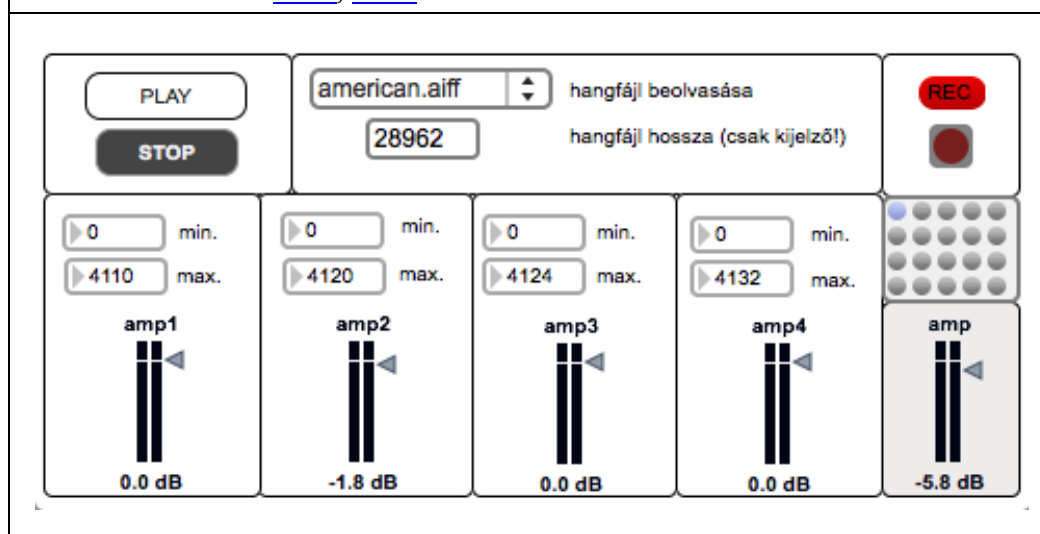
10.4.1. Reich: *Come Out* (1966)

A *Come Out* alapját egy mindkét csatornán megszólaló, hangszalagra rögzített szövegből kivágott hangloop alkotja. Először a loopok unisono szólnak, majd lassan elkezdenek időben szétcsúszni. A fáziskülönbség miatt először visszhangszerű effektus szól. Később különböző, az időben folyamatosan változó ritmikai mintázatok alakulnak ki. A „kánon” először kétszólamú, később négy, majd nyolc szólamra bővül.

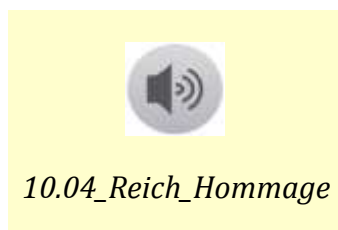
Erre a technikára Reich *It's Gonna Rain* című, egy évvel korábbi műve elkészítése során véletlenül talált rá. Egy utcai prédikátor hangjából akart „kórust” létrehozni olyan módon, hogy egyszerre játszotta le a hangról készült kópiákat. A kópiák hosszúságában azonban kis eltérések mutatkoztak, s ezek a lejátszás során egyre növekvő időbeli eltolódást eredményeztek.

A 10.7. ábrán látható, letölthető interaktív példa és a 10.04. sz. hangpélda Reich eltolásos technikáját mutatja be.

Az interaktív példa letölthető Windows és Mac OS X operációs rendszerekre az alábbi linkeken: [WIN](#), [OSX](#).



10.7. ábra: Reich-féle fáziseltolás modellezése



10.4.2. Reich: *Pendulum Music* (1968)

A műről a zeneszerző így írt: „1968-ban a nyarat Új-Mexikóban töltöttem. Egyszer elmentem Boulderbe, hogy találkozam egy festő barátommal, William Wylie-val. Egy happeninget próbáltunk összeállítani szoborral, fekete fénnel. Miközben dolgoztunk, Bruce Nauman, Wylie egyik diákja beugrott hozzánk. Mind a hárman bementünk egy szobába, ahol egy Wollensack magnetofon volt egy olcsó elektrit mikrofonnal. Ez a magnó már akkor is réginek számított. Megfogtam a magnetofonhoz kapcsolt mikrofont, hogy felvételt készítek. A hangszóró be volt kapcsolva. Mivel nyugaton voltunk, elkezdtem hintáztatni a mikrofont úgy, mintha egy lasszót forgatnék. Ahogy a mikrofon elhaladt a magnó hangszórója előtt, hirtelen éles, füttyülő hangot adott, majd elhalkult. Mindannyian neveltünk egy jót, és az az ötletem támadt, hogy ha két vagy három ilyen szerkezetünk lenne, létre lehetne hozni egy hallható szobrot, egy fázis darabot. 1969-ben a Whitney Múzeumban öten mutattuk be a darabot: Bruce Neuman, Michael Snow, Richard Sierra, James Tenney és jómagam. A négy előadó maga felé húzta a mikrofonját, én 4/4-ben számoltam, ők pedig felütésre elengedték mikrofonjaikat, majd mindannyian leültünk. Amikor a mikrofonok a hangszóró elé értek, elkezdtek füttyülni, nyikorogni, mivel úgy voltak beállítva, hogy a hangszórók előtt visszacsatolást hozzanak létre, és elhallgassanak, amikor a hangszórótól jobbra-balra lengenek.” (10.8. ábra)



10.8. ábra: Reich *Pendulum Music* című művének egyik előadása

Ellenőrző kérdések:

1. Ki a szerzője a *4'33''* című műnek?
2. Hogyan készült a *William's Mix*?
3. Melyik zeneszerző életműve nevezetes a stochasztikus törvényszerűségek alkalmazásáról?
4. Mi az UPIC?
5. Alvin Lucier melyik művében válik az előadás helyszíne maga is hangszerré?

11. A számítógépes zene kezdetei

11.1. Az Illiac Suite

A számítógépes zene egyik legkorábbi kísérletét Lejaren Hiller (1924–1994; 11.2. ábra) vegyész-zeneszerző és Leonard Isaacson programozó 1955-ben kezdte. Hiller a chicagói Illinois Egyetemen (11.1. ábra) kémiát tanított, ám Milton Babbitt és Roger Sessions irányításával zeneszerzői képzettséget is szerzett. Zenei kísérletei kémiaiakból nőttek ki: asszisztensével, Isaacsonnal a polimerek konfigurációit vizsgálták, ám rájöttek, hogy az általuk használt információelméleti ismeretek nemcsak vegyületek, de a klasszikus zene szabályszerűségeinek modellezésére is alkalmazhatóak.



11.1. ábra: Emléktábla az Illinois Egyetemen

A két szakember voltaképpen arra tett kísérletet, hogy egy számítógépet megtanítsa a zeneszerzésre. A munkát az Illinois Egyetem Illiac nevű kompjúterén végezték, a végső eredményt lyukkártyára mentették, majd az adatokat átírták hagyományos kottába, vonósnégyesre hangszerelve – így született meg 1957-ben az *Illiac Suite*.



11.2. ábra: Lejaren Hiller az Illinois Egyetem kísérleti stúdiójában

A darab négy, „experiment” feliratú tételből áll, melyek különböző zenei kérdéseket vizsgálnak. Az első „experiment” (11.3. ábra) három szakaszra oszlik: presto, andante, allegro. A feladat: egyszerű, diatonikus dallamok írása, melyhez Hiller és Isaacson szigorú elveken alapuló ellenpont-technikát választott. A hang hang elleni kontrapunkt (prima specie) tizenhat szabállyal írható le. A szabályoknak három típusa van: dallami, harmóniai és vegyes szabályok – az utóbbi csoportba tartozik például az oktáv- és kvintpárhuzam tiltása és a legkisebb mozgás elve. A kísérlet első szakasza egy diatonikus dallamot exponál, mely cantus firmusként funkcionál és meghatározza a többi polifonikus szólamot. Az ezt követő második rész két-, a harmadik pedig négyszólamú.

3

ILLIAC SUITE FOR STRING QUARTET

I. EXPERIMENT NO. I

L.A. HILLER, JR. AND L.M. ISAACSON

PRESTO

11.3. ábra: Az Illiac Suite eleje

A második kísérlet koncepciója nem sokban különbözik az elsőétől, Hiller és társa csupán a matematikai képletek számát bővítette, az eredmény így közel 1900 aritmetikus művelet során jött létre. A harmadik kísérlet célja az volt, hogy a ritmust és a dinamikát is a számítógép „komponálja”. Míg a korábbi két kísérlet diatonikus hangmagasságokat használ, ez a tétel kromatikus hangkészletből építkezik. Az első három kísérletben szigorú stilisztikai szabályok matematikai modelljei határozzák meg a létrejövő eredményt, a negyedik kísérlet ezzel szemben mellőzi a konvencionális zenei szabályokat, „avantgard” hatású eredménnyel.

11.2. Max Mathews és a közvetlen digitális szintézis: MUSIC N programnyelvek

A számítógép az *Illiac Suite* esetében tehát nem elektrofon hangszerként működött, hanem a klasszikus zene paramétereit felhasználva zenei folyamatokat vezérelt. A számítógépes technológia azonban hamarosan komoly eredményeket ért el a hangszintézis területén is, utánozva, majd jócskán meghaladva az analóg szintetizátorok képességeit. Max Mathews (1926–2011; 11.4 ábra) elektromérnök volt az első, akinek sikerült az első digitálisan szintetizált hangokat megszólaltatni a MUSIC I nevű szoftver segítségével a Bell Laboratóriumban 1957-ben. Ez volt az első olyan számítógépprogram, mely a digitális szintézis során közvetlenül számítja ki a hullámformát reprezentáló értékeket, így bármilyen hullámformát elő tud állítani anélkül, hogy fizikai rezgéseket kibocsátó rendszert kellene építeni.



11.4. ábra: Max Mathews

A MUSIC I-et követték a szoftver újabb és újabb változatai részben Mathews, részben más programozók továbbfejlesztésében. Mathews, saját MUSIC N szoftvereinek összefoglalásaként (ahol az N a verziót jelölő természetes szám) 1968-ban publikálta a MUSIC V-ot, melynek ma is használatos, utolsó leszármazottját, a Csoundot 1986-ban fejezte be Barry Vercoe. Mathews felfedezésének fontosságát mutatja, hogy nagyhírű kutatóintézetek neves kutatóit közel három évtizeden keresztül foglalkoztatták a közvetlen digitális szintézist megvalósító szoftverben rejlő további lehetőségek.

A MUSIC N szoftversorozat alapvetően meghatározta a számítógépes zene későbbi fejlődését is. Egyik legfontosabb újítása, mely fordulópontot hozott a számítógépes zene területén, az egységgenerátor (EG) fogalmának bevezetése. Az EG olyan kisebb, jól elkülönülő programegység, amely speciális funkciókat végez és egyszerű parancsokkal nagyon gyorsan behívható. Mathews ötlete, hogy a hanggeneráló algoritmusokat egységgenerátorok használatával 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: volt köztük 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 azzal, hogy milyen bemeneti paraméterek milyen kimeneti jeleket produkálnak.

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.”²¹

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:

„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.”²²

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 megismertetett 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 muzsikuskok végezzenek zenei kísérleteket.

²¹ Chowning, J. M.: „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. 2. o.

²² Johnstone, Bob: „Wave of the Future”. In: *Wired* Issue 2.03 (1994. március).

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

A MUSIC N szoftvercsalád megalkotása után a legfontosabb áttörést Jean-Claude Risset (1938–; 11.5 ábra) kutatása jelentette a digitális hangszintézis területén. Risset 1964–1965 és 1967–1969 között végzett zenei kísérleteket a Bell Laboratóriumban, ahol hanganalízissel, -szintézissel és a hangok percepciójával foglalkozott. Kísérleteinek eredményeit A számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusa²³ 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.



11.5. ábra: Jean-Claude Risset

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 szer-

²³ 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.

keszt. A szintézis sikerességét az dönti el, hogy milyen mértékben ismerhető fel az adott hang. Nem feltétlenül a pontos imitáció, inkább hangszínmodellek 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 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 széles körű 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 széles körű szintetikus hangzás-repertoár jöjjön létre a hangszínek és a számítógépes zene tanulmányozására.”²⁴

- 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.

²⁴ Risset, J.-C. (1995), 109. o.

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 11.1. táblázatban 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:

„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.”²⁵

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. Tehát a katalógus valójában 20 különböző hangszintézis-példát tartalmaz. Ezek két nagy csoportra oszthatóak, a hangszeres hangokat imitáló szintézisprogramokra (#100–#440) és az érzéki csalódások, hallási illúziók vizsgálatát célzó kísérletek eredményeire (#500–#550). A katalógust körülbelül felező #490-es példa összefoglalása a hangszeres hangokat utánzó programoknak, tartalmazza az addig elkészített összes hangszínt.

Miután Mathewshoz 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 „hangzáspótlékokat” 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 képzeltek.

Risset a hangszerszerű hangzások szintetizálásával rengeteg tapasztalattal, új pszichoakusztikai információval gazdagította a digitális hangelőállítással foglalkozó zeneszerzőket, programozókat. Számára azonban az imitáció nem végső cél, hanem

²⁵ Risset, J.-C. (1995), 114. o.

„erős identitással rendelkező kiindulási alap, ahonnan elindulhatunk a hangszíntérbe.”²⁶

11.1. táblázat: Risset katalógusának szerkezete

		Risset-féle sorszámok	
01	01	#100	fuvolaszerű dallam
02	02	#150	szeriális részlet klarinetszerű hangokkal
03	03	#200	rézfúvós-szerű hangok a harmonikusok független vezérlésével
04		#201	mint a #200., csak más mintavételi frekvenciával
05	04	#210	egyszerűsített rézfúvós 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, a 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

Az #500–#550 között felsorolt nyolc úgynevezett hallási illúziókat keltő hangszintézis-példa 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

²⁶ Risset, J.-C. „Computer Music: Why?” In: *Internet Proceedings of Composers' Forum Austin* [http://www.utexas.edu/cola/insts/france-ut/_files/pdf/resources/risset.pdf] 5. o.

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 meg doktori disszertációját²⁷, melyben saját kísérletei alapján megfogalmazta, milyen paraméterváltozások vezérlik, hogy mit érzékelünk összeolvadónak és különállónak. A fejezet legnépszerűbb, legtöbbet hallgatott hangzása valószínűleg az #513 sorszámú végtelen glisszandó, melyet Shepard²⁸ korábbi, félhanglépésekkel emelkedő/ereszkedő MUSIC V algoritmus alapján fejlesztett tovább Risset folyamatos glisszandóvá.

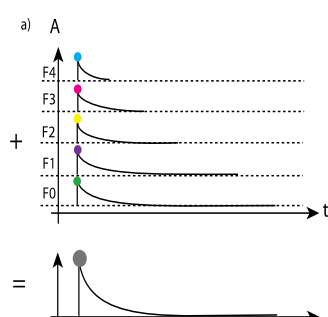
Az összeolvadás-elkülönülés jelenségét tanulmányozza az #500 példa is, melynek továbbfejlesztett változatai több Risset műben szerepelnek és számítógépes zenei iskolapéldává váltak. A szerző elnevezése – akkord spektrális analízise – arra utal, hogy van mód arra, hogy úgy változtassunk bizonyos hangparamétereket, 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 megelőzővel.

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 11.6.a 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. A 11.6.b 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

²⁷ McAdams, Stephen: Spectral fusion, spectral parsing and the formation of auditory images. PhD disszertáció, Stanford University, 1984.

²⁸ Id. Shepard, R. N.: „Circularity in Judgements of Relative Pitch”. *Journal of Acoustic Society America* 36/12, (1964):2346–2353.

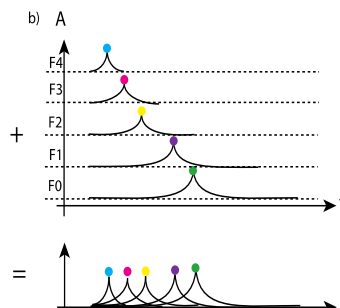
szakaszhoz, ahol a hang indítása felpuhul, a kezdet bizonytalan, csúszkál, mégis harangszerű. A szakasz jól skálázható dimenzió, ahol a szinkron teljes felbomlásaig különböző, a természetben nem hallható hangindításokat lehet létrehozni.



11.6.a ábra



11.01. hang



11.6.b ábra



11.02. hang

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. Risset módszere számos zeneszerzőt megihletett, közöttük Horváth Balázst is, aki Risset hatására írta *Tükrök tükre* című művét 1996-ban.



