

**Keuler Jenő**  
**INTERDISZCIPLINÁRIS ZENEKUTATÁS MAGYARORSZÁGON**  
**A XX. SZÁZAD NYOLCVANAS/KILENCVENES ÉVEIBEN**  
(Az oktávészlelés problematikája.)

Sokan tudnak róla, de nem mindenki tudja, hogy a XX. század nyolcvanas éveiben, *Grabócz Márta* és *Maróthy János* kezdeményezésével, *interdiszciplináris kutatócsoport* szerveződött a Zenetudományi Intézetben, melynek munkájában részint az intézet *ebben érdekelt* kutatói, részint a zenét *más tudományos diszciplínák szemszögéből* vizsgáló *külső kutatótársak* vettek részt. Jómagam, *zeneszerzőként*, szintén tagja voltam ennek a kutatócsoportnak.

*Saját kutatásaimban a zenét a hangok és az ember kapcsolat-rendszerében, információ- és hatásátvitel alapján* funkcionáló rendszerként igyekeztem vizsgálni. Mai előadásomban most, ezen belül, egy szűkebb kutatási témában, az *oktávazonosság* problémakörében szerzett tapasztalataimról kívánok beszámolni, *zeneszerzőként*. Hallgassunk meg mindennek előtt egy rövid kompozíciót, amelyben valószínűleg nagyon sok *oktávnak vélt* hangközöt fognak hallani, holott ezek a hangközök nem oktávok, hanem *kisnónák és nagyszeptimek*. A *kompozíció* egy szabályos *három részes forma*, amelynek az első és a harmadik formarészában *kisnónák* hangzanak úgy, mintha oktávok lennének, a középső formarészben pedig a *nagyszeptim hangközök* viselkednek oktávként. Hallgassuk meg kezdésképpen ezt a művet!



HangzóPélda\_1.wav

**(1. hangzó példa. — ELHANGZIK A MŰ.)**

Ezt a művet, még 1991-ben írtam itt, a Zenetudományi Intézetben. A kutatócsoportunk által beszerzett YAMAHA DX7-II szintetizátoron kísérletezve bukkantam rá arra a különös jelenségre, hogy szintetikusán előállíthatók olyan hangok, amelyek hasonlítanak ugyan a hagyományos zenei hangokra, de másképpen viselkednek. Nem a tőlük oktáv távolságra fekvő hanggal csengenek össze *oktávyszerűen*, hanem valamilyen más hangtávolságra fekvő hanggal, például *kiszeptim, nagyszeptim, kisnóna, nagynóna* stb. távolságú hanggal. Tapasztalván e furcsa jelenséget, felmerült bennem a gondolat, hogy talán az oktáv hangköz hangjainak az a nagyfokú minőségi hasonlósága, aminek alapján azonos hangnevet viselhetnek hangmagasság-skáláinkon, az csak speciális esete a lehetőségek egy sokkal tágabb körének. Ha pedig így van, akkor ezt a problémát *kutatni kel!*

Zeneszerző lévén, a *gyakorlat oldaláról* közelítve fogtam hozzá a kutatáshoz. *Különböző spektrum-struktúrájú* hangokat szintetizáltam azzal a céllal, hogy e *szintetikus hangok hangkészletében* különböző nagyságú *áloktávokhoz* juthassak. Figyelemmel hallgatva *áloktávjaim* hangzását, különféle megfigyeléseket tettem, sőt, készítettem rövid *kis kompozíciókat is*. Megfigyeléseim során azt vettem észre, hogy *nem minden hangközöt lehet* egyformán könnyen *oktávyszerű tulajdonságokkal* felruházni. Korlátai vannak annak, hogy milyen határok között hagyja az emberi fül *becsapni* magát. Megfigyeléseim szerint a *nagyszept* és a *nagynóna hangtávolság* tartományán belül a legkönnyebb *áloktávokat* szintetizálni.

