



## PARADOKSI

I

## ILUZIJE

ivan supek

Na slici je prikazan drvorez "Regular Division of the Plane III" slavnog C. Eschera koji zorno ilustrira ambivalentnost vizualne percepcije. Pažljivo ju promotrite. Vrlo brzo uočit ćete da je na gornjem dijelu slike "figura" predočena crnim jahačima, dok bijeli jahači čine podlogu, a da je na donjem dijelu slike situacija obratna. No u sredini gdje su svi jahači nacrtani sa podjednakom "izražajnošću" javit će se ambivalentnost i neodlučno ćete mijenjati "mišljenje" da li je crni jahač podloga, a bijeli figura ili obrnuto.

U takve vizualne paradokse spada npr. Neckerova kocka, prekrížene paralelne crte ili percepcija "prevelikog" punog mjeseca na horizontu. Ovaj posljednji primjer je posebno poučan jer zorno ilustrira kako naše "iskustvo" utječe na percepciju. Objektivni fotoaparati vrlo brzo utvrđuju fizikalnu činjenicu da je veličina mjeseca na horizontu i u zenitu ista, no gledatelja, pogotovo romantično nastrojenog, jako teško ćemo u to uvjeriti. Zašto je to tako? Općenito, naša procjena veličine predmeta u prostoru zasniva se na odnosu njegove relativne veličine s obzirom na okolne predmete i naše subjektivne procjene njegove apsolutne udaljenosti. Za mjesec na horizontu "očito" je da je prilično velik u odnosu na planine, zgrade ili drveće, što god već čini naš obzor u tom trenutku, a kako vidimo, tj. "znamo" da je on daleko u odnosu na njih, procjenjujemo da je i vrlo velik. Kada se popne u zenit, velikih, i zbudjujućih,

zemaljskih objekata više nema, pa mu i veličinu "procjenjujemo" daleko realističnije. Interesantno je napomenuti da naša spoznaja same iluzije u mnogim slučajevima, pa tako i u ovom, na samu iluziju ne utječe.

Sličnih paradoksa u auditivnoj percepciji ima barem jednako mnogo, no, općenito, mi smo ih puno manje svjesni i/ili puno manje o njima znamo. Razlozi su višestruki, no glavni razlog je što se ljudi ipak prvenstveno oslanjaju na osjet vida, a u zapadnoj civilizaciji to je dodatno naglašeno načinom učenja i prenošenja informacija. U ovom članku pozabavit ćemo se auditivnim paradoksima i iluzijama koje su značajno poticale, i to još uvijek čine, znanstvenike u njihovom istraživačkom radu, a mislim da će biti i vama to biti od interesa, tim više što ćemo još ponešto naučiti o našem auditivnom aparatu, i to baš o onom dijelu koji znatno utječe na naš doživljaj glazbe.

## ILUZIJA SUBJEKTIVNIH TONOVA I HARMONIKA

U članku o "Fenomenologiji sluha", zbog jednostavnosti, pretpostavili smo da postoji jednoznačna korelacija između fizikalnih osobina zvuka: frekvencije, amplitude i spektralne strukture i njenih glazbenih analogona: visine tona, glasnoće i timbra. No proučavanjem auditivnih paradoksa i iluzija može se štošta naučiti i o toj korelaciji, za koju se vrlo brzo uočava da nije niti jednoznačna, niti jednostavna. Krenimo od visine tona, ukoliko ste pomislili da tu ne bi smjelo biti većih nedoumica osim kod "bezsluhista", prevarili ste se. Visinu tona definiramo u glazbi kao slušnu senzaciju kojom označavamo visinu ili dubinu, tj. položaj na muzičkoj ljestvici. Taj položaj jest prvenstveno određen frekvencijom zvučnog vala, ali, osim za vrlo malu skupinu slušatelja koji imaju apsolutni sluh, to određenje neće biti jednoznačno već će ovisiti i o timbru i o glasnoći tona. Npr. čisti tonovi iznad 2 kHz učinit će nam se viši, a oni ispod 2 kHz niži ukoliko povećavamo glasnoću.

To određivanje postaje još kompleksnije ukoliko znamo da unutrašnje uho rezonira i dodaje vrlo bogatu harmonijsku strukturu čistom glazbenom tonu. Tu "šumu" tzv. parazitskih harmonika mozak uglavnom odračunava i odbacuje, osim kada su tonovi vrlo glasni (+80 dB), no potom je dopunjuje čitavom novom "šumom" tzv. subjektivnih tonova. Naime, ukoliko slušatelju reproduciramo bilo koja dva čista glazbena tona, zbog lakoće računa neka to budu 1.000 i 1.400 Hz, njegov slušni aparat će "čuti" barem sedamnaest (17!) dodatnih subjektivnih tonova. Prvu skupinu činit će oni iz niza diferencijskih tonova:

$$(f_1 - f_2) = 400 \text{ Hz}, (2f_2 - f_1) = 600 \text{ Hz},$$

$$(3f_2 - f_1) = 1.600 \text{ Hz}, (2f_1 - f_2) = 1.800 \text{ Hz}...$$

a drugu oni iz niza sumacijskih tonova:

$$(f_1 + f_2) = 2.400 \text{ Hz}, (2f_1 + f_2) = 3.400 \text{ Hz},$$

$$(f_1 + 2f_2) = 3.800 \text{ Hz}, (2f_1 + 2f_2) = 4.800 \text{ Hz}...$$

Uobičajeni glazbeni tonovi imaju bogatu strukturu za koju broj mogućih subjektivnih tonova raste geometrijskom progresijom, pa će npr. za ton od samo 10 harmonika broj subjektivnih tonova biti veći od 1.000. Bez panike - vaše osobno "računalo" od samo 1.500 kubika naučilo je evolucijskim razvojem izlaziti na kraj sa tim obiljem informacija, i čak uživati u glazbi, ukoliko mu vi to bespotrebno ne otežate. Naime, subjektivne tonove i harmonike ne čujemo kao odvojene tonove već oni pridonose ukupnom zvuku. Parazitski tonovi pripadaju harmonijskom nizu, pa ako i nisu potisnuti, pridonose "bogatstvu" timbra, a subjektivni tonovi, iako ne pripadaju harmonijskom nizu osnovnog tona, daju tonu dodatnu disonantnu "aromu".

Nadalje, prvi član diferencijskog niza omogućava naše potpunije uživanje u glazbi preko slušalica, tranzistora i manjih monitorskih zvučnih kutija. O tom smo već govorili u "Malom audio pojmovniku", no evo sada i potpunijeg psihoakustičkog objašnjenja. Odsviramo li  $A_3$  ton na glasoviru, njegovom osnovnom tonu od 55 Hz bit će pridružen i niz realnih harmonika: 110, 165, 220, 275, 330, 385, 440 Hz,... pa čak ako i nije prisutan osnovni harmonik zbog premalenog bas zvučnika ili veličine naše slušaonice, mozak će rekonstruirati nedostajući osnovni ton. Eksperimentima je pokazano da je rekonstrukcija potpuna ukoliko je "rez" ili filtracija prisutna za tonove ispod 55 Hz, dok odsustvo osnovnih tonova postaje sasvim očito ako je rez iznad 165 Hz. Dakle, i manja basovska jedinica koja reproducira bas do 60-tak Hz u sobi minimalne duljine od otprilike 3 metra morala bi nas prilično dobro "prevariti", kao što i znamo da je slučaj.

Osvrnemo li se na prethodna dva članka i prvi dio ovog članka, uočiti ćemo posvemašnu "relativizaciju" svih osnovnih parametara zvuka, tj. zapravo naše percepcije nekog glazbenog tona: njegove visine, trajanja, glasnoće, timbra i prostorne lokacije. Razlog i cilj vam je vjerojatno već razvidan, no eksplicitno će biti iznesen tek na kraju članka. Ono što već sada imamo je kompleksna situacija u kojoj svaki parametar zvuka ovisi o gotovo svim ostalima, a ukupna percepcija zvuka je vrlo individualizirana i subjektivna. Uzroci su uglavnom nađeni u fiziološkom ustrojstvu našeg auditornog aparata, uz nemalu pomoć "centralne" jedinice. U slijedećim primjerima dodatno ćemo se "okomiti" na baš tu centralnu jedinicu, naš mozak, jer on svojim psihoakustičkim funkcijama i proračunima značajno doprinosi dodatnoj kompleksnosti naše slušne percepcije, i osim toga upravo najpresudnije utječe i na inherentno glazbene parametre: melodiju, ritam i harmoniju.



## ANATOMIJA GLAZBE

Ako glazbeni ton predstavlja sam kostur glazbe, onda melodija, ritam i harmonija upotpunjuju njezinu anatomiju i fizionomiju. O razvoju melodije i harmonije u povijesti glazbe, muzikologiji, filozofiji, matematici i fizici napisane su tisuće stranica, a taj razvoj od posebnog je interesa i za psihoakustiku našeg auditornog aparata pa se nadamo da će u ovoj seriji članaka i netko od naših muzikologa ili antropologa glazbe potpunije pisati o tome, a ja ću samo dati vrlo kratak pregled kako bih olakšao daljnje praćenje predstojećih članaka.