11.03. hang: HorváthBalázs_TükrökTükre

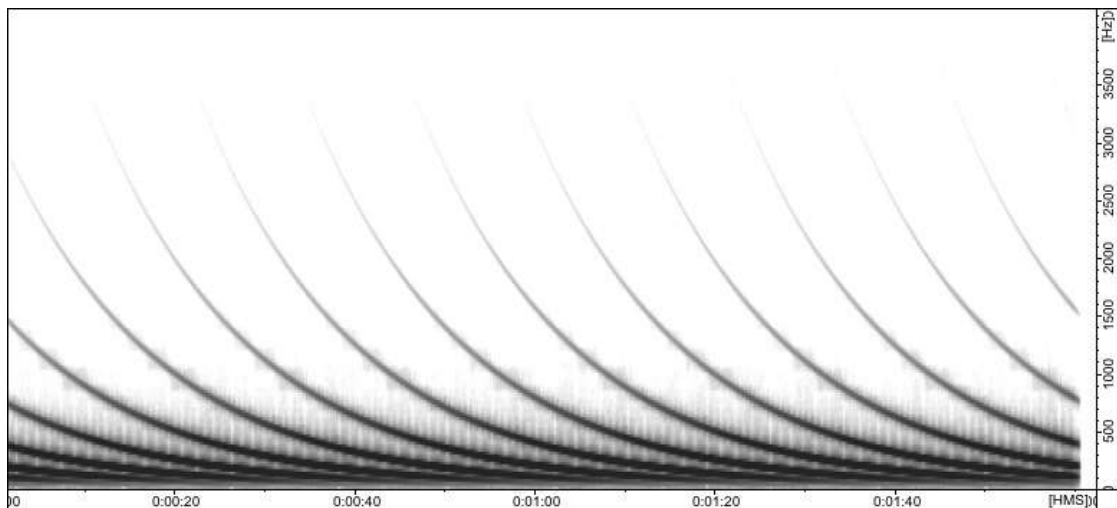


Risset a hangspektrum elemzésének segítségével felismerte, hogy a korábban – elsősorban az analóg szintetizátorok esetén, illetve Mathews első kísérleteiben – használatos hullámforma-ismétlés módszer messze nem kielégítő az időben összetett módon változó hanghullámok előállítására. A trombitahanggal 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 szintézismódszerekre van szükség. A számítógépes zenei hangszintézis történetében ez volt az a pont, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy különböző hangzások különböző módszereket, hangszintézis-technikákat igényelnek. Risset a katalógusban szereplő hangok előállítására négy technikát alkalmazott: 1.) a 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 nagymértékben 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. Eredményei a későbbi szintézistechnikai kutatások alapjává váltak.



11.7. ábra: Szonogram ábrázolás - végtelen glisszandó spektruma



11.04. hang: Végtelen glisszando

Ellenőrző kérdések:

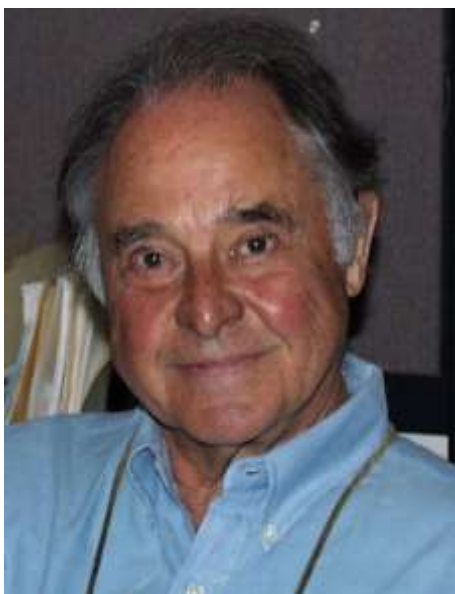
1. Hogyan készült az *Iliac Suite*?
2. Ki készítette a MUSIC N programnyelveket?
3. Mi a neve annak az intézménynek, ahol a MUSIC N programnyelvek készültek?
4. Ki készítette a Számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusát?
5. Tartalmaz-e a Számítógéppel szintetizált hangok bevezető katalógusa számítógépes programokat?

12. Az első számítógépes zenei központok: CCRMA, IRCAM

1964 érdekes elágazási pont az elektroakusztikus zene történetében. Ugyanabban az évben, amikor Robert Moog bemutatja az első moduláris analóg szintetizátort az AES konferencián Los Angelesben, a Stanford Egyetemen (ugyancsak Kaliforniában) John Chowning kezébe kerül Max Mathews híres cikke, melyben összefoglalja a Bell Laboratóriumban szerzett tapasztalatait a számítógépes zene területén. A cikk olvasásának pillanatától pillangóhatás-szerű eseményláncolat vezet két, az elektronikus zene jövőjét alapjaiban meghatározó számítógépes zenei központ, a CCRMA és az IRCAM megalakulásához Stanfordban és Párizsban.

12.1. CCRMA

A John Chowning (1934–; 12.1. ábra), James (Andy) Moorer, John Grey és Loren Rush által 1975-ben alapított *Center for Computer Research in Music and Acoustics* (Számítógépes Zenei és Akusztikai Kutatóközpont), röviden CCRMA (szokásos ejtése: [karma]) a kaliforniai Stanfordi Egyetem alintézményeként, az ún. Szilíciumvölgy területén, annak életével összefonódva működik.



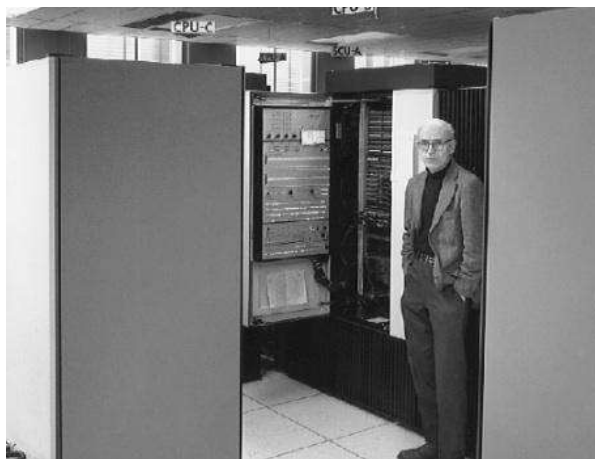
12.1. ábra: John Chowning

A kaliforniai Santa Clara völgyben elektronikai cégek az 1930-as évek végétől kezdtek megtelepedni. Az egyik első az 1939-es alapítású Hewlett-Packard volt, mely működését a terület mai központjának számító Palo Altóban, egy garázsban kezdte, többek között precíziós hangfrekvenciás oszcillátorok gyártásával. A céget alapító William Hewlett és David Packard a Stanford egyetem elektrotechnikai szakán végzett – a terület iparának fejlődését a későbbiekben is meghatározta az egyetem közelsége, a képzett végzős diákok jelenléte.

William Shockley (1910–1989) amerikai fizikus 1956-ban két társával megosztott fizikai Nobel-díjat kapott a tranzistor feltalálásáért. Ugyanebben az évben a völgy egy másik városában, Mountain Viewban megalapította a Shockley Semiconductor Laboratory céget és tranzistorok gyártásába kezdett. Shockley az elektronikát forradalmasító alkatrész gyártásához a számításba jövő félvezető anyagok közül a szilíciumot preferálta – ennek a preferenciának köszönheti nevét a terület.

Az 1970-es évekre már rengeteg elektronikai cég működött a Szilíciumvölgyben – egy részük félvezető alkatrészeket gyártott, más részük számítógépeket készített az alkatrészek felhasználásával, harmadik részük pedig programokat írt a számítógépekre. Bár az utóbbi években előtérbe lépett a szoftverfejlesztői tevékenység, a félvezetők gyártása ma is folytatódik, és a vidék továbbra is a csúcstechnológia legnagyobb központjának számít az Egyesült Államokban.

John Chowning 1959-től 1961-ig Nadia Boulanger-nál tanult zeneszerzést Párizsban, majd 1966-ban a Stanfordi Egyetemen szerzett zeneművészi doktorátust. 1964-ben ellátogatott a Bell Labsbe Max Mathewshoz, és megkapta tőle a MUSIC IV szoftvert, melyet az egyetem embermagasságú, hűtőszekrény méretű IBM 7094-es számítógépén (12.2. ábra) kezdett használni. Az így létrejövő digitális hangszer és stúdiórendszer, mely csupán a programot futtató számítógépből, a digitális jelet analóggá alakító konverterből és az analóg jelet megszólaltató hangszórókból állt, szokatlanul egyszerű volt a kor analóg stúdióihoz képest, melyek tele voltak zsúfolva a különféle rendeltetésű készülékekkel és az őket összekötő kábelekkal.



12.2. ábra: Max Mathews és egy IBM 7094-es számítógép

Chowning 1967-ben fejlesztette ki az FM-szintézis algoritmusát (lásd a 14. fejezetet) és kezdett el kísérletezni különböző FM-hangszínek előállításán. Több éves munkájának állomásait mutatja az alábbi három hangpélda:

1. rézfúvós hangszín: Jean-Claude Rissett felfedezését, miszerint a rézfúvós hangzások spektruma az amplitúdó növekedésével fényesedik, FM szintézissel egyszerű volt modellezni.



12.01. hang

2. a Yamaha DX7 szintetizátor egyik első haranghangja



12.02. hang

3. az emberi hang FM-szintézissel történő modellezése

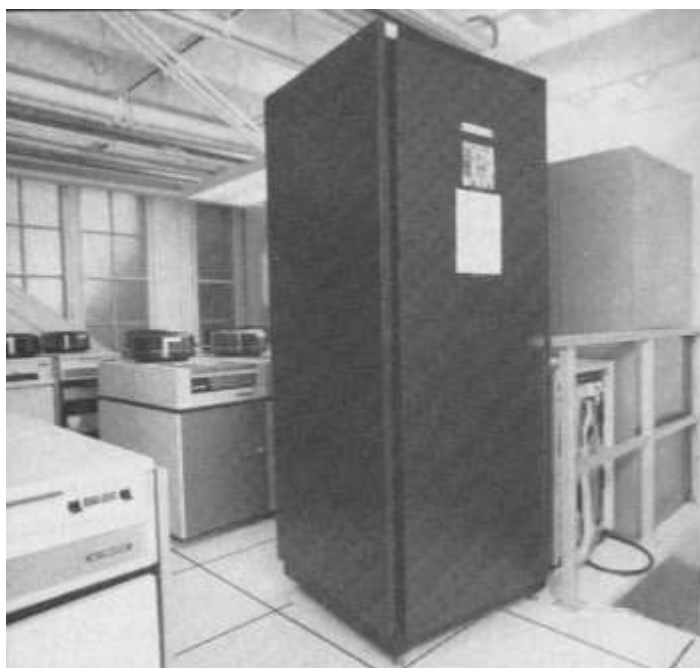


12.03. hang

A stanfordi egyetem szabadalmi védeltséget kért a módszerre, melyet később eladott a Yamaha cégnek. A japán vállalat FM-szintézist alkalmazó szintetizátorainak piaci sikere hatalmas nyereséget jelentett: a szabadalom lejáratáig, 1994-ig körülbelül 20 millió dollár hasznot hajtott, ezzel a Stanfordi Egyetem történetének második legjövedelmezőbb fejlesztése lett és a CCRMA számára biztos anyagi háttérrel szavatolt. Másik jelentős – bár kevesebbet jövedelmező – találmányára, a hang térbeli mozgásait szimuláló algoritmusra Chowning 1972-ben kapott szabadalmat. A CCRMA-ban az 1980-as években kifejlesztett további szintézistechnika, a *digital waveguide synthesis* (ld. 13. fejezet) mára az FM-szintézishez hasonlóan elterjedté vált.

1972-ben a Stanfordba látogató Ligeti György beszámolt az itt folyó munkáról Pierre Boulez-nek, s ennek eredményeképpen 1975-ben a következő alfejezetben tárgyalt IRCAM gárdája kéthetes tanfolyamra látogatott a CCRMA-ba. Az amerikaiaknak fontos volt a konkrét zene hazájából érkező vendégek látogatása, csakúgy, mint a franciáknak a Ligeti által lelkesedéssel bemutatott amerikaiak tanítása. Együttműködés a későbbiekben is volt a két műhely között, Chowning például maga is dolgozott néhány évig az IRCAM-ban.

A számítógépes zene technikai fejlődésének fontos állomása kötődik a CCRMA-hoz: a hangszintézisre kifejlesztett célszámítógép megjelenése. Az első ilyen gépet, a Samson Boxot (12.3. ábra) a Stanfordi Egyetem munktársa, Peter Samson tervezte 1972-ben, üzembe helyezésére 1977-ben került sor. A Samson Box még az 1980-as évek végén is óriási előnyt mutatott az általános célú számítógépekkel szemben a hanggenerálás terén. A Brooklyn College stúdiójának az egyetem központi gépére kapcsolt termináljain például körülbelül fél óráig tartott egy egyperces hangfolyamat kiszámítása, míg a Samson Boxnak ugyanez fél percig tarott.



12.3. ábra: Samson Box

John Chowningon és Max Mathewson kívül a CCRMA jeles személyisége volt John Robinson Pierce (1910–2002), aki évtizedeken át dolgozott kutatóként a Bell Laboratóriumban. Shockley és társai találmányát ő nevezte el tranzisztornak, ennél azonban sokkal fontosabb, hogy 1960-ban az ő elképzelése és tervei alapján készült el az első kísérleti kommunikációs műhold, az Echo I, melyet 1962-ben követett a Telstar I, az első kereskedelmi hírközlő műhold, mely elsőként közvetített élő televízióadást az Atlanti-óceánon túlra. Pierce, aki az 1950-es évektől érdeklődött az akusztika, a beszéd és a hallás kérdései iránt, a CCRMA-ban elsősorban pszichoakusztikai kísérletekkel foglalkozott, különösen a hangmagasság-érzékelés foglalkoztatta. Kutatásainak eredményeit körülbelül 300 publikációban tette közzé, ezek közül legismertebb a *The Science of Musical Sound* című 1983-as könyve.

A CCRMA tevékenységi köreit illusztráló néhány további munkatárs:

- Chris Chafe (zeneszerző, csellista, többek között hálózati zenéléssel foglalkozik, 1996-tól Chowning utóda a CCRMA élén);
- Jonathan S. Abel (2010-es helyszíni mérések alapján az isztambuli Hagia Sophia templom akusztikáját szimuláló szoftvert készített);
- Perry Raymond Cook (zenész és a Stanfordi Egyetemen végzett elektromérnök, szintézistechikákkal foglalkozik);
- William Gardner Schottstaedt (zeneszerző: *Dinosaur Music*, 1984);
- Julius O. Smith (digitális jelfeldolgozást és fizikai modellezésen alapuló szintézistechikákat tanít);
- Ge Wang (a Stanford Laptop Orchestra és a Stanford Mobile Phone Orchestra vezetője, az *Ocarina* nevű okarina-szimulátor iPhone-alkalmazás készítője);
- Jonathan Berger (zeneszerzést és kognitív zenepszichológiát tanít).

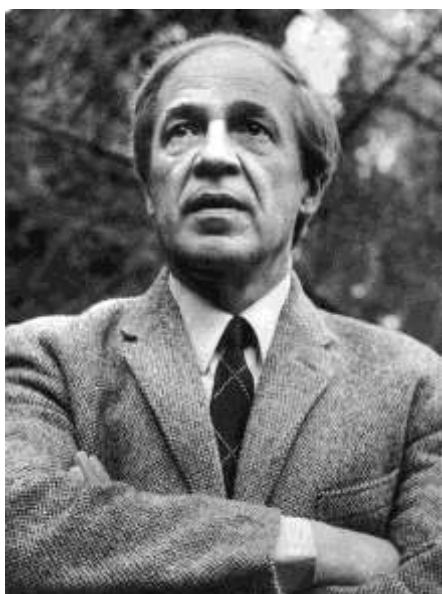
1915-ben a Stanfordi Egyetem rektorának épült a *The Knoll* (a bucka) nevű, spanyol neogót stílusú épület (12.4. ábra), melybe 1946-ban az egyetem zenei tanszéke, 1986-ban pedig a CCRMA költözött. Az 1989-es nagy földrengésben az épület megsérült, harmadik szintjét teljesen le kellett zárni. Csak 15 évvel később, 2004-ben újjátették fel a központot, modern belső teret alakítottak ki, figyelembe véve az újabb szempontokat is. Így végre helyet kapott az épületben egy nagyterem a hozzákapcsolódó kontrollszobával, amely alkalmas sokcsatornás hangzaskísérletek végzésére, művek előadására, digitális sokcsatornás felvevőstúdió a hozzá tartozó kontrollszobával, két kisebb stúdió digitális editálásra, számos számítógépekkel, szintetizátorokkal, hangszórókkal felszerelt munkahely, egy szemináriumterem, oktatóterem, saját könyvtár és irodák.



12.4. ábra: *The Knoll*, a CCRMA jelenlegi épülete

12.2. IRCAM

Franciaország 1969 és 1974 közötti köztársasági elnöke, Georges Pompidou (1911–1974) 1970-ben felkérte Pierre Boulez (1925–; 12.5. ábra) zeneszerzőt és karmestert egy kortárs zenei műhely és kutatóközpont alapítására. A felkérés nyomán létrejövő IRCAM (*Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique*, Akusztikai-Zenei Kutató- és Koordinációs Intézet) a köztársasági elnök egy átfogóbb kulturális tervének része volt. A később róla elnevezett Pompidou Központ, melynek épületkomplexuma 1971 és 1977 között épült meg Párizs 4. kerületében, az IRCAM-on kívül otthont ad a *Bibliothèque publique d'information*, Párizs első számú közkönyvtára számára (ezt a komplexum átadásakor, 1977-ben hozták létre), valamint a kortárs képzőművészet nemzeti gyűjteménye, az 1947-ben alapított *Musée National d'Art Moderne* számára is. Az IRCAM stúdiói nagyrészt a föld alatt kaptak helyet.