Tudományos szempontból persze kérdés, hogy mennyire tekinthetők az én saját megfigyeléseim általános érvényűnek? Egyre inkább úgy láttam, hogy *pszicho-metria* *mérések* eredményein ellenőrizve kellene behatárolni megfigyeléseim igazságának *érvényességi határait*. Mielőtt azonban ennek részleteibe bocsátkoznánk, tekintsük át, *mi is a titka* annak egyáltalán, hogy ilyen furcsa *áloktávok* szintetizálhatók!

Tudvalevő, hogy az egymástól oktáv távolságban fekvő *zenei hangok* frekvenciaaránya: **2 : 1**. (Azaz, az egymástól oktáv távolságra fekvő hangok közül a magasabb hang rezgésszáma éppen kétszerese a mélyebb hang rezgésszámának.) Vegyük például a *NAGY „A” hang* rezgésszámát! Ez éppen *110 Hz*. Ettől a számtól kezdve az oktávonként emelkedő „*a*” hangok rezgésszámai a kettő hatványai szerint növekszenek a következő módon:

Hangnév:	<i>A</i>	<i>a</i>	<i>a<sup>1</sup></i>	<i>a<sup>2</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>5</sup></i>
Rezgésszám (Hz.):	110	220	440	880	1760	3520	7040 Hz
(Alaprezgés * 2 <sup>i</sup> ) = 110 * 2 <sup>0</sup>		* 2 <sup>1</sup>	* 2 <sup>2</sup>	* 2 <sup>3</sup>	* 2 <sup>4</sup>	* 2 <sup>5</sup>	* 2 <sup>6</sup> (1. vetítési kép.)

Tudvalevő az is, hogy a hagyományos zenei hangok felhangsorában, a sorban emelkedő felhangok rezgésszámai az alapfrekvencia *egész számú többszörösei*. Tekintsük meg az egymástól oktáv távolságra fekvő *NAGY A* és *kis a* felhangsorát! (2. vetítési kép.)

	<b><u>16. a<sup>4</sup> 3520 Hz</u></b>
	15. gisz <sup>4</sup> 3300 Hz
	<b>14. g<sup>4</sup> 3080 Hz</b>
	13. fisz <sup>4</sup> 2860 Hz
	<b>12. e<sup>4</sup> 2640 Hz</b>
	11. disz <sup>4</sup> 2420 Hz
	<b>10. cisz<sup>4</sup> 2200 Hz</b>
	9. h <sup>3</sup> 1980 Hz
<b><u>16. a<sup>3</sup> 1760 Hz</u></b>	<b><u>8. a<sup>3</sup> 1760 Hz</u></b>
15. gisz <sup>3</sup> 1650 Hz	
<b>14. g<sup>3</sup> 1540 Hz</b>	<b>7. g<sup>3</sup> 1540 Hz</b>
13. fisz <sup>3</sup> 1430 Hz	
<b>12. e<sup>3</sup> 1320 Hz</b>	<b>6. e<sup>3</sup> 1320 Hz</b>
11. disz <sup>3</sup> 1210 Hz	
<b>10. cisz<sup>3</sup> 1100 Hz</b>	<b>5. cisz<sup>3</sup> 1100 Hz</b>
9. h <sup>2</sup> 990 Hz	
<b>8. a<sup>2</sup> 880 Hz</b>	<b><u>4. a<sup>2</sup> 880 Hz</u></b>
7. g <sup>2</sup> 770 Hz	
<b>6. e<sup>2</sup> 660 Hz</b>	<b>3. e<sup>2</sup> 660 Hz</b>
5. cisz <sup>2</sup> 550 Hz	
<b>4. a<sup>1</sup> 440 Hz</b>	<b><u>2. a<sup>1</sup> 440 Hz</u></b>
3. e <sup>1</sup> 330 Hz	
<b>2. a 220 Hz</b>	<b><u>1. a 220 Hz</u></b>
<b>1. A 110 Hz.</b>	