Melodija je slobodno i sukcesivno nizanje pojedinačnih glazbenih tonova, dok je ritam predstavljen našim osjećajem ponavljanja ili grupiranja glazbenog materijala (ili govornog u poeziji), što se postiže naglašavanjem vremenskog ili dinamičkog (glasnoća) aspekta, ili oba. Moguće ih je razmatrati odvojeno, no oni se od prapočetaka glazbe, i vjerojatno naše vrste, prepliću i zajedno razvijaju. Harmonija je istovremeno zvučanje dva ili više glazbenih tonova, a njena "smislena" organizacija je daleko novija pojava u razvoju glazbe. Kako je glazba ogledalo nas samih, po mom sudu možda i odveć laskavo, u njoj se sasvim sigurno zrcali i naše biološko ustrojstvo. Dakle, naš doživljaj glazbe neodvojiv je od nas samih i stoga kada mi govorimo o našem subjektivnom doživljaju ritma ili melodije, mi ujedno govorimo i o sebi, tj. objektivnim čimbenicima i mehanizmima koje su sadržani u individualnoj fiziologiji i psihologiji svakog od nas, a one ujedno sadrže i informacije o evoluciji naše vrste.

Slijedeći primjeri potkrijepit će tu tezu, no o tome tek u slijedećem nastavku, u kojem ćete moći doznati i zašto glazbenici u komornim sastavima, orkestrima, zborovima ili rock sastavima odabiru raspored u kome im se "visoki" instrumenti ili glasovi gotovo uvijek nalaze desno od njih.

# PARADOKSI I ILUZIJE - 2. dio

ivan supek

Ukoliko ste ikada osluškivali monotono i savršeno jednoliko otkucavanje njihala zidnog sata, vjerojatno ste uočili pričin iznenadnog pojavljivanja ritma, koji se s vremena na vrijeme mogao i mijenjati. Ako to i niste nikada zamijetili, sasvim sigurno ste uočili sličan pričin u vožnji vlakom, pri kojoj jednoliko "udaranje" pragova zadobiva najraznovrsnije ritmove, uz koje čak možete i pjevušiti poznate melodije.

## ILUZIJA SUBJEKTIVNOG RITMA

Ta iluzija je odraz vrlo važnog mehanizma koji omogućava našem mozgu lakše procesiranje i pamćenje auditornih senzacija: riječi i zvukova. Naime, ukoliko su note "grupirane" i "označene" ritmom, možemo zapamtiti gotovo jednak broj taktova koliko i individualnih nota, dakle, značajno se povećava količina informacija koju možemo apsorbirati. Slično je i u govoru, ljudima je uglavnom znatno lakše pamtiti pjesme nego li same stihove, a stihove lakše nego individualne riječi, a razlog je opet u grupiranju i organizaciji govornog materijala. Pamćenje, naravno, ima ogromno značenje u praćenju glazbe, ili bilo kojeg drugog događanja oko nas, te omogućava prepoznavanje i predviđanje melodija (riječi, događaja), uz minimalan napor. Ukoliko ritma nema, naša pažnja mora biti znatno naglašenija jer je praćenje (i pamćenje) glazbene melodije ili harmonije otežano, što povećava "zamor" pri slušanju.

To se danas nameće kao jedno od najvjerojatnijih, iako i ne posve dokazanih, objašnjenja zašto postojeći digitalni medij izaziva zamor u slušatelja. Naime, kolebanja vremenske baze (*jitter*) u sprezi s digitalnim filtrima narušavaju delikatno vremensko tkivo glazbe, otežavaju njezino praćenje, i time zamor postaje naglašeniji. Nadalje, u digitalnoj domeni mogući su još daleko "ambiciozniji" zahvati u sam vremenski tijek glazbe pri procesu obrade tonskog zapisa, pa čak i "vraćanje" vremena unazad, što je, naravno, pogubno za naš subjektivni utisak o cjelovitosti i protoku glazbenog tkiva. To je moguće, iako u daleko manjoj mjeri, zamijetiti i kod analognih uređaja ili snimki. Prisjetimo se negativne povratne sprege ili kolebanja brzine u kritičnom srednjetonском području (engl. *flutter*) koja je dokazano glavni razlog "nemuzikalnosti" *direct-drive* gramofona, a osobe koje su najviše zamjećivale njihov subjektivni nedostatak, usprkos fenomenalnim objektivnim mjerjenjima su bile vjerojatno one koje imaju naglašeno razvijen "sluh" za vremenski aspekt glazbe.

## ILUZIJA DISLOCIRANE MELODIJE

Sad ćemo razmotriti primjer koji zorno predočuje kako prostorno-vremenska komponenta zvuka vrlo značajno utječe na našu sposobnost praćenja glazbene melodije. Odsviramo li jednostavnu melodiju istovremeno (sinkrono) kroz oba kanala slušalica, bez većih ćemo teškoća tu melodiju prepoznati i reproducirati. No ukoliko tu istu melodiju odsviramo tako da su pojedine note melodije odsvirane ili u jed-

nom ili u drugom kanalu slušalica, gotovo 50% slušatelja imat će problem prepoznati takvu prostorno dislociranu melodiju. Pridružimo li sada toj dislociranoj melodiji jedan sinkroni parazitski ton koji popunjava notne "rupe" u onom kanalu u kojem u tom trenutku nema odsvirane note, dobivamo gotovo 95%-tno prepoznavanje melodije. Dakle, tako dugo dok su auditivni signali iz oba uha istovremeni, s lakoćom pridružujemo ta dva signala i prepoznamo melodiju ukoliko je ona prisutna. No ukoliko ne postoji istovremenost signala, mehanizam binauralne lokacije "razdvaja" dva signala, i to znatno otežava, ili čak onemogućava, prepoznavanje i praćenje melodije. Slijedeći primjer još će bolje predočiti kompleksni suodnos i utjecaj prostorno-vremenske komponente zvuka na našu sposobnost praćenja glazbene melodije i harmonije.