12.5. ábra: Pierre Boulez

Az épületkomplexum 1983-ban látványos elemmel bővült: Jean Tinguely és Niki de Saint Phalle szobrászok Sztravinszkij szökőkútjával (12.6. ábra), mely tizenhat kompozícióval reflektál a zeneszerző műveire – a témát Pierre Boulez javasolta a művészeknek. A szoborcsoport elkészítésekor fontos szempont volt a könnyű anyagok használata, ugyanis a szökőkút alatt vannak az IRCAM stúdiói.



12.6. ábra: Az IRCAM bejárati rámpája háttérben a Sztravinszkij szökőkúttal

Az IRCAM épülete (12.7. ábra) nemcsak a kutatás, oktatás és alkotó stúdiómunka színtereként funkcionál, hanem koncerthelyszíneként is; itt található a világ első változtatható akusztikájú hangversenyterme. Az elektroakusztikus zene mellett kiemelt szerepet kap a kortárs hangszeres zene is. Az IRCAM állandó együttese az Ensemble InterContemporain, amely modellül szolgált más hasonló kortárszenei együttesek számára: ilyen például az 1980-ban alapított német Ensemble Modern, vagy az 1985-től létező osztrák Klangforum Wien. Az IRCAM támogatásában több olyan zeneszerző részesült (például Gérard Grisey, Tristan Murail vagy Kaija Saariaho), akik a kortárs hangszeres zene *spektrális*nak nevezett irányzatát képviselik – az instrumentális komponálásban hasznosítják az elektroakusztikus zene gyakorlatának tanulságait, különösen a hang spektrumának elemzésére irányuló kutatások eredményeit, mely kutatásokban az IRCAM élen jár.

Míg a CCRMA egyetemhez kötődik, és ez tevékenységét, munkatársi körét is meghatározza, addig az IRCAM független és nagy hangsúlyt fektet a nemzetközi együttműködésre, vezető szerepét a nemzetközi kutatói elit bevonásának köszönheti. Olasz fizikus, Giuseppe Di Giugno (1939–) tervezte például az IRCAM 4X nevű zenei célszámítógépét 1979-ben, a CCRMA Samson Boxának mintájára.



12.7. ábra: Az IRCAM épülete a felszín felett

Az IRCAM keretein belül elkészült első jelentősebb visszhangot keltő kompozíciót, Pierre Boulez *Répons* című művét 1981-ben mutatták be. A darab nagy kamaraegyüttest, hat szólistát és a 4X gépre épülő élő elektronikát alkalmaz. A cím – Válaszok – a szólisták és a zenekar dialógusaira, valamint az akusztikus forrásokra adott elektronikus válaszokra utal. Néhány további mű az IRCAM-ban készült jelentősebb darabok közül:

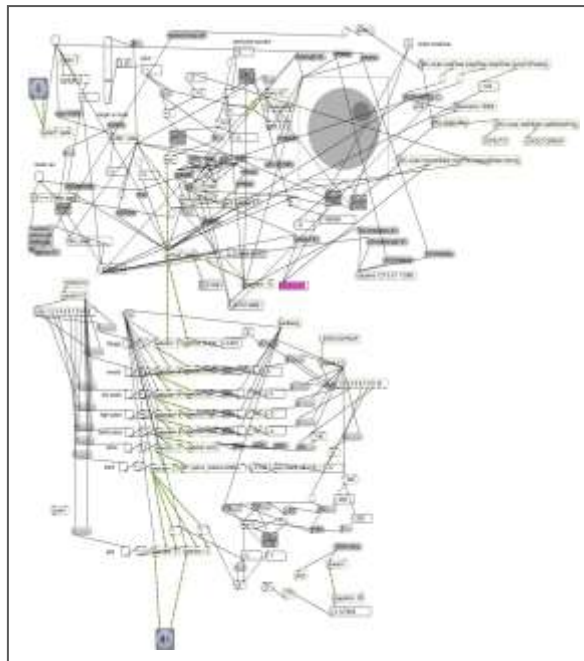
- John Chowning: *Stria* (1977, ismertetését lásd a 13. fejezetben),
- Jean-Claude Risset: *Songes* (1979),
- John Cage: *Roaratorio, an Irish Circus on Finnegans Wake* (1980),
- Luciano Berio: *Chemins ex V* (klarinétra és számítógépre, 1980),
- Jonathan Harvey: *Mortuos Plango, Vivos Voco* (1980, ismertetését lásd a 13. fejezetben),
- Tristan Murail: *Désintégrations* (1982–83),
- Luciano Berio: *Orpheo II*, opera for voice, orchestras, and tapes (opera, 1984),
- Karlheinz Stockhausen: *Kathinkas Gesang als Luzifers Requiem* (1985),
- Trevor Wishart: *VOX-5* (1986, ismertetését lásd a 13. fejezetben),
- Harrison Birtwistle: *The Mask of Orpheus* (1986),
- David Wessel: *Contacts Turbulents* (szaxofonra és elektronikára, 1986),
- Philippe Manoury: *Jupiter* (fuvolára és elektronikára, 1987),
- Marco Stroppa: *In cielo, in terra, in mare* (rádióopera, 1992),

- Kaija Saariaho: *Lonh* (1995–96),
- Iannis Xenakis: *Psappha* (elektronikus verzió, 1976/1996),
- Jonathan Harvey: *Speakings* (zenekarra élő elektronikával, 2008).

1994-ben az IRCAM munkatársai részt vettek a *Farinelli* című film készítésében: a 18. század híres kasztrált férfiszopránjának énekét olyan módon kísérelték meg rekonstruálni, hogy fejlett szintézistechnikák segítségével ötvözték Ewa Malas-Godlewska szoprán és Derek Lee Ragin kontratenor hangját.

Az IRCAM-ban fejlesztett szoftverek közül az egyik legfontosabb Miller Puckette (1959–) amerikai matematikus és zeneszerző 1988-ban megalkotott *Max* nevű programja, melyet Max Mathews tiszteletére nevezett el így – ez a hivatkozás azért is helyénvaló, mert a *Max* a Mathews-féle *MUSIC-N* programok utódjának tekinthető. Legszembeötlőbb különbsége a *MUSIC*hoz képest az, hogy programszerkesztő felülete az elektromos áramkörkészítésre emlékeztető grafikus metaforára épül: minden egyes funkciónak egy egyszerű grafikus objektum felel meg, s ezeket „vezetékekkel” kell a megfelelő sorrendben összekötni, s az így létrejött programot, áramkörszerű megjelenéséhez híven *patch*nek (kapcsolás) szokás nevezni (12.8. ábra). A *Max* megalkotásának célja főképp az volt, hogy megkönnyítse a valós idejű előadói beavatkozást a programok működésébe.

1996-ban Puckett elkészítette a *Max* nyílt forráskódú, szabadon fejleszthető változatát, a *Pure Datát*, mely bár néhány alapvető eltérést mutat a *Max*hez képest, alapkoncepciójában lényegében azonos vele. Mind a program fejlesztése, mind pedig alkalmazása köré kiterjedt internetes közösség szerveződött.



12.08. ábra: MAX programnyelven készült patch

A *Max*szel egy évben, 1988-ban készült az IRCAM fizikai modellezésre (ld. 13. fejezet) tervezett *Modalys* szoftvere. Az IRCAM korábbi fejlesztései alapján 2010-ben piacra bocsátották az *IRCAM Tools* nevű, négyféle szoftvert tartalmazó programcsomagot: a *Spat* a térbeliség utánpótlására, a *Verb* hangvisszaverődési jelenségek szimulálására szolgál, a *HEar* pszichoakusztikai trükkök segítségével sztereó berendezéseken képes érzékelteni a kettőnél több csatornás felvételek térhangzását, a *Trax* programcsalád pedig fázis vocoder technikán (lásd a 13. fejezetet) alapuló hangátalakító szoftverek gyűjteménye.

Az IRCAM az elektroakusztikus és kortárs klasszikus zene témájában kiadványokat is megjelentet, köztük az alábbi periodikumokat:

- InHarmoniques (1986–1991)
- Résonances (1992–),
- *L'Inouï* (2005–),
- L'étincelle (2006–).

Pierre Boulez-t követően 1992-ben Laurent Bayle, 2002-ben Bernard Stiegler, majd 2006-ban Frank Madlener lett az IRCAM vezetője.

Ellenőrző kérdések:

1. Hol található a CCRMA?
2. Ki találta föl az FM szintézist?
3. Mi volt az első hangszintézis céljára készített célszámítógép neve?
4. Ki volt az IRCAM első vezetője?
5. Mi a *Max*?

13. A számítógép hatása az elektronikus zenei gyakorlatra I.

– Digitális szintézistechnikák és kompozíciók

Bár számítógép alatt ma általában olyan szerkezetet értenek, amelynek a képernyő és a billentyűzet a legszembevetőbb alkatrészei, a voltaképpeni számítógépnek ezek nem lényegi tartozékai. A szűk értelemben vett számítógép csupán olyan elektronikai egységekből áll, melyek semmi másra nem képesek, mint arra, hogy számokkal különböző matematikai műveleteket végezzenek. E készülék sokoldalú felhasználhatósága abban rejlik, hogy a fizikai világ sok különböző jelenségét le lehet képezni számsorok formájában – így a hanghullámokat alkotó apró légnyomás-ingadozásokat is.

Számsorokká alakított, azaz digitalizált formában egyfelől könnyebben és gyorsabban végezhetőek el a hangokkal azok a műveletek, amelyekre az analóg stúdióberendezések is képesek, másfelől a hangátalakítás és -generálás olyan lehetőségei is feltárulnak, amelyek számítógép nélkül elképzelhetetlenek volnának.

13.1. Szintézistechnikák

13.1.1. Az additív szintézis

A számítógép alkalmazása a hangszintézis terén is új lehetőségek megjelenésével járt. Bár az összetett hangokat szinuszhangokból felépítő **additív szintézis** zenei alkalmazása már a telharmonium óta ismert volt, az új technika azonban lehetővé tette a szinusz-részhangok arányainak gyors, pontosan időzített és tökéletesen összehangolt változtatásait is. Ezzel a lehetőséggel kísérletezve talált rá Jean-Claude Risset a 11. fejezetben már bemutatott, harangra emlékeztető hangokra, melyekben az összetevőket néha elkülönült hangmagasságként, néha pedig egyetlen összetett hangszín-egész részeként érzékeljük – attól függően, hogy erősségük hogyan változik a többi összetevő erősség-ingadozásaihoz képest.

13.1.2. Szubtraktív szintézis

A nagy pontosságú digitális szűrők segítségével az additív szintézis inverzét, a **szubtraktív szintézist** is eredményesen lehet alkalmazni az elektroakusztikus zene céljaira. Ennek esetében nem a minimumból, a lehető legelemibb építőkövet jelentő szinuszhangból indulnak ki, hanem a maximumból, a teljes hallástartományt betöltő fehérzajból (vagy más típusú zajból), amelyből aztán szűrőkkel kivonják a nemkívánatos frekvenciákat.

13.1.3. FM

Egy másik, a számítógép használatával megszületett szintézistechnika elvi alapja a *vibrato*, a hang magasságának folyamatos föl-le csúszkálással előidézett periodikus változtatása – elektroakusztikus szemlélettel fogalmazva a frekvencia modulációja –, mely a klasszikus zene előadói gyakorlatában legjellemzőbben a vonós hangszerek és az ének esetében használatos. A 12. fejezetben bemutatott John Chowning megfigyelte, hogy ha a klasszikus *vibrato* esetében használt néhány hertzes moduláló hullámnál jóval magasabb, a hallástartományba eső rezgésszámú hullámokat használ egy állandó magasságú szinuszhang frekvencia-modulációjához, akkor már nem folyamatos csúszkálást észlel, hanem összetett hangokat. Így született az **FM-szintézis**.

Az eredeti hullámforma torzulása miatt létrejött összetett hangokban olyan részhangokat lehet kimutatni, melyek a spektrumban az eredeti hangmagasság két oldalán jelennek meg, tehát részben mélyebbek, részben magasabbak nála. Egymástól és az eredeti hangtól mért távolságuk attól függ, milyen arányban áll egymással a modulált és a moduláló frekvencia. Ha az arány harmonikus, tehát kifejezhető egész számokkal, akkor a részhangok alkotta spektrum is harmonikus lesz, inharmonikus arányuk pedig inharmonikus spektrumot eredményez. A moduláló hullám frekvenciája és amplitúdója változtatásával, tehát csupán két paraméter módosításával a legkülönbözőbb hangszínek hozhatóak létre, melyek ugyanakkor mégis egyfajta közös, az FM-szintézist viszonylag könnyen felismerhetővé tevő jelleget hordoznak.

Az akusztikus forrásból származó hangok egyrészt az ADSR-görbékük (Attack–Decay–Sustain–Release, azaz felfutás–csillapítás–kitartás–lecsengés) segítségével jellemezhetőek és utánozhatóak: ez a görbe írja le a megszólalás karakteres hangerőváltozásait a hang életének nevezett időszakában. Van azonban az akusztikus hangoknak egy másik karaktermeghatározó jellemzőjük: a hang felfutásakor és lecsengésekor történő átmeneti hangszínváltozások mikéntje. Az FM-szintézissel azért könnyű természetes hatású hangzásokat létrehozni, mert a hangerőt befolyásoló ADSR-görbével csupán egy másik görbét kell szinkronizálni, mely a hangszínt meghatározó két paramétert szabályozza. Ennek megfelelő kialakításával imitálhatóak azok a rövid távú hangszínmódosulások, melyek például a húros, fúvós vagy ütős hangszerek, illetve az énekhang megszólalására jellemzőek.

13.1.4. Beszédszintézis

Tulajdonképpen furcsa, hogy a hangszín kérdése csak a 20. század folyamán vált a zenei alkotótevékenység központi problémájává, hiszen az emberi agynak rendkívül fejlett hangszín-megkülönböztető képessége van, melyet a civilizáció hajnalától kezdve az emberiség alaposan ki is aknázott. Ezen a képességen alapszanak ugyanis legfontosabb kommunikációs rendszereink, a beszélt nyelvek, melynek jelei az emberi hang változatos hangszíneiből épülnek fel. Minderről azért esik szó ebben a fejezetben, mert a számítógépes szintézis egyes fejlett módszerei az emberi hang utánzásával, közvetítésével, rekonstruálásával kapcsolatos kísérletekből nőttek ki.

Az emberi hang működése évszázadok óta foglalkoztatta a tudósokat: Kempelen Farkas (1734–1804) magyar tudós és feltaláló 1770 táján fejlesztette ki beszélőgépét, az első beszéd utánzására képes készüléket, mely azon a felismerésen alapult, hogy a magánhangzók jellegét a fej üregeinek alakja határozza meg. Ezeket az üregeket Kempelen egy olyan fadoboz segítségével utánozta, melynek geometriáját különböző alkatrészeinek mozgatásával lehetett változtatni, míg a hangszalagokat egy, a doboz bemeneti nyílásához erősített nyelvcsip helyettesítette.

Az emberi fej rezonánsüregei – elsősorban a szájüreg – különböző frekvencia-tartományokban rezonáns zónákat, úgynevezett formánsokat hoznak létre. Azok a részhangok, amelyek a formánsok magasságába esnek, a rezonanciának köszönhetően nagyobb hangerővel szólnak meg, mint a többi részhang. Az emberi hangban akár 10 formánst is meg lehet különböztetni, ám az első kettő – a két legmélyebb – a legfontosabb, bármely magánhangzó majdnem egyértelműen azonosítható csak ezek alapján is. Az első formánst elsősorban a száj nyitottsága határozza meg – minél zártabb a száj, annál mélyebbre esik –, a második formánst pedig a nyelv helyzete – minél hátrébb van a nyelv, annál mélyebbre esik.



13.1. ábra: Homer Dudley

A formánsokról szerzett ismeretek fontos gyakorlati jelentőségre tettek szert a 20. század első felének telekommunikációs forradalma során. A beszédhangok kábeles átvitele viszonylag nagy sáv szélességet igényelt, így azonos kábelben egyszerre csak kevés beszélgetést lehetett továbbítani. Homer Dudley (1896–1987; 13.1. ábra) elektromérnök 1928-ban kezdett kísérletezni a probléma megoldásával a Bell Labsben, és kifejlesztette (majd 1939-ben szabadalmaztatta) a **vocodert**, mely lehetővé tette, hogy a beszéd teljes hullámformája helyett annak csak legesszenciálisabb alkotórészeit továbbítsák – nevezetesen a formánsokat –, s ezáltal jóval kisebb sáv szélesség is elegendő volt a kommunikációhoz.

