

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I
BRODOGRADNJE**

ZVUČNE KULISE

Split, srpanj 2023.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I
BRODOGRADNJE



Sveučilišni prijediplomski studij: **Računarstvo**

Oznaka programa: 120

Akadska godina: 2022./2023.

Ime i prezime: VLAHO PETKOVIĆ

Broj indeksa: 171-2020

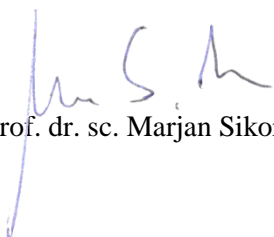
ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Naslov: **ZVUČNE KULISE**

Zadatak: Proučiti i opisati pojam zvučnih kulisa. Proučiti i opisati ISO standard TS 12913-2:2018 - O akustici soundscapea. Istraživanjem dostupne literature izdvojiti tri primjera zvučnih kulisa i opisati ih.

Datum obrane: 21.7.2023.

Mentor:



prof. dr. sc. Marjan Sikora

IZJAVA

Ovom izjavom potvrđujem da sam završni rad s naslovom „**Zvučne kulise**“ pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Marjana Sikore pisao samostalno, primijenivši znanja i vještine stečene tijekom studiranja na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, kao i metodologiju znanstveno-istraživačkog rada te uz korištenje literature koja je navedena u radu. Spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti drugih autora koje sam izravno ili parafrizirajući naveo u završnom radu citirao sam i povezao s korištenim bibliografskim jedinicama.

Student



Vlaho Petković

Sadržaj

1	UVOD	1
2	FIZIKALNA AKUSTIKA	2
2.1	Temeljni akustički zakoni.....	2
2.1.1	Poissonov plinski zakon	4
2.1.2	Akustički zakon održanja mase – jednačba kontinuiteta	5
2.1.3	Eulerov zakon gibanja fluida.....	6
2.2	Akustička valna jednačba i brzina zvuka	9
2.2.1	Akustička valna jednačba	9
2.2.2	Brzina zvuka.....	11
2.3	Razina zvučnog tlaka, akustičke snage i akustičkog intenziteta	12
3	SLUŠNA AKUSTIKA	14
3.1	Uho	14
3.2	Slušni proces.....	14
3.3	Svojstva sluha	16
3.3.1	Pragovi sluha	16
3.3.2	Glasnoća, razina glasnoće i razina tlaka.....	19
3.3.3	Binauralno lokaliziranje	21
4	ZVUČNE KULISE	25
5	SERIJA ISO 12913 STANDARDA.....	28
5.1	ISO/TS standard 12913-2	28
5.1.1	Deskriptori i indikatori	28
5.1.2	Prikupljanje podataka	30
5.2	ISO/TS standard 12913-3	32
5.2.1	Vrste i analiza prikupljenih podataka	32
6	PRIMJERI ZVUČNIH KULISA	34
6.1	Zvučna kulisa filma	34
6.2	Zvučna kulisa luke Ancona	37
6.3	Stvaranje uronjene elektroničke glazbe iz zvučne aktivnosti zvučnih kulisa.....	40
7	ZAKLJUČAK	42
	LITERATURA.....	43
	PRILOZI.....	44
	Popis oznaka i kratica.....	44
	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	46

1 UVOD

Rad se bavi temom zvučnih kulisa. Pruža definiciju zvučnih kulisa, opisuje metode kojim se one proučavaju i kojim se prikupljaju podaci te se bavi analizom prikupljenih podataka. Zvučna kulisa ili na engleskom jeziku „soundscape“, obuhvaća jednu veliku mrežu zvukova koja okružuje našu svakodnevicu. Zvučne kulise obuhvaćaju široki spektar zvukova, poput cvrkuta ptica, šuma lišća, ljudskih aktivnosti i urbanih zvukova.

Zvučna kulisa bitno utječe na čovjekove emocije. Okolina, kroz svoje zvukove, može čovjeka opustiti, može ga nadahnuti, a također može izazvati stres i neugodne osjećaje. Samo proučavanje zvučnih kulisa, daje bolji uvid u povezanost između zvuka i čovjekovih fizičkih i emocionalnih doživljaja.

Rad je podjeljen na sedam poglavlja. U drugom i trećem poglavlju, koja su uvodna poglavlja u temu zvučnih kulisa, objašnjena su fizikalna i psihoakustička svojstva zvuka. Četvrto poglavlje pruža službenu definiciju zvučnih kulisa, dok peto poglavlje opisuje metode kojima se prikupljaju i analiziraju podaci. Zatim, u šestom poglavlju opisana su tri primjera zvučnih kulisa te je u posljednjem poglavlju iznesen zaključak svega navedenoga.

2 FIZIKALNA AKUSTIKA

Zvuk se definira kao nešto što čovjek čuje. Fizikalno, zvuk je titranje elastične tvari
Pogreška! Izvor reference nije pronađen.

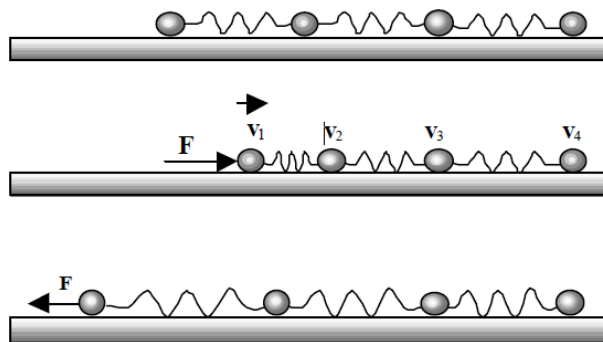
Akustika je znanost o zvuku. Proučava zvuk kao fizikalnu pojavu, kao stimulans za osjetni doživljaj sluha i doživljajem zvuka u čovjekovoj svijesti. Dijeli se na fizikalnu ili objektivnu, psihoakustiku ili subjektivnu akustiku i fiziološku akustiku.

Elektroakustika grana je elektrotehnike koja proučava pretvorbu zvuka u električne oscilacije i obrnuto. Ona proučava elektro-akustičke pretvarače (zvučnike, mikrofone...), snimanje zvuka i njegovu reprodukciju, prijenos reproduciranog zvuka u otvorenom prostoru i zatvorenim prostorijama (ozvučavanje), akustičku obradu prostorija, metode borbe protiv buke, stvaranje zvuka elektroničkim putem i njegovu primjenu u tehničke svrhe (infrazvuk i ultrazvuk, podvodna akustika, medicina).

2.1 Temeljni akustički zakoni

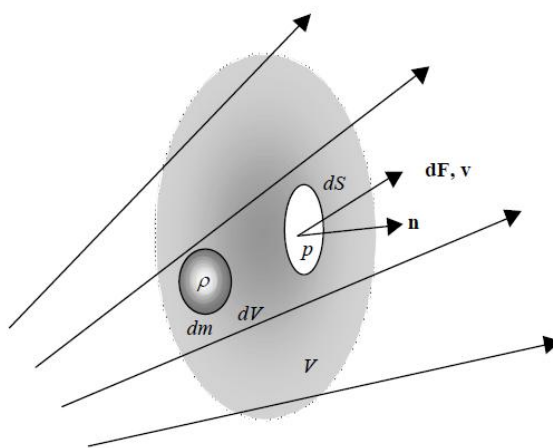
Titranje se u fluidima širi longitudinalno. Drugim riječima, smjer titranja čestica isti je kao i smjer sile koja na njih djeluje. Kod titranja čestica krutih elastičnih tijela može nastati i transverzalno titranje. Longitudinalno titranje prikazano je na *Slika 2-1*. Kuglice opisuju molekule fluida, a kuglice su međusobno spojene oprugama koje opisuju elastičnu vezu molekula. Djelovanjem vanjske sile F brzina čestica jednaka je v koja ovisi o reakciji tvari (sile inercije i elastičnosti).

Ovakav sustav nije prikladan za analizu akustičkih pojava. Razlog tome je što bi trebalo analizirati dinamičko ponašanje svake pojedine čestice. Za izučavanje širenja zvuka u zraku i tekućini prikladnije su metode mehanike fluida, a za izučavanje titranja u elastičnim krutim stvarima koriste znanja iz teorije elastičnosti.



Slika 2-1 Model elastično spojenih masa za prikazivanje longitudinalnog titranja

Tangencijalni i normalni tlak mogu postojati na površini fluida. Definiraju se kao omjer sile i površine na koju sila djeluje. Svojstvo fluida da pruža otpor promjeni oblika zbog utjecaja tangencijalnih napona naziva se viskoznost fluida (otpor na posmicanje), a svojstvo da se opire promjeni oblika zbog tlaka naziva se stlačivost ili kompresibilnost fluida. Viskoznost je funkcija temperature. Rezultat je kohezivnih sila i međusobne izmjene kinetičke energije molekule. Utjecaj viskoznosti je od manjeg značaja za izučavanje zvučnih pojava u slobodnom prostoru, a značajan je samo pri prolasku zvuka kroz uske otvore u krutim poroznim tijelima. Zvuk nastaje zbog normalnih napona. Mehanizam širenja zvuka je u elastičnim vezama među molekulama. Zbog promjene tlaka, dolazi do promjene gustoće fluida i brzine gibanja čestica fluida.



Slika 2-2 Definiranje temeljnih veličina za analizu zvučnih pojava

Na Slika 2-2 prikazano je strujanje fluida silnicama koje imaju smjer brzine čestica fluida. Promatra se ponašanje fluida u nekom volumenu V , koji ima površinu S . Za svaki dovoljno mali volumen dV , koji sadrži elementarnu masu dm , definirana je gustoća fluida $\rho = dm/dV$.

Uzima se da su na dovoljno maloj elementarnoj površini dS sila dF i brzina v konstantne. Za tu se površinu definira tlak kao omjer normalne sile dFn i površine dS . Pri gibanju čestica dolazi do protoka tvari kroz tu površinu. Taj se protok opisuje umnoškom površine i normalne komponente brzine ($q = v_n dS$), a naziva se i volumna brzina jer ima dimenziju m^3/s .

Temeljni fizikalni zakoni pomoću kojih se vrši analiza akustičkog titranja u prostoru su:

1. Poissonov plinski zakon
2. Zakon održanja mase (jednadžba kontinuiteta)
3. Eulerov zakon gibanja fluida (jednadžba gibanja)

Akustičko titranje izaziva promjene tlaka p i gustoće fluida ρ koje su manje od statičkih vrijednosti (p_0, ρ_0) određene gravitacijskom silom:

$$\begin{aligned} p_{uk}(t) &= p_0 + p(t), & (p_0 \gg p) \\ \rho_{uk}(t) &= \rho_0 + \rho(t), & (\rho_0 \gg \rho) \end{aligned}$$

gdje su p_{uk} i ρ_{uk} ukupne vrijednosti

2.1.1 Poissonov plinski zakon

Čestice titranjem mijenjaju temperaturu. Njihovim zbijanjem temperatura im se povećava, a razrjeđivanjem se smanjuje. U akustičkim titranjima izmjenjuju se stanja zbijanja i razrjeđivanja zraka frekvencijom koja je dovoljno velika da ne dolazi do dovođenja ni odvođenja topline sa strane. U termodinamici se ovakva zbivanja zovu adijabatski procesi te za njih vrijedi Poissonov plinski zakon:

$$\frac{p_{uk}}{\rho_{uk}^\gamma} = \frac{p_0}{\rho_0^\gamma} = konst = K \quad (2.1)$$

gdje je γ konstanta koja predstavlja omjer specifičnih toplinskih kapaciteta pri stalnom tlaku i volumenu plina ($\gamma = c_p/c_v$). U zraku njena vrijednost iznosi 1,4.

Treba utvrditi funkcijsku ovisnost tlaka i gustoće $p=f(\rho)$. Koristi se razvoj u Taylorov red:

$$p = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_0 \rho + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial \rho^2}\right)_0 \rho^2 + \dots$$

(2.2)

gdje indeks označava razvoj funkcije oko vrijednosti $\rho=0$ odnosno $\rho_{uk}=\rho_0$. Derivacijom Poissonove jednadžbe dobije se da je koeficijent prvog člana konstanta:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_0 = K\gamma\rho_0^{\gamma-1} = \gamma \frac{p_0}{\rho_0} = c^2$$

(2.3)

Konstanta c^2 kvadrat je brzine kojom se širi akustičko gibanje. Ostali članovi reda mogu se zanemariti. Pri akustičkom titranju promjene tlaka i gustoće su proporcionalni:

$$p = c^2 \rho$$

(2.4)

2.1.2 Akustički zakon održanja mase – jednadžba kontinuiteta

Zakon održanja mase proizlazi iz činjenice neuništivosti mase. Promjena mase u jedinici vremena u nekom volumenu mora biti jednaka količini mase koja se unese ili iznese iz volumena.