## PARADOKS DISLOCIRANE OKTAVE

Uzmimo sada za primjer jednostavni akord koji se sastoji od samo dva tona jednake glasnoće: tona A od 440 Hz i tona A<sup>1</sup> od 880 Hz – dakle, radi se o oktavnom intervalu i konsonantnim tonovima, tj. onima koje, kad ih zajedno odsviramo, doživljavamo kao jedan složeni glazbeni ton. Reproduciramo li sada takav akord preko slušalica, slušatelji će ga ispravno čuti, i harmonijski (jedan konsonantni ton) i prostorno (dobro definiran centralno lociran izvor). Ukoliko sada jedan ton odsviramo u samo jednom kanalu slušalica, a drugi u drugom, opet ćemo ga ispravno doživjeti kao dva tona, od kojih je jedan lociran lijevo, a drugi desno. Zamijenimo li nakon nekog vremena kanale, i tonovi će, kao što i očekujemo, zamijeniti relativne položaje.

Počnemo li sada zamjenjivati visoki i duboki ton između dva uha u brzom ritmu od npr. 1/4 sekunde, kod slušatelja nastupa "zbunjenost" i oni vrlo različito doživljavaju percipirani zvuk – gotovo nikad ispravno. Neki to čuju kao konsonantni ton koji se prebacuje lijevo-desno i koji može, ali ne mora mijenjati visinu tona, neki kao visoki A<sup>1</sup> ton koji se prebacuje lijevo-desno uz povremeno javljanje dubokog tona A u samo jednom uhu, nekima se iluzija stalno mijenja itd.

Kod najvećeg broja slušatelja takav signal stvarat će iluziju jednog dubokog tona u lijevom uhu koji alternira s jednim visokim tonom u desnom uhu, i to u ritmu zamjene kanala – dakle imamo: visoki ton u desnom uhu, pa nakon toga duboki ton u lijevom, pa visoki u desnom, pa duboki u lijevom, itd. Prividno, radi se o paradoksu, jer se jedan prostorno simetričan i vremenski sinkron signal "razdvaja", i har-

monijski i prostorno, pri psihoakustičkom procesiranju zvuka. Nadalje, utvrđeno je da je iluzija to slabije izražena što je ritam zamjene kanala sporiji (nestaje ako se ritam uspori ispod 1 sekunde) ili što je konsonantnost tonova manja (opa-da već za veliku tercu) ili ako tonovi nisu istovremeni (sinkroni). Ovo je bio jedan od eksperimenata koji su početkom osamdesetih ukazali na mogućnost da su mehanizmi percepcije glazbene forme i binauralne lokacije zvuka odvojeni. Kasnija istraživanja, koja smo opisali u prethodnom nastavku, to su i potvrdila, što je i nužan, ali ne i dovoljan preduvjet da bi iluzija dislocirane oktave bila moguća.

Naime, i kod ove iluzije, kao i kod mehanizma najranijeg zvuka ili percepcije mjeseca na horizontu, naša "interpretacija" igra ključnu ulogu u tome kako mi nešto vidimo ili čujemo. Kod mehanizma najranijeg zvuka imali smo dva potpuno jednaka, ali dislocirana i nepomična glazbena tona, od kojih jedan stiže s malim vremenskim zakašnjenjem, a naš mozak to interpretira na osnovi iskustva kao jedan izvor zvuka i stoga onaj kasniji signal "odbacuje". Kod paradoksa dislocirane oktave imamo komplementarnu situaciju u kojoj izvor zvuka stalno mijenja lokaciju, a sastoji se od dva vrlo različita tona. Kako naš mozak iz iskustva "zna" da bitno različiti šumovi (sjetite se naše evolucije) ili zvukovi nikada ne dolaze s istog mjesta, tu ambivalentnu informaciju "interpretira" kao dva dislocirana zvuka različite tonske forme, pri čemu visinu tona određuje jedan psihoakustički mehanizam (onaj opisan u "Fenomenologiji sluha"), a njegov položaj drugi (onaj opisan u "Psihoakustici i prostoru glazbe"). Dakle, visina tona određuje se na osnovi informacija pristiglih u mozak iz samo jednog uha, kasnije ćemo vidjeti da odabir uha nije slučajan, dok se informacije pristigle iz drugog zanemaruju kao odveć slične i vjerojatno nebitne i stoga čujemo pravilnu naizmjeničnu smjenu visokih i dubokih tonova. No kako smo maloprije opisali, u binauralnom kanalu donesena je "odluka" da se radi o dva izvora, a njihova lokacija određuje se pomoću pouzdanije visokofrekventne komponente, pa će ton biti "smješten" u onaj kanal, tj. uho u kojem je u tom trenutku prisutan visoki ton.