A vocoder az adóállomáson a beszédhangot analizálja a hallástartományt szomszédos frekvenciasávokra bontó sávszűrők segítségével (ezekből általában minimum 8, maximum 20 darab van). Ezután megméri az egyes sávokban megjelenő hangok intenzitását, és az ezt kifejező analóg jelet továbbítja a vevőállomásra, anélkül, hogy az eredeti hangrezgések hullámformájából bármit is megtartana. A vevőállomáson egy fűrészfogjel- és/vagy zajgenerátor működik, melynek hangját az adóállomáshoz hasonló szűrőkkel szűrnék meg. Ha ezeket a szűrőket a továbbított jelek segítségével szabályozzák, a generátor hangjának hangszín-módosulásaiban felismerhetővé válik az adóállomásról érkező beszéd.

A vocoder adóállomás nélküli változata a *voder*: a szűrőket – és a szűrendő alaphang magasságát – ennek esetében egy kezelőnek kell szabályoznia billentyűk és egy pedál segítségével. A „hangszer” gyakorlott játékosa érthető gépi beszédet tud produkálni vele (13.2., 13.3. ábra).



13.2. ábra: A voder (1939)



13.3. ábra: A voder kezelőasztala

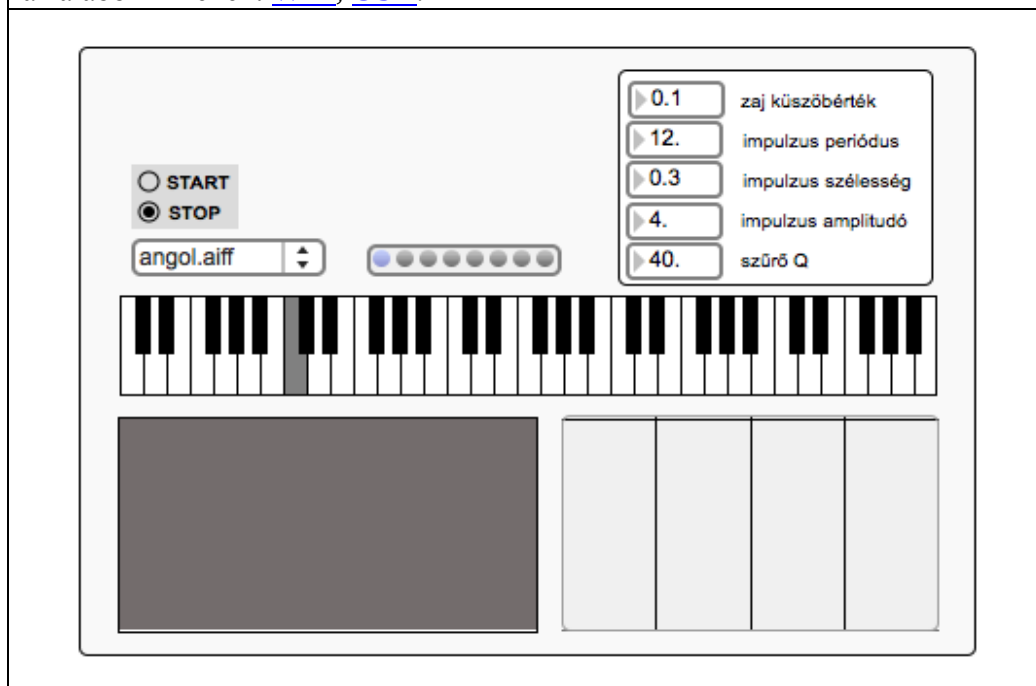
A vocoderen megszólaló dehumanizált, gépies beszéd népszerű lett a filmiparban és a populáris zenében is. Ilyenfajta népszerűségének egyik leghíresebb példája még mindig a Bell Labshez, de már a számítógépes korszakhoz kötődik. 1961-ben a laboratórium munkatársai egy IBM 704-es kompjúteren kísérleteztek a vocoder elvén működő beszédsszintézissel, s próbaképpen előadták a géppel Harry Dacre 1892-es *Daisy Bell* (avagy *Bycycle Built for Two*) című slágerét – az énekhangot John Larry Kelly Jr. és Louis Gerstman, a kíséretet pedig Max Mathews programozta. A világ legelső éneklő számítógépe annyira megtetszett a laboratóriumba látogató Arthur C. Clarke-nak, hogy élményét beleírta *2001: Űrodüsszeia* című novellájába, mely Stanley Kubrick azonos című, 1968-as filmjének alapjául szolgált. A filmben a szintetizált éneklés egy űrhajó lekapcsolás alatt lévő szuperintelligens fedélzeti számítógépének utolsó megnyilvánulása.

A 13.4. ábrán bemutatott, letölthető, interaktív példa analóg vocoder szoftveres modellje, melyen ki lehet próbálni, hogyan alakítja át a vocoder különböző paraméterek segítségével a beszédhangot.

A vocoder működési alapelvét – először analízálás, majd újrasszintetizálás – a számítógépes elektroakusztika többféle szintézistechnikája követi. A **formánskövetés** (*formant tracking*) nevű eljárás a vocoderhez hasonlóan csupán a formánsok mozgásait leíró számsorokat gyűjti ki az analizált hangból, sávszűrők segítségével – ez elsősorban a mély férfihangok esetében használható eredményesen. Az **LPC** (*Linear Prediction Computing*) másféle szűrőt és összetettebb matematikai eljárást használ, s előnye a formánskövetéshez képest, hogy nemcsak férfihangok, de gyerek- és női hangok formáns-adatai is jó eredménnyel kigyűjthetők általa. Az LPC kifejlesztésén 1966-tól kezdtek dolgozni japán és amerikai kutatók, az eljárást használó első készüléket 1969-ben mutatta be

Bishnu S. Atal (1933–) indiai elektromérnök – ma leginkább a GSM telefonok hangátvitelében használják. A **fázis vocoder** a hangot a Fourier-féle sorfejtés segítségével analizálja – a teljes hangot részeire bontja úgy, hogy az elemi szinuszhullámok fázisára vonatkozó információkat is kigyűjti, így a hang teljes egészében, tökéletesen rekonstruálható az analízis után. A technikát először James Loton Flanagan (1925–) elektromérnök írta le 1966-ban.

Az interaktív példa letölthető Windows és Mac OS X operációs rendszerekre az alábbi linkeken: [WIN](#), [OSX](#).



13.4. ábra: Analóg vocoder digitális modellje

A felsorolt számítógépes eljárások kompozíciótechnikai értékét az adja, hogy az analízis során begyűjtött számadatok a hang újraszintetizálása előtt megváltoztathatóak. Egymástól függetlenül módosíthatóak az időtartamokra és a frekvenciaértékekre vonatkozó információk, s ennek legelemibb haszna, hogy lehetővé válik a transzpozíció nélküli sebességmódosítás és a sebességmódosulás nélküli transzponálás. Ennél azonban jóval bonyolultabb transzformációkra is lehetőség nyílik, például két különböző hang „összeházasítására”: ha a spektrumukat részletesen leíró számsorokat interpoláljuk, olyan harmadik hang jön létre, mely az eredeti kettő összes tulajdonságát szervesen ötvözi – mint azt egy későbbi példánk majd szemlélteti. Ilyen szerves ötvözés a két hang pusztán egymásra keverése által nem volna megvalósítható.

Általános előnye az analízisen alapuló szintézistechnikáknak, hogy a hangok karakterét meghatározó, sok esetben rendkívül komplex mikro-folyamatokat nem a semmiből kell megalkotni, hanem „el lehet lesni” a természetes hangoktól, egészükben vagy egyes elemeikben.

13.1.5. Fizikai modellezés

A természettől való „lesés” egy másik módja a **fizikai modellezést alkalmazó szintézis**. Ennek során nem valamely felvett hangból indulnak ki, hanem a természetes rezgő testek virtuális hasonmásait, matematikai modelljeit hozzák létre olyan módon, hogy viselkedésmódjaikat, a gerjesztésre való reakciójuk mikéntjét egyenletek és algoritmusok formájában írják le. Egy gitárhúrt leíró modellnek részei például a húr hosszának, vastagságának és rugalmasságának megfelelő állandók.

Számítógépes fizikai modellezést alkalmazó szintézis az 1970-es évek elejétől létezik, azonban a technika az elektroakusztikus zene gyakorlata számára csak 1983-tól vált igazán elérhetővé és hasznosíthatóvá. Kevin Karplus és Alex Strong ebben az évben jelentették meg húrok és membránok rezgésének modellezésére alkalmas elméleti rendszerük, a Karplus-Strong algoritmus leírását. Ezt még ugyanebben az évben követte Julius O. Smith III *digital waveguide synthesis* nevű technikája, mely a Karplus-Strong algoritmust olyan módon terjesztette ki, hogy alkalmassá vált csövek rezgéseinek modellezésére is.

A fizikai modellezést alkalmazó szintézis különleges lehetősége, hogy a paraméterek megfelelő megválasztásával olyan rezgő testeket is lehet modellezni, melyek elkészítése a materiális valóságban lehetetlen volna. A módszer segítségével elvileg meghallgatható például, hogyan szól egy tíz méter vastag, tíz kilométer hosszú hegedűhúr.

13.1.6 Granuláris szintézis

Ez a szintézistechnika voltaképpen a vágás különleges, mikrodarabkákkal dolgozó fajtája, melynek már az analóg stúdiótechnikában megtaláljuk előzményét, kiterjedt használata azonban csak a számítógép használatával lehetséges. A hagyományos mikrovágás során a másodpercnél rövidebb, jellemzően század-másodperces léptékű szalagdarabkákat készítenek és ragasztanak egymás után. Ha az egyes darabok időtartama átlépi az emberi hallás időfelbontási határát, tehát rövidebbek annál, semhogy az emberi fül és hallóközpont egymásutánjukat még külön eseményekként értékelhetné, a mikrovágással különböző karakterű pici hangokból homogén hatású textúrát lehet készíteni. Ezt az eljárást alkalmazza például a francia Bernard Parmegiani (1927–) *Violostris* (1964) és *Dedans-Dehors* (1983) című műveiben.

Ez a technika magnószalaggal dolgozva nagyon fáradságos és időigényes. A számítógép nemcsak drasztikusan megkönnyíti és lerövidíti a munkát, de olyan rövid darabkák előállítását is lehetővé teszi, amelyek szalagból már ki sem volnának vághatóak. A szalagon minden egyes illesztést külön ki kell alakítani, a számítógépen viszont elég egyszer megadni néhány szabályt, mely megmondja, hogyan illeszkedjenek egymáshoz a darabok, például puha átlapolással vagy élesen elkülönülve, vagy, hogy hogyan változzon az egyes darabkák időtartama a hangfolyamat előrehaladtával. A számítógépen könnyűvé válik annak beállítása,

hogyan két vagy több különböző karakterű hangalapanyag esetén a darabkák milyen arányban származzanak az egyik vagy másik alapanyagból, illetve hogy ezek az arányok hogyan változnak az idő során.

Ekképpen korábban elképzelhetetlenül rugalmas átmenetek képezhetők a darabkákból álló egybefüggő textúra érzete és az elkülöníthető rövid hangok érzete között, valamint kétféle hangzáskarakter között. Mivel a számítógéppel bármilyen nagy időtartamú textúrákat is könnyű létrehozni, és mert ezek a felszecskázott alapanyagokhoz képest újszerű karakterrel bírnak, a módszerre egyre inkább egyfajta szintézisteknikaként kezdtek gondolni, és a szélsőségesen rövid darabkák jellege után granuláris, azaz szemcsés szintézisnek kezdték nevezni. A módszer egy példája Barry Truax (1947–) kanadai zeneszerző *Riverrun* (1986) című darabja. A cím James Joyce *Finnegans Wake* című regényéből származik, annak első szava, és itt a granuláris szintézis, valamint az általa létrehozott textúrák metaforájaként működik: a folyó is olyan hatalmas tömeg, mely egyszerű, mérhetetlenül parányi részecskékből áll, és bár állandó mozgásban van, egésze mégis statikus összehatást kelt.

13.1.7 Egyéb technikák

Számítógéppel létrehozhatóak olyan további eszközök, melyek funkcionális megfelelőit már az analóg stúdiók készülékei között is megtaláljuk, a digitális technika lehetőségei révén azonban korábban megvalósíthatatlan eredményekre is képesek: ilyenek például a digitális szűrők, vagy a számítógéppel szimulált térmozgások.

A számítógép rezonánsfiltereinek előnye az analóg szűrőkkel szemben, hogy a rezonáns hangmagasságokon elvileg korlátlan hangerőnövekedés elérhető, hiszen a jelszinteket leíró számértékeket a gép tetszőleges mértékben meg tudja növelni.

Térmozgások létrehozása kétcsatornás analóg technikával nem nehéz – jól tudja ezt mindenki, aki játszott már az otthoni sztereó rádiókészülék *balance* feliratú szabályozójával, és megfigyelte, hogyan vándorol a bemondó hangja a szoba egyik sarkából a másikba. Négy- vagy többcsatornás technika esetén azonban már bonyolultabb összehangolni az egyes csatornák hangerőkülönbségeit és -változásait a térmozgások meggyőző illúziójának felkeltéséhez. A számítógép ezt az összehangolást nagyban megkönnyíti, segít továbbá kiszámolni és utánozni a tényleges hangforrások helyváltozásaikor fellépő összetettebb jelenségeket, például a közeledéssel és távolodással járó hangerő-, illetve hangmagasság-változást, más néven Doppler-effektust.

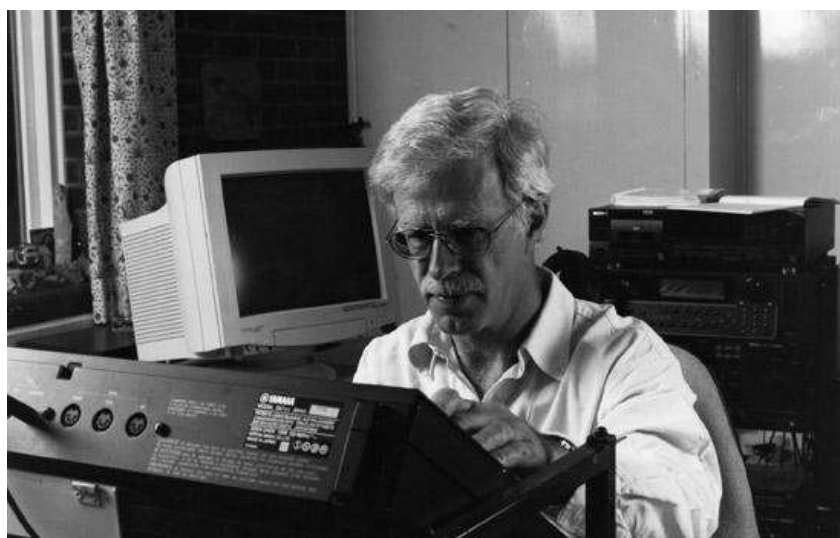
13.2. Korai, számítógéppel realizált kompozíciók

A következő fejezetben bemutatott digitális szintetizátorok a különböző digitális szintézisteknikák tárgyi megnyilvánulási formái – jóval beszédesebbek azonban

a technikák hallható megnyilvánulási formái, az őket hasznosító kompozíciók. Az alább ismertetett darabokat a digitális technika adta lehetőségek nélkül már egyáltalán nem lehetett volna megalkotni.

John Chowning 1966-ban készült (és 1971-ben revideált) *Sabelithe* című műve az első, mely FM-szintézist használ. A darab egyik megkapó pillanata a 4. és 5. perc fordulója, mikor a kisdobra emlékeztető hang fokozatosan trombitára emlékeztető hanggá alakul át – az FM-szintézis paramétereinek fokozatos módosítása által. Az első, kizárólag FM-szintézisre épülő mű Chowning 1972-es *Turenasa* – címe, a *natures* szó anagrammája utal a szintézistechnika természetes hangokat utánozó képességére, mely ugyanakkor bármikor átmehet a voltaképeni természetből nem ismert hangok szférájába, egy második, mesterséges természetbe. A négy csatornás mű a hangok fejlett térmozgás-technikáinak is iskolapéldája.

A *Stria*, Chowning 1977-es darabja elsősorban inharmonikus FM-szintetizált hangokat használ. A kompozíció minden elemét az aranymetszés aránya határozza meg: az 1:2 arányú oktávviszony helyett Chowning az aranymetszésnek megfelelő 1:1,168-as arányú „oktávot” használt, a mű formájának időbeli viszonyai is ehhez az arányhoz igazodnak. Az 1980–81-es *Phoné* az FM-szintézist főként az emberi hang utánzására – és az emberi hangadási képességek határainak átlépésére – használja.