Jól látható, hogy a *NAGY A*-nál egy oktávval magasabb *kis a* hang felhangsorának frekvenciái egytől egyig benne foglaltatnak a *NAGY A* hang felhangsorában. (Természetszerűleg benne foglaltatnak a *kettő hatványai* szerint növekvő frekvenciák is, melyeknek növekményét az *aláhúzások* teszik könnyebben szemléltethetővé.) Azért érzi az emberi fül a **2 : 1** rezgésszám-arányt kitüntetett fontosságúnak, mert a hangmagasságok *rokonítása* szempontjából, a felhangok egybeesésének ez a totális megvalósulása, csakis a kétszeres rezgésszámú hangmagasságra való transzponálás esetén teljesül. Ebből kifolyólag, a fül számára a hangmagasság alaprezgésének **2 : 1** arányban növekvő *többszöröse* az oktávészlelés *pillérfrekvenciái*.

Kérdés mármost, hogy hogyan szintetizálhatók a különféle *mesterséges oktávok*? Nos hát ez is azon fordul meg, hogy sikerül-e hangkészletünk hangjainak *mesterséges felhangsorát* olyan *frekvencia-struktúrájára* szintetizálni, hogy az így szintetizált hangok mesterséges felhangjainak rezgésszámai *ne a tőlük valódi oktáv távolságában* fekvő hangmagasság harmonikus részfrekvenciáival essenek egybe, hanem a *hangkészlet* valamely *más távolságban fekvő* hangmagasságának *mesterséges* részrezgéseivel!

Vegyünk egy konkrét példát! — Kísérletként komponált kompozícióim egyikében olyan hangot szintetizáltam, amelynek *mesterséges felhangjaival* a *temperált kisona* távolságú hang felhangjai csengenek össze *oktávyszerűen*. Az ilyen *kisona-oktávok* esetében nem a **2 : 1**, hanem a **2,119 : 1** arányú rezgésszám-viszonylatok frekvenciáit érzi az emberi hallás *pillérfrekvenciáknak*. (A 2,119 egy végtelen, nem szakaszos tizedes tört kerekített formája, a természetes oktáv **1/12** részének tizenháromszorosa. Képlettel kifejezve:  $2^{13/12}$ ) Hallgassuk meg, hangzó példaként, „*Kisona-oktávok*” című szerzeményem *záró hangzását*, ahol éppen ilyen *pillérfrekvencia spektrumú* hangok *áloktávjai* szólnak! A hangzó példa hallgatása közben megtekinthetők a szintetizált hangok mesterséges spektrumának frekvenciái is:

(3. vetítési kép, 2. hangzó példa)



HangzóPélda\_2.wav

16. inharmonikus	$220 * 2,119^3 = 2093$	Hz.	=	$c^4$
8. inharmonikus	$220 * 2,119^2 = 987,8$	Hz.	=	$h^2$
4. inharmonikus	$220 * 2,119^1 = 466,2$	Hz.	=	$b^1$
2. inharmonikus	$220 * 2,119^0 = 220$	Hz.	=	$a$
1. inharmonikus	$220 * 2,119^{-1} = 103,8$	Hz.	=	GISZ

		<u>4434</u>	<u>9397</u>	<u>9397</u>	
	<u>2093</u>	<u>2093</u>	<u>4434</u>	<u>4434</u>	
<u>987,8</u>	<u>987,8</u>	<u>987,8</u>	<u>2093</u>	<u>2093</u>	
<u>466,2</u>	<u>466,2</u>	<u>466,2</u>	<u>987,8</u>		
<u>220</u>	<u>220</u>				
<u>103,8</u>					
Billentyűzet:	GISZ	a	b <sup>1</sup>	h <sup>2</sup>	c <sup>4</sup>
Rezgésszámok:	103,8 Hz	220 Hz	466,2 Hz	987,8 Hz	2093 Hz

Itt tehát csupa kisona távolságú hangot hallottunk, melyek azonban oktávyszerűen csengtek össze. — Hallgassuk meg még egyszer a hangpéldát, de most úgy, hogy előtte **két** diszsonánsabb hangzású, *kromatikusnak tetsző* motívum is elhangzik, és *ezt* követi,



HangzóPélda\_3.wav

feloldásként, a konzonáns kisona-oktávok láncolata. (3. hangzó példa.)