Promjena mase u tom volumenu u jedinici vremena iznosi:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho_{uk} dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV$$

(2.5)

Količina mase koja istječe iz volumena jednaka je ukupnom protoku mase kroz površinu s

$$\int_S \rho_{uk} v dS = \rho_0 \int_S v dS + \int_S \rho v dS = \rho_0 \int_S v dS$$

(2.6)

Jednadžba kontinuiteta glasi:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \rho_0 \int_S v dS = 0$$

(2.7)

Ovaj zakon može se iskazati i u diferencijalnom obliku, tako da se primjeni Gaussov teorem

$$\int_S v dS = \int_V \nabla \cdot v dV$$

(2.8)

i izvrši integriranje po volumenu V . Dobije se:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho_0 \nabla \cdot v = 0$$

(2.9)

Ako se u ovu jednadžbu uvrsti $\rho = p/c^2$ dobije se zakon kontinuiteta izražen pomoću akustičkog tlaka:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho_0 c^2 \nabla \cdot v = 0$$

(2.10)

2.1.3 Eulerov zakon gibanja fluida

Opći zakon klasične mehanike kontinuuma kaže da je umnožak mase i akceleracije centra mase čestica fluida, odnosno inercijalna sila fluida jednaka zbroju sila kojima je ta masa izložena. Ovaj zakon naziva se Eulerov zakon gibanja fluida i ekvivalentan je drugom Newtonovom zakonu. Na *Slika 2-3* prikazano je djelovanje sila na elementarni volumen fluida. Sile su:

- volumna sila inercije fluida koja je jednaka umnošku mase i akceleracije

$$f_i = \rho_{uk} \frac{dv}{dt} dV$$

(2.11)

- volumna sila gravitacije, gdje je g gravitacijska konstanta ($9,81 \text{ m/s}^2$)

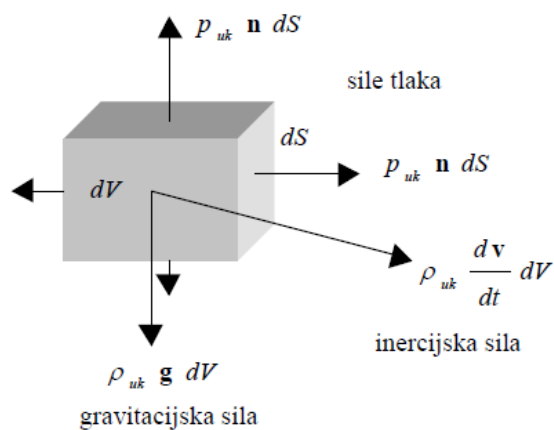
$$f_v = \rho_{uk} g dV$$

(2.12)

- površinske sile tlaka

$$f_p = p_{uk} n dS$$

(2.13)



Slika 2-3 Djelovanje sila na elementarni volume fluida

Eulerov zakon gibanja fluida dobije se integriranjem volumnih sila po volumenu V i površinskih sila po površini volumena S , tj.

$$\int_V \rho_{uk} \frac{dv}{dt} dV = - \int_S p_{uk} n dS + \int_V \rho_{uk} g dV$$

(2.14)

Predznak “-“, ispred površinske sile, proizvoljno je odabran da bi se zadovoljio princip akcije i reakcije sila.

U akustičkim se analizama može zanemariti djelovanje gravitacijske sile i sile statičkog tlaka p_0 koji djeluje na površini tog volumena, u sljedećem razmatranju.

Ako se uvrsti $\rho_{uk} = \rho_0 + \rho$ i $p_{uk} = p_0 + p$, te odstrani statičke vrijednosti dobije se:

$$\int_V \rho \frac{dv}{dt} dV + \rho_0 \int_V \frac{dv}{dt} dV = - \int_S p n dS + \int_V \rho g dV \quad (2.15)$$

Utjecaj prvog člana s lijeve strane jednadžbe je zanemariv jer je $\rho_0 \gg \rho$, pa jednadžba gibanja glasi:

$$\rho_0 \int_V \frac{dv}{dt} dV + \int_S p n dS = \int_V \rho g dV \quad (2.16)$$

Nakon primjene Gaussovog teorema

$$\int_S p n dS = \int_V \nabla p dV \quad (2.17)$$

i integriranja po volumenu V , dobije se:

$$\frac{dv}{dt} = - \frac{\nabla p}{\rho_0} + \frac{\rho}{\rho_0} g \quad (2.18)$$

Ovaj izraz predstavlja jednadžbu gibanja u diferencijalnom obliku, a pokazuje da akceleraciju čestica zraka uzrokuje gradijent tlaka, a znatno manjim dijelom i gravitacijska sila. U

akustičkim analizama se zanemaruje utjecaj gravitacijske sile jer je $\rho/\rho_0 \ll 1$, pa se jednačba gibanja fluida koristi u obliku:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\nabla p}{\rho_0}$$

(2.19)

ili

$$\rho_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \text{grad } p = 0$$

(2.20)

Totalni diferencijal dv/dt zamijenjen je s parcijalnom derivacijom jer je kod titranja malih iznosa parcijalna derivacija po vremenu jednaka ukupnoj promjeni u vremenu.

2.2 Akustička valna jednačba i brzina zvuka

2.2.1 Akustička valna jednačba

Iz temeljnih jednačbi linearne akustike, koje su opisane u prethodnom potpoglavlju, izvodi se najvažnija akustička jednačba – valna jednačba:

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

(2.21)

Dobije se tako da se u jednačbu kontinuiteta prvo uvrsti $p = \rho c^2$, zatim se jednačba kontinuiteta derivira po vremenu, i u nju uvrsti vrijednost $\partial v/\partial t$ iz Eulerove jednačbe.

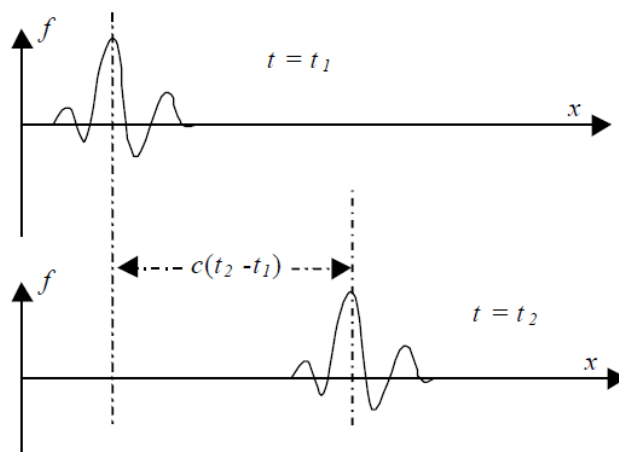
Moguća rješenja ove jednačbe mogu se analizirati na jednostavnom primjeru u kojem se pretpostavlja da je tlak funkcija vremena i samo jedne prostorne koordinate, tj. $p = p(x, t)$.

Tada valna jednačba ima oblik homogene diferencijalne jednačbe drugog reda:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

(2.22)

gdje su f i g funkcije proizvoljnog oblika. Ovo rješenje predstavlja dva akustička vala, jedan val vremenom putuje u smjeru osi x i ima oblik funkcije f , a drugi val putuje u suprotnom smjeru i ima oblik funkcije g . Ponašanje putujućeg vala f prikazano je na *Slika*.



Slika 2-4 Prikaz putujućeg vala

Zvučni tlak je u vremenu $t=t_1$ raspodijeljen u prostoru u obliku funkcije $f(t_1-x/c)$. Nakon nekog vremena, odnosno u trenutku $t=t_2$, zvučni val će biti raspoređen u prostoru u obliku funkcije $f(t_2-x/c)$. Oblik raspodjele zvučnog tlaka u prostoru bit će isti kao i prije, ali će sve vrijednosti biti pomaknute u prostoru za iznos $c(t_2-t_1)$. Zbog toga kažemo da zvučni val putuje brzinom c .

Do istog zaključka možemo doći sljedećim razmatranjem. Val koji opisuje funkcija f , uvijek će imati istu vrijednost u točkama gdje je

$$t - \frac{x}{c} = konst.$$

(2.23)

Deriviramo li ovu jednadžbu po t , dobije se: $c = dx/dt$, što je definicijski izraz za brzinu.

Za val koji je opisan funkcijom g vrijedi:

$$t + \frac{x}{c} = konst.$$

(2.24)

pa deriviranjem po vremenu dobijemo $c = -dx/dt$, što bi značilo da ovaj val putuje negativnom brzinom. Zapravo, radi se o tome da taj val putuje u smjeru negativnih vrijednosti osi x .

2.2.2 Brzina zvuka

Brzina vala određena je izrazom:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}}$$

(2.25)

Omjer statičkog tlaka i gustoće može se odrediti iz Boyleovog zakona stanja idealnog plina, koji glasi:

$$\frac{p}{\rho} = RT$$

(2.26)

gdje je T apsolutna temperatura (u kelvinima), a R je plinska konstanta koja za idealni suhi zrak iznosi 287 J/(K kg). Uvrštavanjem Boyleovog zakona u izraz za brzinu zvuka dobije se:

$$c = \sqrt{\gamma RT}$$

(2.27)

Prema ovom izrazu brzina zvuka pri 0° C iznosi $c_0 = 331$ m/s, a pri 20° C iznosi 343 m/s. Razvijajući prethodni izraz u red u točki $T = 273$ K, može se napisati izraz za približan proračun brzine zvuka u funkciji temperature u stupnjevima Celzijusa:

$$c \left[\frac{m}{s} \right] = 331 + 0,6T[^{\circ}C] \quad (2.28)$$

U vlažnom zraku mijenja se vrijednost plinske konstante, a brzina vala se povećava. To povećanje iznosi maksimalno 1,5%.

2.3 Razina zvučnog tlaka, akustičke snage i akustičkog intenziteta

Subjektivnim ispitivanjem utvrđeno je da čovjek percipira razinu glasnoće zvuka proporcionalno logaritmu iznosa zvučnog tlaka. Za izražavanje glasnoće zvuka, koji stvara tlak p , koristi veličina koja se naziva razina zvučnog tlaka L . Izračunava se prema formuli:

$$L = 20 \log \left(\frac{|p|}{p_{ref}} \right) \quad (2.29)$$

u dB (decibel), gdje je $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ razina tlaka koja odgovara najmanjoj vrijednosti tlaka koju čovjek može čuti pri sinusnoj pobudi frekvencije 1 kHz (prag čujnosti). Kada je iznos zvučnog tlaka jednak ovoj vrijednosti, tada razina tlaka iznosi 0 dB.

Akustički intenzitet ravnog vala, pri pragu čujnosti iznosi $I_{ref} = p^2/\rho_0 c = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, pa se često koristi i veličina koja se naziva razinom zvučnog intenziteta L_I . Mjeri se u decibelima te je definirana izrazom:

$$L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \quad (2.30)$$

U polju ravnog vala razina zvučnog intenziteta daje istu vrijednost kao i razina zvučnog tlaka jer tada vrijedi:

$$10\log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right) = 10\log\left(\frac{|p|^2/\rho_0 c}{p_{ref}^2/\rho_0 c}\right) = 20\log\left(\frac{|p|}{p_{ref}}\right)$$

(2.31)

Analogno s gornjim definicijama, razina zvučne snage L_p definira se izrazom:

$$L_p = 10\log\left(\frac{P_A}{P_{ref}}\right)$$

(2.32)

te se izražava u db (decibelima), dok P_{ref} iznosi 10^{-12} W.

Za referentnu vrijednost snage uzeta je snaga koju prenosi ravni val kroz jediničnu površinu pri tlaku od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, a to odgovara vrijednosti od 10^{-12} W.

Psihoakustičko značenje ovih veličina objašnjeno je u idućem poglavlju o slušnoj akustici.

3 SLUŠNA AKUSTIKA

Slušna akustika dio je akustike koja proučava način na koji čovjek prima zvučni podražaj (zvučna senzacija), način na koji taj isti podražaj registrira (percepcija zvuka) i koji smisao taj zvuk ima, odnosno koji je kognitivni rezultat slušanja.