13.5. ábra: Jonathan Harvey

Jonathan Harvey (1939–2012; 13.5. ábra) angol zeneszerző *Mortuos Plango, Vivos Voco* című 1980-as, nyolccsatornás szerzeménye címében és hang-alapanyagában is harangokhoz kötődik. A Winchester katedrális tenor harangjának hangja mellett Harvey felhasználta kisfiának hangját is, aki akkoriban a katedrális kórusában énekelt, és aki a darabban a harang feliratát énekli el: „Horas Avolantes Numero, Mortuos Plango, Vivos ad Preces Voco”, azaz „számlálom az elszálló órákat, siratom a halottakat, imára hívom az élőket”. A mű

az analízisen alapuló szintézis-technikát példázza: Harvey és két segítője, a darabot megrendelő párizsi IRCAM munkatársai (Stanley Haynes és Xavier Rodet) a Music V program segítségével elemezte a hang-alapanyagokat, s az újrászintetizálásakor elérték, hogy a kisfiú hangja a harang hangjából nőjön ki és viszont. A haranghang elemzéssel szétszedett spektrumát a darab többféleképpen hasznosítja újra: a nyolc legmélyebb részhangra épül a mű nyolc szakasza; az egyes részhangok kombinációja által pedig különböző akkordok jönnek létre.



13.6. ábra: Trevor Wishart

Egy másik angol zeneszerző, Trevor Wishart (1946–; 13.6. ábra) a kiterjesztett vokális technikák gyakorlójaként az elektroakusztikus eszközöktől függetlenül is az emberi hang szokásos lehetőségeinek meghaladásával foglalkozik. Ez a törekvés a digitális technikával összekapcsolódva vezetett egyebek között *VOX* című sorozatának megszületéséhez (1980–88, 1990). A fázis vocoder analízisen és újrászintézisen alapuló technikája lehetővé tette, hogy saját hangját tökéletesen szerves átmenetekkel alakítsa át a legkülönbözőbb hangokká, a *VOX 5*-ben például szélzúgássá, varjúkárogássá, méhzümmögéssé, lónyertéssé és mennydörgéssé, melyeket ebben a darabban aztán rendre a saját hangjává alakít vissza. Wishart költői programja szerint az így létrejövő emberfeletti hangú lény a hinduizmus Shiva istene, a lebontás ura, aki a hangjelenségeket saját emberszerű hangjává oldva bontja fel, hogy abból azután más, új jelenségek születhessenek.

A *VOX 5* fejlett pszichoakusztikai ismeretekről is tanúskodik. Bármilyen szervesek és simák legyenek is az emberi hang és a másféle hangok közötti átmenetek, a hallgató érzékelésében mégis mindig egy pillanathoz kötődik a felismerés, hogy amit hall, az már nem emberi hang – tehát az érzékelésben törés mutatkozik annak dacára, hogy a fizikai valóságban fokozatos az átmenet. Wishart ezt a törést úgy igyekszik megszüntetni, hogy a felismerés pillanatának környékén a még jelenlévő kiindulási hangnak drasztikusan módosítja valamelyik paraméte-

rét, s így a hallgató figyelme a kétféle hangminőség közötti váltásról részben erre a paramétermódosulásra terelődik.



13.7. ábra: Charles Dodge

Az analízis-újrasszintézis másféle technikáit példázza Charles Dodge (1942–; 13.7. ábra) amerikai zeneszerző *Speech Songs* című 1974-es, négy darabból álló ciklusa: az első három darab formánskövetést, az utolsó LPC-t alkalmaz. Dodge a barátja, Mark Strand szürreális verseit a saját előadásában magnószalagra vette, majd ezt a hanganyagot a Bell Labs beszédsszintetizátorai segítségével alkotta újra, egymástól függetlenül manipulálva a hangmagasságokat és sebességeket, ismétléseket iktatva be, alapvetően azonban megtartva a nyelv hangzóinak természetes, „egyszólamú” zenéjét.

A *Speech songs* utolsó darabjához hasonlóan LPC-t használ Dodge *Any Resemblance is Purely Coincidental* című kísérleti darabja. Enrico Caruso egy 1907-es felvételéből, melyen Leoncavallo *Bajazzók* című operájának egyik áriája hallható, a Utahi Egyetem két munkatársa, Thomas Stockham és Neil J. Miller az 1970-es évek elején elkükonítették Caruso hangját. Dodge ezt a zenekari kísérettől elkülönített énekhangot manipulálta és látta el élő zongorakísérettel, mely néha Leoncavallo eredetijéből merít, máskor szabadon dialogizál a manipulált felvétellel.



13.8. ábra: Paul Lansky

Paul Lansky (1944–; 13.8. ábra) amerikai zeneszerző 1985-ös *Idle Chatterje* az előző fejezetben ismertetett granuláris szintézist kombinálja az LPC-vel.

David Aaron Jaffe (szintén amerikai, 1955–) *Silicon Valley Breakdown* című, 1982-ben készített négycsatornás műve a húrok fizikai modellezésének példája. Jaffe 1981-ben egy nyolc gitárra és magnószalagra hangszerelt művön dolgozott, és a szalagra eredetileg FM-szintetizált hangokat akart felvenni, ám ezek nem illeszkedtek elég jól a gitárhangokhoz. Egy Mozart-zongoránégyes próbája közben beszélt problémájáról a kamaraegyüttes brácsásának, Alex Strongnak, aki – mint a Karplus-Strong algoritmus egyik atyja – saját módszerét ajánlotta neki. Jaffe az algoritmus fejlesztésével, finomításával jutott el a *Silicon Valley Breakdown*-ban hallható, rendkívül természetes hatású és változatos húrhangokig.



13.9. ábra: Denis Smalley

Denis Smalley (1946–; 13.9. ábra) új-zélandi zeneszerző *Wind Chimes* című darabjában (1987) fő hangforrásként kerámiacsengőket használt, melyeket magas hangú japán fém szélcsengőkkel, fémrudakkal, zongorahangokkal és szintetizált hangokkal egészített ki. Smalley hangsúlyozottan akusztikus szemléletű komponista: a hangokra, mint forrásuktól elszakadt, autonóm jelenségekre tekint. Bár a forrásra való emlékezést és emlékeztetést nem zárja ki teljesen – ahogy ezt tárgyalt művének címe is példázza –, jóval fontosabb szerepet kap nála a hangok elvont texturális jellege, illetve gesztusértéke. Míg Schaeffer az akusztikus jelleget pusztán a hangszóró általi közvetítettséggel kapcsolta össze, Smalley műveiben fontos szerepe van a forrástól való eltávolítás drasztikusabb eszközének, a digitális hangátalakításnak. A *Wind Chimes* a GRM Stúdió 123 rendszerének hangátalakító algoritmusaival készült – s úgy tűnik, nem annyira a hangszóró, mint inkább ezek az algoritmusok képezik azt a „függönyt” vagy „paravánt”, mely a forrás tárgyi valóságától a hallgatót elválasztja.

Ellenőrző kérdések:

1. Ki találta fel a vocodert?
2. Hogyan működik a granuláris szintézis?
3. Sorolja fel John Chowning két kompozícióját!
4. Ki a szerzője a VOX ciklusnak?
5. Mely zenemű példázza a fizikai modellezésen alapuló szintézist?

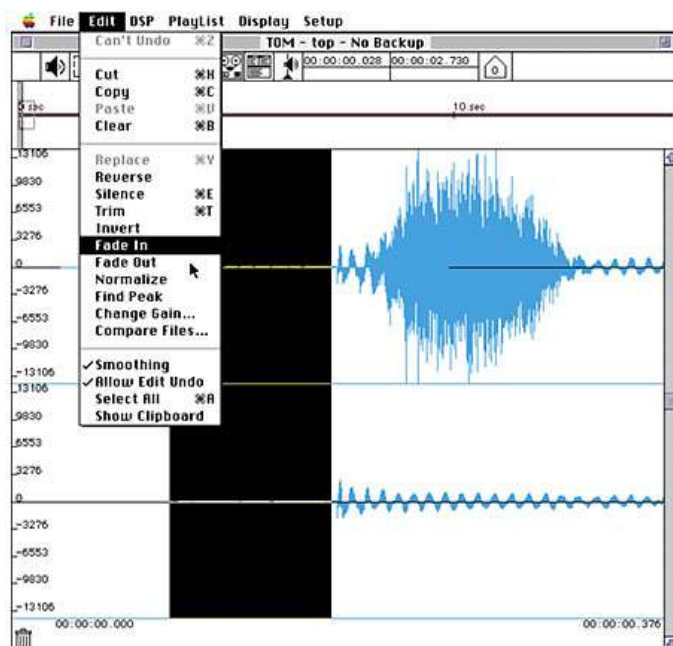
14. A számítógép hatása az elektronikus zenei gyakorlatra II. – digitális vágás, digitális szintetizátorok, mintavevők és sequencerek

14.1. A digitális audio munkaállomás (DAW)

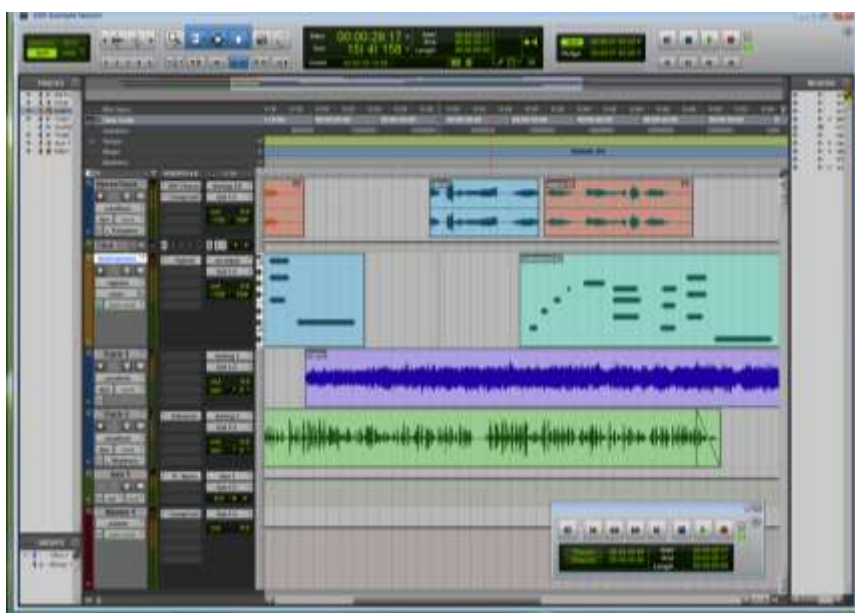
Mivel az alkotói fantáziát érthető módon inkább a számítógép azon lehetőségei foglalkoztatták, melyeknek nem volt előzménye az analóg technikában, az elektroakusztikus zene legrégebb és legalapvetőbb eszköze, a magnetofon professzionális igényű számítógépes kiváltására csak meglehetősen későn, az 1980-as években került sor. Bár a digitális hangrögzítés és -szerkesztés feltételei a kezdetektől adottak voltak, a megfelelő vizualizált kezelőfelület (GUI – Graphical User Interface) hiánya akadályozta a számítógép vágóstúdióként történő használatát.

A DAW (Digital Audio Workstation – digitális audio munkaállomás) digitális hangfelvételt, -szerkesztést és -lejátszást végez. Szoftveres fejlesztésében az egyik legaktívabb cég a Digidesign (későbbi nevén Avid Audio). A Digidesign 1984-ben jelentette meg Sound Designer nevű hangrögzítő szoftverét. Már ez a korai verzió is nagyon pontos hullámforma-reprezentációval rendelkezett, ami nagymértékben megkönnyíti a hang editálását (14.1. ábra). A Sound Designerrel két csatornán lehetett destruktív hangedítálást végezni.

A Sound Designer 1989-es továbbfejlesztett változata, a Sound Tools már komoly előnyt mutatott az analóg felvevőeszközökkel szemben: úgynevezett nem-destruktív szerkesztést tett lehetővé, amely az átalakításokat az eredeti hanganyag adatainak érintetlenül hagyásával hajtotta végre – így egy-egy hangot akárhányszor el lehetett vágni. A vállalat ezt a programot, mint az „első magnószalag nélküli stúdiót” hirdette. Végül 1991-ben megjelent az eleinte négy-sávú felvételt lehetővé tevő Pro Tools (14.2. ábra), melynek mai változataiban a sávok száma elméletileg a százat is megközelítheti. A szoftver fejlesztései során egyre inkább megfelelt a professzionális stúdiók igényeinek, mára ténylegesen kiválta a hangrögzítés és alapvető hangszerkesztés egyéb technikáit. A ProTools mellett számos DAW létezik, mint pl. a Logic Pro, a Steinberg Cubase, a Nuendo stb.



14.1. ábra: Sound Designer hullámforma reprezentáció



14.2. ábra: ProTools sokcsarnonás interfész

A digitális audio munkaállomások és más zenei szoftverek megjelenése az elektronikus zeneszerzésnek nemcsak gyakorlati, de társadalmi aspektusát is megváltoztatta. Az analóg stúdiókhoz csak a kiválasztottak szűk köre férhetett hozzá, ám a személyi számítógépeken futó programok megjelenésével elvileg bárki elkezdhet tevékenykedni ezen a területen. Az elektroakusztikus zene így eljutott a demokratizálódásnak arra a fokára, amely az ének vagy a hangszeres zene terén jellemző, s ennek pozitív hatása lehet az alkotás színvonalára is, hiszen nagyobb a merítés, és többféle ötlet, szemlélet és igény jelenhet meg, ütközhet, keveredhet egymással.

A DAW elsődleges funkciói – a felvétel, a vágás és a sávok keverése – olyan eljárások, melyekre mindenféle stúdióban szükség van. A szoftverek általában rendelkeznek saját hangátalakító parancsokkal is, összetettebb effekteket, hangátalakítási műveleteket azonban moduláris szerkezetüknek köszönhetően, különböző gyártók által fejlesztett pluginok segítségével lehet végrehajtani.

14.2. A plugin-csomag egy példája, a *GRM Tools*

A digitális hangátalakítás speciálisabb módszereinek kutatása intézményes kereteket kíván: olyan műhelyt, melyben elektroakusztikus zeneszerzők és számítógépes szakemberek együtt alakítanak ki új eszközöket a kreatív igények és a technikai lehetőségek egymást vezető és tágító kölcsönhatása során.

Az ilyen műhelyek egyik kiemelkedő példája a Pierre Schaeffer által 1958-ban alapított párizsi Groupe de Recherches Musicales (GRM), melyről a 6. fejezetben már esett szó. A konkrét zene hagyományos eszközei mellett a technikai fejlődés nyomán otthont találtak a GRM stúdióiban az analóg szintézis eszközei is, majd 1978-tól a különböző számítógépek. Ezeket eleinte inkább csak nem-valósídejű adatfeldolgozásra használták: a hangfolyamatok létrehozásához szükséges számításokat a gép még a megszólalás előtt elvégezte, s ezért a folyamatot meghatározó paramétereket az elhangzás közben már nem lehetett módosítani. A valósídejű működésnek, azaz a számítások és a megszólalás egyidejűségének, a folyamatba való élő beavatkozás lehetőségének a processzorok teljesítménynövekedése volt az előfeltétele.

A GRM első számítógépén a Music V-öt kezdték használni. Mivel a különböző típusú processzorokat használó számítógépeket másképpen kell programozni, a zenei szoftvert újból el kellett készíteni az adott gép sajátosságainak megfelelően. Ez a nagy munka eleinte nem igazán tűnt gyümölcsözőnek, a zeneszerzők ugyanis élesen elutasították az új eszközt. Megszokták azokat a készülékeket, amelyeken a manipuláció közvetlen, jól érzékelhető és azonnali – azaz *konkrét* – kapcsolatban állt a hallható eredménnyel, a számítógép ezzel szemben a programozás olyan elvont lépéssorozatait kívánta volna meg tőlük, amelynek eredményét ráadásul nem is hallhatták azonnal.

Két igény merült tehát fel, a szabályozás közvetlensége és a valósídejűség. Az első szempontnak Jean-François Allouis 1978 és 1985 között kifejlesztett *Studio 123* nevű programcsomagja felelt meg először. A Music V-nél sokkal jobban leszűkítette a számítógép korlátlan flexibilitását bizonyos meghatározott feladatokra, eleinte csak a hangnyújtásra, transzpozícióra és szűrésre. Ezáltal a zeneszerzőknek már csak az adott feladatokhoz tartozó paramétereket kellett megadniuk szöveges parancsok segítségével, anélkül, hogy a feladatokat végrehajtó algoritmusok megalkotására kényszerültek volna – ez a szükséges matematikai és programozási ismeretek hiányában amúgy sem kecsegtetett sok sikerrel.

A *Studio 123* programcsomag 1985-ig bővült, a felsorolt funkciók számos továbbival egészültek ki, végül mintegy harminc különböző program állt a

zeneszerzők rendelkezésére. Ezek segítségével készült többek között François Bayle *Erosphère* (1979–80), Alain Savouret *Don Quichotte Corporation* (1981), Jean-Claude Risset *Sud* (1985) és Denis Smalley *Wind Chimes* (1987) című műve.

A második igénynek, a valósídejűséggel kapcsolatos elvárásnak a Syter nevű rendszer felelt meg, melynek fejlesztését szintén Allouis vezette. Legteljesebb formája 1985 és 1987 között készült el, neve a *SYnthèse en TEmps Réel*, azaz a valósídejű szintézis kifejezés rövidítése, algoritmusai pedig részben a *Studio 123*-ból származtak. A rendszer külön e célra készített, illetve összeállított hardver-elemekből – köztük grafikus bevitelt lehetővé tevő vezérlőegységből – és a SYG nevű valósídejű szintézis-szoftverből állt, mely képes volt a paraméterek grafikus megjelenítésére is. A létrehozott hangokat ennek az eszköznek az esetében is a hagyományos módon magnószalagra vették. A valósídejűség hátránya, hogy a számítógép kapacitásának korlátai miatt nem lehet olyan komplex algoritmusokkal dolgozni, mint a nem-valósídejű üzemmódban.