Elég rátekinteni a fenti spektrumtáblázatra ahhoz, hogy első pillantásra is zeneelméleti kérdések sokasága fogalmazódjék meg bennünk. Mit kezdenek például az abszolút hallású fülek az ilyen kisona távolságú áloktávokkal, melyekben a nagy GISZ, kis a, b<sup>1</sup>, h<sup>2</sup> és c<sup>4</sup>

frekvenciájára épített hangok hangzanak úgy, *mintha azonos hangkvalitású* hangok lennének? — Ámde, ha nincs abszolút hallásunk, akkor is kérdések sokasága merül fel. Például: Milyen *neveket* viselhetnek a kisonna-oktávok rendszerének *mesterséges hangkvalitásai*? Milyen néven nevezhetők az ilyen hangrendszerben hangzó hangközök? Hogyan viszonyulnak egymáshoz a különféle hangköz-megfordítások? Stb. stb. stb. stb.

Észrevételeimet, és néhány néven nevezési javaslatomat több publikációmban is közzé tettem már, de mint említettem, fontosnak tartottam és tartom, hogy mind ezt, nagyobb számú tesztalany válaszában mérve is ellenőrizhessük. Sajnos, a kilencvenes évek nem kedveztek ilyen irányú törekvéseimnek, de a kétezres években, összeismerkedvén *Danczi Csaba László pszichológussal*, (akit elsősorban a kísérleti pszichológia, és ezen belül is a zenepszichológia problémavilága érdekelt), kidolgoztunk egy sokféle szempontot figyelembe vevő halláspróba-sorozatot, amelyet különböző zeneoktatási intézmények diákjaival teszteltünk.

Ezek a tesztek három főcsoportba sorolhatók:

1. **Minősítő tesztek.** (Hangnév-felismerési és oktáva-felismerési halláspróbák mindenkinek.)
2. **Abszolút hallási tesztek.** (Különböző spektrumstruktúrájú hangok néven nevezése hallás után.)
3. **Relatív hallási tesztek.** (Oktávviszony felismerése különböző hangzású hangpárokból, mindenkinek.)

Kevés most az előadásra engedélyezett időm arra, hogy részletesen beszámoljak a teszteredmények értékeléséről, de annyit mindenképpen közölhetek, hogy a *relatív hallási* tesztekben, ahol az összehasonlítandó *hangpárok* közt mindig hallható volt *mesterséges oktáv* is és *valódi oktáv* is, a válaszolók döntő többsége a *mesterséges oktávokat* minősítette oktávnak, és ebben az *abszolút hallású* tesztalanyok válaszai *nem különböztek szignifikáns mértékben* a többiekétől. Tekintsünk meg egy ilyen kimutatást! ([4. vetítési kép. — Lásd a következő oldalon!](#))

Amint a fejlécen látható, a kimutatási táblázat három csoportba sorolja a válaszadókat, annak alapján, hogy a minősítő teszteken milyen eredményt értek el. Lásd 2. 3. 4. oszlopot:

2. oszlop. **Abszolút hallásúak.**  
(Azok, akik a minősítő teszteken 50 százalék feletti eredménnyel ismerték fel a hangneveket.)
3. oszlop. **Kérdéses hallásúak.**  
(Azok, akik 20 és 50 százalék közötti eredménnyel tippeltek a hangnevekre.)
4. oszlop. **Relatív hallásúak.**  
(Azok, akik 20 % alatti eredménnyel tippeltek, vagy nem is tippeltek egyáltalán.)