Kako smo već rekli, najveći broj slušatelja paradoks dislocirane oktave doživjet će kao duboko-lijevo/visokodesno, no slijedeća najbrojnija skupina tu iluziju čuje na isti način, ali zrcalno simetrično, tj. visoko-lijevo/dubokodesno. Značajno je da postoji izražena statistička razlika između ljevaka i dešnjaka. Naime, kod ljevaka gotovo podjednak broj čuje iluziju kao visoko-lijevo/dubokodesno, tj. dubokolijevo/visokodesno, a postoji i velika skupina koji dislociranu oktavu čuju kao kompleksne iluzije opisane na početku ovoga odlomka. Nasuprot tome, kod dešnjaka izrazito prevladava skupina koji iluziju čuju kao duboko-lijevo/visokodesno. To dodatno potvrđuje zaključak iznesen u prethodnom nastavku da dio auditivnog signala biva obrađen u višim moždanim strukturama, kod kojih je također utvrđena asimetrija između lijeve i desne hemisfere i koja je uz to znatnije izražena kod dešnjaka.

Opisani "anatomski" odabir strane dogodit će se samo u slučaju jednako glasnih signala, i to ako oba uha podjednako dobro čuju, inače se mozak odlučuje za onu stranu, tj. uho u kojem je signal glasniji, pa malim korekcijama kontrole balansa na pojačalu možemo po volji mijenjati iluziju između duboko-lijevo/visokodesno i visoko-lijevo/dubokodesno. Svojevrsni binauralni ping-pong, no, nažalost, ne i bez čujnih posljedica.

Paradoksi su najčešće zagonetke koje ne razumijemo – barem ne u tom trenutku, i predstavljaju duhovnu hranu za znatiželjne. No mislim da je primjera za sada bilo dovoljno i da je sada posve razvidno da je kod ovih znatno složenijih

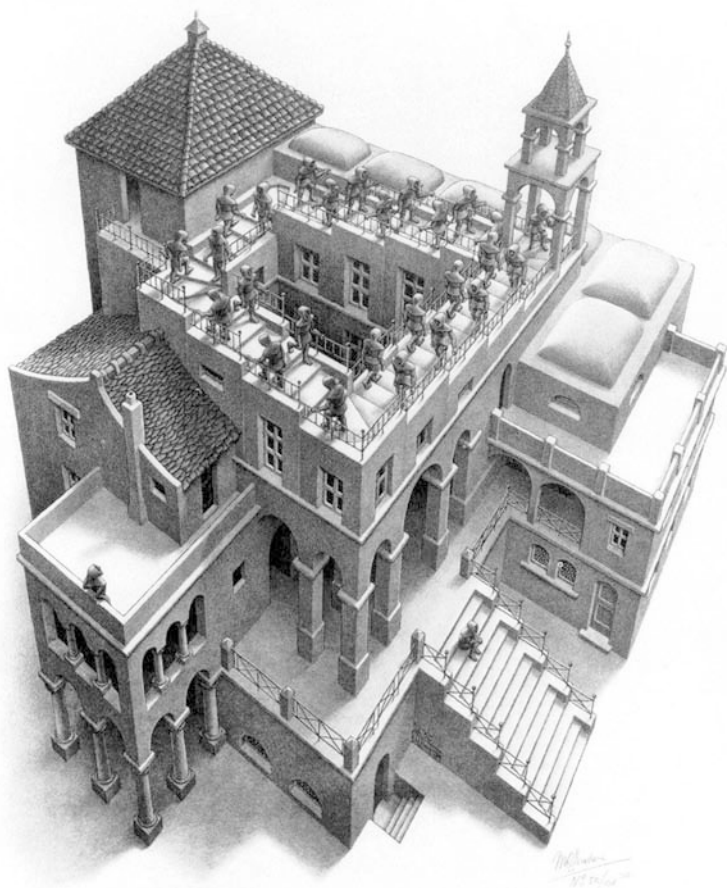
"parametara" glazbe prisutna još veća međuovisnost i da se psihoakustički mehanizmi pojedinca još više razlikuju nego kod "jednostavnijih" parametara zvuka. Za nas je od poga-litog interesa da li ovo što smo naučili o osobinama psihoakustičkog mehanizma razmatrajući razne paradokse i iluzije ima utjecaja i na (re)produkciju glazbe. Odgovor je, naravno – da. Razmotrimo sada kako se paradoks dislocirane oktave odražava u glazbi.