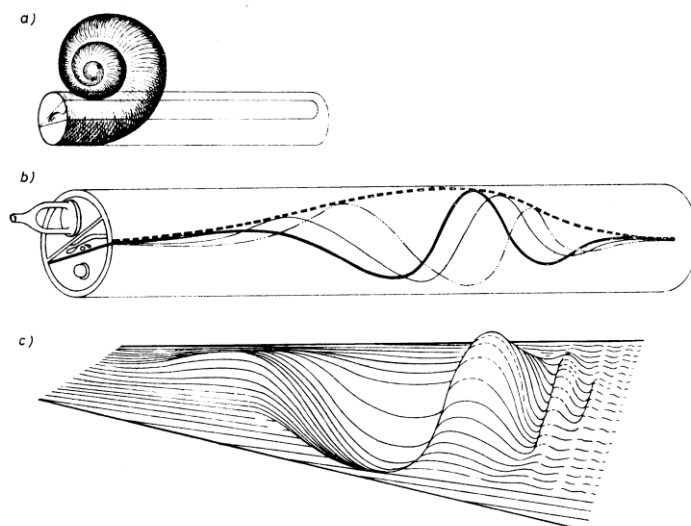
3.1 Uho

Prijemnik zvučnih valova je uho. Ono fizikalno radi na sličnom principu kao i mikrofoni. Uho akustičku energiju pretvara u električnu. Također, obavlja i funkciju analizatora zvuka u vremenskoj i frekvencijskoj domeni (slušni sustav je vrlo selektivan frekvencijski analizator, određivač smjera zvučnog izvora, indikator glasnoće, visine i boje tona **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.** Odnos između zvučnog tlaka koji uho može podnijeti, a da se pritom ne ošteti, i zvučnog tlaka koji tek što se može zamijeniti, iznosi više od $1:10^6$. U području najveće osjetljivosti uho reagira na zvučni tlak koji je 10^{-10} puta niži od atmosferskog. Uz taj zvučni tlak bubnjić titra amplitudom manjom od 10^{-9} cm, što je jedna desetina promjera najmanjeg atoma.

3.2 Slušni proces

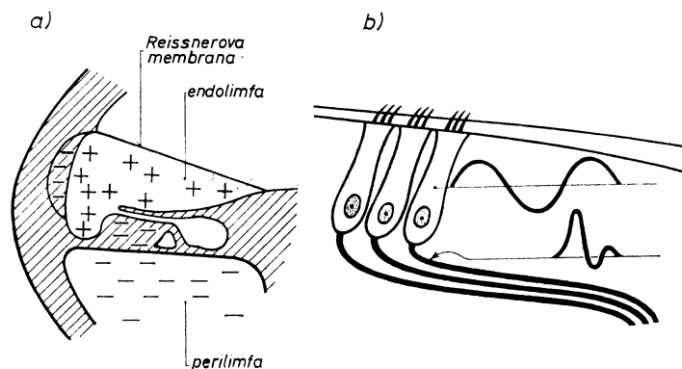
U principu je tok slušnog procesa poznat. Međutim, znanost i dan danas ne može sigurno odgovoriti na mnoga pitanja. Slijedi kratki opis slušnog procesa.

Slušne košćice prenose titraje bubnjića na pločicu ovalnog prozorčića. Zatim, titranje se prenosi na tekućinu u unutarnjem uhu. Titranje bazilarne membrane uzrokovano je hidrauličkim tlačnim valom. Membrana je na početnom dijelu tvrda i zategnuta, a na kraju mlohava i debela, stoga mjesto njezinih najvećih titrajnih pomaka ovisno je o frekvenciji. Pod utjecajem hidrauličkog tlačnog vala nastaje na njoj putujući val. Amplituda samog vala postupno se povećava, postiže maksimum, a onda naglo pada. Visoke frekvencije uzrok su najvećeg gibanja na početnom dijelu, a krajnji dio pobuđuje se niskim frekvencijama. Frekvenciju primljenog zvuka uho određuje po mjestu maksimuma. Bazilarna membrana prostorno, po svojoj duljini, razlaže kompleksni val u sinusoidne komponente – ona je spektralni analizator slušnog organa.



Slika 3-1 a) Pužnica normalno savijena i b) razmotana c) Putujući val na membrani

Cortijev organ (osjetljivi slušni mehanizam iznad bazilarne membrane) sadrži cilijarne stanice iz kojih strše dlačice, tj. cilije. Unutarnji red sadrži oko 3500 stanica, a vanjska tri reda sadrže oko 20 000. Vrhovi dlačica zabodeni su u tektorijsku membranu koja se nalazi iznad njih. Prilikom savijanja bazilarne membrane, vrši se deformacija dlačica na različite načine. Elektricitet se stvara u cilijarnim stanicama, uzrokovan mehaničkim naprežanjem. Ti električni signali podražuju slušni živac. Cilijarne su stanice prema okolnoj tekućini nabijene na negativni istosmjerni potencijal od oko 80 mV. Upravo je to razlog da za vrijeme dok nema akustičkog podražaja kroz njih teče konstantna istosmjerna struja. Preko cilijarnih stanica akustički signali moduliraju tu struju. Prikluče li se elektrode dobiva se struja kojoj je valni oblik jednak onome što ga ima akustički signal. Ukoliko se radi o govornom signalu, u reprodukciji putem pojačala i zvučnika govor je razumljiv. Ovakva struja ne protječe kroz živac, već je njegova struja impulsna. Ono prvo je kohlearna mikrofonska struja, a drugo, kao njezina posljedica, živčana akciona struja. Dakle, slušni živac u mozak ne prenosi struje valnog oblika akustičkog signala, nego strujne impulse. Signal je pulsno frekvencijski moduliran i prenosi se u kodiranom obliku. Brzina kojom impuls prolazi kroz živac varira između 1 do 100 m/s, ovisno o njegovom presjeku, ali je ona u pojedinoj živčanoj niti konstantna.



Slika 3-2 a) Raspodjela električnog naboja u kohleji b) Uz sinusoidni zvučni tlak električni signal je u cilijarnim stanicama također sinusoidan. No, u živčanim nitima koje vode u mozak električni je signal impulsan.

Slušni živac koji povezuje uho i mozak zapravo je snop živčanih niti kojih ima oko trideset tisuća te u cilijarnim stanicama imaju živčane završetke, tzv. neurone. Neuron se aktivira i šalje električne impulse ukoliko je podražaj dovoljno jak. Reakcije nema ako je podražaj slab. Veći broj neurona aktivira se jačim zvučnim signalom. Neuronski impulsi imaju praktički jednake vršne vrijednosti. Broj impulsa u sekundi ne premašuje 400, ali u početnoj desetinki sekunde poraste i na 1000. To je najveći broj impulsa što ga može poslati jedan neuron jer se za vrijeme kraće od tisućinke sekunde živčana “baterija” ne može nabiti.

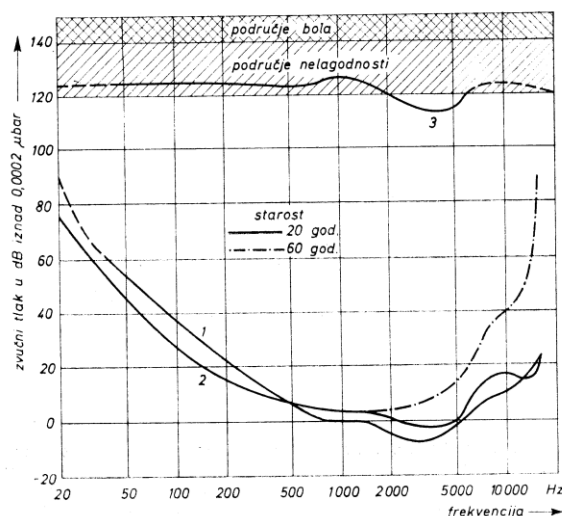
Slušni mehanizam informaciju o frekvenciji dobiva na temelju mjesta s najvećim titrajnim pomacima bazilarne membrane, na osnovi slike neuronskih impulse ili kombinacijom oba faktora. Iako unutarne uho samo po sebi nema veliku frekvencijsku selektivnost, analizatorska je sposobnost slušnog mehanizma velika. To se tumači djelovanjem negativne povratne veze od mozga prema uhu preko posebnih živčanih kanala. Kako mozak dekodira signale koje impulsima prima, i kako ih pretvara u slušni osjet, do danas nije razjašnjeno.

3.3 Svojstva sluha

3.3.1 Pragovi sluha

Svakoj čujnoj frekvenciji odgovara najniži zvučni tlak. Taj je tlak, kao što se vidi na Slika 3-3, ovisan o frekvenciji. Primjerice, da bi se na frekvenciji od 30 Hz došlo do praga čujnosti,

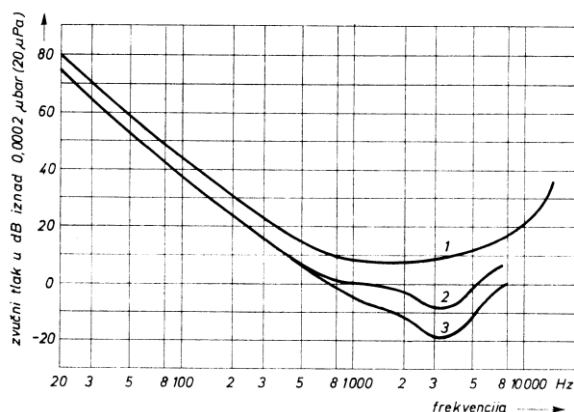
treba uhu privesti zvučni tlak koji je punih 60 dB viši od onoga na pragu čujnosti frekvencije od 1000 Hz.



Slika 3-3 Slušna ploha ljudskog uha. Krivulja 1 označava prag čujnosti prema Fletcheru, a krivulja 2 prema Robinsonu i Dadsonu. Krivulja 3 (prag bola, prema Fletcheru) praktička je granica do koje se uho smije opterećivati.

Prag čujnosti naglo se diže na visokofrekvencijskom području. Ne čuju svi ljudi iste frekvencije. To ovisi od slušatelja do slušatelja, pogotovo kod osoba starijih od 30 godina. Mladi ljudi čuju frekvencije do 20 000 Hz, neki čak i do 25 000 Hz, dok osobe s više od 50 godina rijetku čuju frekvencije iznad 15 000 Hz, a nekad ne čuju ni one iznad 10 000 Hz.

Krivulje pragova čujnosti za lijevo i desno uho nisu iste. Rijetko se poklapaju na nekom užem frekvencijskom području. Češće se sijeku na više mjesta. Prema tome, krivulja praga čujnosti snimljena slušanjem oba uha sastavljena je od dijelova krivulja boljeg uha.



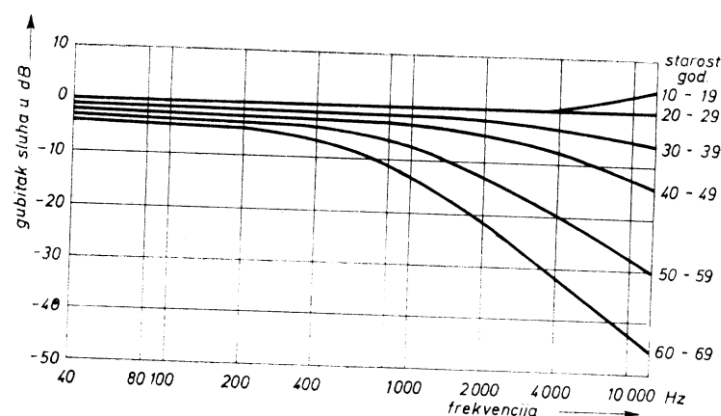
Slika 3-4 Krivulja 1 odnosi se na slušanje jednim uhom preko slušalice uz mjerenje zvučnog tlaka u blizini bubnjića. Krivulje 2 i 3 dobivene su binauralnim slušanjem, a zvučni tlak je mjeren u zvučnom polju bez prisustnosti ispitanika. Pri mjerenju krivulje 2 izvor je zvuka nio na stanovitaj udaljenosti ispred ispitanika.

Krivulja 3 dobivena je tako da je veći broj izvora zvuka bio u horizontalnoj ravni nepravilno raspoređen oko ispitanika (prema Beraneku).

Različito krivulja koji predložavaju ovisnost praga čujnosti o frekvenciji, natjerala je na odabir jedne frekvencije koja će biti referentna. Stoga je za prag čujnosti na frekvenciji 1000 Hz odabran zvučni intenzitet od 10^{-12} W/m². To odgovara zvučnom tlaku od 20 uPa.

Kako na pojedinim frekvencijama postoji najniži zvučni tlak koji uho još čuje kao ton, tako postoji i najviši zvučni tlak koji se na pojedinim frekvencijama smije privesti uhu, a da se ne osjeća neugodnost ili da se uho ne ošteti. Taj zvučni tlak zove se prag bola.

Krivulja praga čujnosti mijenja se s dobi. Na višim frekvencijama se sa starošću diže, odnosno u tom području se gubi sluh. Slika 3-5 prikazuje koliko u prosjeku iznosi gubitak sluha u osoba razne dobi. Tu se nalazi i referentni prag čujnosti kojeg imaju osobe između 20. i 30. godine.