A *baloldali, első oszlop* rubrikái azt mutatják, milyen spektrumú hangfajták hangzottak el *véletlenszerű* sorrendben a halláspróbákon. A *hagyományos* zenei hangokra, (pl. zg. pizz.), és a *szűksávú színes-zajokra* érkezett válaszok egyértelműen csak **IGAZ** vagy **HAMIS** minősítést kaphattak. A *mesterséges spektrumú*, (paradox viselkedésű) hangok viszont *kétféle szempont szerint* minősülhettek **IGAZ**nak vagy **HAMIS**nak, mégpedig *névleges viszonyuk* szerint és *spektrális viszonyuk* szerint. A *névlegesen* **IGAZ** vagy **HAMIS** minősítés attól függ, hogy a véleményezett hangpár hangspektrumainak legalacsonyabb frekvenciái, (azaz a hivatkozási frekvenciák), a természetes oktávra jellemző 2 : 1 arányban állnak-e. A *spektrálisan* **IGAZ** vagy **HAMIS** minősítés viszont arról tájékoztat, hogy a bemutatott hangpárok *mesterséges* spektrumainak frekvenciái (főképp a *pillérfrekvenciák*) egybeesnek-e egymással. Az **IGAZ**nak minősült válaszok százalékban kifejezett számértékei mellett

a  $\pm\%$  értékek arról informálnak, hogy a tippek számának és szórásának függvényében mekkora hibaszázalékkal valószínűsíthető a felmérés itt kapott értékeinek megismétlődése.

## (4. vetítési kép)

## KÉRDÉSENKÉNT HÁROM KÜLÖNBÖZŐ HANGPÁR AZONOS SPEKTRUMSZERKEZETŰ HANGOKKAL

Tesztípus II (1-6)	Abszolút hallásúak		Kérdéses hallásúak		Relatív hallásúak		Korrelációk	
	Összlétszám:	36 fő >50%	45 fő 20% - 50%	359 fő <20%	%-beli	szórási		
Átlaglétszám:	32,6	41,0	328,8	abszolút - relatív:				
Létszámszórás:	4,9	4,1	32,3	0,9927		0,8399		
Állítás - tagadás	72% : 28%	75% : 25%	73% : 27%	abszolút-kérdéses:				
Állító tippek	% sig 0,05	szórás	% sig 0,05	szórás	% sig 0,05	szórás	0,9943	0,8313
Harmonikus hangok	abszolút hallás		kérdéses hallás		relatív hallás		kérdéses - relatív:	
Zongora tippszám	58 tipp 22 fő	73 tipp 33 fő	653 tipp 256 fő	0,9981		0,9334		
Zongora IGAZ	83% +13%	93% +7%	92% +2%					
HAMIS	17% 31%	7% 21%	8% 19%					
Pizzicato tippszám	64 tipp 34 fő	77 tipp 43 fő	688 tipp 338 fő					
Pizzicato IGAZ	89% +4%	88% +6%	86% +2%					
HAMIS	11% 13%	12% 20%	14% 22%					
t8-sp tippszám	245 tipp 36 fő	257 tipp 44 fő	2699 tipp 356 fő					
t8-spektrum IGAZ	90% +7%	96% +3%	94% +1%					
HAMIS	10% 21%	4% 10%	6% 12%					
Színeszaj-sávok	abszolút hallás		kérdéses hallás		relatív hallás			
Zajtipp-szám	261 tipp 36 fő	277 tipp 45 fő	2510 tipp 357 fő					
Zaj IGAZ	70% +8%	72% +8%	67% +2%					
HAMIS	30% 25%	28% 28%	33% 21%					
Paradox hangok	abszolút hallás		kérdéses hallás		relatív hallás		%-beli	szórási
k9-sp tippszám	224 tipp 36 fő	233 tipp 44 fő	2179 tipp 348 fő	abszolút - relatív:				
névlegesen IGAZ	8% +5%	6% +5%	8% +1%	0,9925		0,8965		
HAMIS	92% 16%	94% 17%	92% 12%	abszolút-kérdéses:				
spektrálisan IGAZ	84% +9%	88% +7%	86% +0%	0,9955		0,7714		
HAMIS	16% 28%	12% 23%	14% 17%	kérdéses - relatív:				
Névleges preferencia:	-76%	-82%	-78%	0,9976		0,8670		
n7-sp tippszám	152 tipp 36 fő	182 tipp 42 fő	1651 tipp 340 fő					
névlegesen IGAZ	13% +9%	8% +6%	11% +2%					
HAMIS	88% 26%	92% 21%	89% 18%					
spektrálisan IGAZ	80% +10%	88% +7%	81% +2%					
HAMIS	20% 32%	12% 23%	19% 22%					
Névleges preferencia:	-67%	-80%	-70%					
k7-sp tippszám	102 tipp 26 fő	120 tipp 34 fő	937 tipp 293 fő					
névlegesen IGAZ	26% +11%	18% +7%	17% +3%					
HAMIS	74% 30%	83% 19%	83% 23%					
spektrálisan IGAZ	63% +12%	68% +10%	70% +3%					
HAMIS	37% 32%	32% 31%	30% 27%					
Névleges preferencia:	-36%	-51%	-53%					
n9-sp tippszám	157 tipp 31 fő	183 tipp 42 fő	1836 tipp 318 fő					
névlegesen IGAZ	60% +12%	64% +10%	60% +3%	abszolút		-39%		
HAMIS	40% 33%	36% 32%	40% 29%	kérdéses		-46%		
spektrálisan IGAZ	35% +12%	33% +9%	34% +3%	relatív		-44%		
HAMIS	65% 33%	67% 31%	66% 27%					
Névleges preferencia:	+25%	+31%	+26%					
Tagadó tippek	abszolút hallás		kérdéses hallás		relatív hallás			
Tagadó tippszám	490 tipp 36 fő	478 tipp 42 fő	4859 tipp 353 fő					
Névlegesen igaz	0%	0%	0%					
Névlegesen hamis	100% 0%	100% 0%	100% 0%					