## RAZMJESTAJ GLAZBENIKA U ORKESTRU – SLUČAJNOST ILI NE?

Glazbenici i u komornim sastavima, i u orkestru i u zborovima, pa i u rock sastavima gotovo uvijek odabiru takav međusobni raspored u kojem im se tonski viši instrumenti ili glasovi nalaze desno od njih – violončela su desno od viola, a viole desno od violina. Slično vrijedi i za puhače i za ljudske glasove. Naravno, to predstavlja problem za dirigenta i publiku koji sjede nasuprot glazbenicima i "vide" zrcalnu sliku orkestra s "pogrešnim" rasporedom instrumenata, što znatno smanjuje njihovu sposobnost prostorne lokacije. Efekt je naročito izražen kod instrumenata u dubokom registru, koji su postavljeni desno u odnosu na slušatelje (violončela, basovi, tube) i za koje ćemo često imati dojam da ih ne možemo dobro prostorno diferencirati, dok će timpani, koji su obično postavljeni lijevo, biti jako dobro prostorno definirani i odlične rezolucije udara. Dirigenti su očito svjesni tog problema, ili barem podsvjesno, jer ponekad nastoje "ispremiješati" instrumente, i to gotovo uvijek prema pravilu duboko-lijevo/visokodesno, a poneki, kao Leopold Stokowski, su u tome bili vrlo konzistentni i uporni. Interesantno je uočiti da baš njega i prati glas da njegov orkestralni zvuk ima nevjerojatnu rezoluciju i definiciju.

Još mnogobrojne pojave bilo kakvih psihoakustičkih istraživanja, kompozitori su se kroz svakodnevnu praksu suočavali s tim fenomenima i nastojali ih riješiti na najbolji mogući način. Njihova intuitivna rješenja u potpunosti slijede gore propisane recepte – istovremenost prostorno separiranih signala omogućuje lako melodijsko-harmonijsko stapanje, no ukoliko ono nije poželjno, dovoljno je signale prostorno dislocirati i/ili ih učiniti asinkronima. Nažalost, i to je vrlo bitno zapamtiti, istovremenost prostorno separiranih signala ujedno pridonosi i njihovoj slaboj, ili čak pogrešnoj prostornoj lokaciji. Prisjetimo se što je o tome pisao veliki mag orkestralnog zvuka Hector Berlioz u "Traktatu o instrumentaciji": *"Pojedine grupe instrumenata u orkestru skladatelj odabire tako da bi što bolje mogle voditi dijalog, a to će biti moguće samo ako su te grupe prostorno dovoljno razmaknute. Stoga skladatelj mora u svom notnom zapisu naznačiti njihove točne položaje."*

Nažalost, ta ista ambivalentnost javlja se i pri reprodukciji glazbe u našim slušaonicama. Sama iluzija dislocirane oktave ili melodije može se u svom izvornom obliku čuti i preko zvučnika, a naročito je izražena ako zvučnike okrenete jedan prema drugom i sjednete između njih. Pri reprodukciji glazbe efekt se manifestira slično kao i u koncertnim dvoranama, pa nam se često "pričinja" da desni zvučnik "ne svira" ili da violončela nemaju dobru definiciju (najčešće dodatno pogoršano zbog prisustva stojnih valova) ili da je zvučna slika pomaknuta ulijevo. Ja sam često i u odlično ugođenim audiosistemima nalazio kontrole balansa blago okrenute u desno, što je dodatna potvrda da su pričini izazvani prostorno-vremenskim ambivalentnostima glazbenog signala i te kako stvarni za naš biološki *software*, iako njihove manifestacije najčešće pogrešno pripisujemo kupljenom *hardwareu*.



# PARADOKSI

I

# ILUZIJE

ivan supek

Došli smo do trećeg i posljednjeg nastavka o slušnim paradoksima i iluzijama. U dosadašnjim nastavcima "relativizirali" smo mogućnost jednostavnog i jednoznačnog određivanja osnovnih parametara glazbenog tona, harmonije ili ritma, a na kraju ovoga napisa obradit ćemo i jedan od najpoznatijih i najintrigantnijih slušnih paradoksa, kružnu ili Shepardovu oktavu, koja "relativizira" čak i našu mogućnost pouzdanog određivanja relativnih visina susjednih glazbenih tonova. Shepardova oktava je utoliko interesantnija jer joj je povijesno prethodio sličan optički paradoks.