A Syter számítógépei még helyhez kötöttek voltak, csak a stúdió helyiségeiben lehetett használni őket. A kilencvenes évek elejére azonban elterjedtek a személyi számítógépek, melyek elméletileg akár az otthonokban is biztosítják a jól felszerelt stúdiók berendezéseinek funkcióit. Ehhez persze speciális szoftverek és nem ritkán speciális hardverek – elsősorban hangkártyák – is kellenek. A GRM 1992-ben készült el személyi számítógépekre tervezett, tizenöt hangátalakító algoritmusból álló programcsomagjával, a *GRM Tools*-szal. Első verziói az algoritmusokat még a *Studio 123*-tól és a *Syter* rendszertől örökölték, s ezek a személyi számítógépek szűkebb erőforrásai miatt valósídejű üzemmódban csak korlátozottabb eredménnyel működtek. A programcsomag 1998-as változatában azonban újraírták az algoritmusokat – ennek és a processzorok teljesítménynövekedésének köszönhetően ma már alig érzékelhető különbség a valósídejű és a nem-valósídejű működés között.

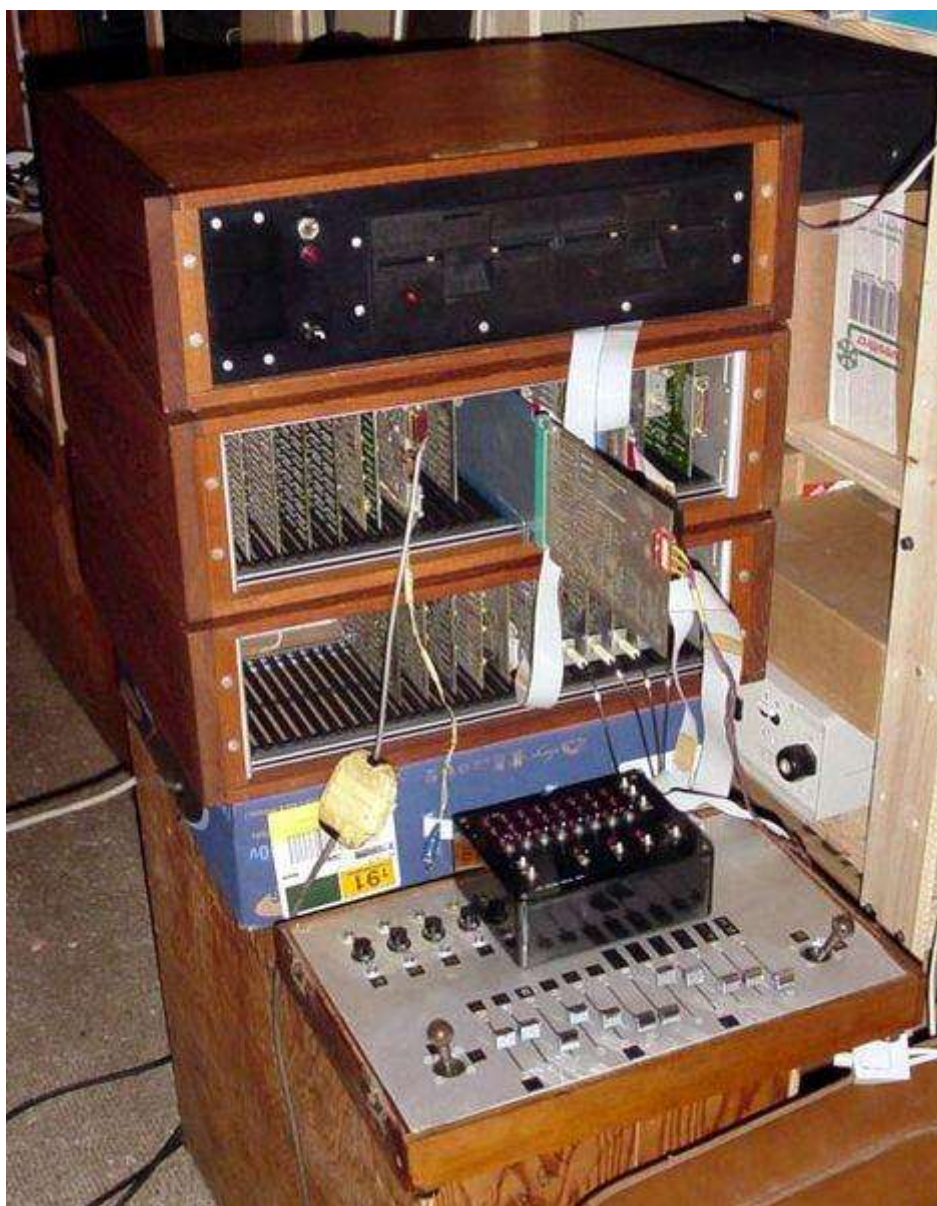


14.3. ábra: GRMTools alapegységei

A GRM Tools programjai közé tartozik például a mikrovágás-, késleltetés-, rezonánsfilter- és térmozgás-modul.

14.3. Szintetizátorok

A 13. fejezetben felsorolt, illetve további, velük többé-kevésbé rokon szintézisteknikákat az 1970-es évektől hasznosították a kereskedelmi forgalomba kerülő digitális szintetizátorok esetében is. Az 1977-ben megjelent amerikai *Synclavier I* (14.4. ábra) többek között FM-szintézist használt – ez a technika és a hozzá kapcsolódó hangzás a japán Yamaha 1983 és 1986 között gyártott *DX7* típusú szintetizátorának (14.5. ábra) sikerével terjedt el hatalmas mértékben.



14.4. ábra: *Synclavier I*.



14.5. ábra: Yamaha DX7

Az 1979-ben megjelent ausztrál *Fairlight CMI* (14.6. ábra) volt az első szintetizátor, mely a különböző hangmagasságokat digitális hangfelvételek transzpozíciójával (azaz *samplinggel*) hozta létre, de egy periódus hosszúságú, kézzel rajzolt hullámformák folyamatos ismételtetésével is lehetett rajta hangot generálni. Az egyik legelterjedtebb *sampler* szintetizátor az 1982 és 1990 között Californiában gyártott *Emulator* lett (14.7. ábra).



14.6. ábra: Fairlight CMI, II. sorozat



14.7. ábra: Emulator

A *sampling*-technikát a japán Roland cég 1987-től gyártott *D-50*-ese a szubtraktív szintézissel, a *Yamaha* 1989-es *SY77*-ese pedig az FM-szintézissel kombinálja. Az első fizikai modellezést alkalmazó szintetizátor típus, a *Yamaha VL1* (14.8. ábra) 1994-ben került forgalomba.



14.8. ábra: Yamaha VL1

14.4. Mintavevők, sequencerek

A *sampling* technika analóg őse a Mellotron, egy 1960-as évek elején kifejlesztett billentyűs hangszer volt, melyben minden hanghoz egy-egy akusztikus hangszer-ről készült mágnesszalag-felvétel tartozott. Ugyanez az elgondolás, az akusztikus hangszerek valósághű reprodukálása áll a *sampling*en alapuló digitális szintetizátorok mögött is. Készítőik általában törekednek rá, hogy a mintavételre választott akusztikus instrumentum és annak feljátszáskori megszólaltatása minél közelebb legyen az ideálshoz, hogy az így létrehozott digitális „konzervhangszer” minél kielégítőbb legyen. Ezt a „konzervet” aztán a szintetizátor legyártása után többnyire már nem lehet megváltoztatni.

Más a helyzet az ún. *sampler*ek, azaz mintavevők esetén – ezek célja éppen az, hogy használójuk tetszőleges mintákat játszhasson föl rájuk, s azokat transzponálhassa. A fent felsoroltak közül a Fairlight és az Emulator szintetizátorok is rendelkeztek ilyen funkcióval, de az első önálló, kizárólag mintavétel céljára gyártott, széles körben hozzáférhető *sampler* az Akai 1986-os Akai S900-asa volt. Az Akai következő években megjelent modelljei a hangminták módosításának terén is egyre több lehetőséget kínáltak (burkológörbék, szűrők, átlapolások).

Az 1988-ban megjelent Akai MPC60-as modelljében a *sampler*en kívül *sequencer* is volt. *Sequencer*nek nevezünk mindenféle olyan készüléket vagy szoftvert, mely a hangok *visszajátszását* vezérli, tehát a kotta és a karmester szerepét egyesíti. Egyes fajtáik csak egyszerű, néhány – általában tizenhat – elemből álló minták többé-kevésbé variábilis, ismételt lejátszására használhatóak, míg mások képesek olyan komplex adatokat is rögzíteni és visszajátszani, mint amilyenek például egy billentyűs játékos előadását jellemző finom időzítések és dinamikai árnyalatok.

A legkorábbi *sequencer*eknek a különböző mechanikus hangszerek tekinthetők, köztük a 18. században született verkli (14.9. ábra) vagy a 19. század végén megjelent, lyukszalaggal működő gépzongorák. A videón a Duo-Art gépzongora látható, melyen Saint-Saëns g-moll zongoraversenyének 3. tételéből hangzik el egy részlet Harold Bauer előadásában.

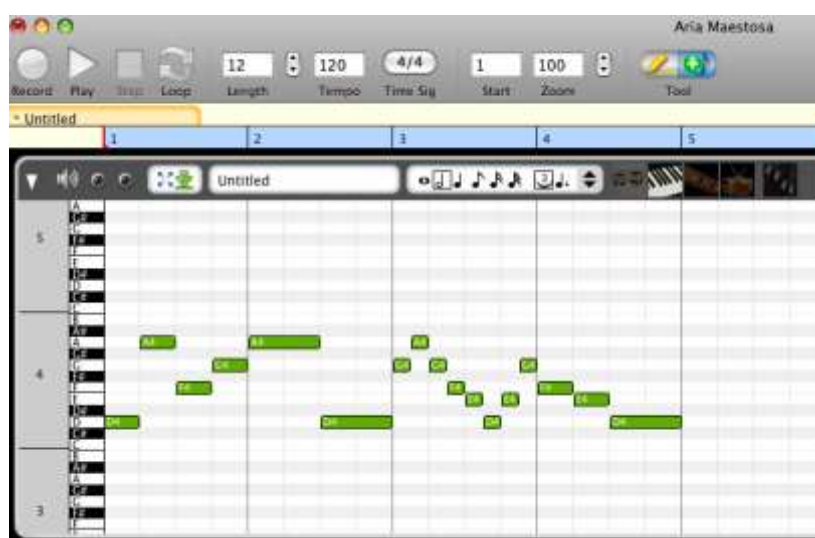
A digitális *sequencer*ek az 1970-es évek elején jelentek meg. A személyi számítógépek elterjedésével a szekvencerek is egyre inkább szoftverek formájában váltak hozzáférhetővé, és integrálták őket a DAW-sampler-szintetizátor rendszerekbe. A *sequencer*ek kiindulásául szolgáló gépzongora elvét őrzi a „zongoratekercs” nézet (14.11. ábra).



14.9. ábra: Francia verkli (Roman Bonnefoy fotója)



14.10. ábra: Gépzongora tekercse



14.11. ábra: Gépzongora tekercs nézet egy DAW-szoftver kezelőfelületén

Ellenőrző kérdések:

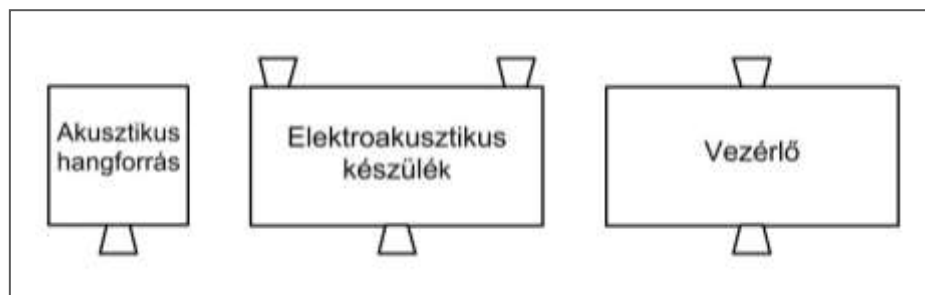
1. Mi a DAW?
2. Mi a típusjele a Yamaha FM-szintézist alkalmazó szintetizátorának?
3. Melyik volt az első *samplinget* használó szintetizátor?
4. Melyik volt az első fizikai modellezést használó szintetizátor?
5. Mi a sequencer?

15. Élő elektronikus és interaktív zene. Az elektroakusztikus zene és a társművészetek

15.1. Bevezetés

A 20. század folyamán a hangrögzítés megjelenésének hatására eltolódás történt a nyugati klasszikus és szórakoztató zene létmódjaiban: a zenélés élő alkalmait egyre nagyobb mértékben felváltották a hangfelvételek. Az elektroakusztikus zenében, melynek kialakulása szorosan összefonódott a hangrögzítés technikájával, a folyamat éppen ellenkező irányba tartott. Kezdetben az volt általánosan jellemző, hogy a művek kizárólagos megjelenési formája egy-egy hangfelvétel, s hogy ezért a művek nem interpretálhatóak: csak egyféleképpen, emberi közreműködés nélkül reprodukálhatóak, egyes elhangzásuk egymással azonosak. Ám ahogy a hagyományos klasszikus és szórakoztató zene esetében nem tűnt el az élő előadás iránti igény – s minden bizonnyal nem is fog soha –, úgy felmerült az elektroakusztikus zene esetében is, s a gondolat megvalósításával az 1960-as évek eleje óta napjainkig foglalkoznak egyes zeneszerzők és előadók.

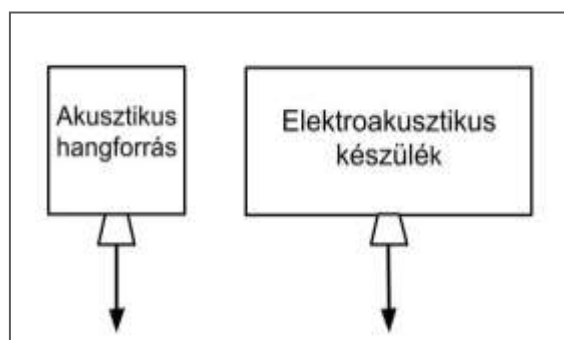
Az interpretált elektroakusztikus zenének két, élesen el nem különülő, egymással átfedésbe hozható területe van: az **élő elektronikus** és az **interaktív zene**. A 15.1. ábra bal és középső eleme az előbbi, míg jobb és középső eleme az utóbbi terület műveiben és előadásaiban játszik domináns szerepet – valamilyen elektroakusztikus készülék jelenléte értelemszerűen mindig szükséges. E végletesen sematizált és absztrahált ábrázolás elemeinek funkcióit és összekapcsolódási lehetőségeit a fejezet történeti példái világítják meg. A dobozok tetején lévő kapuk bemeneteket, az alján lévő kapuk kimeneteket jelképeznek.



15.1. ábra

Az élő elektronikus zenében az akusztikus forrásból származó hangokat az elektronikus készülék módosítja, az interaktív zenében pedig az elektronikus készülék különféle vezérlő jelek függvényében generálja vagy módosítja a hangokat.

Az elektroakusztikus médium rögzítettségének feloldására tett legegyszerűbb kísérlet, melyet még nem szokás élő elektronikus zenének nevezni, hangszeres előadó(k) együttjátéka rögzített elektroakusztikus zenével (15.2. ábra). A készülék ilyenkor magnetofont vagy más lejátszóeszközt jelent, s az élő előadók által létrehozott hangfolyam és az elektroakusztikus hangfolyam között csak a megszólalás egyidejűsége teremti kapcsolatot.



15.2. ábra

E kombináció őspéldája, vagy inkább előképe Ottorino Respighi 1924-es *Pini di Roma* (Róma fenyői) című szimfonikus költeményének 4. tételében található: a későromantikus stílusú éjszaka-zenét játszó szimfonikus zenekar mellett felvételtől szólal meg egy fülemüle éneke. A darab mai előadásaihoz már elektromos erősítésű lejátszót használnak, de a madár eredetileg tisztán akusztikus készülékből, egy gramfon tölcseréből dalolt.

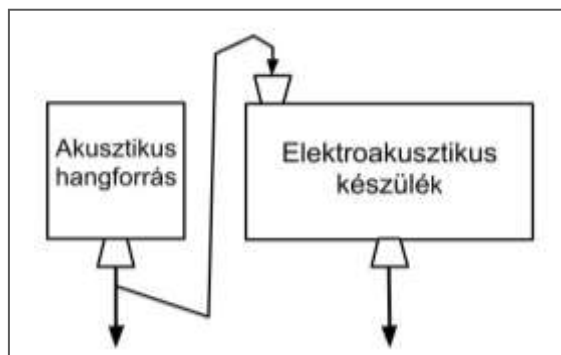
Az összeállítás egy klasszikus elektroakusztikus példája Milton Babbitt 1963-as *Philomel* című műve, melyet a 8. fejezetben említettünk, s melyben az elektronikus hangok mellé szoprán társul.