Slika 3-5 Frekvencijske karakteristike gubitka sluha ovisno o dobi muških osoba. U žena je gubitak sluha općenito manji.

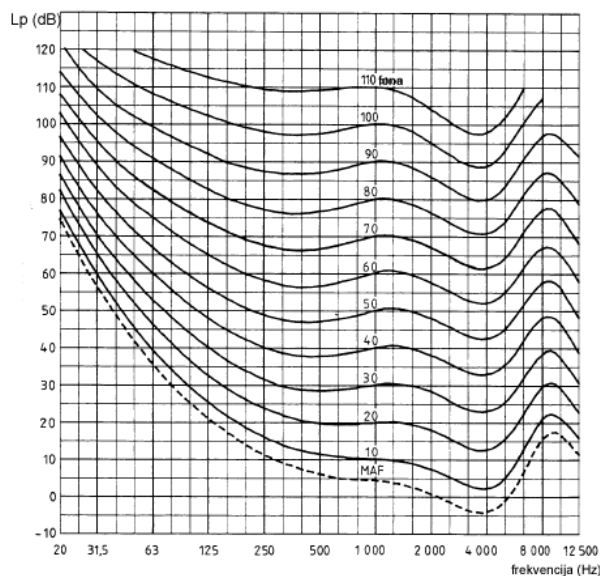
Promjene karakteristika praga čujnosti mogu nastati i zbog mehaničkog ili akustičkog oštećenja uha, zbog bolesti uha ili prirodnog defekta. Dvije su vrste naglušnosti ili gubitka sluha: konduktivna i perceptivna naglušnost. Prvoj je uzrok zatvaranje slušnog kanala ili mehanička nepokretljivost bubnjića i slušnih košćica. Pri tome najveći gubitak sluha ne premašuje 55 dB. Perceptivna naglušnost posljedica je degeneracije cilijarnih stanica ili živčanih završetaka u pužnici, odnosno degeneracije slušnog živca. Ima još i treća vrsta

naglušosti, koja je posljedica abnormalnog rada mozga. Konduktivna i perceptivna naglušost, ili kombinacija obiju, mnogo su češće.

3.3.2 Glasnoća, razina glasnoće i razina tlaka

Glasnoća nekog zvuka mjeri se uspoređujući je s glasnoćom tona frekvencije od 1000 Hz. Za ljestvicu zvučnih tlakova na toj frekvenciji uzeta je skala decibela, s nultom vrijednošću na referentnom zvučnom tlaku od 20 uPa. Mijenjajući zvučni tlak na toj frekvenciji može se na temelju slušnog uspoređivanja ugoditi ista glasnoća koju ima mjereni zvuk. Ukoliko se dobije da mjereni zvuk ima glasnoću kao ton frekvencije od 1000 Hz na razini zvučnog tlaka od 80 dB iznad referentne razine, onda se govori da mjereni zvuk ima glasnoću 80 fona.

Fon je mjerna jedinica za razinu glasnoće. Razina glasnoće u fonima jednaka je razini zvučnog tlaka samo za čiste tonove frekvencije 1000 Hz. Fonska vrijednost je različita od razine zvučnog tlaka za frekvencije tonova iznad i ispod 1000 Hz. Primjerice, ton frekvencije od 100 Hz ima glasnoću od 80 fona pri razini zvučnog tlaka od 85 dB. Rezultate mjerenja pomoću čistih tonova za cijelu slušnu plohu između praga čujnosti i praga bola prikazuju krivulje u dijagramu na *Slika 3-6*. Krivulje se zovu krivulje jednake razine glasnoće ili izofone.



Slika 3-6 Izofonske krivulje prema Robinsonu i Dadsonu (ISO-266)

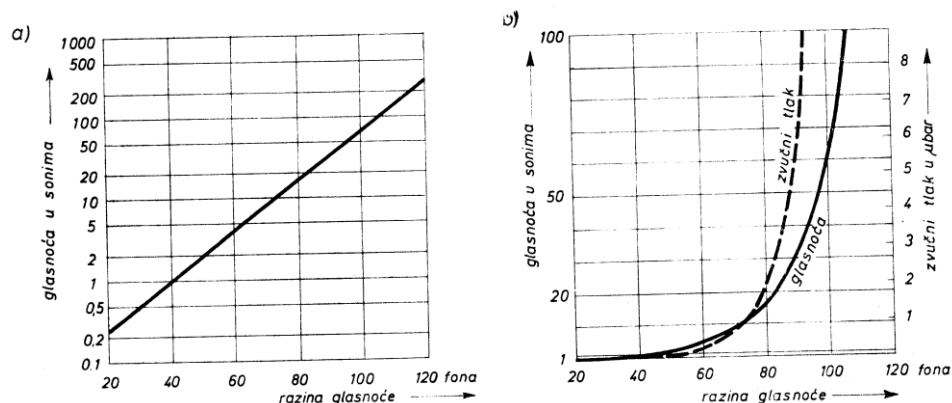
Međunarodna organizacija za standardizaciju ISO preporučila je krivulju na *Slika* radi različitih oblika izofona koje su razni autori dobivali svojim mjerenjima. Najniža, iscrtkana

krivulja ne izražava nultu vrijednost jer se pri frekvenciji od 1000 Hz nalazi oko 3 dB iznad referentne razine zvučnog flaka na kojoj počinje skala decibela. Upravo je ta krivulja prag čujnosti. Odgovara glasnoći od 4,2 fona te se u ISO standardu naziva MAF (minimum audible field).

Krivulje jednake razine glasnoće ili izofonske krivulje dobivene su za čiste tonove mjerenjem uz sljedeće uvjete:

- izvor zvuka mora biti točno ispred ispitanika;
- zvučni val koji dolazi do ispitanika treba biti slobodni progresivni ravni val;
- zvučni se tlak mjeri na mjestu ispitanika u njegovoj odsutnosti;
- sluša se s oba uha, binauralno;
- ispitanik je, otološki normalna osoba u dobi od 18 do 25 godina.

Različitim ispitivanjima utvrđeno je da se glasnoća izvora udvostručuje kada se trostruko poveća tlak, tj. kada se razina tlaka uveća za 10 dB. Neprikladnost fonske ljestvice za potrebe ocjenjivanja glasnoće uzrokovala je pronalazak druge skale koja bi polazila od osobina sluha te je uvedena nova mjerna jedinica – son. Za ovu mjernu jedinicu karakteristično je da dvostrukom povećanju glasnoće odgovara dvostruki broj sona. Prema definiciji, razini glasnoće od 40 fona odgovara glasnoća od 1 sona. Razini glasnoće od 50 fona odgovara glasnoća od 2 sona, 60 fona jednako je 4 sona, itd.



Slika 3-7 a) Ovisnost glasnoće u sonima o razini glasnoće u fonima. Skala sona je logaritamska (ISO preporuka R131-1959). b) zvučni tlak i glasnoća u sonima ovisno o razini glasnoće u fonima. Skala sona i tlakova u mikrobarima linearna.

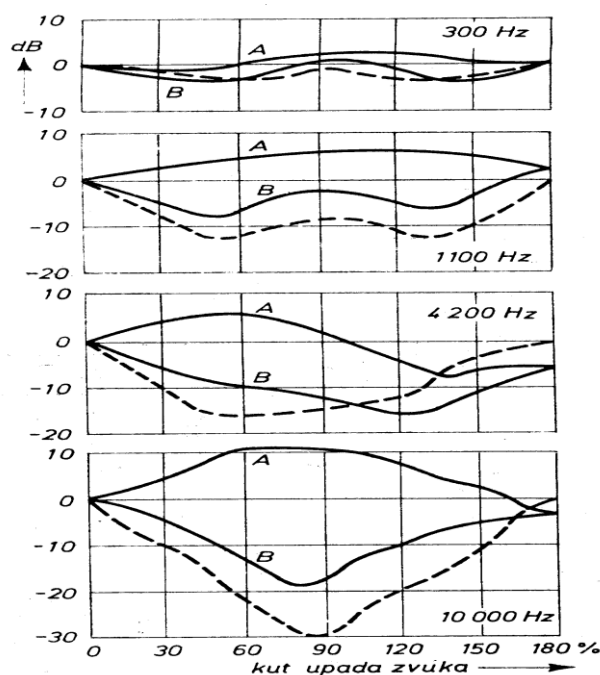
Kad se mijenja intenzitet nekog zvuka, mora promjena premašiti određenu granicu da bi uho to osjetilo kao promjenu glasnoće. Prag razlikovanja zvučnog intenziteta ovisi o frekvenciji i o jakosti, ali i o metodi mjerenja i nekim drugim činiocima.

3.3.3 Binauralno lokaliziranje

Čovjek svojim sluhom može s velikom točnošću odrediti udaljenost i smjer zvučnog izvora.

Binauralnom lokaliziranju podloga su tri faktora:

- razlika u glasnoći zbog zasjenjivanja glave i ušnih školjki;
- razlika u fazi pri kontinuiranom tonu jer jedno uho prima neki ton s drugačijom fazom nego drugo uho;
- vremenska razlika pri impulsnim zvučnim procesima jer zbog razlike u duljini puta impuls općenito ne stiže do oba uha istovremeno. **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**



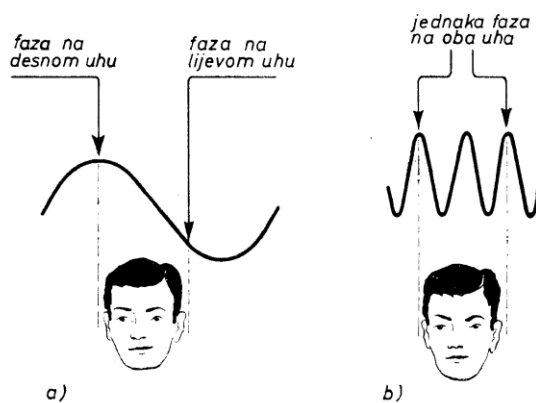
Slika 3-8 Promjene i razlike intenziteta zvuka u bližem (A) u udaljenijem (B) uhu kad izvor zvuka rotira u horizontalnoj ravnini oko glave. Crtkana karakteristika izražava razliku između A i B.

Na Slika 3-8 prikazane su usmjerne karakteristike uha za neke frekvencije. Na niskim frekvencijama valne duljine mnogo su veće od dimenzija glave, tako da ona nije zapreka širenju valova, pa usmjernog djelovanja nema. Međutim, što je frekvencija veća, ono će biti izraženije. Kod frekvencija iznad 300 Hz, prilikom lokaliziranja, razlika u intenzitetu između oba uha jako utječe. Intenzitet što ga prima uho okrenuto izvoru zvuka (A) i onaj u drugom

uhu (B) prikazani su ovisno o kutu upada zvuka u dijagramima na *Slika 3-8*. Iscrtkana linija prikazuje tu razliku izraženu u decibelima.

Fazna razlika među zvukovima koje prima pojedino uho funkcija je razmaka među ušiju, položaja glave prema izvoru zvuka i frekvencije. Kod niskih frekvencija, radi velike valne duljine, fazna razlika je malena te se lokaliziranje na osnovi faznih odnosa ne može postići. Pouzdano lokaliziranje na temelju fazne razlike dobiva se u području između 200 i 800 Hz. Na višim frekvencijama fazna razlika je veća od 180° i sigurno lokaliziranje na osnovi fazne razlike nije moguće.

Smjer izvora zvuka lakše je odrediti uz kompleksan zvuk nego uz čisti ton. U tom slučaju nastaje kombinirano lokaliziranje jer zvuk ima komponente po cijelom akustičkom području. Na višim je frekvencijama to posljedica razlike u glasnoći, a na nižim fazne razlike te je lokaliziranje uspješnije.

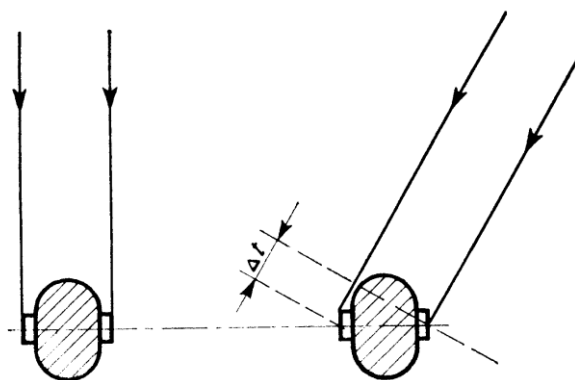


Slika 3-9 a) Razlika u fazi zvučnog vala za pojedino uho u području srednjih frekvencija. b) Na visokim frekvencijama može se u oba uha pojaviti jednaka faza.