Befejezésül, még egy fontos tény kötelességem közölni arra vonatkozólag, hogy hogyan bukkantam rá az áloktávok szintetizálásának lehetőségére. *Kósa Gábor* zeneszerző kollégám, aki szintén *tagja volt* a mi kutatócsoportunknak, még a hetvenes években megálmodott egy különös hangrendszert, – a ma már sokak által hallott KA rendszert – melyben a hangmagasságok rezgésszámait a Fibonacci-féle számsor szerint viszonyulnak egymáshoz. Egy nyolc hangból álló, egyenlőtlen hangköz beosztású skálát konstruált, melyben a különböző nagyságú hangközök sorrendje nem az oktáv távolsághoz mérten ismétlődik újra meg újra, hanem az oktáv távolság aranymetszéséhez, azaz az *aranyszexthez* mérve. (Röviden: Kósa Gábor KA rendszerében – **K**ülönb<sup>s</sup>égi hangok **A**ranymetszés-rendszerében – nem az oktáv hangköz tölti be a *transzponens* szerepet, hanem az *aranyszext*.) Kósa Gábornak is a csoportunk DX7-II szintetizátorán nyílt lehetősége először arra, hogy hangrendszerét *pontosan az általa meghatározott frekvenciák* viszonyrendszerében megszólaltatva hallgathassa meg, *nekem pedig*, hirtelen az az ötletem támadt, hogy szintetizálok egy olyan hangot, melyben a *hangspektrum* frekvenciái *aranyszext* viszonyban állnak egymással. Meglepődve észleltük, hogy ezzel a hanggal skálázva, amikor a transzponens viszonyban álló aranyszext hangközhöz érünk, úgy halljuk, mintha azonos hangkvalitású hangokhoz éreztünk volna, holott eredetileg az aranyszext hangköz hangjai nem azonos hangkvalitásúak. Vagyis, akarva akaratlan, Kósa Gábor KA rendszerében találtam rá a mesterséges oktávok szintetizálásának technikájára, (s ezzel együtt, a szintetikus hangok mesterséges *pillérfrekvenciáinak* a hangmagasságviszonyok észlelését befolyásoló hatására).