Az összeállítás előnye, hogy a lejátszandó felvétel bármilyen komplex hangfolyamatot tartalmazhat, mely előre gondosan elkészíthető. Hátránya viszont, hogy az élő előadónak egyoldalúan alkalmazkodnia kell a felvétel fix kereteihez, s nem folytathat vele dialógust – azaz csak ő reagálhat a felvételen elhangzottakra, de a felvétel sosem fog reagálni az ő megnyilvánulásaira.

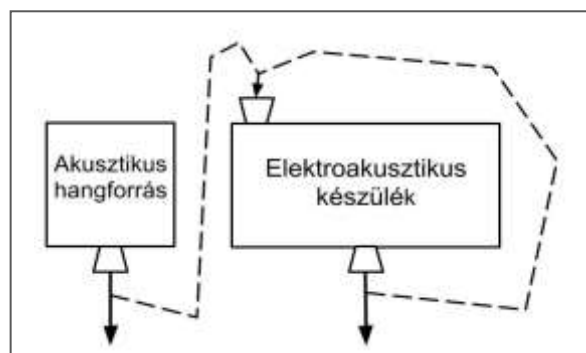
15.2. Élő elektronikus zene

Élő elektronikus zenéről akkor kezdhetünk beszélni, ha a felállítás két eleme összekapcsolódik. A legegyszerűbb esetben (15.3. ábra) a hangrögzítő a helyszínen felvett hanganyagot játssza vissza valamekkora időeltolással – így tehát az elektroakusztikus rész már reagál az élő előadó megnyilvánulásaira, mégha egy papagáj merev hűségével is. A szalagos magnót ilyen módon először Mauricio Kagel (1931–2008) Kölnben élt argentin zeneszerző használta *Transición II* című

1958–59-es művében. Egy normál játéktechnikával és egy ütőhangszeres eszközökkel megszólaltatott zongora hangját két magnó veszi föl és játssza vissza a kívánt időpontokban, miközben az élő előadók is folytatják a zenélést – ezáltal háromrétegű szövetek hozhatóak létre.



15.3. ábra

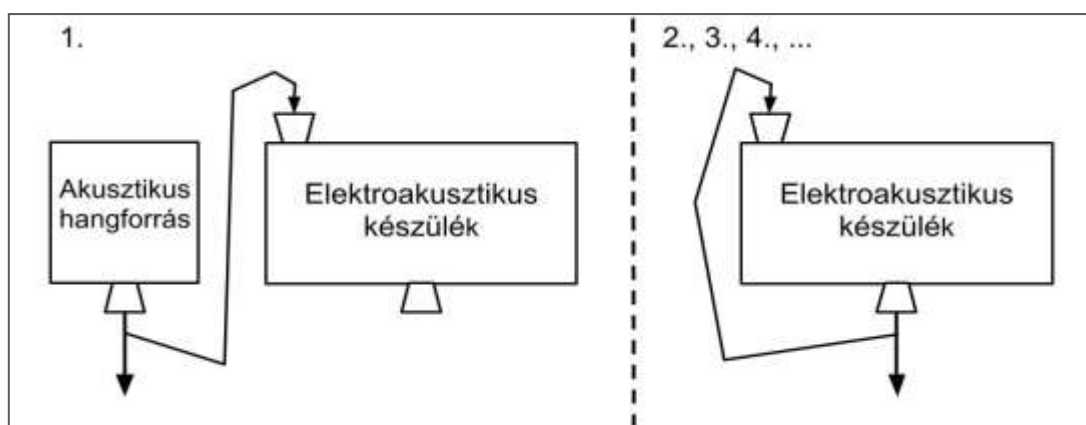


15.4. ábra

Az elrendezés egy másik változatát a 15.4. ábra szemlélteti, s Karlheinz Stockhausen *Solo* című műve (1964–1966) példázza. A hangrögzítő itt nemcsak az akusztikus forrás hangját veszi föl és játssza le bizonyos idő elteltével, de a saját megszólalásait is, ezáltal visszacsatolást hozva létre. Az ábra vonalainak szaggatottsága azt fejezi ki, hogy a két forrás rögzítésének hangerő-aránya az előadás közben változtatható – ezáltal kerülhető el, hogy a folyamatos visszacsatolások végül túl vastag szöveteket hozzanak létre.

Stockhausen művét egy fuvola, illetve egy harsona változatban mutatták be 1966-ban, de bármilyen dallamhangszerrel előadható. A premieren olyan magnót használtak, melyen módosítani lehetett a távolságot a felvevő- és lejátszófej között, s ezáltal változtatni a rögzítést és visszajátszást elválasztó időtartamot. A visszacsatolási folyamatot négy technikus szabályozta.

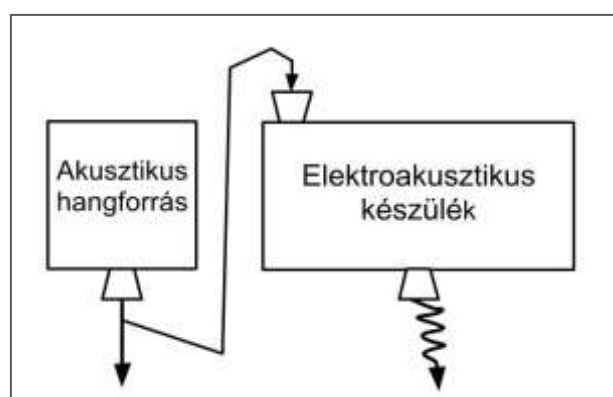
A fenti elrendezés harmadik változatára épül Alvin Lucier *I am sitting in a room*ja 1970-ből, melyet a 10. fejezetben már bemutatunk. A Lucier (vagy más előadó) által felolvasott szöveg első elhangzását a 15.5. ábra bal oldala, minden további elhangzását pedig jobb oldala szemlélteti. Az elektroakusztikus készülékbe történő visszacsatolás nem jel formájában, hanem akusztikus módon történik.



15.5. ábra

Az imént ismertetett három változat nagyjából ki is meríti az élőben készült felvétel egyszerű visszajátszásán alapuló technikák lehetőségeit. Közülük inkább csak a harmadik vezet olyan eredményre, mely a voltaképpen elektroakusztikus zene fogalmával kapcsolatba hozható: a teremrezonanciák átalakító hatása ennek esetében avatkozik be olyan jelentősen a hangszínekbe, hogy az eredményt már csak a kiterjesztett hangszíntér fogalmaival tudjuk jellemezni.

A fentiekből láthatóak a tisztán visszajátszást alkalmazó eljárások korlátai: ha komplex hangzást nyújtanak, akkor nem rugalmasak, ha rugalmasak, akkor viszont nem elég „elektroakusztikusak”, azaz nem lépnek ki a mellettük használt akusztikus instrumentumok hangzasköréből. A kilépés lehetőségével az elektroakusztikus készülékek egy másik lehetséges funkciója kecsegtet: a hangátalakítás. E mechanizmusra az átalakított hangot jelképező cikcakkos vonallal utalunk a 15.6. ábrán.



15.6. ábra

Stockhausen *Mikrophonie I* címet viselő, 1964-es művében a hangátalakítás legegyszerűbb módja, az erősítés, valamint egy összetettebb módja, a szűrés kap szerepet. Az erősítés azért sorolható az átalakítás eszközei közé, mert – hétköznapi tapasztalatunkkal szemben – képes egy hangforrás ismert hangkarakterétől eltérő hangzásokat is felmutatni azáltal, hogy alig hallható hangokat

tesz jól érzékelhetővé, illetve a megszólalás olyan részleteit mutatja meg, amelyek egyébként csak az akusztikus hangforrás közvetlen közelében észlelhetők. A *Mikrophonie I*-ben két ütőhangszeres különféle technikákkal szólaltat meg egy tamtamot, melynek hangját másik két előadó precízen „becélozható” mikrofonokkal veszi, különböző távolságokból. További két előadó a közönség soraiban foglal helyet, és a mikrofonokból érkező jeleket szűrőkkel módosítja, illetve egy kvadrofón rendszer hangszóróra osztja szét.

Stockhausen *Mantra* című műve (1970) ringmodulátorokat használ a hangátalakításhoz. E modulátorok nevüket a modulációt végző diódák gyűrszerű áramköri elrendezéséről kapták. Egy ringmodulátorral két tetszőleges hangfrekvenciás jel keverhető egymáshoz – az egyik szokás szerint fix hangolású szinuszzel – olyan módon, hogy a kimenet az összetevő hullámok mindenkor különbségi és összegfrekvenciája lesz. A kapott hang spektrumának jellege – harmonikus vagy inharmonikus – a bemenő frekvenciák viszonyától függ.

Stockhausen művében két zongorát alkalmaz – játékosaiknak időnként antik tányérokat, *wood block*ot és rövidhullámú rádiót is kezelniük kell, de a ringmodulátorok csak a zongorák hangját módosítják. A mű egy tizenhárom hangból álló dodekafon sorra épül (csak az első hang ismétlődik meg a végén), s tizenhárom szakaszból áll. A ringmodulátorok minden szakaszban a sor megfelelő hangjára állított szinuszhanggal modulálják a zongorák hangját (az 5. részben például végig az 5. hanggal), a kromatikus skála egyes hangjainak hangszíne ekképp szakaszonként másképpen változik meg.

15.3. Interaktív zene

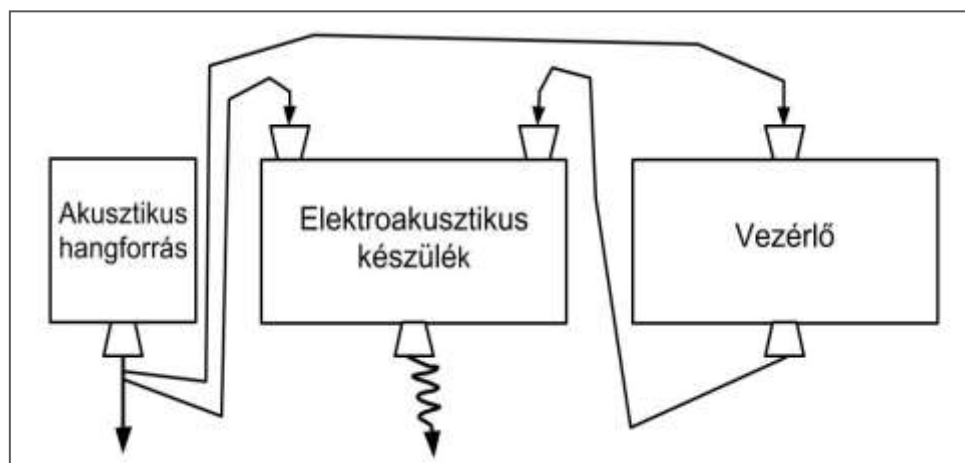
Az interaktív zene az elektroakusztikus készülék valós idejű vezérlésén alapul. Ebben az esetben kiemelt fontosságot kapnak a vezérlőeszközök – más néven kontrollerek –, melyekkel szemben gyakori elvárás, hogy egy akusztikus hangszer érzékenységeivel és közvetlenségével reagáljanak az előadó (vagy a környezet) viselkedésére. A kontrollerek az akusztikus hangszerekkel szemben nemcsak mozdulatokra és a levegő áramlási sebességére lehetnek érzékenyek, hanem a fizikai világ bármely mérhető jelenségére, fényre, hőmérsékletre és hangrezgésekre is.

A fejezetben eddig is szó volt már hangrezgésekre érzékeny mikrofonok alkalmazásáról. Felmerül a kérdés: ezek is kontrollerekként működnek-e? A válasz: az eddig tárgyalt esetekben nem. Kontrollereknek csak akkor nevezhetjük őket, ha az adott elektroakusztikus rendszernek van olyan része, mely az általuk érzékelt hangrezgéseket elvont vezérlőjelekké alakítja át, és ezeket a jeleket aztán a kívánt átskálázások és átkapcsolások után tetszőleges hangtranszformáló és/vagy hanggeneráló folyamatok irányítására használja fel.

Ezzel le is írtuk az interaktív zenei vezérlőfolyamat egymásra következő három fő elemét: az érzékelést, az áttérképezést és a generálást. Az áttérképezés során megadjuk a rendszernek, hogy a vezérlőjeleket melyik generáló modul

irányítására és milyen módon használja fel – ez a megfeleltetés a darab előadása folyamán változhat is.

Az élő elektronika és az interaktív zene átfedésének példája Gordon Mumma (1935–) amerikai zeneszerző *Hornpipe* című 1967-es műve, sémája a 15.7. ábrán látható. A bonyolult elektronikus hangmódosításokat szabályozó vezérlés azokat a hangrezgéseket használja föl, melyek az élő előadó által megszólaltatott kürtből származnak. Ugyanezeket a hangrezgéseket a rendszer ugyanakkor nemcsak vezérlésre használja, hanem a hangátalakítás alapanyagaként is.



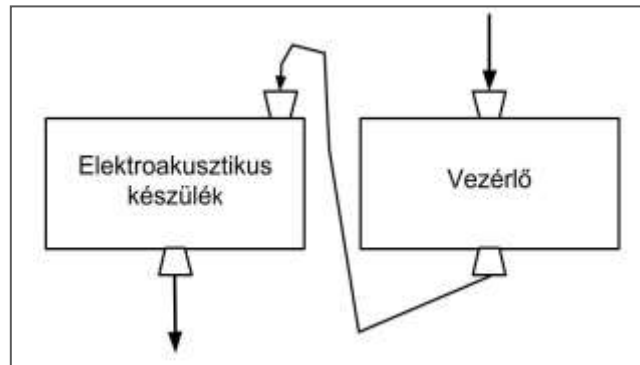
15.7. ábra

Az élő elektronika és az interaktivitás átfedésének digitális példája Pierre Boulez 12. fejezetben említett műve, az 1981-es *Répons*, mely a bemutatón az IRCAM 4X nevű, kifejezetten zenei célokra berendezett számítógépét használta. A számítógép nemcsak a hangok jellegét módosította bizonyos szabályok szerint (többek között késleltetésekkel és transzpozíciókkal), hanem a szólóhangszerek mindenkor hangerejének áttérképezésével gyorsabb vagy lassabb térmozgásokat is létrehozott.

Az akusztikus forrás hangját érzékelő kontrollerek másik lehetséges hasznosítási területe az úgynevezett *score following* (partitúrakövetés). A számítógép a kontroller által közvetített mintázatok alapján követi, hol tart az előadó a szólamában, s ahhoz igazodva hajtja végre az előre felvett vagy programozott elektroakusztikus szólam elemeinek lejátszását – a helyzet tehát épp fordított, mint az élő elektronikus zene elsőként ismertetett összeállításának esetében.

Interaktív zenei rendszerek élő akusztikus forrásból származó hanganyag nélkül is működhetnek – ennek legkézenfekvőbb példája egy zongorabillentyűs szintetizátor, melynek mechanizmusát a 15.8. ábra szemlélteti. A kívülágban történő vezérlő esemény itt az ujj billentyűt lenyomó mozdulata, melynek a kontroller méri a sebességét (és esetleg a nyomva tartás erejét), és azt elvont jelsorrá alakítja át. Hogy e jelsor értelmezése – azaz a generálásban történő alkalmazása – mennyire nem magától értődő és milyen meghatározó döntés tárgyát jelenti, nyilvánvalóvá válik, ha arra gondolunk, elméletileg minden

szintetizátor átalakítható vagy átprogramozható olyan módon például, hogy a billentyű felengedésekor adjon hangot és lenyomásakor hallgasson el.



15.8. ábra

Az egyes billentyű lenyomásakor generált egyes hang önmagában olyan primitív interakciós rendszer, hogy művészi szintű felhasználását nehéz elképzelni. Pedig létezik pontosan ilyen egyszerű logikájú, bár kivitelében sokkal bonyolultabb rendszerre épülő mű, Alvin Lucier 1965-ös *Music for Solo Performer* című darabja. A kontroller itt egy EEG-sapka, azaz az előadó agyhullámaint mérő készülék. Az ebből érkező elektromos jel ütőhangszereket megszólaltató karokat vezérel, melyek az agyullámok ütemében mozognak. A karok azonban csak akkor jönnek mozgásba, ha az előadó alfa-agyhullámokat produkál, s ehhez szendergés-szerű állapotba kell kerülnie, ezt viszont megnehezíti az ütőhangszerek hangjára és a koncertszituációra irányuló figyelme. A darab előadásakor központi elemként jelenik meg a pódiumon az a folyamat, ahogy az előadó egyensúlyt keres e két ellentétes körülmény között.