Oba uha dobivaju jednake signale ukoliko je izvor u ravnini simetrije glave. Dugo je bio problem kako čovjek može odrediti kada je izvor ispred, kada iza, a kada gore. Slušna se razlika u tim smjerovima (i u međusmjerovima) pojavljuje zbog difrakcije zvučnih valova oko glave i ušnih školjki. Ona ima filtersko djelovanje, pa stoga frekventijska karakteristika širokopojasnog spektra dobiva izdizanja i spuštanja. Slušajući širokopojasni zvuk, kao govor, glazbu i šum, čovjek je u svom životu naučio povezivati različite spektralne karakteristike različitim vertikalnim smjerovima.

Raznim ispitivanjima utvrđeno je da izdizanje zvučne energije u području nižemu od 500 Hz i oko 3kHz uzrokuje lokaliziranje “ispred”. Na osnovi isticanja pojasa oko 1 kHz lokalizirat će se izvor zvuka “iza”. Isticanjem pojasa oko 8 kHz dobiva se lokaliziranje “gore”.

Lokaliziranje se postiže na osnovi vremenske razlike kojom pristiže zvuk u pojedino uho (*Slika 3-10*). Uho je toliko osjetljivo da se već vremenska razlika od tri stotisućinke sekunde (30 us), što odgovara kutu od 3°, zamjećuje kao pomak izvora zvuka iz ravnine simetrije glave. Vremenska razlika od oko 60×10^{-5} s daje dojam da se zvučni izvor nalazi sasvim bočno, pomaknut za 90°. Ukoliko je vremenska razlika veća od te vrijednosti, lokaliziranje izvora zvuka je nemoguće.



Slika 3-10 Uz kosi upad zvučnih zraka udaljenije uho prima signal sa zakašnjenjem Δt

Akustičku orijentaciju lijevo-desno omogućava zasjenjivanje uzrokovano glavom. Akustičku orijentaciju naprijed-nazad omogućava zasjenjivanje usnih školjki. U prostorijama se lokaliziranje dobiva na osnovu omjera izravnog i reflektiranog zvuka. Čovječji mozak može razlikovati, uz binauralno slušanje, direktni zvuk od reflektiranog. Pridavajući veću težinu izravnom zvuku on lokalizira izvor.

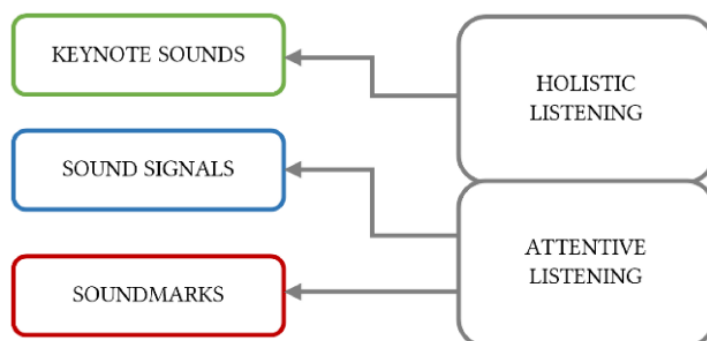
Osoba koja ima zdravo samo jedno uho može približno točno odrediti smjer izvora zvuka. Glava se lagano okreće i uho dolazi u različite položaje prema izvoru zvuka pa zbog različitog zasjenjivanja prima razne valne oblike. Takva osoba, uspoređujući zvuk koji upravo prima s onim zapamćenim, uspješno lokalizira izvor.

Uho, također, može ocjeniti i udaljenost izvora zvuka. Neovisno je o tome je li čovjek sluša s jednim ili oba uha. To je tranzijentni zvučni process koji sadrži komponente sasvim niskih frekvencija.

Binauralno lokaliziranje omogućava da neki zvuk posebno slušamo uz prisutnost drugog zvuka. Kad istodobno govori više ljudi, uspijeva nam bez većih teškoća slušati govor jednog od njih. Na osnovi te osobine čovječjeg sluha, nazvane “koktelparti-efekt”, prepoznaje se neki zvuk uz buku ili šum. Ako se diskusije na konferencijama snimaju dvokanalno i isto tako reproduciraju u slušalicama tipkačica, one ih lakše prenose na papir. Sve je to razlog preporuci da i nagluhi slušaju dvama slušnim aparatima kako bi se koristili binauralnim lokaliziranjem, i time poboljšali komunikaciju sa svojom okolinom. Binauralni efekt pomaže razumijevanju govora koji se sluša preko slušalica u bučnoj okolini.

4 ZVUČNE KULISE

Zvučna kulisa akustično je okruženje koje ljudi percipiraju [2]. Zvučna kulisa je zvuk ili kombinacija zvukova koji kreiraju ili izviru iz imerzivnog okruženja. Pojam “zvučna kulisa” prvi put je upotrijebio Southworth, urbanistički planer, 1969. godine kako bi se referirao na akustička svojstva gradova i pomogao ljudima povezati se s određenim prostorima. Southworth je testirao kako slijepe osobe koriste zvukove kako bi formirale takozvani zvučni identitet jedinstvenih područja u Bostonu. Sami pojam “zvučna kulisa” u današnjem obliku prezentirao je 1977. R. Murray Schafer u svojoj knjizi “*Tuning of the World*“, koji je definirao pojam “zvučne kulise” kao skup svih zvukova nekog okruženja koji dolaze do čovjekovog uha. Novija istraživanja promijenila su ljudsko shvaćanje zvučnih kulisa. Naime, zvučna kulisa nije isto što i zvuk. Također, treba razlikovati zvučne kulise od šireg akustičkog okruženja. Zvučna kulisa se ne formira samo zvučnom senzornom simulacijom, već i osobnim znanjem o prostoru koji je okružuje, uporabom tog prostora i njegovim prirodnim i kulturnim kontekstom. To znači da je zvučna kulisa mentalni koncept, a ne samo zvučno okruženje. Definicija zvučne kulise standardizirana je od strane ISO 2014. godine kao “akustičko okruženje koje osoba ili ljudi percipiraju doživljavaju i/ili razumiju u kontekstu”. Kao što je već rečeno, zvučna kulisa definirana je osobnim znanjem o prostoru koji je okružuje te uporabom tog prostora. To uključuje ključne zvukove (keynote sounds), zvučne signale (sound signals) i zvučna obilježja (soundmarks) (*Slika 4-1*). Ključni zvukovi (tonici) ekvivalent su glazbenom pojmu koji označava ključ neke skladbe. Ključni zvukovi možda nisu uvijek svjesno čujni, ali naglašavaju karakter zvučnog krajolika te ih stvaraju prirodni elementi kao što su vjetar, voda, šuma, ptice, kukci i životinje.



Slika 4-1 Povezanost između komponenti zvučnih kulisa i vrsti slušanja [2]

S druge strane, zvučni signali su oni na koje se usredotočava slušanje, kao što su zvona, sirene, zvižduci ili rogovi, dok su zvučna obilježja zvukovi koji su jedinstveni za područje zvučne kulise, poput orijentira u prirodi. Postoje dvije različite vrste slušanja zvučnih kulisa: pažljivo (*attentive*) i holističko (*holistic*). Pažljivo slušanje usmjereno je prepoznavanju pojedinačnih zvukova, dok je holističko usmjereno prema formiranju općeg dojma o zvučnom okruženju.

Osoba čuje zvukove različitih značenja slušajući zvučnu kulisu. Ta su značenja zapravo asocijacije koje se kreiraju u umu slušatelja radi specifičnih zvukova. Značenje zvuka bit će različito za različite ljude, ovisno o tome koliko je slušatelj povezan s tim zvukom. Što više zvuk privlači pažnju slušatelja, to će više koncentracije uložiti te će biti veći utjecaj tog zvuka na dojam zvučne kulise slušatelja. Dakle, svaka zvučna kulisa je subjektivna.

Govoreći o zvučnim kulisama, referira se na vanjske prostore. Zvučna kulisa može se formirati bez obzira na to koliko vremena čovjek provede u zvučnom okolišu. Može se raditi o minutama i satima (*Slika 4-2*). Kraći periodi nedovoljni su da čovjek u potpunosti razvije mentalni dojam o zvučnom krajoliku, dok su dulji periodi problematični jer se zvučni okoliš mijenja tijekom duljih vremenskih razdoblja.



Slika 4-2 Vremenska lenta zvučnih kulisa (sekunde, minute, sati, dani) [2]

Ljudi općenito preferiraju zvukove prirode (pomična voda, ptice, životinje i vjetar koji puše kroz drveće) i zvukove drugih ljudi (glasovi, pjevanje smijeh i koraci), dok se mehanički zvukovi (buka prometa, tvornička buka i zvukovi ispaljivanja oružja) općenito percipiraju kao negativni. Postoje neke iznimke od ovog pravila. Neki zvukovi životinja, poput zvukova insekata, percipiraju se kao negativni, dok se neki mehanički zvukovi, poput zvukova zadovoljstva i trgovačkih brodova, percipiraju kao pozitivni.

Pijanowski je izjavio da zvučnu kulisu čine biofonija, antrofonija i geofonija. Biofonija se referira na zvukove životinja, poput sisavaca, ptica, insekata i prevladava na selu ili u šumama, močvarama i travnjacima. Antrofonija, s druge strane, produkt je ljudi. Bazira se na zvukove motornih vozila, strojeva i oružja urbanih okruženja, dok je geofonija produkt atmosfere i geofizičkih kretnji te se sastoji od zvukova vjetra i vode. Sama količina biofonije,

antrofonije i geofonije u zvučnoj kulisi ovisi o lokaciji u kojoj se zvučna kulisa nalazi. U prirodnim područjima, biofonija i geofonija prevladaju, dok u urbanism djelovima antrofonija prevladava.

Zvučne kulise koje se stvaraju pomoću AAR-a mogu promijeniti količinu biofonija, antrofonija i geofonija. Primjerice, zvučna kulisa stvorena AAR-om može transformirati urbano okruženje u prirodno.

Zvučna kulisa se, s auditivnog stajališta, može smatrati ekvivalentom krajolika, s vizualnog stajališta. Ove dvije komponente međusobno djeluju, što daje alat za poboljšanje trenutnog vizualnog okruženja kada to nije ugodno ili kada se želi pojačati učinak koji vizualna komponenta ima na osobu. Turističko iskustvo uvelike utječu estetske kvalitete okoliša, poput krajolika i zvučnog okruženja.

5 SERIJA ISO 12913 STANDARDA

ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju) bavi se razvojem i publiciranjem standarda. ISO tehnički odbori zaduženi su za samu pripremu i odobravanje pojedinih međunarodnih standarda. Svako člansko tijelo koje je zainteresirano za određenu temu za koju je uspostavljen tehnički odbor ima pravo biti predstavljeno u tom odboru. Zajedno s ISO-om, surađuju i različite međunarodne organizacije. ISO blisko surađuje i s Međunarodnom elektrotehničkom komisijom u svim pitanjima elektrotehničke standardizacije [3].

Pojam zvučnih kulisa se kroz povijest proučavao. Razvijao se u mnogo zemalja i unutar različitih disciplina te su se razvile različite definicije pojma. Zbog toga ISO za cilj ima omogućiti široki međunarodni konsenzus o definiciji “zvučne kulise” i pružiti temelj za komunikaciju između različitih disciplina i profesija koje su zainteresirane za zvučne kulise. Prema ovom standardu, zvučni krajolik je perceptualna konstrukcija povezana s fizičkim fenomenom. Razdvaja samu zvučnu kulisu od akustičkog okruženja te ukazuje na postojanje zvučne kulise kroz percepciju akustičkog okruženja. Također definira metode za analizu i upravljanje zvučnim kulisama.

Serijski ISO 12913 o zvučnim kulisama razvijena je kako bi omogućila široki međunarodni konsenzus i pružila temelj za komunikaciju između različitih disciplina i profesija koje su zainteresirane za zvučne kulise [4]. Standard ISO 12913-1 pruža definiciju pojma “zvučna kulisa” koja je predložena u prethodnom poglavlju.

5.1 ISO/TS standard 12913-2

ISO/TS standard 12913-2 definira metode i tehnike kojima se proučavaju zvučne kulise i prikupljaju podaci.