Slavni engleski fizičar i matematičar Sir Roger Penrose, radeći na posve apstraktnim geometrijskim problemima, zamislio je i nacrtao 1958. godine čudnovato stubište neprekidno uspinjućih stepenica ili silazećih, ako vam je tako draže. Ukoliko nikada prije niste vidjeli taj crtež, teško da ćete u to moći povjerovati. Stoga pažljivo promotrite grafiku "Ascending and Descending" jednako slavnog holandskog umjetnika Mauritsa Cornelisa Eschera, koji je sjajno umjetnički predstavio izvornu ideju Rogera Penrosea. Escher je tu temu varirao u nekoliko svojih grafika budući da je oduvijek bio fasciniran iluzijom beskonačnosti i zatvorenih petlja, a jedna od grafika iz te skupine su "Drawing Hands" iz 1948. godine. Vjerujemo da ste se već do sada, nakon pomnog ispitivanja grafike "Ascending and Descending", uvjerali u potpunost iluzije, a pomislite li da ćete "redukcijom" crteža razotkriti "prevaru", nemojte se niti truditi, lakše vam je pogledati izvorni "asketski" crtež Rogera Penrosea na stranicama webzina i uvjeriti se u neupitnost paradoksa i u takvom prikazu. U čemu

je "trik"? Trika zapravo nema, već kada pokušamo "reducirati" jednu ili više dimenzija i pojednostaviti prikaz, tada može doći do svakojakih paradoksa; mi zapravo ne možemo jednoznačno i pouzdano predočavati beskonačno u konačnom, trodimenzionalno u dvodimenzionalnom, itd. Čitatelja kojeg zanimaju slična intelektualna gonetanja i neočekivane veze između apstraktne matematike, umjetnosti i glazbe upućujemo na odličnu knjigu Douglasa R. Hofstadtera "Gödel, Escher, Bach".

## ILUZIJA KRUŽNE OKTAVE

Naznaku sličnog paradoksa u glazbi nam je već odavno ponudio, a tko drugi nego – Johann Sebastian Bach u "Beskonačno uspinjućem kanonu" iz znamenite "Muzičke žrtve", koja upravo obiluje sjajnim primjerima baroknih kanona – najstrožeg i najtežeg oblika kontapunkta. U spomenutom "Kanonu" krug se "zatvara" oktavu više, pa iako

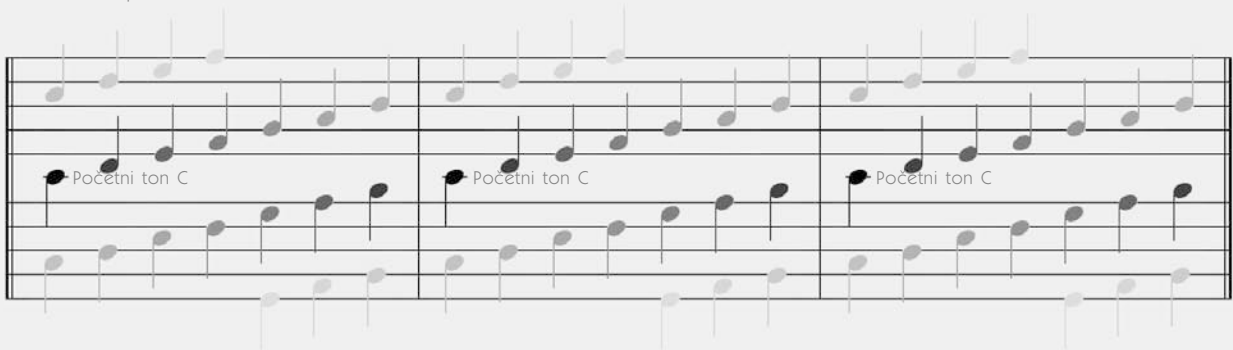
je efekt dojmljiv, iluzija ipak nije potpuna kao kod Penroseovih stepenica. Potpunu zvukovnu realizaciju odista zatvorene kružne oktave otkrio je 1964. godine Roger Shepard u kojoj je "lomljenje" neposredne veze između fizikalne frekvencije i našeg subjektivnog osjeta visine tona dovedeno do krajnjih mogućnosti. On je upotrijebio nizove paralelnih skala (četiri ili više) međusobno razmaknutih za cijelu oktavu, a postepenim stišavanjem tonova koji se "udaljavaju" od odabranog osnovnog tona, te istovremenim pojačavanjem glasnoće tonova koje se "približavaju" osnovnom tonu, dobiven je potpuno uvjerljiv subjektivni dojam povratka na početni ton. To je predočeno pojednostavljenim notnim zapisom u kojem glasnoća pojedinog tona korespondira intenzitetu crne boje, a na [www.unl.edu/secd/psychoa/pitchresource](http://www.unl.edu/secd/psychoa/pitchresource) internet stranica možete i poslušati primjer Shepardove kružne oktave.