A számítógépes interaktív zenéhez szükséges valós idejű hanggenerálás és hangátalakítás lehetőségeinek a processzorok sebessége szab határt. Ez a határ azonban a technika fejlődésével egyre jobban kitolódik, így a valós idejű műveletek egyre inkább megközelítik a nem valós idejűek minőségét. A komplexitás skálájának Lucier darabjával átellenes végén olyan interaktív számítógépes művek állnak, melyek a legkülönbözőbb kontrollerek segítségével a hangfolyamatok tucatnyi aspektusát képesek egyszerre befolyásolni. E művek között a hangfolyamat program általi rögzítettsége és interaktív flexibilitása nagyon eltérő arányokat mutat, és rendkívül sokféle módon ágyazódik egymásba – kiragadható, jellemző példák hiányában ezen művek áttekintésére nem vállalkozunk.

Könnyebb megragadni a technikai háttér történetének egyes mozzanatait. Az élő elektroakusztikus adatfeldolgozás első teljesen kidolgozott rendszere Max Mathews és F. Richard Moore 1968 és 1970 között elkészített GROOVE-ja (Generated Real-time Output Operations on Voltage-controlled Equipment) volt, mely, mint neve is mutatja, feszültségvezérelt analóg eszközök számítógépes vezérlésének lehetőségét teremtette meg. A digitális interaktív zene gyakorlatában máig az 1988-ban kifejlesztett MAX/MSP/Jitter programnyelv a legmeghatározóbb, melyről a 12. fejezetben már esett szó.

Az adatfeldolgozás története mellett külön szílat jelent az adattovábbítás és a kontrollerek története is. A vezérlőjelek továbbítását a MIDI (Musical Instrument Digital Interface) megjelenése forradalmasította a feszültségértékekkel vezérelt analóg szintetizátorok korszaka után. Szintetizátorgyártó cégek – többek között a Roland, a Yamaha és a Korg – képviselői az 1980-as évek legelején kezdtek egyeztetni olyan egységes technológia kidolgozásáról, mely lehetővé teszi valamennyiük különféle digitális hangszereinek kommunikációját – ez vezetett a MIDI szabvány 1983-as bevezetéséhez.

A MIDI létrehozásának – és későbbi fejlesztéseinek – fő szempontja az volt, hogy a hagyományos nyugati zene előadását leíró valamennyi technikai információt – a megszólalás és elhallgatás időzítését, a megszólaltatás erősségét, a hangszerválasztást, a hangolási rendszerre vonatkozó beállításokat, a glisszandót – képesek legyenek egységes digitális üzenetek formájában továbbítani a készülékek között, illetve fájlokban tárolni azokat. Ezáltal például az egyik készüléken rögzített előadás egy másik hangszer hangkészletével is reprodukálható, valamint egy billentyűzeten játszva egyszerre több szintetizátoron is lehet zenélni.

Mivel a szabványt elsősorban a tizenkét skálafokra osztott nyugati zenével összefüggésben dolgozták ki, alapkonceptióját tekintve közel áll a zongorista billentéseit lyukszalagra rögzítő gépzongorához, mégha valamivel több járulékos információt képes is kódolni. A gépzongora-tekerccsekkel ellentétben azonban a MIDI üzenetei könnyedén „félreértelmezhetőek”, azaz megfelelő programozással bármilyen jellegű hangfolyamat vezérlésére felhasználhatóak.

A kontrollerek között találunk hangszerre szereltek, hangszerszerűeket és alternatív vezérlőket. Az akusztikus hangszerek kiegészítésével készült típus egy példája az IRCAM-ban kifejlesztett MIDI-fuvola, melynek billentyűit érzékelőkkel szerelték fel – erre íródott Boulez 1972-es *...explosante-fixe...* című fuvola-darabjának 1991/1993-as változata, melyben a fuvolát kamarazeneke és a MIDI által vezérelt elektronika kíséri. Akusztikus hangszert utánzó controller például Ge Wang iPhone-ra fejlesztett *Ocarina* alkalmazása, mely a telefon mikrofonja és az érintőképernyő segítségével vezérelhető – a szoftver a mikrofons által közvetített zaj erősségéből következtet a fúvás erősségére, valamint figyeli az érintőképernyőn megjelenített „hanglyukak” lefedettségének mértékét, s e kétféle információt használja fel a hangok generálásakor.

Az alternatív vezérlőeszközök három fajtáját különböztethetjük meg, a kontaktuson alapulókat, a kiterjesztett hatósugarúakat és az immerzíveket. Az utóbbi két esetben nem szükséges az eszközt megérinteni, a második típus egy korlátozott hatósugáron belül, a harmadik pedig elméletileg bármilyen távolságra érzékeny az előadó gesztusaira, akinek nincs módja elhagyni a kontrolláló teret.

Eredeti, konkaktuson alapuló vezérlőket alkotott Michel Waisvisz (1949–2008) holland zeneszerző és előadó, aki 1981-től haláláig az amszterdami STEIM (Studio for Electro-Instrumental Music) vezetője volt, s az intézményben meghonosította tapintással, erőfeszítést tükröző gesztusokkal kapcsolatos filozófiáját. Úgy gondolta, a számítógépes gondolkodás elvontsága túlságosan eltávolította az

előadókat a zenélés taktilis-mozgásos aspektusaitól, ezért a tapintást és gesztusokat középpontba helyező kontrollereket és hangszereket tervezett, melyek közül a legnépszerűbb az 1975-ös *Kraakdoos*, vagy angol nevén *Cracklebox* (recsegődoboz): hat érintőfelületén kísérletező tapogatással lehet rögtönözni, s feltárni a doboz áramköreinek zajkeltő potenciálját (15.9. ábra).



15.9. ábra: *Cracklebox*

1984-ben készült Vaiswiz egy jóval szofisztikáltabb és eredetibb eszköze, a *The Hands*, az egyik első gesztusvezérelt MIDI controller, mely a kézfejekre erősített fageretekből és a rajtuk elhelyezett különböző érzékelőkből és kapcsolókból áll. Ezek segítségével többek között a kezek egymáshoz képest mutatott helyzetét, közelítését, távolítását, elforgatását leíró jelek is felhasználhatóak a vezérlésre.

Small web nevű controllerének fő eleme egy ovális keret sugárirányban kifeszített drótok hálójával – a vezérlés ezek érintésével történik.

Csuklópántban elhelyezett izomfeszültségmérő is használható controllerként – alkalmazói között találjuk például Pamela Z San Franciscó-i és Atau Tanaka japán előadót.

A kiterjesztett hatósugarú alternatív kontrollerek közül a legrégebbi az 1920-as theremin antennarendszere (ld. az 5. fejezetet). Egy másik kiterjesztett hatósugarú vezérlő, Max Mathews 1970-es években kifejlesztett *Radio Baton* (rádiópálca) nevű eszköze két pálcából és egy érzékelő „asztallapból” áll, mely a pálcák mozgását három dimenzióban érzékeli – az eszközt használó „karmester” számítógépes „zenekart” vezényelhet a segítségével. Ebbe a kategóriába tartozik Donald Buchla 1991-es *Lightningja* is, mely az előadó mozdulatait infravörös fény segítségével követi egy kétdimenziós hálózaton belül, majd MIDI jelekkel közvetíti a generáló egység felé.

Az immerzív kontrollerek közé sorolandóak a mozgásérzékelő öltözetek és kesztyűk, vagy nagy területet lefedő kamerarendszerek, de ehhez a kategóriához köthetjük a fentebb említett EEG-sapkát vagy a hőmérőt is.

15.4. Az elektroakusztikus zene és a társművészetek

Noha az elektroakusztikus zene és a társművészetek együttműködésére már a terület történetének elején is voltak példák – emlékezzünk csak a Pierre Henry zenéjére készült Béjart-koreográfiákra (5. fejezet) vagy a Barron házaspár filmzenéjére (8. fejezet) –, igazán csak az interaktív elektronikus eszközök megjelenése nyitott utat az új műfajok megjelenésének.

Különösen a vizuális és a mozgáson alapuló művészetek párosíthatóak eredményesen az interaktív zenével. Az áttérképezések ebben az esetben minden irányba működhetnek: a mozgásos-vizuális elem vezérelheti a hangot, s a hang is vezérelheti a mozgásos-vizuális elemet, illetve más jellegű kontrollerek egyszerre is irányíthatják mindkettőt. A vezérlés tehát szoros kapcsolatot teremthet az előadás különböző összetevői között, s ezáltal könnyen elmosódhatnak a művészeti ágak határai: egy táncos például adott esetben nemcsak táncosnak, de a mozgulatai alapján generált zene előadójának, vagy akár szerzőjének is tekinthető.



15.10. ábra: *A Variations V* előadása, 1965

A tánccal kombinált interaktív zene egyik klasszikusa John Cage és a Merce Cunningham Dance Company 1965-ös darabja, a *Variations V* (15.10. ábra). A darab előadásai során Cage és segítőtje, David Tudor kétféle eszközt is kipróbált a táncosok mozgulatainak követésére: fotocellákat és antennákat. Ha a táncosok leárnyékolnak egy fotocellát, vagy egy méternél közelebb mentek egy antennához, az adott eszköz egy magnót vagy rövidhullámú rádióvevőt hozott működésbe. Az analóg vezérlő áramkört Cecil Coker, a Bell Laboratories munkatársa tervezte. Minden előadás előtt újabb érmefeldobás-sorozattal döntötték el, hogy milyen elvek szerint használják a vezérlőjeleket a hangforrások működtetésére, s hogy körülbelül milyen keretek között mozogjon a hangfolyamat.

Az elektronikus zene és képzőművészet határvidékén helyezkednek el az elektronikus hangsobrok és hanginstallációk, melyek a *sound art* terminusához kapcsolhatóak. A kifejezés először a New Yorkban 1983-ban megrendezett Sound/Art kiállítás címében (illetve az azt rendező *The SoundArt Foundation* nevében) szerepelt. A *sound art* a hangok egy adott térben való jelenlétét és vizuális aspektusát hangsúlyozza, a hallást a látás egy formájaként értelmezi, tehát a hangzó alkotásokat, mint képzőművészeti termékeket kívánja tematizálni.

15.5. Videopéldák

Az interaktív zenélésben és az elektroakusztikus zene társművészetekkel alkotott szintézisében olyan sokféle megközelítésmód és technika alkalmazása lehetséges, és a terület olyan fiatal, hogy teljes áttekintésre nem törekedhetünk. A könyvünket befejező nyolc videó csupán többé-kevésbé önkényes példákkal illusztrálja az eszközhasználat lehetőségeit és a különböző művészeti ágak jelenlétét.

Az első felvételen (15.1. videó) látható *AudioCube*-ok olyan kiterjesztett hatósugarú alternatív kontrollerek, melyek fényforrásaik és fényérzékelőik segítségével képesek felmérni egymás távolságát és helyzetét, valamint a közeli tárgyak – például az emberi kéz – pozícióját. 2003-ban fejlesztette ki őket a belga Bert Schiettecatte (1979–). A felvétel a European Bridges Ensemble tagjai próbáján készült, az együttes tagjai Siska Ádám *185* című darabján dolgoznak.



15.1. videó

A következő felvétel (15.2. videó), mely a 2009-es Making New Waves fesztiválon készült, a számítógépes telekommunikáció zenei alkalmazását, azaz a hálózati zenélést példázza. A szaxofonon rögtönző Frank Gratkowski Budapesten tartózkodik, míg David Wessel a kaliforniai Berkley-ben improvizál kontaktuson alapuló kontrollere segítségével.



15.2. videó

Az alábbi kisfilmen (15.3. videó) látható játékkatrész a 2007-es Making New Waves fesztivál *Hardware Hacking Workshop*-ján (készülékbütykölő műhelyfog-

lalkozásán) alakult át elektronikus hangszerré, mely megszólalásmódját egy fényérzékeny ellenállás takartságának függvényében változtatja. A filmet pusztán dokumentumból egyszerű audiovizuális művé avatja egy reflektív elem, a szöveg hozzáadása: a felirat a sci-fik embereket leigázó robotjainak tipikus mondatát idézi („az ellenállás értelmetlen/haszontalan”) és fordítja át tréfásan a műanyag robot-hangszert – és minden más robotot – szabályozó elektronikus alkatrészre célozva („az ellenállás hasznos”).



15.3. videó

A következő két videó elektronikus zene és tánc szintézisét, a hálózati zenélés egy formáját, valamint a kiterjesztett hatósugarú kontrollerek egy típusát, a fénysugár megszakítását érzékelő „lézerhárfát” mutatja be. A *LaserAvatars* című műsor két táncosa, Ladányi Andrea és a felvételen nem látható Kovács Martina két különböző városban tartózkodik, és az általuk vezérelt hangok segítségével, illetve a lézerkontrollerek mozgatásával kommunikálnak egymással. A felvételeken Johannes Kretz *Turing test* (15.4. videó), illetve Szigetvári Andrea *Send Me a Sound* (15.5. videó) című darabját adják elő.



15.4. videó



15.5. videó

Az alábbi felvételen a European Bridges Ensemble tagjai hálózati laptop-zenekart alkotva adják elő a *Quintessence* című darab *Earth* tételét, Kai Niggemann szerzeményét, valós időben generált videó vetítése mellett (15.6. videó).



15.6. videó

Az utolsó két felvételen (15.7. és 15.8. videó) Szigetvári Andrea *Swinging Door* című művének két részlete hallható és látható. A táncos-előadó, Horváth Csaba mozgásait alternatív kontroller, egy kamera érzékeli. Az első videón látható vezérlés színelismerésen alapszik: a zöld pötty helyzetének függvényében változik egy aluláteresztő szűrő törésfrekvenciája. A második videó a mozgásfelismerést példázza: a kamera által közvetített kép változásaiból a számítógép kiszámolja a táncos fejmozgásainak irányát és sebességét, és ennek függvényében vezérli a rezonáns szűrő középfrekvenciáját és sávszélességét.



15.7. videó



15.8. videó

Ellenőrző kérdések:

1. Milyen esetben beszélünk élő elektronikus zenéről?
2. Milyen esetben beszélünk interaktív zenéről?
3. Említsen példát kontaktuson alapuló kontrollerre!
4. Említsen példát kiterjesztett hatósugarú kontrollerre!
5. Mi a sound art?

Bibliográfia

Cage, John: A csend. Vál. Wilhelm András. Jelenkor Kiadó, Pécs, 1994

Chowning, J. M.: „Fifty Years of Computer Music: Ideas of the Past Speak to the Future” = R. Kronland-Martinet – S. Ystad – K. Jensen (szerk.): *Computer Music Modeling and Retrieval. Sense of Sounds*. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 1–10. 2. o.

Ernst, David: The evolution of electronic music. New York, Schirmer, 1977

Griffiths, Paul: A guide to electronic music. London: Thames and Hudson, 1979

Holmes, Thom: *Electronic and experimental music: technology, music, and culture* (3rd ed.). New York, Routledge, 2008

Johnstone, Bob: „Wave of the Future”. = *Wired* Issue 2.03 (1994. március)

McAdams, Stephen: Spectral fusion, spectral parsing and the formation of auditory *images*. PhD disszertáció, Stanford University, 1984

Pongrácz Zoltán: Az elektronikus zene. Budapest, Zeneműkiadó, 1980

Reich, Steve: „Music as a Gradual Process” = Paul Hillier ed.: *Writings on Music, 1965–2000*. Oxford, New York: Oxford University Press, 2002

Risset, J.-C. „Computer Music: Why?” = *Internet Proceedings of Composers' Forum Austin*
[http://www.utexas.edu/cola/insts/france-ut/_files/pdf/resources/risset.pdf] 5. o.

Risset, Jean-Claude: „Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds”. = Booklet of WERGO CD 2033-2, Computer Music Currents 13. The Historical CD of Digital Sound Synthesis. Mainz: Schott Wergo Music Media GmbH, 1995

Roelcke, Eckhard: Találkozások Ligeti Györggyel. Beszélgetőköny. Osiris Kiadó, 2005

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. 11. o.

Schaeffer, Pierre: *Traité des objets musicaux*. Paris, du Seuil, 1966

Schönberg, Arnold: *Theory of Harmony*, (trans. Roy E. Carter). Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1978. 421. o.

Shepard, R. N.: „Circularity in Judgements of Relative Pitch” = *Journal of Acoustic Society America* 36/12, (1964): 2346–2353.

Smalley, Denis: „Spectromorphology and Structuring Processes” = Emmerson, S. (ed.): *The Language of Electroacoustic Music*. London: Macmillan, 1986. 61–93.

Smalley, Denis: Spectromorphology: Explaining sound-shapes, *Organised Sound*: Vol. 2 (1997), no. 2. 107–126.

Stockhausen, Karlheinz: „Studie I. Electronic Music”. = Booklet of Stockhausen Verlag, Stockhausen 3, Elektronische Musik 1952–1960. (1996), 135. o.

Thoreson, L. – Hedman, A.: „Spectromorphological analysis of sound objects: an adaptation of Pierre Schaeffer's typomorphology” = *Organised Sound*, 2007. 12:129–141.

Varèse, Edgard – Wen-Chung, Chou: „The Liberation of Sound” = *Perspectives of New Music*, Vol. 5., No. 1 (1966): 11–19. 11. o.

Várnai Péter: *Beszélgetések Ligeti Györggyel*. Zeneműkiadó, 1979