5.1.1 Deskriptori i indikatori

Veoma je važno za istraživanje, proučavanje i primjenu zvučnih kulisa da se deskriptori (koristi se za opisivanje bilo kojeg zvučnog okruženja) i indikatori (koristi se za predviđanje

deskriptora ili dijela istog) prilagode procjeni promatranih osoba. Klasični indikatori poznati su po svojim ograničenjima u određenim zvučnim uvjetima (niskofrekventni zvuk, tonske komponente, višeizvorna okruženja) [4]. Sami odabir indikatora ovisan je o vrsti promatrane zvučne kulise. Važno je da se indikatori prilagode situaciji i kontekstu (osobnom, društvenom, kulturnom, zemljišnom, ekonomskom, geografskom) koji definiraju akustičko okruženje, te omogućavaju praćenje dinamičkih promjena poput vremenskih varijacija zvučnog krajolika tijekom dana ili sezone. Prilikom proučavanja zvučnih kulisa trebaju se uzeti u obzir najbitnije komponente, a to su: ljudi, zvučno okruženje i kontekst.

Glavni zahtjevi i neka od povezanih pitanja za deskriptore i indikatore trebaju podržavati sljedeće:

- akustična procjena: akustična različitost zvučnih krajolika (Zašto ovo mjesto zvuči drugačije? Što je jedinstveno?);
- psihofiziološka procjena: procjena razine i vrste neurofiziološke stimulacije (Je li zvučni krajolik stresan, podržavajući ili opuštajući?);
- procjena konteksta: procjena usklađenosti osoba s okolinom (Postoje li zvukovi ili zvučne komponente koje ometaju namjere/očekivanja značenja ili ih podržavaju? Postoje li drugi osjetilni čimbenici koji su u interakciji sa zvukovima na podržavajući ili iskrivljujući način? Je li značenje ovog mjesta ili povezanost s njim iskrivljena, narušena ili podržana?);
- dizajn ili korektivne mjere: procjena holističkog potencijala mjesta (Jesu li dostupne/izvedive opcije kontrole/prilagodbe? Može li se stvoriti novo značenje/emocije/povezanost i društvena interakcija radi podrške prilagodbi i ispunjenju očekivanja?).

Akustičko okruženje opisuje se kao zvuk svih izvora zvuka koji stvara okolina i slušnih senzacija koje izaziva zvuk. Stoga, treba izmjeriti i dokumentirati skup akustičkih i psihoakustičkih indikatora. Oni se trebaju mjeriti i izvijestiti u skladu s ISO 1996-1 standardom. To uključuje ekvivalentnu kontinuiranu razinu zvučnog tlaka $L_{Aeq, T}$ i $L_{Ceq, T}$, kao i postotak prekoračenja razina $L_{AF5, T}$ i $L_{AF95, T}$.

Važnu ulogu kod slušnih senzacija imaju psihoakustički parametri koji pružaju bogatije informacije nego da se samo razmatra zvučni tlak. Oni su funkcija vremena i spektralne

distribucije. Indikatori psihofizičke glasnoće trebaju se izvijestiti u skladu s ISO 532-1 standardom, budući da se u akustičkima okruženjima zvukovi mijenjaju tijekom vremena.

5.1.2 Prikupljanje podataka

U praksi još uvijek postoji značajna razlika između deskriptora i indikatora zvučnih kulisa koji se koriste na standardiziran način u “mjeranju od strane osoba” i onih primjenjenih u “mjeranju pomoću instrumenata”. Psihoakustika, ekologija i akustika krajolika zahtijevaju bolju integraciju tehnika u istraživanja kako bi se ispunio potencijal pristupa zvučne kulise u planiranju i dizajnu. Pristup zvučnoj kulisi temelji se na ovoj strategiji. Drugim riječima, istraživanje koje obuhvaća ljude, zvučno okruženje i kontekst zajedno s metodama istraživanja smatra se pravim i potpunim istraživanjem zvučne kulise. Stoga je potrebno istražiti svaku situaciju zvučne kulise iz nekoliko različitih gledišta, a to zahtijeva obavljanje “soundwalka” i/ili upitnika i/ili intervjua, uz binauralna mjerenja. Alati i metode koji se koriste za prikupljanje podataka mogu se primijeniti na licu mjesta ili se mogu koristiti naknadno kod reprodukcije zvuka, ukoliko smo snimali proces “soundwalka”.

Soundwalk

Standardna metoda za subjektivno mjerenje zvučne kulise je zvučna šetnja, odnosno *soundwalk*. Pojedini ispitanici šetaju ambijentom u tišini i promatraju zvučnu kulisu oko njih. Zatim, na kraju šetnje odgovaraju na pitanja. Nije nužno ispitati ispitanike na kraju šetnje, već se to može obaviti više puta tokom šetnje. Primjerice, ako šetnja traje sat vremena, ispitanici se mogu intervjuirati svakih deset minuta. Također je moguće snimati pojedine šetnje te ih reproducirati i analizirati nakon same šetnje. Ovom tehnikom, slušanje i ispitivanje ispitanika obavljaju se opušteno u kontroliranom okruženju, a svaki slušatelj izložen je istim podražajima [2]. Međutim, nedostaje joj sposobnost da stekne izravno iskustvo ispitanika dok izvodi uživo šetnju. Istraživači dobivaju informacije od ispitanika koristeći upitnik. Ispitanici odgovaraju na pitanja, a na temelju njihovih odgovora istraživač mjeri različite dimenzije šetnje. Pitanja mogu biti polustrukturirana, što znači da se sudionicima daje više slobode u odgovaranju i obuhvaća dojmove pažljivog slušanja ili se mogu pridržavati stroge diferencijalne mreže, koja sužava odgovore samo na one vezano uz holističko slušanje, ali ubrzava obradu ankete. Treba se posvetiti pažnja pri sastavljanju pitanja jer je lingvistički opis

kognitivnih procesa u akustici nedovoljno precizan. Neprecizno je opisivanje zvukova i buke, dok za vizualne podražaje postoje točni termini. Različiti istraživači koristili su pitanja za diferencijalnu mrežu koja sva spadaju u kategoriju holističkog slušanja. Primjerice, ukoliko se radi o pitanjima dojma, bitno je da su zadovoljene sve tri dimenzije dojma: ugodnost, bogatstvo događajima emocionalno stanje. Holistički deskriptor opisuje dojam u vezi s cjelokupnom zvučnom kulisom. Ako su dojmovi pažljivog slušanja važni za istraživanje, istraživač može uključiti prazno mjesto u upitniku gdje slušatelji mogu slobodno zapisati svoje specifične dojmove. Broj ispitanika, kao i dobna raspodjela, variraju od istraživača do istraživača.

Taksonomija izvora zvuka

Kako bi se olakšalo izvještavanje o izvorima zvuka u istraživanjima, preporučava se klasifikacija svih izvora zvuka u bilo kojem zvučnom okruženju prema zajedničkom okviru ili popisu provjere [4]. Stoga, postoje tri razine: vrsta mjesta, vrsta izvora zvuka i sam izvor zvuka. Mjesto može biti unutarnje ili vanjsko. Što se tiče vanjskog mjesta, podjeljeno je na urbano, ruralno i divlje uvjete. Nakon što se opiše vrsta mjesta, vrši se kategorizacija svih izvora zvuka koji se mogu pojaviti. Naziv izvora zvuka treba biti pažljivo odabran kako bi se izbjegle vrijednosne prosudbe ili konotacije vezane uz te izvore zvuka, bez obzira na vrstu mjesta. Jedinstvenost određenih akustičkih okruženja leži u prisutnosti ili odsutnosti različitih izvora zvukova i njihovim relativnim intenzitetima. Proces identifikacije izvora zvuka olakšava uspoređivanje zvukova na različitim mjestima te omogućava transparentnost i prijenos oznaka, prosudbi i definicija u različitim istraživanjima.

Binauralna mjerenja

Zvučna mjerenja zvučnih kulisa trebaju u obzir uzeti način ljudskog percipiranja zvučnog okruženja. U tu svrhu, kalibrirani binauralni sustavi mjerenja trebaju se koristiti za snimanje zvučnog okruženja [4]. Bitno je da, zvučno okruženje koje se mjeri, bude što bliže ljudskoj percepciji. Radi toga se trebaju odabrati određeni uvjeti mjerenja. Svako binauralno mjerenje treba biti opisano u protokolu binauralnog mjerenja zvučne kulise. To uključuje i vrijeme i duljinu mjerenja, opisu mjesta gdje se provodi mjerenje, atmosferske uvjete, utjecaj topografskih obilježja, lokalne učinke i opis izvora zvuka.

5.2 ISO/TS standard 12913-3

Za analizu podataka prikupljenih metodama koje su definirane u standard ISO/TS 12913-2 trebaju se primijeniti određene metode i alati. Podaci mogu biti kvalitativni i kvantitativni. Metode i alati koji se odabiru za analizu ovise o potrebama projekta i trebaju biti integrirane za holističko razumijevanje zvučne kulise.

Za kvantitativne mjere ovisnosti, primjenjivat će se inferencijalne statistike korištenjem parametričkih i neparametričkih testova, ovisno o odgovarajućim podacima [5]. Ispunjenje pretpostavki modela pažljivo će se procijeniti, posebno u slučaju malog broja sudionika te ukoliko je potrebno primjenit će se odgovarajuće korektivne mjere. Kako istraživanja zvučne kulise moraju biti holistička, preporučuje se korištenje metoda statističke analize (npr. testiranje statističkih hipoteza), ali može biti manje važno u slučaju kvalitativnih ili istraživačkih metoda. Postoji niz pristupa za analizu kvalitativnih podataka koji koriste princip korak po korak kodiranja radi generalizacije promatranja.

Također, različiti faktori mogu utjecati na same rezultate. Te faktore nazivamo konfuzorima, odnosno efektima pristranosti. U konfuzore spadaju: sekvencijski učinak (prethodno mjesto utječe na procjene sljedećeg mjesta), određeni učinci skaliranja, poput efekta raspona i karakteristike traženja (znakovi poput tekstualnih uputa ili ponašanja osobe koja vodi šetnju zvukom koji signaliziraju istraživački cilj i utječu na procjene).

5.2.1 Vrste i analiza prikupljenih podataka

Kvantitativni podaci

Ukoliko kvantitativne podatke dobijemo putem upitnika, oni će biti analizirani ovisno o odgovarajućoj razini mjerenja. Bilo koja analiza bit će odabrana sukladno razini mjerenja podataka iz upitnika. Izvođenje inferencijalnih statističkih testova u vezi s razinom značajnosti razlika u procjeni između lokacija i/ili korelacijama te izvještavanje o vrijednostima vjerojatnosti.

Kvalitativni podaci

Podatke dobivene iz kvalitativnih intervjuva treba prenijeti u pisanu formu u svrhu izvještavanja i analize. Stil transkripcije ovisi o cilju istraživanja. Kvalitativni podaci trebaju se analizirati pomoću znanstveno dokazanih metoda sustavne analize teksta, kvalitativne analize sadržaja ili analize društvenih mreža kao dio dizajna mješovitih metoda. Sami process analize treba biti opisan i slijediti ove metode. Također postoje i druge metode analize kvalitativnih podataka kao što je analiza promatranja, analiza društvene interakcije i sl.

Binauralni podaci

Binauralni snimci temelj su za opisivanje zvučnog okoliša kod ispitanika jer predstavlja zvuk kao skup svih izvora zvuka koji su modificirani okolinom. Mjerenja i njihove psihofizičke analize omogućuju određivanje (osnovnih) slušnih senzacija koje izaziva zvuk. Svaki binauralni snimak mora biti u skladu sa specifikacijama definiranim u standard ISO/TS 12913-2. Pritom se signali lijevog i desnog kanala zasebno obrađuju radi određivanja (psihofizičkih) akustičkih mjera. Različite korištene mjere trebaju biti povezane s percepcijom i procjenom relevantnih osoba. Na temelju rezultata binauralnih podataka, mogu se odrediti karte temeljene na psihofizičkim i drugim podacima.

Triangulacija

Ideja triangulacije je postizanje više razine valjanosti ukoliko različite metode dovode do istog rezultata. Najčešće se odnosi na primjenu nekoliko metoda prilikom istraživanja iste pojave. Triangulacija se kod mjerenja zvučnih kulisa koristi za validaciju triju komponenti: ljudi, konteksta i zvučnog okoliša. Jedan od primjera triangulacije kod zvučnih kulisa je metodološka triangulacija. Omogućava validaciju podataka kroz provjeru više izvora. Najčešće se sastoji se od upitnika, kojeg vodi istraživač, analize zvuka, koja se vrši uporabom odgovarajućih instrumenata za mjerenje te intervju, u koji su uključeni ispitanici, odnosno ljudi koji se svakodnevno kreću odabranim mjestom istraživanja. Na ovaj način kvalitativni podaci dobiveni intervjuima, nadopunjuju kvantitativne koji su dobiveni mjerenjima.