Shepard je bio vrstan eksperimentator i na osnovu pokusa utvrdio je da mi daleko bolje određujemo tonalitet kompleksnih tonova od njihove pripadnosti određenoj oktavi, a to ga je učvrstilo u uvjerenju da je naša percepcija visine tona i timbra višedimenzionalna, tj. istovremeno ovisi o više parametara. Sličnog je mišljenja bio i Schönberg, koji kaže: *"Ne mislim da postoji tako velika razlika, kako se to obično tvrdi, između timbra i visine tona. Čini mi se da zvuk prvenstveno percipiramo preko njegovog timbra, a visina tona je tek jedna od njegovih dimenzija."* Do danas taj problem (više)dimenzionalnosti psihoakustičke obrade zvuka nije

Drugi i mnogo značajniji razlog je taj što u znanosti paradoksi ili čak i na prvi pogled manja (eksperimentalna) odstupanja od neke opće prihvaćene teorije mogu dati poticaj razvoju i generalizaciji te teorije ili njenom poptunom obaranju i zamjenjivanju novom teorijom. I odista, u predhodnim napisima vidjeli smo da su neki od paradoksa potkrijepili postojeće teorije (subjektivni harmonici, dislocirana melodija), neki ukazali na sasvim nove mehanizme (subjektivni ritam, dislocirana oktava), a neki zagonetniji i nadalje će izazivati našu znatiželju (anatomska odzivna funkcija, kružna oktava).

Konačno, a to je bio i moj najvažniji razlog, smatrao sam da će takav pristup najizravnije učiniti upitnom našu sklonost da ono što ne poznajemo ili sasvim ne razumijemo nastojimo pojednostaviti, često i do apsurdna. To je posebice izraženo kod određene grupe tehnofila, koji svoja osobna uvjerenja ili predrasude nastoje "umotati" u tehničke argumente koji počesto stoje na klimavim nogama ne bi li im tako dali veću uvjerljivost. Mislim da su ovi moji napisi učinili posve razvidnim koliko je naš slušni mehanizam složen (čitajte: mozak), te da mi, usprkos vrlo velikom napretku psihoakustike u posljednjih desetak godina, još mnogo toga ne razumijemo. Stoga niti možemo, niti smijemo prejudicirati kako će netko čuti i doživjeti glazbu ili njezinu reprodukciju kroz audiosistem na isti ili sličan način kao mi, a pogotovo ne arbitrirati tko je u pravu. Naravno da postoje objektivni parametri koji pokazuju izvrsnost nekoga ili nečega, naravno da postoje i subje-

Uzlazna Shepardova skala »»»»»»



«««««« Silazna Shepardova skala

razriješen, a glede toga onda niti ne možemo u potpunosti razumijeti mehanizam određivanja visine kompleksnih tonova ili razlog zašto naš mozak ponekad odluči "fiksirati" subjektivnu visinu tona u odnosu na fizikalnu frekvenciju osnovnog harmonika, čak i kad on nedostaje (pročitajte više o tome u 7. broju WAM-a o "Subjektivnim tonovima i harmonicima"), a ponekad na frekvenciju jednog ili više dominantnih harmonika u kompleksnom tonu.

## ZAKLJUČAK

Možda se pitate zašto sam se odlučio upoznati vas s razvojem moderne psihoakustike služeći se zagonetkama iz čudnog svijeta slušnih paradoksa i iluzija? Razvidno je da je to moguće učiniti na mnogo različitih načina, no meni se ovakav, inače pomalo neuobičajen, pristup učinio pogodnim iz barem tri razloga.

Prvo, kako i sam volim trilere i zagonetke, takav pristup mi se učinio najprikladnijim glede izbjegavanja uobičajenog suhoparnog "znanstvenog" pristupa toj kompleksnoj temi, a da se istovremeno ipak mogu obraditi i pojasniti i najsloženiji auditorni fenomeni. Stoga se nadam da su vam napisi bili zanimljivi i da sam uspješno ispunio barem taj dio posla.

ktivni faktori koji obuhvaćaju nečija osobna iskustva, ukuse i želje, a problemi i nesporazumi nastaju tek onda kad bilo jedni, bilo drugi argumenti počnu zalaziti u veliku "sivu" zonu onoga što mi u trenutku ne znamo ili ne možemo znati, a koja se nalazi između ta dva uvijek prisutna pola. Potkrijepimo to jednostavnim primjerima: ustvrdite li da je skladatelj A bolji orkestrator (za to postoje prilično objektivni parametri) od podjednako cijenjenog skladatelja B, ili da više volite skladatelja A od skladatelja B, to su valjani sudovi, ali ne i sud da se, ako netko ne čuje da je skladatelj A bolji od skladatelja B, radi o pomanjkanju ukusa i sluha. U audiosferi valjani sudovi bi bili: zvučnik A ima veću ekstenziju basa od zvučnika B ili draži mi je topliji zvuk zvučnika A od naglašene tranzijentnosti zvučnika B, ali ne i sud zvučnik A bolji od zvučnika B jer bolje reproducira duboke basove. Na tim vrlo očitim, a tako često "zaboravljenim" činjenicama zasniva se i uređivačka politika časopisa. Naš prvenstveni cilj je predano upoznavanje čitatelja s ponajboljim iz svijeta glazbe i audija, a ne nametanje gotovih i posve definiranih mišljenja i sudova. Stoga je glavni smisao i ovih članaka o vezi između glazbe i njezine percepcije dodatno informirati čitatelja kako bi on mogao kritički i samostalno suditi o onome što pišemo i potom donositi informirane odluke.