6 PRIMJERI ZVUČNIH KULISA

U ovom poglavlju objašnjena su tri primjera zvučnih kulisa. Prvi primjer općeniti je primjer zvučne kulise gdje su definirane funkcije i zvučni elementi zvučne kulise filma. Drugi primjer odnosi se na zvučnu kulisu luke Ancone, samo promatranje, slušanje, ispunjavanje upitnika te obradu podataka. Zadnji, treći primjer, opisuje generiranje niza zvučnih kulisa na temelju prirodnih sustava.

6.1 Zvučna kulisa filma

Zvučna kulisa filma ovisi o nekoliko funkcija, a to su [6]:

a) identifikacija lokacije

Promjena lokacije uzrok je promjene zvučne kulise. Grad ima različitu zvučnu kulisu od sela. Također, zvučna kulisa na otvorenom je različita od zvučne kulise na zatvorenom. Čak i u određenom prostoru zvučna kulisa varira ovisno o položaju različitih likova u filmu.

b) identifikacija vremena

Zvučna kulisa igra važnu ulogu u opisivanju promjene vremenskog okruženja. Vremenske promjene uključuju promjene godišnjeg doba, kao i promjene u tijeku dana i noći. Tvornička sirena u filmu obično označava jutro ili večer. Također, zvučna kulisa lokacije različita je bilo da se radi o zori ili sumraku.

c) identifikacija raspoloženja

Filmovi često manipuliraju ljudskim emocijama na različitim točkama trajanja filma. Različiti zvučni elementi mogu pojačati ili smanjiti raspoloženje publike i likova u filmu. Najčešće se to radi uzbudljivom ili tužnom glazbom.

d) identifikacija likova

Ljudski govor i verbalni maniri variraju od osobe do osobe. U kinu izrazito je teško stvaranje novog jedinstvenog lika, specifičnog naglaska i stila. Svaki znak koji lik stvara, bio on neverbalan ili verbalan, postaje nerazdvojivi dio njegovog karaktera.

e) razrada filmske radnje

Filmsko pripovijedanje, odnosno filmski zaplet, često napreduje kroz dijaloge. Stoga dijalozi u filmu čine značajan dio filmske zvučne kulise, kao i filmska sinkronizacija glasova.

f) pružanje dodatnih informacija

Kino je umjetničko djelo koje se sastoji od audio, vizualnih i tekstualnih elemenata. Korištenjem zvučnih snimaka, publici se mogu pružiti dodatne informacije koje aludiraju na nadolazeću opasnost, poput oluje ili zračnog napada.

g) proširivanje situacijskog značaja

Zvučna kulisa filma pruža tragove o situacijskom značenju u kinu. Čak i specifično situacijsko filmsko značenje može biti iskrivljeno nekim drugim zvučnim zapisom suprotnog značenja. Ozbiljne situacije često postaju komične umetanjem odgovarajućih zvučnih elemenata u filmu. Vizualna ljepota kadra također može biti poboljšana umetanjem određenog zvučnog elementa.

h) kreiranje akustične estetike

Zvučna kulisa omogućava stvaranje jedinstvene akustične estetike. Film se može kritički analizirati i estetski cijeliti na temelju svoje zvučne kulise. Tekstura filma, pripovijedanje, vizualni idiom i akustična estetika zajedno čine film integriranim umjetničkim djelom.



Slika 6-1 Kino Karaman [7]

Kinematografska zvučna kulisa uvodi publiku u okruženje kinematografskog aparata. Zvukovi mogu dominirati nad gledateljem. Sama arhitektura modernih kazališta i kina doprinose boljim zvučnim karakteristikama. Što je manje buke u zvučnoj kulisi filma, to će film biti akustički dominantniji.

U nastavku su navedeni glavni zvučni elementi koji se mogu čuti u zvučnoj kulisi filma:

1. Zvuk dijaloga

Dijalozi i monolozi likova čine većinu zvukova filma. Samo filmsko pripovijedanje napreduje kroz monologe i dijaloge likova. Filmski dijalozi pružaju publici informacije kako bi pratila zaplet.

2. Foley zvuk

Foley zvukovi su zvukovi koje generiraju svakodnevne radnje kao što je pokretanje vozila, zvuk koraka, eksplozije, itd. Oni se ne snimaju tijekom filma, nego se dodaju iz zvučne knjižnice. *Foley* zvuk poboljšava atmosferu filma te pridonosi realističnoj komponenti filma. Izraz “*foley* zvuk” potječe od imena američkog tonskog inženjera Jacka Donovana Foleya.

3. Diegetički i nediegetički zvuk

Diegetički zvuk vrsta je zvuka kod kojeg se izvor zvučnog elementa može locirati, naznačiti ili vidjeti unutar određenog filmskog trenutka. Primjerice, ako se u filmu prikaže lik koji gleda televiziju, zvuk koji dolazi s televizije može biti diegetički zvuk. Suprotno tome, nediegetički zvuk vrsta je zvuka kod kojeg izvor određenog zvučnog elementa u filmu nije prikazan ili naznačen u određenoj filmskoj sceni. U ovu skupinu zvukova spada glazba koja stvara raspoloženje u filmovima.

4. Sinkroni i asinkroni zvuk

Sinkroni zvuk je svaki zvučni element, uključujući glazbenu podlogu ili *foley* zvuk koje je kompatibilan sa situacijom, raspoloženjem ili pokretima usana lika ili objekta u filmskoj sceni. Sinkroni zvuk može biti snimljen na lokaciji ili dodan u studiju. Ako se u određenoj situaciji koristi nekompatibilni zvučni zapis, on postaje asinkroni zvuk. Primjerice, ako se zvuk kamiona koristi dok se prikazuje pokretni automobile, postaje asinkroni zvuk.

5. Zvuk specijalnih efekata

Za praćenje uobičajenih situacija u kinu koriste se zvučni elementi koji sugeriraju prirodno porijeklo. No, u znanstveno-fantastičnim i crtanim filmovima, takvi zvučni elementi ne bi odgovarali mnogim situacijama. Kod takvih filmova koriste se umjetno stvoreni ili kombinirani zvučni elementi koji su najčešće elektronički ili računalno generirani i zovu se zvukovi specijalnih efekata.

6. Jingle (zvonjava) zvuk

Jingle je jedinstvena kratka melodija koja se koristi za definiranje određene osobe, situacije ili proizvoda. U filmu se, pomoću *jingle* zvuka, može definirati specifična situacija ili temperament određenog lika. *Jingle* je najkraći zvučni opis filmskog lika ili situacije te često “brendira” mjesto ili lik u filmu.

7. Filmske pjesme

Jedna od najvažnijih karakteristika filma je korištenje pjesama i plesnih sekvenci. Međutim pjesme i ples ponekad imaju određenu narativnu funkciju poput kompresije priče, pojačavanja emocionalnog faktora, dubljeg prikaza likova, itd.

Tri vrste zvukova ključne su da bi film djelovao realistično za publiku: ljudski glasovi, glazba, zvučni efekti. Zvukovi i dijalozi moraju se savršeno sinkronizirati s radnjom u filmu bez kašnjenja i moraju zvučati onako kako izgledaju. Za postizanje vjerodostojnih zvukova visoke kvalitete koriste se originalni isječci umjesto onih iz zvučne knjižnice. Također se koriste i asinkroni zvučni efekti kao pozadinski zvukovi. Uključivanje zvukova tipičnih za gradsko ili ruralno područje pomaže u stvaranju realističnog okruženja filma. Često se, također, stvaraju različite zvučne kulise za različite žanrove filma. Primjerice, zvučna kulisa stvorena za vestern film neće odgovarati romantičnoj komediji.

6.2 Zvučna kulisa luke Ancona

Područje interesa je luka Ancona u Italiji. Nalazi se u središtu Jadranskog mora te se prostire na više od 1,4 milijuna metara kvadratnih. Područje luke podijeljeno je na putničke i trajektne terminale, kontejnerske terminale i postrojenja za kruti teret. Također, područje je puno komercijalnih i rekreacijskih aktivnosti te je središnje mjesto susreta zajednice [8]. Luka Ancona odabrana je jer predstavlja ograničeno područje koje ljudi koriste za različite svrhe. Karakteristično zvučno okruženje obuhvaća nekoliko izvora zvuka poput prirodnih zvukova, prometa, industrijom itd. Za analizu zvučne kulise luke korišteno je osam lokacija koje se nazivaju klasterima (C): C1 (područje Sjevernog pristaništa), C2 (područje pristaništa Clementino), C3 (područje pristaništa Rizzo), C4 (područje pristaništa Santa Maria), C5 (područje pristaništa XXIX Settembre), C6 (područje urbanih funkcija), C7 (područje jedrenja) i C8 (područje Mornaričke lige). Klasteri su prikazani na *Slika 6-2 Klasteri luke Ancone2*.



Slika 6-2 Klasteri luke Ancone **Pogreška! Izvor reference nije pronaden.**

S akustičkog stajališta, interes za područjem luke proizlazi iz raznolikosti izvora buke: manipulacija teretom, operacije brodogradnje, emisije buke iz sustava na brodu, itd. Također, dodatan element interesa je suživot s utjecajem na naseljeno okruženje (buka koja se širi zrakom). Nedostatak tradicionalnih metoda potaknulo je potrebu za korištenjem alternativnih metoda usmjernih na zvučnu kulisu. Prvo je trebalo prikupiti informacije vezane za geografsku i akustičnu karakterizaciju područja koje se ispituje. Prikupljanje parametara psihakustike provedeno u svakom klasteru korištenjem alternativne metode. Samim time omogućeno je određivanje akustičkih parametara poput razine zvučnog tlaka, glasnoće, oštine, grubosti i ostalih psihoakustičkih parametara. Zvučne razine za izračunavanje psihoakustičkih parametara mjerene su korištenjem binauralnih slušalica koji omogućava održavanje oblika, veličine i akustičke impedancije glave i torza slušatelja kao i zadržavanje originalnog smjera zvuka. Prikupljeni podaci korišteni su za dizajn testa slušanja koji je izrađen na internetskoj platformi i podijeljen s ljudima koji često borave u luci. Podaci o tome kako ljudi doživljavaju akustično okruženje luke istraživani su putem upitnika koji je postavljen na istoj internetskoj platformi. Rezultati subjektivnih testova zatim su korelirani s akustičkim mjerenjima putem statističke analize. Analiza prikupljenih podataka ističe da se percipirana kvaliteta zvučne kulise razlikuje od stvarnih emisija buke luke. Mnogi uvjeti utjecali su na klastere kao što su buka prolaska broda, buka s industrijskog mjesta, buka od prometa i građevinskih radova. Ovakav tip buke povećava nelagodnost i smanjuje ugodnost. Rezultati istraživanja podijelili su preference zvuka na četiri razine. Prva razina definira se kao jednostavna preferencija gdje ljudi više preferiraju zvukove prirode od umjetnih zvukova. Kod druge razine ispitanici usredotočavaju pažnju na jedan izvor zvuka i ignoriraju ostale. Na

trećoj razini ispitanici izražavaju svoje emocije i prosuđuju na temelju kulturnog podrijetla i dugoročnog iskustva s okolišem. Na četvrtoj razini je razlika između dobi ispitanika i drugih značajnih faktora. *Slika 6-33* prikazuje luku i pripadne klastere. Za svaki klaster navodi se $Leq[A]$ (razina buke prema A karakteristici) stupanj zadovoljstva mjesta i stupanj psihološkog dosađivanja koje percipiraju slušatelji.



Slika 6-3 Luka Ancona, pripadajući klasteri, pritisak zvuka (dB), psihoakustička neugodnost (ispod Cx) i razina buke (ispod db(A)) prema A karakteristici **Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**

Izmjerena buka u nekim slučajevima, nije bila u skladu sa slušateljima. To se najviše očituje kod C3 i C7. Za C3 izmjerena je razina buke od 9.9, dok su slušatelji percipirali 4.9. Slično je i u C7. U C7 izmjerena je razina buke od 9.2, dok su slušatelji percipirali 3.9. Kao što rezultati slušatelja pokazuju C3 i C7 su klasteri gdje ljudi mogu provoditi vrijeme bez slušne neugodnosti.

Dakle, u ovom istraživanju proučavano je akustično okruženje. Istraživanje se nastojalo udaljiti od koncepta negativne buke. Sva nekontinuirana buka poput buke od prolaska borda, buke s industrijskog mjesta, buke od prometa i radova povećava razinu nelagode među ljudima i smanjuje razinu ugodnosti. Kvaliteta zvučne kulise povezana je s percipiranom ugodnošću i kvalitetom zvučnog okruženja koje su bitne za poboljšanje kvalitete urbanih vanjskih prostora. Također se ovim istraživanjem nastojalo identificirati sredstva putem kojih se koncept zvučnih kulisa može učinkovito uključiti u urbanističko planiranje. Pristupom zvučnoj kulisi moguće je manipulirati ljudskom percepcijom zvučnog okruženja, bez smanjenja emisije buke. U ovom slučaju, fokus dizajnera mora biti na izvorima zvuka i

arhitektonskom konceptu. Dobar akustički dizajn podrazumijeva poznavanje fizike zvuka, inženjerskih svojstava materijala te primjenu tog znanja u građevinskoj konstrukciji kako bi se stvorio objekt koji omogućava slušateljima odlično slušno iskustvo.

6.3 Stvaranje uronjene elektroničke glazbe iz zvučne aktivnosti zvučnih kulisa

Kao posljednji primjer odabrano je stvaranje uronjene elektroničke glazbe iz zvučne aktivnosti okolišnih zvučnih kulisa.

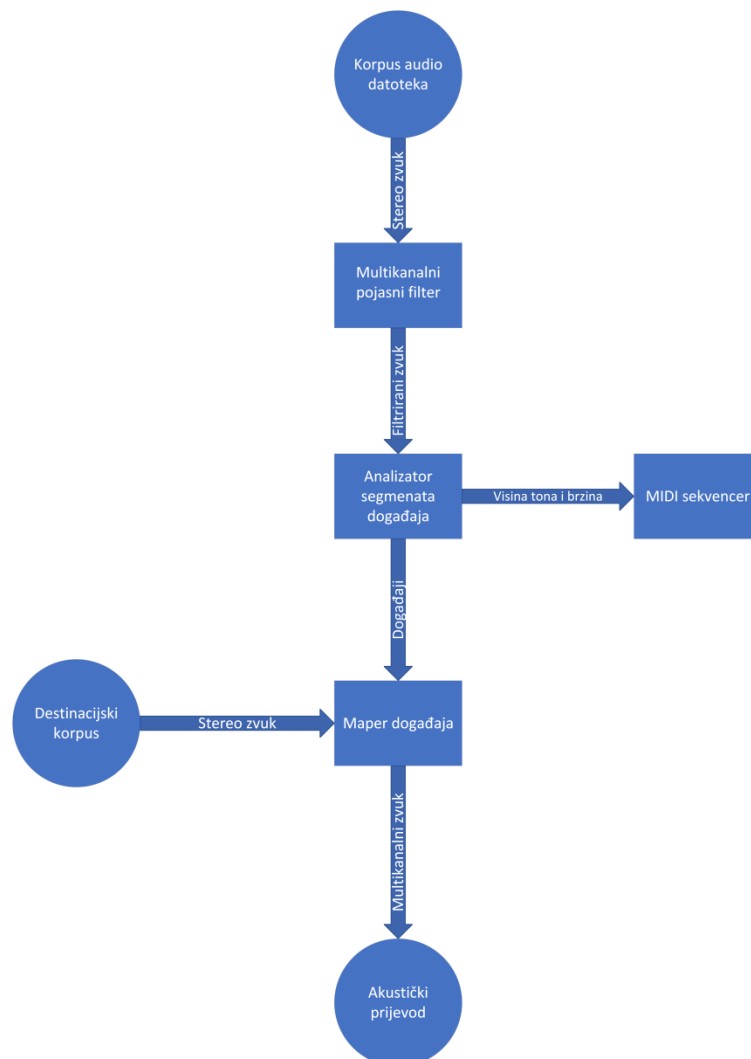
Različiti softverski alati koriste se u različitim disciplinama kako bi se dekonstruirali i/ili mapirali organski sustavi na zvuk. Polje koje se bavi zvučnim prikazima i sonifikacijom, ukoliko se koriste podaci o prirodnim sustavima, također koristi metode koje su najbolje za predstavljanje organskih interakcija prirodnih podataka zvukom. Samim time dostupno je mnogo različitih softvera za sonifikaciju.

Metoda koja se proučava u ovom potpoglavlju je konkatentivna sinteza zvuka [9]. Označava tehniku sinteze koja se općenito može opisati kao granularna sinteza potaknuta analizom zvuka, a konkretnije kao proces odabira određenog dijela zvuka iz datoteke ili korpusa na temelju njihovog najboljeg odgovaranja određenim akustičkim kriterijima.

Cilj akustičkog prevoditelja (AcousTrans) je omogućavanje korisniku interaktivno mapiranje događaja, gesti i strukture izvora na odredište. Kao rezultat dobije se stereo ili višekanalna audio datoteka s gestualnim, ritmičkim i/ili strukturnim sličnostima izvorne datoteke, ali s različitim timbralnim karakteristikama: onima od odredišnog korpusa.

Slika 6-4 prikazuje rad akustičkog prevoditelja. AcousTrans funkcionira na način da prvo učitava stereo audio datoteku odabranu od strane korisnika zvučne kulise unutar modula segmentacije. Zatim ta ista datoteka prolazi kroz N filtera niskih/uskopojasnih/visokopojasnih prolaza čije su frekvencije podešene prema posebnostima zvučne kulise. Svaki od N potpojasa izvorne datoteke segmentira se pomoću određenog načina segmentacije. Nakon segmentacije, rezultat je N-kanalni tok događaja koji kodira neovisnu aktivnost unutar svakog potpojasa izvorne datoteke. Događaji se kodiraju kao liste intenziteta, trajanja, stereo

lokalizacije te kao podvektor akustičkih značajki. Ovaj višekanalni tok događaja zatim se prenosi u modul reprodukcije.



Slika 6-4 Proces akustičkog prijevoda u AcousTransu [9]

Zatim, AcousTrans generira parametre zvukova na koje se mapiraju dimenzije događaja koristeći matricu mapiranja. U svaki događaj, koji je dobiven segmentacijom N potpojaseva, ugrađene su akustičke značajke. Iste se mogu koristiti za odabir sličnog zvuka unutar korpusa središnjih datoteka pomoću konkatentativne sinteze. Pritom se koristi algoritam pretraživanja k-najbližih susjeda na k-dimenzionalnom stablu koji se sastoji od akustičkih značajki segmenata svake audio datoteke u korpusu audio datoteka, potvektor akustičkih značajki izvornog događaja mapira se na najbližiji zvuk unutar odredišnog korpusa.

U kombinaciji s elektroakustičkim apstrakcijama, ovaj sustav može generirati raznoliki niz zvučnih krajolika izvedenih iz prirodnih sustava.

7 ZAKLJUČAK

Zaključno, proučavanje zvučnih kulisa pruža pogled na zvučno okruženje i utjecaj istoga na svakodnevni život pojedinca. Putem promatranja i analize, pojedinac može postići dublje razumijevanje svih zvukova koji ga okružuju te kako oni oblikuju njegove percepcije i iskustva.

Istraživanje zvučnih kulisa istaknulo je važnost samih zvukova iz prirode. Samo prepoznavanje prirodnih zvukova kao što su pjev ptica, šum lišća, vode, omogućava stvaranje harmoničkih i održivih prostora koji poboljšavaju kvalitetu života pojedinaca te pozitivno utječe na emocije istih. Istraživanja zvučnih kulisa otkrila su i važnost kulturnih i društvenih zvukova poput zvukova s ulice, govor i koraci ljudi, urbanih zvukova te zvukova različitih festivala i manifestacija.

Također, razvijanje zvučne kulise kao kombinacije zvukova pruža dosta mogućnosti arhitektima, dizajnerima i urbanim projektantima. Oni mogu, samim integriranjem akustičkih karakteristika u proces dizajna, stvarati prostore koji su i vizualno i akustički ugodni. Samim time može se unaprijediti cjelokupan dojam pojedinog mjesta koji bi imao pozitivan utjecaj na emocije pojedinaca.

Dakle, proučavanje zvučnih kulisa otvara nova područja istraživanja i razumijevanja. Samim identificiranjem zvukova koji se nalaze u okolišu i prihvatanjem istih, ljudi mogu razviti dublju povezanost sa okolišem te stvarati i oblikovati različite prostore koji imaju pozitivan utjecaj na ljudske emocije.

LITERATURA

- [1] Mateljan I., „Elektroakustika“, interna skripta
- [2] Sikora M., Russo M., Đerek J., Jurčević A., “Soundscape of an Archaeological Site Recreated with Audio Augmented Reality”, ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications, 21, New York, 2018.
- [3] ISO, “ISO 12913-1:2014 – Acoustics – Soundscape – Part 1: Definition and conceptual framework”, s Interneta, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/52161/229d6f3657604d89b8c382a04058a839/ISO-12913-1-2014.pdf>, 2014.
- [4] ISO, “ISO/TS 12913-2:2018 – Acoustics – Soundscape – Part 2: Data collection and reporting requirements”, s Interneta, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75267/fa9dc11899ac4ac39244f3be09f5748e/ISO-TS-12913-2-2018.pdf>, 2018.
- [5] ISO, “ISO/TS 12913-3:2019 – Acoustics – Soundscape – Part 3: Data analysis”, s Interneta, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69864/27add82ea1724f9599bf0ae2208472f2/ISO-TS-12913-3-2019.pdf>, 2019.
- [6] Central University of Kerala, “Film Soundscape”, s Interneta, <https://www.cukerala.ac.in/cukpdfs/IQAC/3.4.7/3.4.7.ECL.054.pdf>, 6.1.2022.
- [7] Split Curated, “Karaman Cinema”, s Interneta, <https://splitcurated.com/listings/karaman-cinema/>, 2023.
- [8] Di Loreto Samantha, Serpilli Fabio, Lori Valter, “Soundscape Approach in the Seaport of Ancona: A Case Study”, s Interneta, <https://www.mdpi.com/2624-599X/4/2/31>, 14.6.2022.
- [9] Stine Eli, “Creating Immersive Electronic Music from the Sonic Activity of Environmental Soundscapes”, s Interneta, <https://ceur-ws.org/Vol-2327/IUI19WS-MILC-4.pdf>, 25.2.2019.

PRILOZI

Popis oznaka i kratica

F	silā
v	brzina
V	volume
S	površina
ρ	gustoća
p	tlak
m	metar
s	sekunda
t	vrijeme
m	masa
q	protok
c_p	toplinski kapacitet pri stalnom tlaku
c_v	toplinski kapacitet pri stalnom volumenu plina
γ	konstanta, omjer c_p i c_v
c	brzina svjetlosti
f	funkcija f
g	funkcija g
x	prostorna koordinata
T	temperatura
K	kelvin
R	plinska konstanta
kg	kilogram
°C	stupnjevi celzijusovi
g	gravitacija
f	frekvencija
L	razina zvučnog tlaka
I	intenzitet ravnog vala
L_I	razina zvučnog intenziteta
W	watt

dB	decibel
Pa	pascal
L_p	razina zvučne snage
Hz	herc
kHz	kiloherc
L	jačina zvuka
MAF	Minimum Audible Field (prag čujnosti)
ISO	International Organization for Standardization (međunarodna organizacija za standardizaciju)
ISO/TS	ISO/Technical specification (tehničke specifikacije)
AR	augmented reality (proširena stvarnost)
AAR	audio augmented reality (zvučno proširena stvarnost)
Leq	equivalent continuous sound level (indeks kvalitete zvuka)
MIR	music information retrieval (glazbene informacijske pretrage)
AcousTrans	Acousmatic Translator (akustički prevoditelj)

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Sažetak

Rad se bavi temom zvučnih kulisa. U samom uvodu dana je pojednostavljena definicija zvučne kulise i pregled samoga rada. Sljedeća dva poglavlja su uvodna poglavlja u samu problematiku te opisuju općenito svojstva zvuka. U njima su objašnjena fizikalna svojstva zvuka, kao što su temeljni zakoni zvuka, valna jednadžba i intenzitet zvuka te psihoakustička svojstva zvuka, kao što su slušni proces i svojstva sluha. Zatim je opisana serija ISO standarda koji propisuju službenu definiciju zvučnih kulisa kao i metode koje se koriste za prikupljanje i analizu podataka. Na samom kraju analizirana su tri primjera zvučnih kulisa te je iznesen zaključak svega navedenog.

Ključne riječi

zvučna kulisa, zvuk, ISO standard, akustika, sluh

SOUNDSCAPE

Abstract

This paper covers the topic on soundscapes. In the introduction, a simplified definition of soundscapes and contents of the paper are given. The next two chapters are introductory chapters that address the issue in general and describe the basic properties of sound. They explain the physical properties of sound, such as the fundamental laws of sound, wave equation and sound intensity, as well as psychoacoustic properties of sound, such as auditory process and hearing characteristics. Then, a series of ISO standards are described, which give the official definition of soundscape, as well as the methods used for data collection and analysis. Finally, three examples of soundscapes are analysed and a conclusion is written based on everything mentioned above.

Keywords

soundscape, sound, ISO standard, acoustics, hearing